

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Caracterización de harinas derivadas de la parte aérea de dos variedades de yuca y su potencial aprovechamiento en alimentación animal

Characterization of the Flours Derived from the Aerial part of Two Varieties of Cassava and Their Potential Use as Animal Feed

 Yoseth Blanquiceth Tamara ¹  Keiner Pérez Salgado ^{1*}
 María José Tavera-Quiroz ¹  Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza ¹

¹ Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

*Autor de correspondencia: Keiner Pérez Salgado. Carrera 28 #5-267, Universidad de Sucre, Puerta Roja, Sincelejo, Sucre.
keiner.perez@unisucra.edu.co

Recibido: 11 de noviembre 2023
Aprobado: 01 de diciembre de 2024
Publicado: 17 de enero de 2025

Editor temático: Lyanis Mesa Garriga,
(Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Mosquera, Colombia.

Para citar este artículo: Blanquiceth Tamara, Y., Pérez Salgado, K., Tavera-Quiroz, M. J., & Salcedo Mendoza, J. G. (2025). Caracterización de harinas derivadas de la parte aérea de dos variedades de yuca y su potencial aprovechamiento en alimentación animal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 26(1), e3608.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol26_num1_art:3608

Resumen: en un contexto de creciente interés por la optimización de recursos agrícolas para la alimentación animal, se realizó un estudio sobre las harinas derivadas de la parte aérea de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas en Sucre, Colombia. A pesar de la abundancia de estudios sobre el uso del tubérculo de yuca en la nutrición animal, existe una brecha en la investigación sobre el aprovechamiento nutricional de sus subproductos vegetales, especialmente en lo que respecta a las harinas obtenidas de sus hojas, peciolo y tallo. La investigación se enfocó en la caracterización proximal y elemental de estas harinas (*Manihot esculenta* Crantz), siguiendo la norma internacional NREL TP-510-42620 con algunas modificaciones. Ambos análisis se realizaron de acuerdo con lo señalado en las normas AOAC International y Latimer de 2012, para determinar las posibles rutas de aprovechamiento de estos residuos, que se generan principalmente en la etapa de cosecha del tubérculo. Los resultados mostraron que las harinas de hojas, peciolo y tallo de las dos variedades podrían ser empleadas como suplementos e ingredientes para productos utilizados en la alimentación de rumiantes, debido a que poseen niveles de proteína, fibra, grasa, ceniza y minerales esenciales más altos en comparación con el forraje fresco sin modificar y comparables con harinas de soya, maíz y trigo, utilizadas comúnmente en alimentación animal, por lo que se sugiere que esta composición proximal se asemeja a suplementos con cualidades nutricionales que se emplean para corregir y satisfacer los requerimientos alimenticios de estos animales en diferentes épocas del año, especialmente en temporadas de sequía.

Palabras clave: valor nutritivo, nutrición animal, mejoramiento nutricional, suplementos, peciolo.

Abstract: In a context of growing interest in optimizing agricultural resources for animal feed, a study was conducted on flours derived from the aerial part of two varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in Sucre, Colombia. Despite the abundance of studies on the use of cassava tuber in animal nutrition, there is a gap in research on the nutritional utilization of its vegetable by-products, especially about the meals obtained from its leaves, petiole, and stem. The research focused on the proximal and elemental characterization of these flours (*Manihot esculenta* Crantz) following the international standard NREL TP-510-42620 with some modifications. Both analyses were carried out according to AOAC, 2012 standards to determine the possible routes of utilization of these residues, which are mostly generated at the tuber harvesting stage. The results showed that the meals could be used as supplements and ingredients for products used in ruminant feed, because they have higher levels of protein, fiber, fat, ash, and essential minerals compared to unmodified fresh forage and comparable to soybean, corn, and wheat meal commonly used in animal feed, suggesting that this proximal composition resembles supplements with nutritional qualities that are used to correct and meet the nutritional requirements of these animals at different times of the year, especially in drought seasons.

Keywords: Nutritional value, animal nutrition, nutritional improvement, supplements.



Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una dicotiledónea que pertenece a la familia Euphorbiaceae (Cantero Guevara & Pardo Plaza, 2022), cuyas raíces tuberosas ricas en amiláceos se utilizan en la alimentación humana y animal, y como materia prima para la elaboración de productos industrializados en distintos escenarios socioeconómicos de países del mundo, tales como Nigeria, Tailandia, Indonesia, Brasil y Colombia (Duarte Fernandes et al., 2020; Rinaldi et al., 2019). Esta especie de planta se caracteriza por su amplio espectro de dispersión geográfica, alto grado de tolerancia a los periodos de bajas precipitaciones y la capacidad de crecer y proliferar en suelos poco fértiles y ácidos (Salles et al., 2016). El follaje de yuca es empleado en la alimentación animal, esto se debe a que contiene, en promedio, un 21 % de proteína, de acuerdo con la variedad cultivada, el estado de desarrollo, la fertilidad del suelo y las condiciones agroclimáticas donde se encuentren los cultivares (Duarte Fernandes et al., 2020). Además, el gran número de hojas de la yuca la convierten en la candidata perfecta para el forraje de ovinos (Sudarman et al., 2016), caprinos (Pereira et al., 2017) y rumiantes (Duarte Fernandes et al., 2016), en las épocas del año donde se limita el forraje de gramíneas (Rodríguez Henao et al., 2021). La parte aérea de la yuca funciona como una alternativa eficiente y viable de alimentación, que suple la dieta de los animales.

En Colombia, especialmente en los departamentos de la región Caribe, los residuos agrícolas (como el follaje de esta planta) son utilizados como material de abono verde para el ciclo de nutrientes del suelo y empleado como heno y forraje para rumiantes, por sus altos valores en materia seca y nutrientes, que satisfacen los requerimientos alimenticios del ganado vacuno y favorecen la ganancia de peso vivo y producción de leche (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020; Rivero Espitia et al., 2015). Las dos variedades de yuca, caracterizadas en esta investigación, conforman dos de las nueve variedades más cultivadas en las cinco subregiones del departamento de Sucre (Blanquiceth Támara et al., 2023), siendo la variedad de yuca dulce (MCol 2215) la segunda, con un mayor rendimiento de raíces frescas (33,5 t/h) y un rendimiento de follaje de 126-234 hojas/planta, y la variedad amarga, Corpoica Tai (MTAI 8), es la quinta variedad, con un rendimiento medio de raíces frescas de 28,8 t/ha, con una producción de follaje de 143-185 hojas/planta (Salcedo Mendoza & Contreras Lozano, 2017; Suárez et al. 2022; Blanquiceth Támara et al., 2023); sin embargo, a pesar de la amplia utilización del follaje de yuca, hay una falta de estudios sistemáticos sobre la variabilidad nutricional específica de diferentes variedades y su potencial como suplemento para dietas animales en diversas condiciones agroclimáticas.

