



Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) en condiciones de Pastaza

Optimization of the fermentation process of purple king grass silage (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) under Pastaza conditions

Ricardo Visalde Alvarado Grefa¹, Mishell Gabriela Grefa Alvarado¹, Willan Orlando Caicedo Quinche¹<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGP2324ep03-203>

Resumen

El proceso del FES consiste en cultivar microorganismo en un sustrato utilizando fuentes de energía, nitrógeno y sales minerales, bajo ciertas condiciones de humedad, pH, aireación y temperatura con el fin de tener mínimas pérdida de nutrientes. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la optimización del proceso de fermentación del ensilaje de king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) en condiciones de Pastaza. Se utilizó un diseño de mezclas con el Software Design Expert versión 13, mismo que arrojó 16 experimentos, combinando; tubérculos de papa china, king grass morado, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, preparado microbiano, urea, melaza y material fibroso, en los cuales se determinó: pH, materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extracto etéreo (EE), cenizas, extractos libres de nitrógeno (ELN) y energía bruta (EB) a los ocho días de conservación. Los bioensilajes presentaron resultados favorables en cuanto al pH (4,31 y 5,95), MS (32,06 y 42,68%), PB (19,02 y 21,59%), FB (6,2 y 9,98%), EE (3,38 y 5,98%), cenizas (8,10 y 16,76%), ELN (48,55 y 60,54%) y EB (405,40 y 435,69 Mcal/kg MS). Estos valores demuestran el potencial de la fermentación en estado sólido como una técnica efectiva para la producción de bioensilaje de king grass morado para uso como alimento animal en condiciones de la provincia de Pastaza.

Palabras clave

alimento alternativo, bioensilaje, cultivo microbiano, fermentación

Abstract

The FES process consists of cultivating microorganisms in a substrate using sources of energy, nitrogen and mineral salts, under certain conditions of humidity, pH, aeration and temperature in order to minimize nutrient losses. The objective of the present study was to evaluate the optimization of the fermentation process of purple king grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) silage under Pastaza conditions. A mixture design was used with Design Expert Software version 13, which yielded 16 experiments, combining; Chinese potato tubers, purple king grass, calcium carbonate, magnesium sulfate, mineral salt, microbial preparation, urea, molasses and fibrous material, in which were determined: pH, dry matter (DM), crude protein (PB), crude fiber (FB), ethereal extract (EE), ash, extracts free of nitrogen (ELN) and gross energy (EB) at eight days of storage. The bioensilages showed favorable results in terms of pH (4.31 and 5.95), DM (32.06 and 42.68%), PB (19.02 and 21.59%), FB (6.2 and 9.98%), EE (3.38 and 5.98%), ash (8.10 and 16.76%), ELN (48.55 and 60.54%) and EB (405.40 and 435.69 Mcal/kg DM). These values demonstrate the potential of solid-state fermentation as an effective technique for the production of purple king grass bioensilage for use as animal feed under conditions of the Pastaza province.

Keywords

alternative food, bioensilage, cultivation microbial, fermentation

Direcciones

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: rv.alvaradog@uea.edu.ec; mg.grefaa@uea.edu.ec; wcaicedo@uea.edu.ec;

Autor para la correspondencia

Ricardo Visalde Alvarado Grefa. Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: rv.alvaradog@uea.edu.ec

Cómo citar

ALVARADO GREFA, Ricardo Visalde, GREFA ALVARADO, Mishell Gabriela and CAICEDO QUINCHE, Willan Orlando 2026. Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) en condiciones de Pastaza. PrePrint UEA. Vol. AGP2324. p. ep03–203. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGP2324ep03-203>

Editores Académicos

Jorge Antonio Freile Almeida

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 UEA | PrePrint UEA.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

El pasto king grass morado es una variedad híbrida obtenida del cruce entre *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*, perteneciente a la familia Poaceae y al género

Pennisetum (Arce et al. 2013). Este pasto, también conocida como pasto morado, comparte características con la graminneas perennes, mostrando una estructura similar a la caña de azúcar y la propagación de esta especie ocurre de manera asexual mediante estacas o esquejes. Alcanza alturas de 2.5 a 3 metros, con hojas que oscilan entre los 50 a 120 cm de

longitud y 2.5 a 3.5 cm de ancho. Tanto el tallo como las hojas presentan tonalidades que van desde el rojo púrpura hasta el morado oscuro, mientras que la inflorescencia adopta la forma de una penícula que produce semillas sexuales (Rodríguez, 2021). Además, el pasto king grass morado posee un contenido proteico promedio del 8% y una digestibilidad entre el 50% y el 70% (Herrera et al. 2014).

