

Research Article

## Composición química de subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) utilizados en la alimentación de rumiantes

### *Chemical composition of agro-industrial byproducts from corn (Zea mays) used in ruminant feed*



Espinoza-Guerra, Italo Fernando <sup>1</sup>



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



[iespinoza@uteq.edu.ec](mailto:iespinoza@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio <sup>2</sup>



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



[acedenom@uteq.edu.ec](mailto:acedenom@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny <sup>3</sup>



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



[jmunoz@uteq.edu.ec](mailto:jmunoz@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Conrado-Palma, Diego Javier <sup>4</sup>



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



[dconradop@uteq.edu.ec](mailto:dconradop@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Bone-Flores, Dennisse Estefanía <sup>3</sup>



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



[denisse.bone2015@uteq.edu.ec](mailto:denisse.bone2015@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n2/246>

**Resumen:** El estudio tuvo como objetivo determinar la composición química de residuos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) para evaluar su potencial en la alimentación de rumiantes. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: cáscara de mazorca, pelusa, tusa y panca, con cinco repeticiones cada uno. Las muestras fueron analizadas mediante métodos bromatológicos convencionales para determinar materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). Los resultados evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, reflejando la variabilidad nutricional de los subproductos. La tusa presentó el mayor contenido de materia seca (98.72%) y también altos valores de extracto etéreo (3.29%). La cáscara destacó por su mayor contenido de proteína cruda (6.45%), seguida por la pelusa (5.56%). La panca registró el mayor contenido de cenizas (6.33%) y el menor valor de FDN (69.15%), lo que sugiere mejor potencial de consumo. En contraste, la cáscara y la tusa mostraron los mayores contenidos de FDN. La pelusa presentó el menor contenido de FDA (21.41%), indicando menor lignificación. Se concluye que estos residuos presentan composiciones variables que influyen en su valor nutricional, por lo que su inclusión en dietas para rumiantes debe realizarse de manera estratégica y balanceada.

**Palabras clave:** Bromatología, extracto etéreo, materia seca, proteína cruda, nutrición animal.



Check for updates

Receptado: 26/Mar/2026  
Aceptado: 16/Abr/2026  
Publicado: 30/Abr/2026

**Cita:** Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Bone-Flores, D. E. (2026). Composición química de subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) utilizados en la alimentación de rumiantes. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(2), 152-162. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n2/246>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)  
<https://economicsocialresearch.com>  
[jessr@editorialgrupo-aea.com](mailto:jessr@editorialgrupo-aea.com)  
[info@editorialgrupo-aea.com](mailto: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](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



**Abstract:**

The study aimed to determine the chemical composition of agro-industrial maize (*Zea mays*) residues to evaluate their potential for ruminant feeding. A completely randomized design was used with four treatments: corn cob husk, corn silk, corn cob (tusa), and corn stover (panca), each with five replicates. Samples were analyzed using conventional bromatological methods to determine dry matter, crude protein, ether extract, ash, neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF). The results showed significant differences ( $p < 0.05$ ) among treatments, reflecting the nutritional variability of the evaluated by-products. The corn cob (tusa) presented the highest dry matter content (98.72%) and also high ether extract values (3.29%). The husk showed the highest crude protein content (6.45%), followed by corn silk (5.56%). Corn stover (panca) registered the highest ash content (6.33%) and the lowest NDF value (69.15%), suggesting better intake potential. In contrast, the husk and corn cob showed the highest NDF contents. Corn silk presented the lowest ADF content (21.41%), indicating lower lignification. It is concluded that these residues have variable compositions that influence their nutritional value; therefore, their inclusion in ruminant diets should be carried out strategically and in a balanced manner.