Al tener en cuenta los requerimientos nutricionales que aporta la parte aérea de las variedades de yuca, este trabajo fue realizado con el objetivo de analizar la composición de dos variedades de yuca cultivadas en Colombia, específicamente en el departamento de Sucre, con el fin de proponer perspectivas del uso de la parte aérea de la yuca para la producción de alimentos que pudieran llegar a satisfacer la demanda de nutrientes para animales.

Materiales y métodos

La materia prima utilizada para realizar las determinaciones fue el material vegetal recolectado y conformado por hojas, tallos y peciolo de yuca, obtenido de cultivos de yuca de las variedades Venezolana (MCol 2215) y Corpoica Tai (MTAI 8). El material vegetal de la yuca dulce Venezolana (MCol 2215) fue recolectado el día 24 de octubre de 2022, en la finca Los Peña, ubicada en el barrio Los Laureles del municipio de Sincelejo, sobre los 9° 18' 47.0" N 75° 24' 53.1" W, perteneciente a la subregión Montes de María, donde predomina el bosque seco tropical y persisten temperaturas promedio de 26,8 °C y rangos de precipitación entre 1000 y 1200 mm anuales (Díaz et al., 2022). Las muestras de la variedad de yuca amarga Corpoica Tai (MTAI 8) fueron recolectadas el día 19 de noviembre de 2022 en el corregimiento de Albania, del municipio de San Juan de Betulia, sobre los 9° 13' 16.2" N 75° 13' 44.3" W, donde persisten las sabanas antrópicas de lomerío y montaña, caracterizadas por tener pisos térmicos con temperatura promedio anual de 27,2 °C y una precipitación que oscila entre 990 y 1274 mm anuales (Díaz et al., 2022). Ambos cultivos se encontraban en su etapa de senescencia.

Pretratamiento del material vegetal

Se partió de un diseño experimental en bloques completamente al azar con dos repeticiones, donde cada sitio se estableció como un bloque para la caracterización de la parte aérea de cada variedad de yuca. En cada una de estas localidades, se fijaron los cultivos con un tamaño de unidad experimental de 625 m², para obtener 10 plantas por unidad experimental. De cada planta se retiraron las hojas, el tallo y el peciolo de la hoja, descartando toda la parte deteriorada o con presencia de microorganismos, luego se redujeron de tamaño a través de un picado manual y se almacenaron en bolsas herméticas bajo condiciones de refrigeración a 4 °C (figura 1). De esta forma, se obtuvieron 1,13 kg de hoja, 0,45 kg de peciolo y 5,22 kg de tallo de la variedad MCol 2215 y 2 kg de hoja, 0,33 kg de peciolo y 4,34 kg de tallo de la variedad MTAI 8.

Reducción de tamaño de las muestras y secado

Las muestras separadas se acondicionaron conforme a lo establecido en la norma internacional NREL TP-510-42620 (*Preparation of samples for compositional analysis*), con algunas modificaciones. Inicialmente, la preparación de las muestras consistió en la reducción manual de tamaño de cada muestra (tallo, peciolo y hoja), seguido de un secado a 60 °C en un horno de convección forzada (Binder, ED56, Alemania) durante 48 horas. Posteriormente, se realizó la molienda utilizando un macro molino Willey R-TE 650/1 con una malla número 100 (Tecnal, Piracicaba, Brasil), que permitió obtener harinas de hoja, peciolo y tallo de yuca, con un tamaño de partícula de 0,149 mm de cada variedad.

Determinación de la composición fisicoquímica de las harinas de hoja, peciolo y tallo de yuca

La caracterización fisicoquímica de las harinas de hoja, peciolo y tallo de yuca fue realizada siguiendo métodos oficiales de la Asociación Internacional de Químicos Analíticos (AOAC International & Latimer, 2012). El contenido de cenizas se determinó por medio de la calcinación

a 250 °C durante 45 minutos y luego a 550 °C en una mufla por cuatro horas, según la norma AOAC 7009/84. La proteína bruta fue obtenida por el método Kjeldahl 2001.11, usando el factor 6,25 según la AOAC 978.04. Luego, la fibra bruta se obtuvo por el método AOAC 978,10, aplicándose un determinador de fibra modelo TE-149-127V. La grasa se determinó por el método AOAC 945,16, en un sistema de determinación de grasa TE-044-8/50 y el uso de dedales de extracción de celulosa Soxhlet. Finalmente, los carbohidratos totales se calcularon teóricamente por diferencia, mediante la ecuación: $100 - (g \text{ proteína} + g \text{ grasa} + g \text{ cenizas} + g \text{ fibra})$, según Anchundia et al. (2019).



Figura 1. a. Variedad Venezolana (MCol 2215); b. Variedad Corpoica Tai (MTAI 8); c. Proceso de picado y almacenamiento de hojas, tallo y peciolo.

Fuente: Elaboración propia

Determinación de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y oxígeno (O) a través de un análisis elemental

El análisis elemental se realizó utilizando un analizador elemental VELP Scientifica EMA 502, con el fin de determinar cuantitativamente la composición elemental (C, H, N, azufre (S) y O)

de las diversas harinas obtenidas de los residuos de cosecha, de las dos variedades de estudio, y así conocer cuál tenía un mejor perfil de minerales esenciales.