La papa china, también llamada malanga, taro, ocumo chino o cocoyan según la región, pertenece a la familia aráceae. Sus tubérculos son comestibles tanto para humanos como para animales (Ekanem y Osojil, 2006). Este cultivo se caracteriza por su sencillo manejo y su alta resistencia frente a plagas y enfermedades, permitiendo que los tubérculos puedan almacenarse en el suelo sin sufrir deterioro (Miyasaca et al. 2003).

En la provincia de Pastaza, existen una amplia diversidad pastos, como king grass morado, así como numerosos subproductos derivados de la papa china que son desechados, pero que podrían ser utilizados como alimentos alternativos para alimentación de animales. Esto se debe a que los agricultores desconocen el valor nutritivo de los mismos. Para aprovechar al máximo estos recursos existen alternativas para preparar distintos tipos de alimentos, entre ellas el ensilado, un producto obtenido mediante la fermentación anaeróbica controlada. Esta práctica permite conservar los nutrientes presentes en el material orgánico fresco y garantiza una alta digestibilidad (Caicedo et al. 2015).

El método de ensilado sólido conocido como fermentación en estado sólido (FES) implica el desarrollo de microorganismo en un sustrato, utilizando una fuente de nitrógeno y sales mineralizadas que proporcionan macro y micronutrientes. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones específicas de humedad, pH, aireación y temperatura (Borrás-Sandoval y Torres-Vidales, 2016). Hoy en día, se emplea como una opción económica para elaboración de alimentos para animales, así como en aplicación farmacéutica, biorremediación y descomposición de sustancias nocivas (Arguero, 2014).

El éxito del proceso de fermentación en estado sólido (FES) no solo se basa en la naturaleza y calidad del material a preservar, sino también en la técnica empleada tanto en la cosecha como en el ensilaje. En este contexto, las bacterias ácidas lácticas (BAL) desempeñan un papel crucial. Además de contribuir a la conservación de los alimentos, estas bacterias mejoran las características organolépticas, como el sabor, aroma y textura, al tiempo que aumentan su calidad nutritiva. Por lo tanto, su aplicación en la preparación de productos fermentados encuentra diversas aplicaciones en el ámbito ganadero para mejorar la producción de alimentos destinados al consumo animal (Ramírez et al. 2017).

El diseño de mezclas consiste en ajustar las cantidades de los ingredientes de manera proporcional y controlada. En lugar de tener cantidades ilimitadas, los factores que se pueden controlar representan proporciones específicas en las mezclas. Estas proporciones pueden describirse en unidades como volumen, peso o fracción molar, dependiendo de la naturaleza de los ingredientes (Ludeña-Urquiza et al. 2015), esto quiere decir que busca lograr una combinación equilibrada y planificada de ingredientes, considerando la relación proporcional entre ellos en la mezcla final. Las opti-

mizaciones del proceso de FES se demuestran mediante la obtención de valores óptimos en los parámetros analizados y su comparación con estándares de calidad establecidos. Partiendo de este entorno, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la optimización del proceso de fermentación del ensilaje de king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum tyoides*) en condiciones de Pastaza.

2. Metodología

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en dos etapas, la preparación del inóculo y microsilos se efectuó en la Granja Agropecuaria Caicedo que se encuentra ubicada en el km 2 vía a Madre Tierra, parroquia Tarqui, cantón Pastaza y provincia de Pastaza, Ecuador, su altitud es de 931 m.s.n.m. su latitud “983 01 85” N y longitud “832 41 6” E, esta zona se caracteriza por tener un clima cálido o subtropical húmedo, con precipitaciones entre 4000 y 4500 mm anuales. El análisis químico de muestras del alimento biofermentado se ejecutó en el “Laboratorio de Bromatología” de la Universidad Estatal Amazónica (UEA) misma que está ubicada en el kilómetro 2 ½ a Tena con una altitud de 949 m.s.n.m, latitud de 983 756 8” N y longitud de 166 49 4 E, respectivamente.