**Keywords:** Bromatology, ether extract, dry matter, crude protein, animal nutrition.

## 1. Introducción

La alimentación constituye uno de los principales factores que determinan la eficiencia productiva en los sistemas de producción de rumiantes, representando además el mayor porcentaje de los costos operativos. En este contexto, la creciente demanda de alimentos de origen animal, junto con el incremento en los precios de los insumos convencionales, ha impulsado la búsqueda de estrategias orientadas a optimizar el uso de recursos disponibles y reducir la dependencia de materias primas tradicionales. Esta situación es particularmente relevante en regiones tropicales, donde la disponibilidad y calidad de los recursos forrajeros se ven afectadas por la estacionalidad climática, limitando el desempeño productivo de los animales.

Ante esta problemática, el aprovechamiento de residuos agroindustriales ha cobrado especial interés como una alternativa viable para la alimentación animal, debido a su disponibilidad, bajo costo y potencial valor nutritivo (Castellanos, et al. 2017). Estos subproductos, generados en grandes volúmenes durante los procesos de cosecha y transformación de cultivos agrícolas, representan una oportunidad para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos mediante la valorización de materiales que, en muchos casos, son subutilizados o destinados a prácticas de escaso valor económico (Troncozo-Correa et al., 2026).

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, no solo por su papel en la alimentación humana y animal, sino también por la gran cantidad de residuos que genera durante su producción y procesamiento (Días-Da-Silva et al., 1988). Entre estos residuos se encuentran la cáscara, la pelusa, la tusa y la panca, los cuales presentan características físicas y químicas diferenciadas en función de su origen estructural dentro de la planta (Fernandes et al., 2016). Estos materiales están compuestos principalmente por carbohidratos estructurales, tales como celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya proporción determina en gran medida su valor nutritivo y su comportamiento en el proceso de fermentación ruminal (Manterola & Cerda, 2017).

Sin embargo, la utilización eficiente de estos subproductos en la alimentación de rumiantes depende en gran medida del conocimiento detallado de su composición química (Espinoza, et al., 2017). Parámetros como la materia seca, la proteína cruda, el extracto etéreo, el contenido de cenizas y las fracciones fibrosas, particularmente la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA), son indicadores fundamentales para evaluar el potencial nutricional de los alimentos (Ortiz-Tovar et al., 2017). La FDN está asociada con el consumo voluntario, mientras que la FDA se relaciona con la digestibilidad del material, lo que resalta la importancia de su determinación en estudios de caracterización bromatológica (Van, 1994).

A pesar de la disponibilidad de estos residuos y su potencial aplicación en la alimentación animal, en muchos sistemas productivos su uso continúa siendo limitado debido a la falta de información técnica que permita establecer criterios adecuados para su inclusión en dietas balanceadas (Ramírez et al. 2007). En este sentido, la caracterización química de estos materiales constituye una herramienta esencial para su valorización, ya que permite identificar sus limitaciones y potencialidades nutricionales, facilitando su incorporación en estrategias de alimentación más eficientes y sostenibles (Sánchez et al., 2015).

En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la composición química de residuos agroindustriales del maíz (*Zea mays*), específicamente cáscara, pelusa, tusa y panca, con el fin de generar información que contribuya a su adecuada utilización en la alimentación de rumiantes.

## 2. Materiales y métodos

### Sitio experimental

El estudio se realizó en el laboratorio de bromatología de la finca experimental “La María”, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en la provincia de Los Ríos, Ecuador. En este laboratorio se llevaron a cabo los análisis bromatológicos de las muestras, contando con las condiciones y equipos necesarios para la determinación de la composición química de los residuos evaluados.

### Material experimental

Para el desarrollo del estudio se emplearon residuos agroindustriales derivados del cultivo de maíz (*Zea mays*), específicamente cáscara, pelusa, tusa y panca, los cuales fueron obtenidos posteriormente al proceso de cosecha y manejo del cultivo. Los materiales fueron recolectados de manera manual, procurando seleccionar muestras representativas y libres de contaminantes externos como tierra, piedras u otros residuos no deseados. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado con el objetivo de reducir su contenido de humedad y evitar alteraciones en su composición química. Una vez secas, fueron molidas hasta alcanzar un tamaño de partícula homogéneo, lo que permitió garantizar la uniformidad durante los análisis de laboratorio. Este procedimiento es fundamental para obtener resultados consistentes, ya que la heterogeneidad del material puede influir en la precisión de los análisis bromatológicos.