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como el promedio de tres repeticiones de datos y se analizaron a través de un análisis de varianza y test de Tukey con $P < 0,05$, tomando como factores el tipo de harina y la variedad de yuca utilizada, y como variables de respuestas, el contenido de proteína, cenizas, fibra, grasa y carbohidratos totales. En este análisis se usó el *software* Statgraphics (XVI, Statgraphics Technologies. Inc., Estados Unidos). Del mismo modo, para el análisis elemental se realizó un análisis de varianza LSD para datos duplicados de los elementos C, H, N y O, que eran variables de respuesta en función del tipo de harina.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la composición proximal de las harinas de hoja, peciolo y tallo de las dos variedades de yuca se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización proximal de harinas

Composición fisicoquímica	Variedad	Harinas		
		Hoja	Peciolo	Tallo
Cenizas (%)	MCol 2215	7,5 ± 0,8 ^{aA}	11,2 ± 0,1 ^{aC}	3,8 ± 0,2 ^{aA}
	MTAI 8	6,0 ± 0,1 ^{aA}	11,0 ± 1,0 ^{aB}	7,8 ± 0,4 ^{bA}
Proteínas (%)	MCol 2215	25 ± 1,4 ^{aB}	8,0 ± 1,2 ^{aA}	5,8 ± 0,2 ^{aA}
	MTAI 8	19 ± 1,1 ^{bB}	7,1 ± 0,2 ^{aA}	6,8 ± 0,2 ^{bA}
Grasa (%)	MCol 2215	6,2 ± 0,1 ^{aC}	2,6 ± 0,1 ^{aB}	0,2 ± 0,1 ^{aA}
	MTAI 8	5,3 ± 0,4 ^{bC}	3,0 ± 0,1 ^{aB}	0,4 ± 0,1 ^{aA}
Fibra (%)	MCol 2215	19 ± 0,3 ^{aC}	48 ± 0,3 ^{aB}	64 ± 0,5 ^{aA}
	MTAI 8	15 ± 3,0 ^{aC}	32 ± 2,3 ^{bB}	37 ± 0,3 ^{bA}
Carbohidratos totales (%)	MCol 2215	42,3 ± 1,5 ^{aC}	51,6 ± 1,2 ^{aB}	26,2 ± 0,7 ^{aA}
	MTAI 8	54,7 ± 2,7 ^{bA}	46,9 ± 2,8 ^{bB}	48 ± 0,5 ^{bB}

Notas aclaratorias: en la tabla se expresa el porcentaje de ceniza, proteína, grasa, fibra y carbohidratos totales de las harinas de hoja, peciolo y tallo de las variedades de yuca de MCol 2215 y MTAI 8. Los valores indican el promedio de los datos obtenidos para cada harina de cada muestra en base seca y la desviación estándar de estos promedios. *Las letras minúsculas entre filas indican diferencias estadísticamente significativas entre las harinas de las dos variedades de yuca analizadas para cada factor (hoja, peciolo y tallo), con un nivel del 95,0 % de confianza, conforme a la prueba Tukey (harinas entre variedades) y las letras mayúsculas entre columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre las harinas de la misma variedad, con un nivel del 95,0 % de confianza, conforme a la prueba Tukey (harinas de la misma variedad).

Fuente: Elaboración propia

Análisis del contenido de cenizas

En relación con el contenido de cenizas de las hojas, no se observaron diferencias significativas entre las dos variedades de yuca analizadas. El contenido de cenizas de las harinas de hojas mostró una tendencia similar a lo informado por Idris et al. (2019), da Silva Santos et al. (2020) y Suárez et al. (2022).

En cuanto al peciolo, el porcentaje de cenizas para ambas variedades fue de alrededor un 11 %, siendo este el valor más alto entre todas las partes de las plantas de yuca de ambas variedades analizadas. Los valores alcanzados para esta región de la lámina foliar fueron mayores a lo reportado por Idris et al. (2019). Adicionalmente, se encontró que existen diferencias significativas entre el contenido de cenizas del tallo entre ambas variedades de yuca, siendo el valor de la variedad MTAI 8 mayor, con un 7,8 % de cenizas, en comparación con el valor de 3,8 %, que presentó la variedad MCol 2215. El porcentaje de ceniza del tallo reportado para la variedad amarga MTAI 8 fue más alto que el hallado por Soto Veiga et al. (2016), para el vástago de las variedades brasileñas IAC 90, IAC 14 y 48/48, las cuales fueron analizadas en tres etapas diferentes de desarrollo fenológico.

Al considerar el contenido de ceniza entre las diferentes partes aéreas analizadas de la planta de yuca (hoja, peciolo y el tallo), se puede observar que en ambas variedades hubo diferencias significativas, siendo el peciolo la biomasa con mayor contenido de cenizas, lo que coincidió con lo reportado por Pratama et al. (2023), quienes atribuyeron esto a una concentración de elementos minerales como: hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P), a diferencia del tallo y la raíz de la planta que concentraron reservas de P, K, Ca y Mg; no obstante, estos mismos autores reportaron que los altos valores de ceniza en la hoja y el tallo de la variedad de yuca amarga se podrían relacionar con mayores contenidos de minerales esenciales como son C, H, O, N y S.

En la variedad MCol 2215, el contenido de ceniza de la hoja resultó ser mayor al contenido del tallo, lo cual se relacionó con la mayor presencia de contenido de nitrógeno en esta región vegetal, así como se evidenció en el análisis elemental de las harinas de estas muestras de la planta de yuca (tabla 2). Es de precisar que las concentraciones de nitrógeno en las diversas regiones vegetales variaron según el tipo de órgano de la planta y etapa de desarrollo fisiológico, siendo alto en las láminas foliares antes de la etapa de senescencia, y bajos en el tallo y las raíces antes de los diez meses de cultivo (Obrador Olán et al., 2020).

El contenido de minerales en las partes de las plantas de yuca también dependió de los factores agroclimáticos, las propiedades del suelo y la genética de cada variedad. Así mismo, la cantidad de ceniza estuvo ligada a la edad fisiológica de la planta que condicionó la especificidad de absorción de sustancias y asimilados orgánicos (Obrador Olán et al., 2020). La diferencia entre el contenido de ceniza presente en la materia seca del tallo en ambas variedades pudo estar asociada con las diferencias en el periodo de cosecha de las variedades de yuca analizadas y la edad fisiológica de las plantas en estos cultivos, puesto que el contenido de minerales en la materia seca presente en las regiones vegetales disminuye cuanto mayor sea el tiempo de corte

de las plantas (Obrador Olán et al., 2020; Gil Montoya, 2019; Moreira et al., 2017), lo cual se evidenció en este trabajo, donde la variedad MCol 2215 fue cosechada en un estado avanzado de desarrollo (diez meses de siembra) mientras que las plantas de la variedad MTAI 8 fueron recolectadas después de nueve meses de siembra.