Elaboración de inóculos

En la **tabla 1** se muestra los componentes empleados para la elaboración de inóculo; se empleó la melaza 10%, urea 1% sulfato de magnesio 0,2%, premezcla mineral 1%, cultivo de lactobacillus 2% y agua para consumo humano 85,8

Tabla 1 | Componentes del inóculo.

Componentes del preparado microbiano	%
Melaza	10
Urea	1,0
Sulfato de Mg	0,2
Premezcla mineral	1,0
Cultivo de Lactobacillus	2,0
Agua para consumo humano	85, 8

Elaboración del fermentado (FES) de king grass morado con tubérculos de papa china

Para el proceso de elaboración del ensilaje, se tomó en consideración las recomendaciones de Borrás-Sandoval et al. (2017). Se recolectó pasto king grass morado en sector de Tarqui y papa china (tubérculo) de rechazo se obtuvo en el “Mercado Mariscal”, inmediatamente se lavaron y se dejaron escurrir durante 12 horas, al día siguiente se picaron en rodajas, para luego ser introducido en una máquina picadora marca Tlax-Mex y obtener partículas de 2 cm. Las materias primas obtenidos se colocaron en un tanque de plástico y se llevó a un cuarto cerrado para poder realizar las respectivas mezclas.

En la **tabla 2**, se observa la conformación de los 16 experimentos del diseño mezclas del Software Design Expert versión 13. Experimentos 1, 4, 6, 7 y 15 consistieron en 34% papa china, 34% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Ex-

perimentos 2, 9 y 16 consistieron en 25% papa china, 43% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Experimentos 3, 8 y 10 contenían 43% papa china, 25% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Experimento 5 consistió en 28% papa china, 40% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Experimento 11 consistió en 31% papa china, 37% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso.

Experimento 12 consistió en 41% papa china, 27% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de mag-

nesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Experimento 13 con 39% papa china, 29% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso. Experimento 14 tuvo 36% papa china, 32% king grass morado, 0,5 Carbonato de calcio, 0,5% Sulfato de magnesio, 1% Sal mineral, 2% Producto Microbiano, 1% Urea, 2% melaza, 25% Material fibroso.

Las mezclas se homogenizaron en un recipiente durante 5 minutos, inmediatamente se empezó a enfundar (fundas desglosables HG), cada muestra con un peso de 300 g, obteniendo 48 muestras y se colocaron las etiquetas para sus identificaciones, y se dio amarre suave para su conservación.

En la **Tabla 2** se aprecian la composición de los diferentes experimentos

Tabla 2 | Diseño de mezclas en bioensilajes de king grass con tubérculos de papa chin

ID	Experi- mento	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		A: Papa china	B: King grass	C: Carbonato de calcio	D: Sulfato de magnesio	E: Sal mineral	F: P. Microbiano	G: Urea	H: Melaza	J: Material fibroso
		wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %
0	1	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	2	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	3	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	4	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
6	5	28	40	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	6	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	7	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	8	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	9	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	10	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
5	11	31	37	0,5	0,5	1	2	1	2	25
2	12	41	27	0,5	0,5	1	2	1	2	25
3	13	39	29	0,5	0,5	1	2	1	2	25
4	14	36	32	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	15	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	16	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25

En la **Tabla 3**, se muestra la composición nutricional de las materias bases empleadas para la elaboración del bioensila-

Tabla 3 | Composición nutricional de materias primas base seca.

Muestras Naturales	Materia seca, %	Proteína Bruta, %	Fibra Bruta, %	Extracto Etéreo, %	Ceniza, %	Extractos Libres de Nitrógeno, %	Energía Bruta
Papa china	25	7,34	2,23	2,89	6,60	80,91	417,59
King grass	14,12	11,36	31,59	5,28	6,32	45,42	436,85
Semita	90	18,53	5,20	14,35	3,36	58,54	506,47

