



Aprovechamiento de ensilaje de raquis de *Musa x paradisiaca* (plátano) como suplemento alimenticio en rumiantes en el marco de la economía circular

Use of *Musa x paradisiaca* (Plantain) rachis silage as a feed supplement in ruminants for circular economy purposes

Artículo original

Resumen

Autores

^{1*}Roxanna Patricia Palma-León

✉ rpalma@uteq.edu.ec

²Miguel Ángel Macay-Anchundia

✉ miguel.macay@uleam.edu

³Veronica Carolina Cevallos-López

✉ vcevallosl@uteq.edu.ec

³Angelica Nicole Cuzme-Figueroa

✉ e1726748724@live.uleam.edu.ec

²Leonardo Avellán-Vásquez

✉ leonardo.avellan@uleam.edu.ec

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

²Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. El Carmen, Manabí, Ecuador.

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Fundación Río Negro, Investigadora independiente. Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Citación sugerida: Palma-León, R. P., Macay-Anchundia, M. Á., Cevallos-López, V. C., Cuzme-Figueroa, A. N. y Avellán-Vásquez, L. (2024). Aprovechamiento de ensilaje de raquis de *Musa x paradisiaca* (plátano) como suplemento alimenticio en rumiantes en el marco de la economía circular. *La Técnica*, 14(2), 118-126 DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6686>

Recibido: Mayo 09, 2024

Aceptado: Septiembre 09, 2024

Publicado: Octubre 11, 2024

La implementación de la economía circular en los sistemas agroproductivos, busca hacerlos más eficientes, racionales y equilibrados en el uso de recursos y transformar los residuos en productos de valor. El objetivo fue analizar la calidad bromatológica del ensilaje de raquis de plátano con tres dosis de microorganismos lácticos, durante la época seca (mayor escasez de pasturas) del año 2021, con el fin de aplicar la economía circular a esta industria, haciendo más digestible y nutritivo un subproducto que se desecha comúnmente. El raquis fue triturado con una picadora de pasto y posteriormente colocado en fundas para silo, con un peso de 50 lb. A todos los tratamientos se les añadió melaza al 5%, diluyendo en ella SiloBacter® a diferentes concentraciones: 351 mL (T1), 234 mL (T2), 117 mL (T3), y sin SiloBacter® en el tratamiento testigo (T4). Se dejó fermentar 30 días para conocer si las diferentes concentraciones podrían mejorar las características nutricionales del ensilaje. Los resultados se analizaron utilizando un diseño completamente al azar con la prueba de Tukey al 5%. T2 reportó la mayor concentración de extracto libre de nitrógeno (18,56%) y la menor concentración de fibra (53,19%), T1 el mayor contenido de proteína (7,56%), ceniza (17,37%) y extracto etéreo (7,31%). Estos resultados indicaron que el uso del inóculo bacteriano mejoró la bromatología del ensilaje lo cual vuelve más eficiente el uso de los subproductos y mejora la nutrición de los rumiantes que lo consumen. El raquis de plátano tiene gran potencial y su calidad bromatológica lo hace apto para la suplementación de rumiantes.

Palabras clave: silo; vástago; economía circular; suplementación; subproducto.

Abstract

The implementation of circular economy in agro-productive systems seeks to make them more efficient, rational, and balanced in the use of resources, while transforming waste into valuable products. The objective was to analyze the bromatological quality of plantain rachis silage with three doses of lactic microorganisms during the dry season (a period of pasture scarcity) of 2021, with the aim of applying circular economy principles to this industry, making a commonly discarded by-product more digestible and nutritious. The rachis was shredded using a grass chopper and subsequently placed into silo bags, each weighing 50 lbs. Molasses (5%) was added to all treatments, and SiloBacter® was diluted in varying concentrations: 351 mL (T1), 234 mL (T2), 117 mL (T3), and no SiloBacter® in the control treatment (T4). The silage was left to ferment for 30 days to determine if the different concentrations could improve its nutritional characteristics. The results were analyzed using a completely randomized design with Tukey's test at 5%. T2 showed the highest concentration of nitrogen-free extract (18.56%) and the lowest fiber content (53.19%), while T1 had the highest levels of protein (7.56%), ash (17.37%), and ether extract (7.31%). These results indicate that the use of bacterial inoculum improved the bromatology of the silage, making the use of by-products more efficient and enhancing the nutrition of the ruminants that consume it. Plantain rachis has great potential, and its bromatological quality makes it suitable for ruminant supplementation.

Keywords: silo; stem; circular economy; supplementation; by-product.



Introducción

La agricultura y la ganadería tienen una importancia fundamental en la economía de Ecuador, en la provincia de Manabí se concentra un volumen importante tanto de producción bovina como platanera; a nivel nacional, el campo agropecuario representa un 8,2% del producto interno bruto (PIB) y desempeña un rol estratégico en el contexto más amplio de la seguridad alimentaria, ya que contribuye al menos con el 20% de la producción de bienes y servicios a nivel nacional como lo indicó el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023).

No todo lo que es producido es aprovechado. Durante todo el proceso productivo hasta que los productos son consumidos, se producen grandes cantidades de residuos (Domínguez et al., 2023) llegando a sobrepasar las 930 toneladas métricas de alimentos por año, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2022). La incursión de grandes empresas al sector agroalimentario, cambió el modelo de ciclo cerrado de manejo de desechos y provocó un incremento en la generación de residuos (Cervantes, 2021; Morales et al., 2021).