Tabla 2. Caracterización elemental de harinas

Composición elemental	Harina de hoja		Harina de peciolo		Harina de tallo	
	MTAI 8	MCol 2215	MTAI 8	MCol 2215	MTAI 8	MCol 2215
Nitrógeno (N)	0,0376 ^A	0,0415 ^A	0,0137 ^B	0,0136 ^B	0,0125 ^B	0,0118 ^B
Carbono (C)	0,5009 ^A	0,4953 ^A	0,4039 ^B	0,4373 ^B	0,4221 ^B	0,4537 ^A
Hidrógeno (H)	0,0640 ^A	0,0664 ^B	0,0577 ^B	0,0605 ^B	0,0607 ^B	0,0631 ^B
Oxígeno (O)	0,4217 ^A	0,4513 ^A	0,5401 ^A	0,5664 ^A	0,5375 ^A	0,5389 ^A

Notas aclaratorias: concentración de nitrógeno (N), carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) presente en las harinas de hoja, peciolo y tallo de las variedades de yuca de MCol 2215 y MTAI 8. Los valores numéricos indican el promedio de los datos duplicados, obtenidos para cada harina de cada muestra. Las letras mayúsculas entre las columnas indican las diferencias estadísticamente significativas entre el contenido de minerales esenciales C, H, O y N de las dos variedades de yuca analizadas para cada factor, con un nivel del 95,0 % de confianza, conforme a la prueba LSD.

Fuente: Elaboración propia

El contenido de minerales en las partes de las plantas de yuca también dependió de los factores agroclimáticos, las propiedades del suelo y la genética de cada variedad. Así mismo, la cantidad de ceniza estuvo ligada a la edad fisiológica de la planta que condicionó la especificidad de absorción de sustancias y asimilados orgánicos (Obrador Olán et al., 2020). La diferencia entre el contenido de ceniza presente en la materia seca del tallo en ambas variedades pudo estar asociada con las diferencias en el periodo de cosecha de las variedades de yuca analizadas y la edad fisiológica de las plantas en estos cultivos, puesto que el contenido de minerales en la materia seca presente en las regiones vegetales disminuye cuanto mayor sea el tiempo de corte de las plantas (Obrador Olán et al., 2020; Gil Montoya, 2019; Moreira et al., 2017), lo cual se evidenció en este trabajo, donde la variedad MCol 2215 fue cosechada en un estado avanzado de desarrollo (diez meses de siembra) mientras que las plantas de la variedad MTAI 8 fueron recolectadas después de nueve meses de siembra.

Es de resaltar que la composición proximal mostró para el peciolo de ambas variedades el mejor contenido de ceniza, respecto a las demás partes de la planta. Estos valores se encontraron dentro del rango de 10 % al 16 % de ceniza que se requiere en la composición nutricional de balanceados comerciales tipo extruidos, bloques multnutricionales y peletizados para rumiantes, los cuales son biofortificados con carbonato de calcio, fosfato bicálcico o tricálcico, yoduro de potasio, sulfatos de hierro, óxidos de zinc y magnesio, entre otros suplementos minerales de nutrición

animal, para lograr los estándares de ceniza adecuados para la asimilación de minerales por parte del ganado vacuno (Bayata, 2019; Gil Llanos, 2017). Los valores de ceniza del peciolo y la hoja presentaron un contenido deseable para la preparación de alimentos tipo *pellets* y crombelizados para bovinos (Otache et al., 2017).

Análisis del contenido de proteína

Respecto al porcentaje de proteína de la hoja, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de ambas variedades (tabla 1), obteniéndose un valor promedio de proteína más alto para la harina de hoja yuca de la variedad dulce (25 %) (MCol 2215), en comparación con el valor promedio de proteína perteneciente a la harina de hoja de la variedad amarga (MTAI 8) (19 %). El contenido proteico de la harina de hojas de ambas variedades estudiadas está dentro de los valores referenciados por Moreira et al. (2017) y Salles et al. (2016), quienes aludieron que, para las hojas de yuca, el contenido de proteína cruda oscila entre un 17 % y un 30 %, dependiendo de los factores agroclimáticos, las capacidades inherentes de acumulación de proteínas de las diferentes partes de la planta, el sistema de manejo de los cultivares, el tipo de rendimiento para el que se utilizan las variedades y la genética de las mismas. El contenido de proteína de la harina de hoja de yuca MCol 2215 es comparable con los valores encontrados por Suárez et al. (2022), quienes reportaron un contenido proteico del 26,7 % para harinas de hoja de la misma variedad y que fueron consistentes con los valores informados por Leguizamón et al. (2021), de un 25,9 % para la variedad de yuca Mico (EC-106) y un 25,3 % para la variedad Pomberi (EC-110), ambas cultivadas en la provincia de Formosa (Argentina). Estos valores, además, resultaron mayores a lo informado por Binti Idris et al. (2021) para la variedad Rayong 90 o yuca blanca cultivada en Malasia. Según Leguizamón et al. (2021), la alta concentración de proteína en la harina de la hoja de yuca MCol 2215 podría deberse posiblemente a un elevado número de aminoácidos esenciales, especialmente a una alta concentración de lisina, prolina y leucina.

Así mismo, el valor proteico alcanzado para la harina de hoja de MTAI 8 coincidió con el obtenido por Leguizamón et al. (2021) para la variedad de yuca Campeona (EC-111), que exhibió un 19,9 %, o con los resultados de Latif y Müller (2015), de 17,7 %, aunque menores a los alcanzados por Idris et al. (2019) para clones de yuca cultivadas en Malasia, de 23,87 %.

En cuanto al contenido de proteína del peciolo, se pudo apreciar que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades estudiadas. Este valor se encontró en un 7,1 % para yuca MTAI y un 8,0 % para yuca MCol 2215 (tabla 1), donde dichos valores fueron cercanos al 6,3 % del contenido proteico reportado por Binti Idris et al. (2021) para el peciolo de la variedad Rayong 90; no obstante, se debe resaltar que los cultivares utilizados para este estudio tuvieron una utilidad para la producción de raíces, por lo que el rendimiento del contenido proteico de la materia seca de las hojas y peciolo tendió a ser menor, esto se debió a que, luego de los 120 días después de la siembra, las hojas experimentaron un estado que conllevó al deterioro estructural de las láminas foliares y la reducción de aquellos nutrientes potencialmente digeribles por los animales y el hombre (Chaiareekitwat et al., 2022; Ku-Vera et al., 2020). Con base en lo anterior, resultó necesario evaluar el perfil de aminoácidos de las hojas de ambas variedades en un mismo estado de desarrollo.