Determinación de pH en el día 8 de fermentación

Para determinar el pH, se pesó los vasos de precipitación y luego se introdujo la muestra con un peso de 5g, y se anotó el peso en un cuaderno, también en el mismo se agregó 50 mm de agua destilada, esto se realizó en todas las muestras, luego se llevó al agitador y se agregó las barras de agita-

ción magnética para homogenizar las muestras y se esperó durante 4 minutos. Luego de transcurrir el tiempo se llevó al pHmetro, pero antes de introducir la muestra se hizo la limpieza total del equipo con agua destiladas y secarla con papel. Determinación de nutrientes en mezclas king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typoides*)

con tubérculos papa china en biofermentados de 8 días

Determinación de materia seca

Para el secado, se utilizó una plancha de aluminio en la cual se colocaron las muestras y luego se expusieron a una estufa de 65 °C, durante los 4 días en una temperatura controlada, luego se procedió a pesar para registrar los pesos y se calcularon en regla de 3 para obtener la materia seca total de las muestras de la siguiente manera: Luego inmediatamente se procedió realizar el molido y posteriormente se colocaron en fundas de ziploc.

Determinación de grasa

Se procedió a pesar los sobres vacíos y se registró los valores correspondientes en una libreta de apuntes. En el mismo sobre, se realizó el pesaje de 1 g de la muestra, luego se sellaron los sobres y se colocó el recipiente en la máquina, encendida y programada durante 2 horas. Al culminar el tiempo establecido, se retiraron las muestras y se colocaron en una estufa de 105 °C durante 30 minutos. Luego las muestras fueron retiradas de la estufa y colocados en un desecador para su enfriamiento. Finalmente, se llevó a cabo el pesaje de los sobres que contenían las muestras secas y los resultados fueron anotados (Latimer y George, 2023)

Determinación de cenizas

Se registró el peso de crisol cuando estaba vacío, y posteriormente se usó el mismo para pesar una muestra de 1 gramo. A continuación, se procedió a carbonizar a una hornilla hasta que la muestra deje de emitir humo. Después se introducen los crisoles en la Mufla a una temperatura de 550 °C durante 2 horas logrando que adquiera un tono blanco y se deja que se enfríe en el mismo equipo o en un desecador durante un periodo 30 minutos y finalmente se realiza la medición de peso en una balanza analítica, registrando el valor obtenido (Latimer y George, 2023)

Determinación de proteína

Se pesó una muestra de 1 gramo en papel graso y se procedió envolver, luego se colocó en un tubo de digestión junto con 3 perlas de ebullición y una pastilla de Kjeldahl.

Posteriormente se añadieron 20 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y se procedió digerir la muestra durante 2 horas. Después de la digestión, se agregaron 65 mL de agua destilada y 60 mL de hidróxido de sodio (NaOH). A continuación, se llevó a cabo una destilación junto con un matraz se agregaron 3 gotas de Tashiro durante 8 minutos, seguidamente se efectuó la titulación con ácido sulfúrico.

Determinación de fibra

Se etiquetó las bolsas con un rotulador de laboratorio y se pesó una muestra de 1 gramo en cada bolsa. Posteriormente, se homogenizaron las muestras en un vaso de precipitación con agua destilada por 10 minutos y se colocaron en un soporte que cabe de 30 muestras dividido en 10 discos perforados para posteriormente ser colado en el determinador de fibra. Se añade 3 litros ácido sulfúrico y se agita a 89°C durante un tiempo específico. Después de la extracción, se realizan 4 lavados con agua destilada caliente de 3 litros. Se procede a realizar lavados adicionales con otros solventes como alcohol y acetona. Posteriormente, las muestras se ho-

mogenizan y secan antes de ser colocadas en crisoles para ser llevadas a una estufa a 105°C por cuatro horas. Una vez transcurrido el tiempo necesario se coloca en el desecador por 30 minutos para el primer peso. Luego, se coloca en una hornilla eléctrica para estabilizarlas hasta que deje de salir humo de las muestras. Después, se llevan a la mufla por una hora y posteriormente al desecador durante 30 minutos para enfriarlas. Finalmente, se pesan y registran el peso para calcular el porcentaje de fibra.

Los experimentos de los bioensilajes de king grass morado con tubérculos de papa china se formularon empleando el programa Design Expert versión 13, y para el análisis de resultados se hicieron gráficos de barras.

3. Resultados y discusión

En la **Figura 1**, se presentan los resultados del pH obtenido en día 8 del bioensilaje de king grass morado con papa china y tratado con carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza y material fibroso. Los valores del pH más bajo oscilan entre 4,31 en el experimento 16 y más altos con 5,95 en el experimento 4.