### Diseño experimental

El estudio se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA), se establecieron cuatro tratamientos correspondientes al T1: Residuo de cáscara de mazorca maíz, T2: Residuo de pelusa de maíz, T3: Residuo de tusa de maíz y T4: Residuo de panca de maíz, con cinco repeticiones por cada tratamiento. Cada unidad experimental estuvo constituida por una muestra de cada residuo, analizada de forma independiente. La asignación de los tratamientos se realizó de manera aleatoria para garantizar la uniformidad de las condiciones experimentales. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, considerando un nivel de significancia de ( $p < 0.05$ ).

Procedimiento para determinar la composición química.

### Determinación de materia seca (MS)

La composición química de los subproductos agroindustriales de *Zea mays* (tusa, cáscara, pelusa y panca) fue determinada mediante análisis bromatológicos estándar. Posteriormente, se tomaron muestras representativas (1000 g) por tratamiento y se deshidrataron en estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 h hasta peso constante para determinación de materia seca: Las muestras secas se molieron en molino Thomas Willy con criba de 2 mm, pasando por un tamiz de 1 mm para su homogeneización. El contenido de humedad se determinó por secado en estufa (marca: MEMMERT; modelo: TV-400) a 105 °C hasta peso constante, y la materia seca (MS) se calculó por diferencia (AOAC International, 2019).

### Determinación de proteína bruta (PB)

El contenido de proteína bruta se determinó mediante el método de Kjeldahl, el cual permite cuantificar el nitrógeno total presente en la muestra. Se pesaron aproximadamente 0.5 g de muestra seca y molida, los cuales fueron sometidos a

digestión ácida en un digestor J.P. SELECTA Bloc Digest M40, utilizando ácido sulfúrico concentrado y un catalizador para acelerar la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, la digestión fue seguida de una etapa de destilación en una unidad FISHER SCIENTIFIC Unit 100 (0009555), donde el amoníaco liberado fue capturado en una solución de ácido bórico. Finalmente, se realizó la titulación con un ácido estándar para determinar el contenido de nitrógeno. El valor de proteína bruta se calculó multiplicando el nitrógeno total por el factor 6.25. Este método es considerado un estándar internacional para la evaluación de proteínas en alimentos (AOAC International, 2019).

#### Determinación de extracto etéreo (EE)

El contenido de extracto etéreo se determinó mediante extracción continua con solvente orgánico utilizando un sistema Labconco 3500-00. Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra seca y molida, los cuales fueron colocados en cartuchos de extracción. El proceso se llevó a cabo utilizando éter de petróleo como solvente, permitiendo la disolución de los lípidos presentes en la muestra. La extracción se mantuvo durante varias horas hasta garantizar la recuperación completa de los compuestos liposolubles. Posteriormente, el solvente fue evaporado y el residuo graso fue secado y pesado. El contenido de grasa se expresó como porcentaje de la materia seca. Este procedimiento es ampliamente utilizado en análisis bromatológicos por su eficiencia en la cuantificación de lípidos totales (AOAC International, 2019).

#### Determinación de cenizas (materia mineral, MI)

El contenido de cenizas se determinó mediante incineración de las muestras en una mufla Thermo Scientific a 600 °C. Para ello, se pesaron aproximadamente 2 g de muestra seca y molida en crisoles previamente calcinados y tarados. Las muestras fueron sometidas a combustión durante un periodo de 4 a 6 h hasta lograr la completa eliminación de la materia orgánica. Posteriormente, los crisoles fueron enfriados en un desecador para evitar la absorción de humedad antes del pesaje final. El contenido de cenizas se calculó como el residuo mineral remanente respecto al peso inicial de la muestra, expresándose en porcentaje. Este método permite estimar la fracción mineral total presente en los alimentos y es ampliamente reconocido en análisis de laboratorio (AOAC International, 2019).