En cuanto al contenido proteico del tallo, se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de ambas variedades, siendo la harina de tallo de la variedad MTAI 8 la que presentó el valor más alto (6,8 %), seguido de la variedad MCol 2215 (5,8 %). Pese a ser este el material con mayor aporte de materia seca, su aporte proteico no presentó diferencias estadísticamente significativas con la proteína del peciolo, debido a su contenido dominante de almidón, por ende, se convirtió en una parte poco nutritiva para alimentar animales (Salles et al., 2016).

Por su parte, el análisis proximal mostró que entre las medias del porcentaje de proteína de las harinas de peciolo y tallo no hubo diferencias estadísticas en cada variedad, sin embargo, el contenido de las hojas sí varió estadísticamente en estas dos regiones vegetales, tanto en las variedades de yuca MCol 2215 como en la MTAI 8 (tabla 1). El contenido de proteína, determinado en las hojas de las dos variedades de yuca (19 % para la yuca MCol 2215 y 25 % para la MTAI 8), permitió identificar esta biomasa vegetal como la fuente de aminoácidos más nutritiva y potencial que puede ser empleada como un producto tipo harina para alimentación animal y que podría sustituir, en gran medida, el uso de harinas de trigo y soya por su gran valor energético y por la posible presencia de importantes aminoácidos, como la lisina, que se encuentran muy escasamente en estos cereales (Idris et al., 2019; Salles et al., 2016).

El alto valor proteico y el alto contenido de nitrógeno disponible que ofrece la harina de la hoja de la yuca y que se evidencia en el análisis proximal y elemental (tablas 1 y 2), se puede comparar con el aporte proteico de la composición garantizada de peletizados y bloques multinutricionales, generados por la industria de alimentos balanceados para rumiantes. Estos animales son suplementados con harinas vegetales de maíz, trigo, soya y harina de tubérculo de yuca, lo cual permite alcanzar una formulación nutricional de hasta 8-18 % de proteína soluble, sin embargo, conviene subrayar que las harinas integrales (como la de soya procesada) contribuyen con un 38 % de proteína, en cambio, la harina de trigo ofrece un porcentaje de proteína del 18,80 %, siendo la primera la aportante de aminoácidos esenciales como metionina (0,51 %), lisina (2,31 %), treonina (1,43 %) y triptófano (0,52 %), y ácidos grasos esenciales como lecitina y ácido linoleico. En la dieta animal, la harina de maíz comercial ofrece un 8,70 % de proteína y la harina de tubérculo de yuca un 2,8 %, siendo estos aportes proteicos de ambas harinas menores al de la hoja de yuca (Campos-Granados & Arce-Vega, 2016).

Análisis del contenido de grasa

El análisis estadístico aplicado al contenido de grasa arrojó diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades de harina de hoja de yuca, encontrando un mayor contenido de grasa en la variedad MCol 2215 (6,2 %), en comparación con la variedad MTAI 8 (5,3 %). El contenido de grasa de ambas harinas de hoja de yuca fue mayor al valor de 2,28 %, reportado por Pereira et al. (2016) para hojas de yuca de la variedad brasileña “fécula branca” y mayor al valor de 2,13 %, reportado para hojas de la variedad Litbang UK-2, analizadas por Hawashi et al. (2019).

En cuanto al contenido de grasa de las harinas provenientes del peciolo y el tallo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades analizadas, reportándose valores para el peciolo del 3,0 % (MTAI 8) y el 2,6 % (MCol 2215); y para el tallo

del 0,4 % (MTAI 8) y el 0,2 % (MCol 2215). Así, los valores de grasa del peciolo discreparon de los encontrados por Binti Idris et al. (2021), quienes reportaron un valor del 0,99 %. Por otra parte, el contenido de grasa de las harinas de tallo de yuca se asemejó al hallado por Idris et al. (2019), quienes encontraron valores del 0,75 %, aproximadamente.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre las harinas de hoja, peciolo y tallo y un mayor contenido de grasa en las hojas de las dos variedades de yuca, lo que concordó con lo dicho por autores como Idris et al. (2019), Binti Idris et al. (2021) y Jamil y Bujang (2016), quienes encontraron también una elevada cantidad de grasa en la hoja de yuca en comparación con otras partes de la planta.

Por su parte, el tallo de yuca presentó los valores más bajos de grasa, y este menor contenido de grasa en las harinas del tallo podría favorecer una mayor estabilidad al almacenamiento, a la hora de elaborar alimentos para animales (Suárez et al., 2022). El contenido de grasa en los ingredientes y alimentos para animales es un parámetro fundamental de calidad, porque está relacionado con la durabilidad en el almacenamiento y el aporte energético en la dieta de los animales, de forma que los elevados contenidos de grasa en harinas estuvieron relacionados con una mayor sensibilidad en la oxidación de grasas y descomposición de materiales.

Las harinas de hoja de yuca de ambas variedades presentaron altos valores de contenido de grasa, lo que las convierte en una excelente fuente energética y pueden llegar a reemplazar harinas como la de maíz y salvadillo de arroz (Campos-Granados & Arce-Vega, 2016).

Análisis del contenido de fibra

En este trabajo, la fibra cruda determinada correspondió a la cantidad de carbohidratos compuestos por nutrientes no digeribles como celulosa, lignina y fibras solubles. Los resultados encontrados para fibra bruta de las harinas hojas de ambas variedades no mostraron diferencias estadísticamente significativas, presentando valores entre 15-19 %, que fueron cercanos al 21,41 % de fibra que posee la harina de hoja de la variedad Rayong 90 (Idris et al., 2019). En concreto, los valores de fibra de las hojas de ambas variedades estuvieron por debajo de los reportados por Salles et al. (2016), para la parte aérea de los clones de yuca IAC 14, IAC 15 y IAC 90.