Si bien, un mayor grado de tecnificación resulta en niveles de productividad óptimos, también ocasiona grandes residuos de postcosecha; se calcula que los desechos agrícolas han tenido un incremento de cinco puntos porcentuales (Varma et al., 2015). Estos residuos, de acuerdo con la World Wide Fund for Nature (WWF, 2020) no solo se deben valorar por las pérdidas *per se*, sino que representan recursos naturales desperdiciados como agua, energía, desgaste del recurso suelo y, en algunos casos deforestación (Silvestri et al., 2022).

El desperdicio de alimentos es una realidad inevitable; sin embargo, gran parte de ellos, no son aptos para el consumo humano, como los epicarpios (cáscaras) de plátano y otros desechos que son proporcionados por las plantas (Engelberth, 2020). La gestión inapropiada de estos desechos y la falta de sensibilización ambiental, resultan en la aparición de problemas de contaminación (Oliveira et al., 2007; Villalba et al., 2011). Siendo que en realidad estos residuos se desestiman al dejarlos en los vertederos, ya que muchos de ellos, son una buena fuente de nutrientes que podría emplearse para la alimentación animal (Borras-Sandoval et al., 2017).

La economía circular puede promover el uso de materiales biodegradables que puedan ser reciclados y reutilizados con facilidad, de este modo se genera un sistema autosostenible (Shanmugam et al., 2021). Se pretende que el valor tanto económico, como ambiental se mantenga durante el tiempo, ya sea transformándolos en nuevos productos o reincorporándolos

al sistema (Den Hollander et al., 2017; Kalmykova et al., 2018; Park et al., 2023).

Una producción agroalimentaria orientada hacia la sostenibilidad y los modelos de economía circular (EC) es capaz de permitir la eficiencia de los recursos y la reducción de los impactos ambientales (Morales et al., 2021; Silvestri, 2022). Dentro de este sistema el modelo lineal con presencia de residuos es eliminado (Morales et al., 2021) y es sustituido por un circuito cerrado donde es necesario monitorear continuamente todos los recursos, verificando la preservación de la vida útil de cada uno de los productos (Den Hollander et al., 2017; Hernández-Pajares y Yagui-Nishii, 2021).

Al adoptar la EC en los sistemas agroproductivos, además de aliviar la presión en los recursos naturales, existen otros beneficios. A nivel empresarial se puede observar una disminución en sus costos operativos (Rivera-Acosta y Martínez-Torres, 2021) y la generación de empleo como lo mencionan tanto la International Labour Organization (ILO, 2018) como Gómez et al. (2023).

Sin embargo, autores como Betancourt-Morales y Zartha (2020) al igual que Porcelli y Martínez (2018) advirtieron que a nivel de América Latina se pueden presentar obstáculos culturales, sociales y políticos para su correcta implementación. En cuanto a la cultura, De Kock et al. (2020) demostraron que las personas no disminuyeron la producción de residuos para mitigar la carga al ambiente, sino por otros factores. Franco (2016) reportó que los ciudadanos desecharon principalmente los vegetales debido a sus hábitos alimenticios y culturales.

La aplicación de EC en un país, envuelve una transición completa que incluye desafíos sociales, económicos y ecológicos que requieren no únicamente voluntad sino también normas y regulaciones gubernamentales (Porcelli y Martínez 2018; Betancourt-Morales y Zartha, 2020; Vera-Acevedo y Raufflet, 2021; Ospina-Mateus et al., 2023). Según Portilla-Jiménez (2022) en Ecuador existe la normativa para la aplicación de EC, incluso en la Constitución de la República del Ecuador a través de los derechos otorgados a la naturaleza; sin embargo, aún no es suficiente.

En América Latina y el Caribe (ALC), la economía y el desarrollo social están fuertemente ligados a los recursos naturales, en muchos casos, esto ocurre a costa del ambiente natural (Delgado-Serrano et al., 2017). En Ecuador uno de los productos de cultivo más intensivo es el plátano. En el año 2020 hubo 515 empresas que se dedicaron al cultivo de bananos y plátanos que generaron aproximadamente 39 mil empleos como lo mencionó la Corporación Financiera Nacional (CFN, 2021).

La variedad de usos que se puede dar al plátano tanto como consumo alimenticio y de transformación por la industria proporcionan un aporte significativo en el desarrollo económico de Ecuador (Sánchez-Urdaneta et al., 2022). Es por ello, que este cultivo se convierte en un gran potencial dentro del sector agrícola ecuatoriano (Solano-Apuntes et al., 2022).

El cultivo de plátano, en general, es considerado por su fruto, pero también genera vastas cantidades de residuos de biomasa procedentes del tallo (pseudotallo) y los racimos (raquis), que se desechan en el campo (Vallejo y Muñoz, 2022). En algunos casos el raquis se queda en los lugares de transformación del fruto donde se establece su procesamiento para la exportación (Ramdhonee y Jeetah, 2017), generando un punto de contaminación.