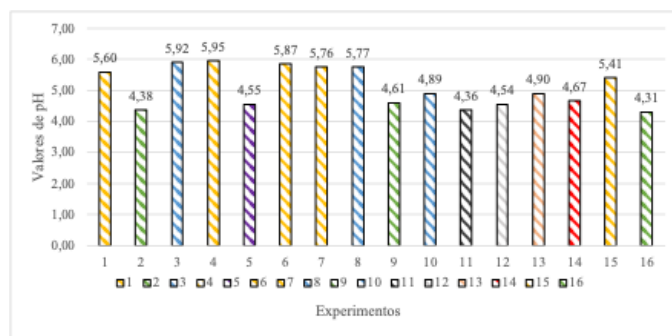


Figura 1 | Comportamiento del pH de bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

El pH es un factor de gran relevancia en el proceso de ensilaje y debe ser monitoreada y ajustado durante las primeras 96 horas de fermentación (Caicedo, 2015), este resultado se alcanza gracias a la actividad de las bacterias lácticas (BAL) presentes en el medio (Caicedo et al. 2018). Un ensilaje conserva su calidad si su pH no supera 5 son aceptables con una alta proporción de materia seca (Jiménez y Moreno, 2000). Sin embargo, se han encontrado FES con valores de pH de 6 en los cuales se favorece el crecimiento óptimo de los microorganismos (Borras-Sandoval et al. 2015).

Según Borras-Sandoval et al. (2015) en los fermentados en estado sólido con papa 68,5%, material fibroso secante 25%, maleza 2%, urea 1%, preparado microbiano 2%, premezcla mineral 0,5%, carbonato de calcio 0,5%, sulfato de calcio 0,5%, mostró que después de transcurrir 8 días, el pH se había estabilizado en 5,18 mostrando una constancia en valor sin cambios significativos, manteniéndose mayormente en un rango alrededor de 5,0 durante periodo de observación. También Chen et al. (2019) a los 7 días de la fermentación del ensilaje de king grass obtuvo un pH de 4,81. Así mismo Guamán (2019) investigó el ensilaje de banano orito con yogurt natural, semita, melaza, carbonato de calcio y sal mineral obtuvo el pH en día 8 un valor de 4,19. Malebana et al. (2019) con ensilaje de pulpa de aguacate obtuvieron los valores de 4,50 a 4,51 entre 7 y 10 días. Por otro lado,

Triana et al. (2014) realizaron un experimento de ensilaje de plátano; pasto + plátano; cascara de naranja; pasto + naranja y Pasto, obteniendo resultados de 4. 5 en el día 8.

En la **Figura 2**, se presentan los resultados correspondientes a la materia seca del bioensilaje de king grass morado con papa china en el día 8 de fermentación, manejados con diversos tratamientos que incluyen carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza y material fibroso. Dentro de los 16 experimentos evaluados, se observa que el valor más bajo registrado es del 32,06% y pertenece al experimento 8, mientras que el valor más alto corresponde a 42,68%, en el experimento 16.

Según Elías y Herrera (2001), en una investigación con fermentación en estado sólido de la Saccharina con caña de azúcar + maíz +soya+Vitafert, a las 24 horas encontró un valor de 39,51% para la materia seca y Jiménez et al (2020) con FES de pasto Taiwán reportaron 32,47% de materia seca a las 36 horas. Mientras Li et al. (2022) reportó bioensilaje de pastos nativos con ácido láctico 36,37% a los 7 días. Los ensilados con contenidos de materia seca superior al 30%, garantizan una conservación más efectiva, lo cual demuestra su importancia como indicador de la calidad de conservación de los mismo (Revuelta,2012), mientras que los valores menores se descomponen fácilmente por ataque de microorganismo (Caicedo et al, 2013). De hecho, Tomich (2003) recomienda mantener valores de 35 a 40% de MS. Sin embargo, la acción microbiana disminuye la materia seca por el tiempo en la elaboración de FES y el producto que se utilice (Borra-Sandoval et al. 2015). Los resultados de esta investigación coinciden con otros autores reportados, lo que se sugiere que este ensilaje se puede mantenerse en condiciones óptimas durante un periodo prolongado sin descomponerse.