En cuanto al contenido de fibra en el peciolo de ambas variedades, se observaron diferencias estadísticamente significativas en lo que respecta a las medias del porcentaje de fibra neutra, donde la variedad MTAI 8 resultó tener valores un 33 % más bajos que la variedad MCol 2215, la cual presentó un contenido del 48 %, valor que es mayor al contenido de la fibra neutra del peciolo de la variedad Rayong 90, informado por otros autores (Binti Idris et al., 2021).

La fibra bruta encontrada en la harina extraída de los tallos también mostró diferencias estadísticamente significativas entre las variedades estudiadas, obteniéndose un mayor contenido de fibra para la harina de yuca de la variedad MCol 2215, con un porcentaje del 64 %, en comparación con el 37 % obtenido para la variedad MTAI 8. Este último resultado se asemejó al presentado por Idris et al. (2019), con un valor del 39,51 %, mientras que el alto contenido de fibra encontrado para la variedad MCol 2215 pudo ser causado por una mayor presencia de

tejido vascularizado transportador de producto fotosintético, debido al mayor desarrollo fisiológico de la planta, en comparación con la MTAI 8.

De acuerdo con el contenido de fibra bruta de cada parte de la planta, se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las regiones de las diferentes variedades de yuca. Los resultados mostraron que el mayor contenido de fibra bruta se observó en el tallo y el peciolo de la variedad MCol 2215, lo que sugiere que, si se requiere un alimento rico en fibra, es recomendable la utilización de esta variedad. El comportamiento de los valores de fibra que se reportaron en esta investigación fueron consistentes con los de Binti Idris et al. (2021) para la hoja, el peciolo y el tallo joven de yuca, y es preciso aclarar que la harina de tallo de ambas variedades puede ser aprovechada para la creación de suplementos ruminales como: como tortas prensadas y *pellets*, puesto que en una base seca pueden ofrecer, en una ración, cantidades cercanas y superiores al 16,00 % de fibra, lo cual es ideal para vacas en estado de gestación, ganado de doble propósito y vacas productoras de leche (Damborg et al., 2018; Santamaría-Fernández & Lübeck, 2020). Esta alternativa de aprovechamiento del tallo podría conllevar a la inclusión de esta parte de la planta en la dieta de rumiantes que rechazan los tallos de yuca por su dureza (Damborg et al., 2018); no obstante, la caracterización proximal de las tres harinas de la parte aérea de las dos variedades de yuca procesadas tiene un limitante de alto contenido de fibra, en comparación con las otras harinas comerciales, lo cual condiciona a estas harinas como un suplemento priorizado para animales ovinos, caprinos y ganado vacuno, debido a que están capacitados con una flora microbiana funcional en el rumen y un ciego pilórico que les permite la asimilación de alimentos de tipo fibrosos y, por ende, tienen una mejor conversión alimenticia (Suárez Paternina et al., 2022). El elevado contenido de fibra de estas harinas las convierte en ingredientes propicios para elaborar alimentos tales como henos, piensos y ensilados, pues se les podría asociar con el mejoramiento del desarrollo y el entorno de fermentación del rumen (Xiao et al., 2023).

El contenido de fibra de las harinas de hoja de yuca de ambas variedades es similar al de harinas de pulpas cítricas y harinas de coquito, muy utilizadas en dietas para ganado lechero para mejorar el rendimiento y la calidad de la leche. Por otro lado, las harinas de peciolo y tallo de ambas variedades son similares a harinas como la de salvadillo de trigo y cascarilla de soya, que se emplean como alimento de ganado vacuno. Según Huang et al. (2022) y Xiao et al. (2023), este tipo de harinas podrían ser una buena opción para sustituir el maíz, debido a su alto contenido de fibra digestible, lo cual se reflejaría en una buena concentración energética de este material.

Análisis del contenido de carbohidratos totales

Los valores del contenido de carbohidratos encontrados para la harina de hoja de yuca MTAI 8 y MCol 2215 fueron 54,7 % y 42,3 %, respectivamente. Para las harinas de peciolo de ambas variedades, los valores encontrados fueron de 51,6 % para la harina MCol 2215 y de 46,9 % para la harina de MTAI 8. En cuanto a las harinas de tallo, el contenido de carbohidratos fue de 26,2 % (MTAI 8) y 48 % (MCol 2215). En todos los casos, se presentaron diferencias significativas entre las variedades analizadas.

Estos resultados permitieron inferir que las harinas de hoja de yuca y tallo de la variedad MTAI 8 y la harina de peciolo de yuca de la variedad MCol 2215, serían buenas fuentes de energía y podrían ser utilizadas como ingredientes para la formulación de alimentos (Idris et al., 2019).

Para el caso particular, los valores de carbohidratos totales de las harinas de hoja de ambas variedades fueron bajos, en comparación con los encontrados por Salles et al. (2016) para las variedades de yuca Cascuda, IAC 14, IAC 15 e IAC 90, quienes reportaron valores entre 85,2 % y 89,9 %; sin embargo, los datos de carbohidratos totales de las harinas de hoja de la variedad MCol 2215 se encontraron dentro del rango reportado por Jamil y Bujang (2016) para las variedades Medan, Sri Pontian, Putih, Kuning, Sri Kanji 1 y Sri Kanji 2, con valores entre 35,2% y 48,8%.

Conclusiones

Después del análisis fisicoquímico de las regiones de la parte aérea (hoja, peciolo y tallo) de las variedades MCol 2215 y MTAI 8, se pudo establecer que ambos clones de yuca que prevalecen en la región Caribe son materias prometedoras de la seguridad alimentaria de animales de granja y de desarrollo sostenible en esta zona de Colombia, donde la yuca es un cultivo fundamental, puesto que ambas variedades gozan de perfiles nutricionales óptimos para la elaboración y biofortificación de suplementos dietarios para rumiantes, cuya dieta consta de un alto consumo permanente de alimentos ricos en fibra, a lo largo de las diferentes etapas de desarrollo fisiológico y durante todo el año en esta zona del país, donde el pasto fresco (gramíneas) y el heno se han convertido en las únicas fuentes alimenticias que emplean los ganaderos y campesinos para satisfacer esta ingesta de fibra en bovinos, que escasea durante la estación seca del año.