Ayala et al. (2016) y Gómez et al. (2021) mencionaron que el residuo de la cosecha del plátano, conocido como raquis o en algunos otros países como pinzote, queda acumulado en los centros de acopio y mercados de productos agrícolas; los cuales pudiesen constituirse en un elemento contaminante del ambiente si no se realiza el tratamiento adecuado (Caicedo et al., 2020). Se calcula que se pierde cerca del 85% del cultivo de plátano (Gómez et al., 2021); en el mejor de los casos, estos residuos se utilizaron como abono orgánico (Oliveira et al., 2007).

Los desechos de postcosecha del plátano también proporcionaron una diversidad de usos, de las hojas, vástago y del pseudotallo por sus altos contenidos ricos en fibra, energía y celulosa, forjando una potencialidad para la industria dedicada a la transformación con miras hacia una nueva matriz productiva (Beltrón et al., 2018).

Una práctica común para los desechos orgánicos es la incineración, se transforman en abonos o se depositan en vertederos, en los tres casos se requieren grandes cantidades de energía (Wang et al., 2016; Shu-Yuan et al., 2021). Debido a esto, múltiples son las alternativas que se han investigado para dar un aprovechamiento al raquis de plátano, a través de diferentes procesos sean estos físicos, químicos, termoquímicos o biológicos (Gómez et al., 2023). Se han generado compuestos reforzados de fibras a partir del pseudotallo (Cadena et al., 2017), desde su uso con fines industriales como la utilización de pectinasas para la extracción de fibra a partir de residuos de platanera (Chauhan y Sharma, 2014); hasta su empleo en alimentación animal, particularmente rumiantes menores (cabras) (Chinea, 1999) y rumiantes mayores (bovinos) (Cruz y Gutiérrez, 2006).

De todos ellos, los procesos de fermentación biológica son una opción económica para mejorar la composición de nutrientes de los desechos agroindustriales (Chekwube-Enebe y Erasmus, 2023; Yafetto et al., 2023). El ensilaje es un método que se emplea para preservar alimentos durante las temporadas de cosecha y proporcionarlos en momentos de escasez. Este proceso conserva la calidad y el sabor de los alimentos a un costo reducido, lo que facilita el aumento de la cantidad de animales por hectárea o la sustitución y complementación de alimentos concentrados (Encalada et al., 2017).

Debido al fuerte interés del uso de residuos del plátano en la alimentación de rumiantes, se han desarrollado trabajos investigativos con diferentes partes del plátano, como es ensilaje de hojas y de vástago de plátano (Villalba et al., 2011), ensilaje de vástago de banano (Olivera et al., 2007), ensilaje de raquis de plátano (Olivera et al., 2007; Caicedo et al., 2020), y ensilaje de la cáscara de plátano (Adeniran et al., 2010), también en combinaciones como el ensilaje de piña con banano (Lazo-Salas et al., 2018), así como en esta investigación, donde se utilizó el raquis de plátano como ensilaje con fines de suplementación alimenticia de rumiantes.

Debido a la variedad de metodologías que pueden aplicarse, diferentes aditivos para el proceso de ensilaje y por la diversidad de materiales biológicos del plátano para ser utilizados como materia prima, es necesario continuar con las investigaciones de ensilaje de residuos del plátano para mejorar su aprovechamiento y la calidad nutricional como suplemento alimenticio. Es por ello, que el objetivo fue analizar la calidad bromatológica del ensilaje de raquis plátano con tres dosis de microorganismos lácticos durante la época seca del año 2021 con el fin de aplicar la economía circular a esta industria, proveer de una alternativa alimenticia en la época de mayor escasez de forraje (época seca) y conocer si la inclusión de microorganismos en mayor o menor proporción puede mejorar la calidad bromatológica del ensilaje permitiendo una mejor nutrición para los animales que lo consumen.

Materiales y métodos

La fase de campo se realizó en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, ubicada geográficamente a X 674882; Y 9971241, Km 3 de la vía El Carmen - Santo Domingo, cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador.

Preparación del ensilaje

Los raquis de plátano se recolectaron en el sitio Palmeras Unidas vía a la Raíz, el mismo día después de haber sido desechados y se trasladaron posteriormente hacia la granja experimental. Los raquis fueron lavados con agua potable y escurridos por 10 min. Posterior a eso se molieron en fresco con una picadora en una criba de 2 cm (Suárez et al., 2011).

Se utilizó polvillo de aserrín en una concentración del 6% como material secante por el alto contenido de humedad del raquis (Ayala et al., 2016). Como sustrato se agregó melaza (5%) la cual se trasladó a temperatura ambiente de 24 °C en galones plásticos (Castaño y Villa, 2017).

Se adicionó como inoculador SiloBacter®, que contenían bacterias ácido-lácticas *Pedococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum*, dichas bacterias proporcionaron un óptimo proceso fermentativo (Martínez-Fernández et al., 2014).

El llenado de ensilaje se realizó el mismo día después de su proceso de picado, utilizando como método de conservación el



silo de bolsa plástica de color negro con peso de 50 libras totales para cada silo.

El cierre y el almacenado se realizó bajo techo y protegido de la luz solar, comprimiendo todo el aire presente (Caicedo et al., 2013). Todos los silos se prepararon en una sola ocasión dejando un tiempo de preservación de 30 días, en total fueron cuatro tratamientos con tres repeticiones y los componentes de los tratamientos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos implementados en la investigación experimental.

Tratamientos	Descripción
T1	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (3,51 mL).
T2	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (2,34 mL).
T3	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (1,17 mL).
T4 (testigo)	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%).