#### Determinación de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)

La fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA) se determinaron mediante el sistema automatizado de ANKOM Technology (Macedon, NY, USA) siguiendo los métodos de Van et al. (1991). Para cada análisis, aproximadamente 0,5 g de muestra seca y molida se colocaron en bolsas filtrantes (F57, 25 µm) y se sometieron a digestión con soluciones detergente neutra o ácida bajo condiciones controladas de temperatura y agitación. La FDN retiene la fracción estructural de la pared celular (hemicelulosa, celulosa y lignina) tras la eliminación de componentes solubles, mientras que la FDA

permite cuantificar la celulosa y lignina luego de eliminar la hemicelulosa. Posteriormente, las bolsas se lavaron con agua caliente (y acetona en el caso de FDA), se secaron hasta peso constante y se pesaron, expresando los resultados como porcentaje de materia seca. Estos parámetros son fundamentales para evaluar la composición de la pared celular y la digestibilidad de los residuos, influyendo en la ingestión y degradabilidad ruminal (Van Soest et al., 1991).

#### Análisis estadístico

Una vez identificadas diferencias significativas entre los tratamientos mediante el análisis de varianza, se procedió a la aplicación de pruebas de comparación de medias (Tukey,  $p < 0,05$ ), con el fin de establecer las diferencias específicas entre los residuos agroindustriales evaluados. Este procedimiento permitió comparar de manera detallada la composición química de cada subproducto, facilitando la identificación de variaciones entre cáscara, pelusa, tusa y panca. Los resultados obtenidos fueron organizados en tablas para su adecuada presentación y análisis. El tratamiento estadístico aplicado permitió interpretar los datos de forma objetiva, asegurando que las diferencias observadas correspondan a variaciones propias de los materiales evaluados y no a efectos aleatorios.

### 3. Resultados

#### 3.1. Composición química de los subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*)

Los resultados de la composición química de los subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) evaluados (cáscara, pelusa, tusa y panca) evidenciaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos para todas las variables analizadas, tal como se presenta en la Tabla 1. En relación con el contenido de materia seca, se observó que el T3 (tusa de maíz) presentó el valor más elevado (98.72%), siendo significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a los tratamientos T1 (93.99%), T2 (91.47%) y T4 (94.59%), los cuales mostraron menores concentraciones y entre sí presentaron diferencias estadísticas, lo que sugiere una mayor estabilidad y menor contenido de humedad en la tusa de maíz en comparación con los demás subproductos evaluados. En cuanto al contenido de proteína cruda, se identificó una tendencia decreciente entre los tratamientos, donde el T1 (cáscara de mazorca de maíz) presentó el valor más alto (6.45%), seguido de T2 (5.56%), mientras que T3 (2.24%) y T4 (1.29%) registraron los valores más bajos, evidenciando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre todos los tratamientos, lo que indica una variabilidad importante en el aporte proteico de los subproductos, siendo la cáscara el material con mayor potencial proteico relativo dentro del conjunto evaluado. Respecto al contenido de grasa, los resultados mostraron que T3 (3.29%) y T2 (3.20%) presentaron los valores más altos ( $p < 0.05$ ), sin diferencias marcadas entre ellos en términos de superioridad relativa, mientras que T4 (1.52%) y T1 (1.47%) registraron

los valores más bajos, lo que sugiere que la pelusa y la tusa concentran una mayor fracción lipídica en comparación con la cáscara y la panca, posiblemente asociado a la composición estructural y a la presencia de compuestos cerosos en estos subproductos. En el caso del contenido de cenizas, el T4 (panca de maíz) presentó el valor más alto (6.33%), siendo significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a T2 (3.74%), T3 (2.33%) y T1 (2.15%), lo cual indica una mayor concentración de minerales en la panca, lo que podría estar relacionado con su mayor proporción de tejidos estructurales y acumulación de compuestos inorgánicos.