Con base en los resultados obtenidos, se puede sugerir por primera vez una ruta de transformación mecánica que maximiza el uso y el aprovechamiento de estas regiones vegetales (hoja, peciolo y tallo), al ser convertidas en harinas finas que poseen niveles adecuados de proteína, fibra, grasa y ceniza, mayores al forraje fresco sin modificar y similares a la de algunos suplementos alimenticios balanceados para animales, producidos y comercializados por grandes empresas colombianas vinculadas al sector pecuario.

Se recomienda seguir avanzando en este tipo estudio, realizando otros análisis fisicoquímicos que contribuyan a determinar conversiones químicas, biológicas, de plataformas y rutas de aprovechamientos que se asocien a estos residuos como bases biológicas, orientados a la obtención de productos de alto valor, derivados de diferentes tecnologías y biorrefinerías integradas.

Por otro lado, este estudio presentó varias limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados: la evaluación se centró únicamente en dos variedades de yuca durante una fase específica de desarrollo, lo que restringió la capacidad de generalizar los hallazgos a otras variedades o etapas de crecimiento. Además, la falta de control sobre los factores agroclimáticos y las propiedades del suelo pudo haber influido en la composición química observada. Igualmente, las condiciones de procesamiento y almacenamiento de las muestras pudo haber afectado los resultados, particularmente en los análisis de grasa y fibra, debido a posibles variaciones en la estabilidad y degradación. Estas limitaciones destacan la necesidad de realizar estudios adicionales que aborden una mayor diversidad de variedades, condiciones ambientales

y métodos de procesamiento, para obtener una comprensión más completa y precisa de la yuca en contextos agroindustriales.

Finalmente, los resultados del estudio subrayan el potencial de la yuca como una fuente rica en nutrientes, especialmente en la variedad MCol 2215, para el desarrollo de alimentos balanceados y de suplementos nutricionales para animales; sin embargo, para aprovechar este potencial de manera más eficiente, es esencial realizar investigaciones adicionales que incluyan una mayor variedad de cultivares y evalúen cómo los factores agroclimáticos y las propiedades del suelo afectan la composición química de la yuca. Ampliar el análisis para incluir el perfil de aminoácidos y otros nutrientes esenciales también mejoraría la comprensión del valor nutricional de la yuca. Estas investigaciones ayudarán a optimizar el uso de la yuca en contextos agrícolas y nutricionales, y podrían ofrecer alternativas más sostenibles a ingredientes costosos como la harina de soya y maíz.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de investigación “Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES)” por permitirles utilizar sus instalaciones, equipos y reactivos para la realización de esta investigación.

Contribución de los autores

Yoseth Blanquiceth Tamara: registro de la información en campo, construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito; Keiner Pérez Salgado: construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito; María José Tavera-Quiroz: análisis de la información y elaboración del manuscrito; Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza: análisis de la información y elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Todos los autores declaran que el trabajo se encuentra en un estado de desarrollo en el que no presenta implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Los autores declaran que el presente estudio no recibió financiación.

Referencias

- Anchundia, M. Á., Pérez, E., & Torres, F. (2019). Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(2), 137-143. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182019000200137>
- AOAC International, & Latimer, G. W. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International*. (19.^a ed.). AOAC International. <https://search.worldcat.org/es/title/Official-methods-of-analysis-of-AOAC-International/oclc/817542290>
- Bayata, A. (2019). Review on nutritional value of Cassava for use as a staple food. *Science Journal of Analytical Chemistry*, 7(4), 83-91. <https://doi.org/10.11648/j.sjac.20190704.12>
- Binti Idris, S., Shamsudin, R., Mohd Nor, M. Z., Noriznan Mokhtar, M., & Abd Ghani, S. S. (2021). Proximate composition of different parts of white cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plant as a ruminant feed. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.36877/aafri.a0000181>
- Blanquiceth Támara, Y. D., Hoyos Sebá, J. J., Arias Teherán, J. D., & Tavera Quiroz, M. J. (2023). Perspectivas agroindustriales de las variedades de yuca cultivadas en el departamento de Sucre: una revisión. En: Álvarez Ruiz, L. P., Hernández Ruiz, M. D., Baldovino Noriega, K., & Ruiz Carta, E. (Eds.). *Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia: volumen 2*. Corporación Universitaria del Caribe. <https://doi.org/10.21892/9786287515413.8>
- 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>
- Cantero Guevara, M., & Pardo Plaza, Y. (2022). Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(1), 62-72. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1935>
- Chaiareekitwat, S., Latif, S., Mahayothee, B., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., Amawan, S., & Müller, J. (2022). Protein composition, chlorophyll, carotenoids, and cyanide content of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) as influenced by cultivar, plant age, and leaf position. *Food Chemistry*, 372, 131173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131173>
- da Silva Santos, B. R., Requião Silva, E. F., Cavalcante Minho, L. A., Cardoso Brandão, G., Pinto dos Santos, A. M., Carvalho dos Santos, W. P., Lopes Silva, M. V., & Lopes dos Santos, W. N. (2020). Evaluation of the nutritional composition in effect of processing cassava leaves (*Manihot esculenta*) using multivariate analysis techniques. *Microchemical Journal*, 152, 104271. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104271>

- Damborg, V. K., Stødkilde, L., Jensen, S. K., & Weisbjerg, M. R. (2018). Protein value and degradation characteristics of pulp fiber fractions from screw pressed grass, clover, and lucerne. *Animal Feed Science and Technology*, 244, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.08.004>
- Díaz, R. T., Pinto Osorio, D., Medina Hernández, E., Moreno Pallares, M., Canales, F. A., Corrales Paternina, A., & Echeverría-González, A. (2022). Socioeconomic determinants that influence the agricultural practices of small farm families in northern Colombia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(7), 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.12.001>
- Duarte Fernandes, F., Guimarães Júnior, R., Alano Vieira, E., de Freitas Fialho, J., & 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>
- Duarte Fernandes, F. D., Guimarães Júnior, R., Alano Vieira, E., de Freitas Fialho, J., & Malaquias, J. V. (2020). Pruning as a strategy to improve the nutritional value of the aerial parts of industry-purpose cassava clones. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 21. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402121082020>
- Gil Llanos, J. L. (2017). *Uso de la yuca en alimentación animal*. Corporación Clayuca. Colombia. <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/uso-yuca-alimentacion-animal-t48104.htm>
- Gil Montoya, J. M. (2019). *Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento y la calidad de un cultivo de yuca forrajera (Manihot esculenta Crantz)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80397>
- Hawashi, M., Altway, A., Widjaja, T., & Gunawan, S. (2019). Optimization of process conditions for tannin content reduction in cassava leaves during solid state fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*. *Heliyon*, 5(8), e02298. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02298>
- Huang, H., Lechniak, D., Szumacher-Strabel, M., Patra, A. K., Kozłowska, M., Kolodziejski, P., Gao, M., Ślusarczyk, S., Petrič, D., & Cieslak, A. (2022). The effect of ensiled paulownia leaves in a high-forage diet on ruminal fermentation, methane production, fatty acid composition, and milk production performance of dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 104. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00745-9>
- Idris, S., Rosnah, S., Nor, M. Z. M., Mokhtar, M. N., & Abdul Gani, S. S. (2019). Physicochemical composition of different parts of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plant. *Food Research*, 4(supl. 1), 78-84. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(S1\).S33](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(S1).S33)