Diseño experimental y procesamiento de datos

El análisis experimental fue un diseño completamente al azar (DCA), ya que es de gran utilidad en investigaciones agronómicas de experimentos realizados en laboratorios o en condiciones controladas. Los datos fueron analizados a través de las pruebas de significancia de Tukey al 5% (Mandeville, 2012). El estudio estadístico se realizó mediante el programa R versión 2021 y se analizaron los datos tomando en cuenta como principal parámetro la calidad bromatológica de los tratamientos.

Se estableció como variables dependientes las concentraciones (%) de fibra bruta (FB), cenizas, proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE) y extracto libre no nitrogenado (ELNN), según los procedimientos de la Association of Analytical Communities (AOAC, 2016). Por lo tanto, las variables independientes fueron las concentraciones de las bacterias ácido-lácticas.

Resultados y discusión

Existen varios procesos de transformación para aprovechar los residuos del plátano como transformación física, química o biológicas (Gómez et al., 2021), en el presente estudio se presentan los resultados de la transformación biológica del raquis de plátano.

Las variables bromatológicas se evaluaron después de 30 días de fermentación del ensilaje cumpliendo con el tiempo óptimo para obtener un ensilaje de calidad. Triana et al. (2014) enfatizaron que la fermentación del ensilaje fue más eficiente cuando se

realizaron con base de subproductos como cáscara de naranja y plátano de rechazo, este factor estaría relacionado con la mayor cantidad de carbohidratos solubles y la mayor cantidad de azúcares en las pectinas. A continuación, se exhiben la caracterización de cada una de las variables en la elaboración de ensilaje a partir del residuo orgánico de raquis de plátano.

Extracto libre no nitrogenado (ELNN)

El ELNN se refiere a la parte de un alimento que excluye cualquier componente que contenga nitrógeno, principalmente en carbohidratos no nitrogenados y lípidos (grasa). Con este parámetro se evaluó la energía disponible en la dieta de los animales, a través de los carbohidratos no fibrosos que se pueden convertir en una fuente energética para las especies que lo ingieren. Se observó que la dosis de 2,34 mL de bacterias ácido-lácticas reportó la concentración más alta (18,56%) de ELNN (tabla 2). Esta concentración fue aceptable como suplemento para alimentar a los rumiantes, valores superiores encontró Caicedo et al. (2020) reportando 34,80%. Si bien es cierto, que muchos alimentos proporcionan niveles altos de ELNN, cualquier aporte de dicho componente en la dieta de los animales, será beneficioso. Las diferencias en su contenido, puede variar por diversos factores como el origen de la materia prima, el manejo del cultivo o la edad del mismo.

Tabla 2. Concentración de extracto libre de nitrógeno.

Tratamientos	E.L.N.N
Testigo	13,24 ± 0,34 b
SiloBacter® (3,51 mL)	12,22 ± 0,34 b
SiloBacter® (2,34 mL)	18,56 ± 0,34 a
SiloBacter® (1,17 mL)	11,26 ± 0,34 b
Valor P	0,0070
CV (%)	13,97

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Según Zhongming et al. (2016) parte de la economía circular permite la reutilización y refabricación, de residuos. Bajo este concepto, el ensilaje de raquis se convierte en un suplemento alimenticio que permite reducir los vertederos o aglomeraciones en el campo donde queda depositada dicha biomasa.

Fibra cruda (FC)

El tratamiento testigo y la dosis más baja (1,17 mL) de bacterias ácido-lácticas reportaron las concentraciones más altas de fibra 64,04 y 64,01% respectivamente (tabla 3). La época seca y la baja dosis de bacterias ácido-lácticas probablemente intensificaron la concentración de fibra, lo que explicaría el contenido alto de dicha variable debido a una menor concentración de agua en el

raquis disminuyendo la absorción de nutrientes que permitieron la acumulación de proteína o energía ya que se usaron en el mantenimiento y desarrollo de la planta; así mismo, la mayor concentración de BAL ayudaría a la degradación de la fibra y por ende una disminución de la concentración de la misma.

Aguirre et al. (2016) enfatizaron que el menor consumo registrado en el ensilaje de maíz y alfalfa podría deberse al mayor contenido de fibra del ensilaje de maíz con el 30% de alfalfa utilizado en la alimentación de vacas. Se observó que a mayor dosis de bacterias ácido-lácticas se redujo la concentración de fibra del ensilado, esto podría deberse a la degradación de componentes estructurales por parte de los microorganismos lácticos (Morales et al., 2016).

Tabla 3. Porcentaje de fibra cruda del ensilaje de raquis de plátano.

Fibra	
Tratamientos	
Testigo	64,04 ± 0,22 a
SiloBacter® (3,51 mL)	55,54 ± 0,22 b
SiloBacter® (2,34 mL)	53,19 ± 0,22 b
SiloBacter® (1,17 mL)	64,01 ± 0,22 a
Valor P	0,0001
CV (%)	2,79

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Aun cuando la concentración de fibra en el ensilaje fue alta, se podría utilizar en dieta de búfalos, ya que poseen rusticidad propia, estos animales se derivan de mecanismos anatómicos, digestivos y fisiológicos que los hacen más eficientes que los bovinos y en consecuencia más resistentes en planos nutricionales bajos (Vale et al., 2013). Ensilaje con otros residuos han mostrado menor contenido de fibra cruda, por ejemplo, en el ensilaje de residuos de pulpa de café se reportaron porcentajes entre 18,09 y 19,47% (Encalada et al., 2017).