En relación con la fibra detergente neutra (FDN), el T1 (89.84%) y T3 (88.83%) presentaron los valores más elevados y estadísticamente similares entre sí ( $p < 0.05$ ), seguidos por T2 (76.37%), mientras que el T4 (69.15%) mostró el menor contenido de FDN, evidenciando diferencias significativas entre todos los tratamientos, lo que refleja variaciones importantes en la fracción fibrosa total, siendo la cáscara y la tusa los materiales con mayor proporción de pared celular. De manera complementaria, en la fibra detergente ácida (FDA), el T3 (44.88%) presentó el valor más alto ( $p < 0.05$ ), seguido por T1 (39.57%) y T4 (36.07%), mientras que T2 (21.41%) mostró el valor más bajo, lo que indica una menor proporción de lignocelulosa en la pelusa de maíz en comparación con los otros subproductos. En conjunto, estos resultados evidencian una marcada heterogeneidad en la composición química de los subproductos del maíz, lo cual sugiere diferencias importantes en su valor nutritivo potencial para la alimentación de rumiantes, particularmente en términos de proteína, fracciones fibrosas y contenido mineral, lo que podría influir directamente en su degradabilidad ruminal y en su utilización eficiente dentro de sistemas de alimentación animal.

### Tabla 1

*Composición química de residuos agroindustriales del maíz (Zea mays) (cáscara, pelusa, tusa y panca) utilizados en la alimentación de rumiantes*

	T1: cáscara de mazorca maíz	T2: pelusa de maíz	T3: tusa de maíz	T4: panca de maíz	EE	p-valor				
Materia seca	93.99	b	91.47	C	98.72	a	94.59	b	0.48	<0.0001
Proteína cruda	6.45	a	5.56	B	2.24	c	1.29	d	0.06	<0,0001
Grasa	1.47	b	3.20	A	3.29	a	1.52	b	0.04	<0,0001
Ceniza	2.15	c	3.74	B	2.33	c	6.33	a	0.11	<0.0001
FDN	89.84	c	76.37	B	88.83	c	69.15	a	0.64	<0.0001
FDA	39.57	c	21.41	A	44.88	d	36.07	b	0.66	<0.0001

*Nota:* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ) (Autores, 2026).

## 4. Discusión

La composición química de T1, T2, T3 y T4 evidenció una marcada heterogeneidad nutricional entre los subproductos del maíz, confirmando que su valor alimenticio depende de la fracción anatómica evaluada y de la proporción de compuestos

estructurales y no estructurales. En este estudio, T3 presentó el mayor contenido de materia seca (98.72%), seguido por T4 (94.59%) y T1 (93.99%), mientras que T2 registró el menor valor (91.47%), lo que sugiere una mayor estabilidad física y mejor aptitud para el almacenamiento en T3. Estos resultados superan los reportados por Fuentes et al. (2006), quienes evaluaron el análisis químico y la digestibilidad in vitro del rastrojo de maíz (*Zea mays L.*) y registraron 95.80% de materia seca en material sin tratamiento, lo que indica que algunos subproductos analizados en el presente estudio presentan una fracción seca aún más concentrada. En cuanto a la proteína cruda, T1 mostró el mayor valor (6.45%), seguido de T2 (5.56%), mientras que T3 (2.24%) y T4 (1.29%) evidenciaron una limitada contribución nitrogenada. Esta tendencia coincide con lo señalado por Campos-Granados & Arce-Vega (2016), quienes analizaron sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica, indicando que el maíz y sus derivados presentan contenidos de proteína moderados a bajos, por lo que su inclusión en sistemas de producción animal requiere la suplementación con fuentes proteicas complementarias.