- Jamil, S. S., & Bujang, A. (2016). Nutrient and antinutrient composition of different variety of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves. *Jurnal Teknologi*, 78(6), 59-63. <http://dx.doi.org/10.11113/jt.v78.9024>
- Ku-Vera, J. C., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., Gómez-Bravo C. A., Aguilar-Pérez C. F., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 584. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00584>
- Latif, S., & Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>
- Leguizamón, A. J., Rompato, K. M., Hoyos, R. E., & Audisio, M. C. (2021). Nutritional evaluation of three varieties of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) grown in formosa, Argentina. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101(3), 103986. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103986>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Subsector productivo de la yuca*. Minagricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30> [Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30)
- Moreira, G. L. P., Prates, C. J. N., Oliveira, L. M., Viana, A. E. S., Cardoso Júnior, N. D. S., & de Figueiredo, M. P. (2017). Bromatological composition of cassava (*Manihot esculenta*) depending on the time of pruning. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(1), 144-153. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20193017281>
- Obrador Olán, J. J., Magaña Valenzuela, W., García López, E., Castelán Estrada, M., & Carrillo Ávila, E. (2020). Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1259-1271. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2202>
- Otache, M. A., Ubwa, S. T., & Godwin, A. K. (2017). Proximate analysis and mineral composition of peels of three sweet cassava cultivars. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 3(4), 1-10. <https://doi.org/10.9734/AJOPACS/2017/36502>
- Pereira, I. G., Vagula, J. M., Marchi, D. F., Barão, C. E., Almeida, G. R. S., Visentainer, J. V., Maruyama, S. A., & Santos Júnior, O. O. (2016). Easy method for removal of cyanogens from cassava leaves with retention of vitamins and omega-3 fatty acids. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27(7), 1290-1296. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160027>
- Pereira, L. C., Vinhas Itavo, L. C., Gonçalves Mateus, R., Souza Leal, E., Pinto Abreu, U. G., Nogueira, E., Barbosa Ferreira, M., & Espinola Carvalho, C. M. (2017). Aerial parts of cassava as partial replacement for feed concentrates in the diet of lambs raised in semi-confinement. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(2), 943-956. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p943>

- Pratama, S., Sudarsono, A. S., & Sukma, D. (2023). Identification and characterization of cassava mutant genotypes with high leaf mineral content at the MV10 generation. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*, 55(3), 836-849. <http://doi.org/10.54910/sabao2023.55.3.19>
- Rinaldi, M. M., Alano Vieira, E., & de Freitas Fialho, J. (2019). Postharvest conservation of minimally processed cassava roots subjected to different packaging systems. *Científica*, 47(2), 144-155. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n2p144-155>
- Rivero Espitia, S. T., Gómez Ayala, W. R., Salcedo Carrascal, É. P., Tordecilla Zumaque, L., & Ramos Sariego, E. R. (2015). *Nuevas variedades de yuca forrajera para la alimentación bovina*. Corpoica. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13303/76988_66412.pdf?sequence=1
- Rodríguez Henao, E., Garavito Morales, L. V., Osorio Cardona, Ó., Aguilera Arango, G. A., & Cañar Serna, D. Y. (2021). *Manual técnico para la propagación masiva de semilla vegetativa de yuca por miniestacas en campo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405057>
- Salcedo Mendoza, J., & Contreras Lozano, K. P. (2017). *Agroindustria de productos amiláceos I. Yuca (Manihot esculente Crantz) y ñame (Dioscorea spp)*. Universidad de Sucre. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/1101>
- Salles, M. S. V., Bonilha, S. F. M., Feltran, J. C., Valle, T. L., Rodríguez, M. M. F. C., Kanthack, R. A. D., & Roma Junior, L. C. (2016). Characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) aerial parts for ruminant feeding. *Ars Veterinaria*, 32(1), 42-54. <https://arsveterinaria.org.br/index.php/ars/article/view/1030>
- Santamaría-Fernández, M., & Lübeck, M. (2020). Production of leaf protein concentrates in green biorefineries as alternative feed for monogastric animals. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114605. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114605>
- Soto Veiga, J. P., Losada Valle, T., Feltran, J. C., & Bizzo, W. A. (2016). Characterization and productivity of cassava waste and its use as an energy source. *Renewable Energy*, 93, 691-699. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.078>
- Suárez Paternina, E. A., Mestra Vargas, L. I., Paternina Paternina, Y., Salcedo Carrascal, E. K., Luna Castellanos, L. L., & Araújo Vásquez, H. A. (2022). *Yuca para la alimentación animal en la región Caribe: manejo, conservación y uso eficiente*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.740565>
- Suárez, L. M., Salcedo, J. G., & Zapata, J. E. (2022). Actividad biológica de hidrolizados de hoja de yuca variedad venezolana obtenidos con diferentes enzimas microbianas. *Información Tecnológica*, 33(2), 77-88. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200077>

- Sudarman, A., Hayashida, M., Puspitaning, I. R., Jayanegara, A., & Shiwachi, H. (2016). The use of cassava leaf silage as a substitute for concentrate feed in sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 48(7), 1509-1512. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1107-5>
- Xiao, J., Chen, T., Peng, R., Alugongo, G. M., Yang, H., Khan, M. Z., Liu, S., Ma, Y., Wang, J., Wang, W., Wang, Y., Li, S., & Cao, Z. (2023). The age at first consumption of forage in calves and its effect on growth and rumination in the short- and long-term. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00885-6>