Concentración de proteína cruda (PC)

Se observaron diferencias significativas en la variable proteína, siendo la dosis más alta de bacterias ácido-lácticas (BAL) las que reportaron la mayor concentración de proteína (7,5%) (tabla 4). El incremento de proteína cruda en un material fermentado, como el ensilaje, puede ser atribuido a varios factores, que incluyeron desde el material inicial y los aditivos utilizados, principalmente BAL (Aguirre-Fernández et al., 2018). A medida que las bacterias se reprodujeron, pueden aumentar el contenido de proteína cruda debido a su propia composición celular rica en proteínas y debido a la inoculación, el desarrollo de estos microorganismos sería mucho más rápido y en mayores concentraciones.

Otros autores, como Caicedo et al. (2020) han reportado contenidos mayores de proteína cruda (14%) y anteriormente China (1999) reportó 13% en ensilaje de raquis de banano. Esto podría deberse a que el cultivo de banano se maneja de

forma más tecnificada, esto incluye el uso de fertilizantes, lo que también ayudaría a incrementar la concentración de proteína en las diferentes partes de la planta; si a dicho subproducto se suma la inoculación de BAL que ayudarían a mejorar la calidad del mismo, así como su propia estructura podrían incrementar dicho componente en el producto final posterior a la fermentación láctica.

Tabla 4. Concentración de proteína cruda del ensilaje de raquis de plátano.

Proteína	
Tratamientos	
Testigo	4,23 ± 0,12 d
SiloBacter® (3,51 mL)	7,5 ± 0,12 a
SiloBacter® (2,34 mL)	6,77 ± 0,12 b
SiloBacter® (1,17 mL)	5,13 ± 0,12 c
Valor p	<0,0001
CV (%)	3,51

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Sin embargo, ya han sido reportados contenidos de proteína inferiores también en el raquis de banano por Oliveira et al. (2007), cuyo valor alcanzó apenas el 2%. Autores como Villalba et al. (2011) encontraron valores diferentes de proteína dependiendo del material de plátano fermentado, por ejemplo, en hoja de plátano el porcentaje de proteína fue de 14,45% en contraste con el contenido de proteína encontrado en el ensilaje de vástago de plátano que llegó a apenas a 5,25%. Del mismo modo, con otros residuos como el café, Aguirre-Fernández et al. (2018) encontraron diferentes niveles de proteína dependiendo el aditivo utilizado, alcanzando un máximo de 18,1% cuando el café fue fermentado con una bebida fermentada (kumis), 15,9% cuando fueron utilizados microorganismos eficientes y el nivel más bajo cuando no fue utilizado ningún aditivo que llegó a 13,5%. Lazo-Salas et al. (2018) sugirieron ensilajes con valores de proteína cruda en los niveles obtenidos en esta investigación deben ser suplementados para alcanzar el desarrollo bacteriano adecuado para una correcta digestión de la fibra.

Concentración de extracto etéreo y ceniza

La concentración de extracto etéreo (grasa) y ceniza en la alimentación de rumiantes puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo el tipo de forraje, el estado fisiológico del animal, y los objetivos de producción. Es recomendable que estos dos parámetros estén en cantidades equilibradas para satisfacer sus necesidades nutricionales específicas. En el presente estudio los mayores valores obtenidos para extracto etéreo y ceniza fueron con la dosis más alta de BAL alcanzando el 7,31% para extracto etéreo y 17,37% para ceniza (tabla 5). Estas concentraciones fueron inferiores a las reportadas por Oliveira et al. (2007) que encontraron 26,8% de ceniza en el raquis de banano. Pyar y Peh (2018) reportaron una mayor concentración de E.E. de banano en estado natural (19,20 %).



Tabla 5. Concentración de ceniza y extracto etéreo del ensilaje de raquis de plátano.

	Ceniza	Extracto etéreo
Tratamientos		
Testigo	12,95 ± 0,08 b	5,48 ± 0,33 b
SiloBacter® (3,51 mL)	17,37 ± 0,08 a	7,31 ± 0,33 a
SiloBacter® (2,34 mL)	16,04 ± 0,08 a	5,38 ± 0,33 b
SiloBacter® (1,17 mL)	14,02 ± 0,08 b	5,01 ± 0,33 b
Valor P	0,0001	0,0003
CV (%)	4,69	8,10

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

El incremento en los contenidos de cenizas y EE se debería a la inclusión de aditivos en el ensilado (sal mineral, suero de leche y melaza) (Borras-Sandoval et al, 2017). Las bacterias ácido lácticas permitieron reducir el contenido de metabolitos secundarios del ensilaje como alimento y consecuentemente, se obtuvieron mejoras en el aprovechamiento de los nutrientes (Caicedo et al., 2017). Aunque las cantidades reportadas por los autores mencionados difirieron, es importante mencionar que las necesidades de extracto etéreo y ceniza pueden variar según la especie de rumiante (por ejemplo, vacas, ovejas y cabras), su estado fisiológico (gestación, lactancia y crecimiento) y el objetivo de producción (carne, leche y lana).