En relación con el contenido de grasa, T2 (3.20%) y T3 (3.29%) superaron a T1 y T4, aportando una mayor fracción energética, mientras que T4 destacó por su contenido de cenizas (6.33%), lo que evidencia un mayor aporte mineral. Esta variabilidad entre subproductos concuerda con lo reportado por Espinoza et al. (2017), quienes evaluaron la composición química y la 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.*), destacando que la composición bromatológica varía significativamente en función del material vegetal incorporado. En conjunto, los resultados indican que T1 podría considerarse una mejor fuente relativa de proteína, T2 y T3 de energía lipídica, y T4 de minerales, por lo que su utilización en rumiantes debe responder a objetivos nutricionales específicos y no asumirse como equivalente entre subproductos.

Las fracciones fibrosas mostraron diferencias altamente relevantes desde el punto de vista nutricional, dado que la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) determinan en gran medida el consumo voluntario, la digestibilidad y el aprovechamiento ruminal. En el presente estudio, T1 (89.84%) y T3 (88.83%) presentaron los mayores contenidos de FDN, T2 mostró un valor intermedio (76.37%) y T4 registró el menor contenido (69.15%), lo que sugiere que este último posee una menor proporción de pared celular total y, por tanto, una posible ventaja en términos de ingestión y degradación. Esta interpretación es consistente con los planteamientos de Van Soest (1994), ampliamente referenciado en estudios de calidad de forrajes, y con lo descrito por Villa et al. (2010) quienes caracterizaron microbiológica y nutricionalmente el ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia, resaltando la influencia de las fracciones fibrosas sobre la calidad nutricional. Asimismo, Campos y Arce (2016) señalan que materiales con menor FDN tienden a favorecer un mejor aprovechamiento nutricional, especialmente cuando se busca sustituir parcialmente ingredientes energéticos convencionales.

Respecto a la FDA, T3 presentó el valor más alto (44.88%), seguido por T1 (39.57%), T4 (36.07%) y T2 (21.41%), lo que indica que T2 posee la menor proporción de celulosa ligada y lignina, y, por ende, una mejor digestibilidad potencial. Este comportamiento coincide con lo reportado por Espinoza et al. (2017), quienes analizaron la composición química y la cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto elefante con inclusión de cáscara de maracuyá, donde la reducción de FDA se asoció con una mejora en el aprovechamiento ruminal. De igual forma, Fuentes et al. (2006) demostraron, en su evaluación del análisis químico y digestibilidad in vitro del rastrojo de maíz, que la disminución de FDN y FDA mediante tratamientos mejora significativamente la digestibilidad del material fibroso. En consecuencia, T2 y T4 presentan una ventaja comparativa en términos de calidad de fibra, mientras que T1 y T3, debido a sus elevados contenidos de FDN y FDA, requerirían estrategias de suplementación o procesamiento para optimizar su utilización en la alimentación de rumiantes.

## 5. Conclusiones

Los subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*), como cáscara, pelusa, tusa y panca, presentan una marcada variabilidad en su composición química, lo que refleja diferencias importantes en su valor nutritivo y en su potencial de uso en la alimentación de rumiantes. Esta heterogeneidad confirma que su utilización no debe ser uniforme, sino ajustada a sus características bromatológicas específicas. La tusa de maíz (T3) se caracterizó por su elevado contenido de materia seca, lo que le otorga ventajas en términos de estabilidad y conservación; sin embargo, su bajo contenido de proteína cruda y altos niveles de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) limitan su valor nutricional, por lo que requiere suplementación.