Independientemente de la metodología y los aditivos utilizados, el ensilaje de raquis permitió generar un alimento de notable calidad nutritiva para su empleo en la dieta de rumiantes. Cruz-Hernández y Gutiérrez-Fernández (2006) reportaron una mayor ganancia de peso y mayor eficiencia alimentar en bovinos alimentados con una combinación de banano y ensilado de raquis en proporción 50:50, cuando lo compararon con la alimentación de solo zacate Taiwán.

Además, el aprovechamiento del raquis fue una estrategia eco-inteligente que permitió disminuir el daño ambiental (Morató et al., 2017). También, al emplear estas nuevas estrategias como ensilar el raquis de plátano, se reincorporó como materia prima a la cadena de valor, reduciendo de manera favorable los residuos agroindustriales (Macay et al., 2023). Sin embargo, se debe tener cuidado a momento de implementar estrategias aisladas de EC, ya que puede ser que se alcance un nivel alto de cumplimiento en prácticas de EC, y al mismo tiempo no se certifican mejoras en los indicadores ambientales (Hernández-Pajares y Yagui-Nishii, 2021).

Conclusión

El análisis de la calidad bormatológica del ensilaje de raquis de plátano presentó una mejor calidad nutritiva de extracto libre

de nitrógeno, fibra, ceniza, EE y proteína con la dosis más alta de bacterias ácido-lácticas. El modelo de economía circular en el manejo del raquis con inclusión de BAL dentro del cultivo de plátano contribuye de forma positiva en la conservación del ambiente, mejorando el aprovechamiento de subproductos en lugar de generar residuos, así como en la conservación de alimentos para rumiantes para las épocas de estiaje permitiendo en ambos casos mejorar los ingresos de los agricultores, así mismo, posibilita el cierre del ciclo de los nutrientes y la aplicación de economía circular en esta industria.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Adeniran, H., Abiose, S. and Ogunsua, A. (2010). Production of fungal β -amylase and amyloglucosidase on some Nigerian agricultural residues. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 693-698. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-008-0141-3>
- Aguirre, L., Cevallos, Y., Herrera, R. y Escudero, G. (2016). Utilización de ensilaje de maíz y alfalfa en la alimentación de ovinos mestizos en pastoreo. *Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia*, 6(1). <https://ibit.ly/WKFvG>
- Aguirre-Fernández, P. A., Acosta-Pinto, L. M., Cardozo-Corzo, L. D., Rodríguez-Arenas, S. A. and Corredor-Sánchez, G. A. (2018). Nutritional evaluation of silage with coffee (*Coffea arabica* L.) cherry for ruminant supplementation. *Acta Agronómica*, 67(1), 326-332. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.66563>
- AOAC (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International. <https://ibit.ly/Ybiy2>
- Ayala, L., Martínez, M., Castro, M., García, A., Delgado, E. J., Caro, Y. y Ly, J. (2016). Composición química del raquis de racimos de plátano (*Musa paradisica*) y aceptabilidad como alimento para cerdos en ceba. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 23(2), 79-86. <https://ibit.ly/rqf2p>
- Beltrón, C., Sánchez, A. y Ortiz, M. (2018). El fortalecimiento de la comercialización del plátano mediante formas asociativas. Caso de estudio el cantón el Carmen de la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1(3), 13-69 <https://ibit.ly/0uiU8>
- Betancourt-Morales, C. M. and Zartha, J. W. (2020). Circular economy in Latin America: A systematic literature

- review. *Estrategia Empresarial y Medio Ambiente*, 29(6), 2479-2497. <https://doi.org/10.1002/bse.2515>
- Borras-Sandoval, L., Valiño, E. y Elías-Iglesias, A. (2017). Evaluación del efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de papa (*Solanum tuberosum*) inoculado con preparado microbial. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 18(8), 1-16. <https://ibit.ly/vxNGe>
- Cadena, E. M., Vélez, J., Santa, J. F. and Otálvaro, G. V. (2017). Natural fibers from plantain pseudostem (*Musa paradisiaca*) for use in fiber-reinforced composites. *Journal of Natural Fibers*, 14(5), 678- 690. <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1266295>
- Caicedo, Q., Rodríguez, B. y Valle, R. (2013). Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china *Colocasia esculenta* conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(1), 1-10. <https://ibit.ly/4da6s>
- Caicedo, W., Rodríguez, R., Lezcano, P., Ly, J., Vargas, J. C., Uvidia, H. y Flores, L. (2017). Digestibilidad rectal de nutrientes en cerdos de crecimiento ceba, alimentados con ensilaje de taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3). <https://ibit.ly/uhRX5>
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Alves Ferreira, F. N., Rubio, G., Yanza, R. y Motta-Ferreira, W. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19035>
- Castaño, G. and Villa, L. (2017). Use of whey and molasses as additive for producing silage of Cuba OM-22 (*Cenchrus purpureus* x *Cenchrus glaucum*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 51(1), 61-70. <https://ibit.ly/hJyFi>
- Cervantes, G. (2021). Transitando a la economía circular en el sector agropecuario: granjas experimentales en Guanajuato, México. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 7, 45-66.
- Chauhan, S. y A. Sharma (2014). Utilization of Pectinases for Fiber Extraction from Banana Plant's Waste. *International Journal of Waste Resources*, 4, 1-8. <https://ibit.ly/Qz6QK>
- Chekwube-Enebe, M. and Erasmus, M. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345, 118585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
- Chinea, E. (1999). Estudio del ensilado del raquis de banana (*Musa acuminata* Colla, subgrupo Cavendish) para la alimentación del ganado caprino en las Islas Canarias. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 16(3), 291-305. https://ibit.ly_fitA
- Corporación Financiera Nacional (CFN). (2021). Ficha sectorial banano y plátano. <https://ibit.ly/Qz6QK>
- Cruz-Hernández, J. y Gutiérrez-Fernández, G. (2006). Alimentación de bovinos con ensilado de mezclas de banano de rechazo y raquis en diferentes proporciones. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(3), 29-40. <https://ibit.ly/vUnf8>
- De Kock, L., Sadan, Z., Arp, R. and Upadhyaya, P. (2020). A circular economy response to plastic pollution: Current policy landscape and consumer perception. *South African Journal of Science*, 116(5), 1-3. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/8097>
- Delgado-Serrano, M., Mistry, J., Matzdorf, B. and Leclerc, G. (2017). Community-based management of environmental challenges in Latin America and the Caribbean. *Ecology and Society*, 22(1). <https://ibit.ly/m3Mb8>
- Den Hollander, M., Bakker, C. and Hultink, E. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
- Domínguez, D. A., Florian, G., Ying, Z. and Ardestani-Jaafari, A. (2023). Allocation methods in life cycle assessments (LCAs) of agri-food co-products and food waste valorization systems: Systematic review and recommendation. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138488. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138488>
- Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., y Quichimbo, A. (2017). Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 71-82. <https://ibit.ly/rFzV>
- Engelberth, A. (2020). Evaluating economic potential of food waste valorization: Onward to a diverse feedstock biorefinery Current. *Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 26, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100385>
- Franco, E (2016). El desperdicio de alimentos: una perspectiva desde los estudiantes de Administración de Empresas del UPS Guayaquil. *Retos*, 6(11), 53-64. <https://doi.org/10.17163/ret.n11.2016.04>
- Gómez, J. A., Matallana, L. G., Teixeira, J. A. and Sánchez, Ó. J. (2023). A framework for the design of sustainable multi-input second-generation biorefineries through process simulation: A case study for the valorization of lignocellulosic and starchy waste from the plantain agro-industry. *Chemical Engineering Research and Design*, 195, 551-571. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.004>



- Gómez, J., Sánchez, Ó. y Matallana, L. (2021). Procesos de transformación: perspectiva de aprovechamiento para los residuos de la agroindustria del plátano. *Producción Limpia*, 16(1), 6-30. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a1>
- Hernández-Pajares, J. y Yagui-Nishii, V. (2021). Análisis de información y factores de desempeño ambiental y de economía circular en empresas peruanas. *Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 12(1), 37-52. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.12.1.481>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Boletín técnico: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. [Boletín técnico ESPAC_2022\[1\].pdf](#).
- International Labour Organization (ILO). (2018). *World employment and social outlook 2018: Greening with jobs*. <https://ibit.ly/cE71S>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M. and Rosado, L. (2018). Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. Resources, conservation and recycling. *Sustainable Resource Management and the Circular Economy*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Lazo-Salas, G. J., Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C. M., Zumbado-Ramírez, C. y López-Herrera, M. (2018). Caracterización fermentativa y nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con guineo cuadrado *Musa* (ABB) I. Parámetros fermentativos, análisis bromatológico y digestibilidad *in vitro*. *Nutrición Animal Tropical*, 12(1), 59-79. <https://doi.org/10.15517/nat.v12i1.33847>
- Macay Anchundia, M. Á., Cedeño Moreira, A. A., Zambrano Mendoza, M. E. e Intriago Vera, J. V. (2023). Uso de raiquis de plátano (*Musa* AAB) para la producción de ensilaje como estrategia de economía circular. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 4848-4862. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8074
- Mandeville, P. (2012). Diseños experimentales. *CIENCIA-UANL*, 15(57), 151-155.
- Martínez-Fernández, A., Argamentería-Gutiérrez, A. y Roza-Delgado, B. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. *Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias*. <https://ibit.ly/IqT16>
- Morales, A., Rodríguez, R., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S., y Sarduy, L. (2016). Evaluación de la inclusión de VITAFERT en el valor nutritivo de ensilajes de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum purpureum*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(4), 619630. <https://ibit.ly/SPgbd>
- Morales, D., Condori, A. y Torres, D. (2021). Aplicación de la economía circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*). *Acta Nova*, 1(10), 42-60.
- Morató, J., Jiménez, L. y Tollin, N. (2017). Situación y evolución de la economía Circular en España. *Fundación COTEC para la Innovación*. <https://ibit.ly/Ud0iU>
- Oliveira, L., Cordeiro, N., Evtuguin, D. V., Torres, I. C. and Silvestre, A. J. D. (2007). Chemical composition of different morphological parts from 'Dwarf Cavendish' banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural products. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 163-172.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2020). *Pasando de pérdidas a soluciones en América Latina y el Caribe*. <https://ibit.ly/gIR8k>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2022). *Faostat: Food and agriculture data*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>.
- Ospina-Mateus, H., Marrugo-Salas, L., Castilla, L. C., Castellón, L., Cantillo, A., Bolívar, L. and Zamora-Musa, R. (2023). Analysis in circular economy research in Latin America: A bibliometric review. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19999>
- Park, S., Song, J., Lee, W. C., Jang, S. H., Lee, J., Kim, J. and Min, K. (2023). Advances in biomass-derived electrode materials for energy storage and circular carbon economy. *Chemical Engineering Journal*, 470, 144234. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144234>.
- Porcelli, A. y Martínez, A. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Direito GV*, 14(3), 1-6. <https://doi.org/10.1590/2317-6172201840>
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del marco normativo de economía circular en Ecuador orientado al sector de los plásticos. FIGEMPA. *Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38-47. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Pyar, H. and Peh, K. (2018). Chemical compositions of banana peels (*Musa sapientum*) fruits cultivated in Malaysia using proximate analysis. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 1(222), 108-111. <https://ibit.ly/VDcRf>