En contraste, la cáscara de mazorca (T1) presentó el mayor contenido de proteína cruda, destacándose como una fuente relativa de nitrógeno, aunque su alta fracción fibrosa podría restringir su digestibilidad. La pelusa de maíz (T2) evidenció un perfil más equilibrado, con mayor contenido de grasa y menor FDA, lo que sugiere una mejor digestibilidad y mayor aporte energético. Por su parte, la panca de maíz (T4) presentó mayor contenido de cenizas y menor FDN, indicando un aporte mineral significativo y una posible mayor ingestibilidad. Estos subproductos deben ser utilizados de manera estratégica o combinada para optimizar el balance nutricional en dietas de rumiantes y mejorar la eficiencia productiva.

## CONFLICTO DE INTERESES

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

## Referencias Bibliográficas

- AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Campos-Granados, C. M., & Arce-Vega, J. (2016). Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 10(2), 91–113. <https://doi.org/10.15517/nat.v10i2.27327>
- Castellanos, S., Gamarra, J., Gómez, C., & Fernández, M. (2017). Amonificación de la panca de maíz (*Zea mays* L.) con tres niveles de urea para la mejora de su digestibilidad. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(1), 78–85. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i1.12946>
- Troncozo-Correa, J. B., Rodríguez-Intriago, C. K., Arteaga-Terán, A. G., Pillasagua-León, I. R., & Arechua-Pino, K. F. (2026). Potencial antifúngico de extractos vegetales contra *Puccinia sorghi* en el cultivo de *Zea mays*. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 17-31. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/177>
- Dias-da-Silva, A. A., Mascarenhas Ferreira, A., & Guedes, C. V. M. (1988). Effects of moisture level, treatment time and soya bean addition on the nutritive value of urea-treated maize stover. *Animal Feed Science and Technology*, 19(1–2), 67–77. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(88\)90055-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(88)90055-7)
- Espinoza Guerra, I., Montenegro Vivas, L., Sánchez Laiño, A., Romero Romero, M., Medina Villacís, M., García Martínez, A., & Barrera-Alvarez, A. (2017). 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>
- Fernandes, F. D., Guimarães Júnior, R., Vieira, E. A., Fialho, J. de F., & Malaquias, J. V. (2016). Produtividade e valor nutricional da parte aérea e de raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca de indústria. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000100001>
- Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña, R., Rodríguez, S. A., & Ortiz de la Rosa, B. (2001). Análisis químico y digestibilidad “in vitro” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 189–192. <https://doi.org/10.15517/am.v12i2.17232>
- Manterola B., H., & Cerda A., D. (2017, 21 de abril). *Uso de residuos agroindustriales en alimentación de rumiantes y métodos para mejorar su eficiencia de uso*. Engormix. [https://www.engormix.com/ganaderia/subproductos-nutricion-bovina/uso-residuos-agroindustriales-alimentacion\\_a31923/](https://www.engormix.com/ganaderia/subproductos-nutricion-bovina/uso-residuos-agroindustriales-alimentacion_a31923/)
- Ortiz-Tovar, G., López-Miranda, J., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A., Favela-Torres, E., & Soto-Cruz, O. (2007). Effect of solid substrate fermentation on the nutritional quality of agro-industrial residues. *Interciencia*, 32(5), 339–343. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000500011](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000500011)
- Ramírez, G. R., Aguilera-González, J. C., García-Díaz, G., & Núñez-González, A. M. (2007). Effect of urea treatment on chemical composition and digestion of

- Cenchrus ciliaris* and *Cynodon dactylon* hays and *Zea mays* residues. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(8), 1036–1041. <https://makhillpublications.co/view-single-article?doi=javaa.2007.1036.1041>
- Sánchez Laiño, A., Torres Navarrete, E., Estupiñán Véliz, K., Vargas Burgos, J. C., Sánchez Torres, J., & Sánchez Vélez, N. (2015). Valoración nutritiva del rastrojo de *Zea mays* y *Oryza sativa* para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(3), 235–249. <https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/54>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, 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)
- Villa, A. F., Meléndez, A. P., Carulla, J. E., Pabón, M. L., & Cárdenas, E. A. (2010). Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 65–77. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324531>