- Ramdhonee, A. y Jeetah, P. (2017). Producción de papel de regalo a partir de fibras de plátano. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 5(5), 4298-4306.
- Rivera-Acosta, P. y Martínez-Torres, R. (2021). Articulación de los objetivos de desarrollo sostenible con el paradigma de la economía circular. *Investigación y Desarrollo*, 2(1), 178-194. <https://doi.org/10.14482/indes.29.1.333.7>
- Sánchez-Urdaneta, A. B., Zambrano, R. C., Chica, S. T., Vásquez, L. A., Urdaneta, D. y Batista, R. M. (2022). Emergencia y crecimiento inicial de hijos de plátano “barraganete” (*Musa AAB*), en El Carmen, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(1), 59-64., <https://ibit.ly/j5pUb>
- Shanmugam, V., Mensah, R. A., Försth, M., Sas, G., Restás, A., Addy, C. and Ramakrishna, S. (2021). Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100138>.
- Shu-Yuan, P., Sai, C., Liu, C., Wang, S. W., Kim, H. and Fan, C. (2021). Anaerobic co-digestion of agricultural wastes toward circular. *iScience*, 24(7), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102704>.
- Silvestri, L., Silvestri, C., Forcina, A. and De Luca, C. (2022). A review of energy-based indicators for assessing sustainability and circular economy in the agri-food production. *Procedia Computer Science*, 200, 1756-1765.
- Solano-Apunte, A., Ponce-Saltos, W. y Zambrano-Gavilanes, F. (2022). Biodigestión anaeróbica de residuos de musáceas. *Biotiempo*, 19(1), 23-31. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4803>
- Suárez, R., Mejía, J., González, M., García, D. E. y Perdomo, D. A. (2011). Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos. *Pastos y Forrajes*, 34(1), 69-85. <https://ibit.ly/W277E>
- Triana, E., Leal, F., Campo, Y. y Lizcano, H. (2014). Evaluación de ensilaje a partir de dos subproductos agroindustriales (cáscara de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Revista de Alimentos Hoy*, 22(31), 33-45. <https://ibit.ly/HY-L1>
- Vale, W. G., Minervino, A. H., Neves, K. A., Morini, A. and Coelho, J. A. (2013). Buffalo under threat in Amazon Valley Brazil. *Buffalo Bulletin*, 32(1), 121-131. <https://ibit.ly/haErJ>
- Vallejo, M. y Muñoz, L. (2022). Identificación de usos potenciales para el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de beneficio del plátano (*Musa paradisiaca*) var. Hartón. *Boletín Informativo*, 9(2), 181-188. <https://ibit.ly/3ueLg>
- Varma, V., Yadav, J., Das, S. and Kalamdhad, A. S. (2015). Potential of waste carbide sludge addition on earthworm growth and organic matter degradation during vermicomposting of agricultural wastes. *Ingeniería Ecológica*, 83, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.050>
- Vera-Acevedo, L. y Raufflet, E. (2021). Análisis de la estrategia nacional de economía circular de Colombia a partir de dos modelos. *Estudios Políticos*, 64(1), 27-52. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n64a02>
- Villalba, D. K., Holguín, V. A., Acuña, J. A. y Piñeros Varón, R. (2011). Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 47-52. <https://ibit.ly/9QC6s>
- Wang, B. Dong, F., Chen, M., Zhu, J., Tan, J., Fu, X. and Chen, S. (2016). Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. *Procedia Environmental Science*, 31, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.002>
- World Wide Fund for Nature (WWF). (2020). Estamos devorando nuestro planeta: Primer día internacional de concienciación sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos. <https://www.wwf.org.ec/?364845/desperdicioalimentos#:~:text=En%20el%20Ecuador%20se%20desperdician, donde%20m%C3%A1s%20se%20desperdicia%20alimentos>.
- Yafetto, L., Odamtten, G. and Wiafe-Kwagyan, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>
- Zhongming, Z., Zhu, J., Tan, J., Fu, X. and Chen, S. (2016). Circular economy in Europe -Developing the knowledge base. En: *Luxemburgo: Agencia Europea de Medio Ambiente*. <https://ibit.ly/wAG4N>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Roxanna Patricia Palma-León: análisis formal, redacción-borrador original. **Miguel Ángel Macay-Anchundia:** conceptualización, supervisión, validación, metodología, redacción-revisión y edición. **Verónica Carolina Cevallos-López:** metodología, análisis formal, redacción-revisión y edición. **Angelica Nicole Cuzme-Figueroa:** metodología, investigación, redacción-borrador original. **Leonardo Enrique Avellán-Vásquez:** análisis formal, redacción-borrador original, metodología.