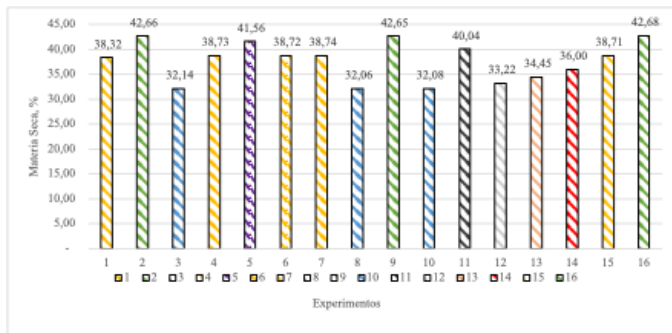


Figura 2 | Comportamiento de materia seca de bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

En la **Figura 3**, se presentan los resultados de la proteína bruta obtenidos en el día 8 del proceso de fermentación del bioensilaje de king grass morado con papa china, tratado con carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza y material fibroso. De los 16 experimentos analizadas en dicho día, se observa que el valor más bajo es 19,02% y correspondiente al experimento 16, mientras que el valor más alto es 21,59% obtenido en el experimento 10.

La fermentación de estado sólido de caña de azúcar y forraje fresco de Moringa oleífera con inclusión de 1.5% de Saccharomyces cerevisiae dio como resultado de PB de 19,80% (Laguna y Martínez, 2018). En otra investigación con FES de caña de azúcar con la incorporación de arroz, maíz molido

y sorgo molido, Ramos et al. (2006) identificaron que los niveles de proteína bruta (PB) oscilaron entre el 18,13% y el 19,70%. También el alimento preparado FES de papa-zanahoria tuvo una concentración de proteína bruta del 19,4% (Caro-Cusba, 2021). Así mismo el FES con papa, zanahoria, manzana durazno, repela de arroz, torta de palmiste tratado y cascarrilla de arroz tratados con carbonato de calcio 0,15%, urea 1%, BAL 2%, mineral 3% y melaza 10% a las 48 horas, en los 3 tratamientos obtuvo valores proteicos de 18,8; 20,9 y 22,5% (Montañez et al. 2019). Estos hallazgos se relacionan con la investigación de Borras-Sandoval et al (2015) quienes demostraron que la proteína cruda de 0 a 15 días se mantiene a un rango de 23 a 19%. Mientras Ley-de Coss et al. (2023) a las 72 horas de fermentación de estado sólido simple de caña integral molida con el BAL demostró 9,35% de proteína bruta.

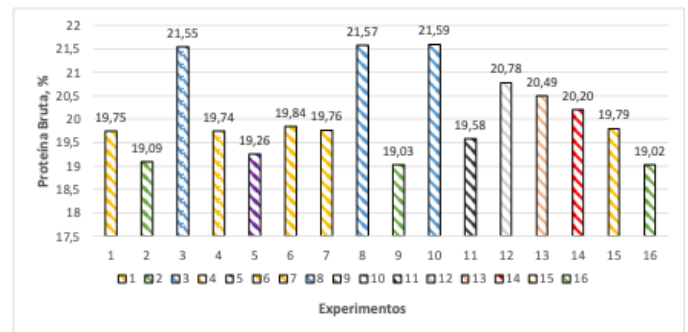


Figura 3 | Comportamiento de la Proteína Bruta del bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

En la **Figura 4**, se presentan los resultados correspondientes a la fibra bruta del bioensilaje de king grass morado con papa china en el día 8 de fermentación. De los 16 experimentos evaluados, se destaca que el valor más bajo registrado es del 6,2% perteneciente al experimento 10, mientras que el valor más alto alcanza el 9,98%, correspondiente al experimento 2.

La fermentación en estado sólido de la Saccharina con tratamiento de caña de azúcar + maíz +soya+Vitafert, después de las 24 horas encontraron un valor de 9,92% de fibra (Elías y Herrera, 2001). Mientras Caro y Cusba (2021) en una investigación con FES de papa y zanahoria a las 72 horas muestran valores de fibra cruda 16,9%. Por otro lado, Montañez et al. (2019) reportan que, a los 4 días, en la mezcla de 50% de papa y zanahoria, hubo un aumento significativo en los valores (7,2 y 6,7%), respectivamente. Mientras Espinosa (2023) al realizar el ensilaje de maíz con 4 tratamientos presento la fibra bruta de un rango de 39,55 a 50,10% superior a la a esta investigación.

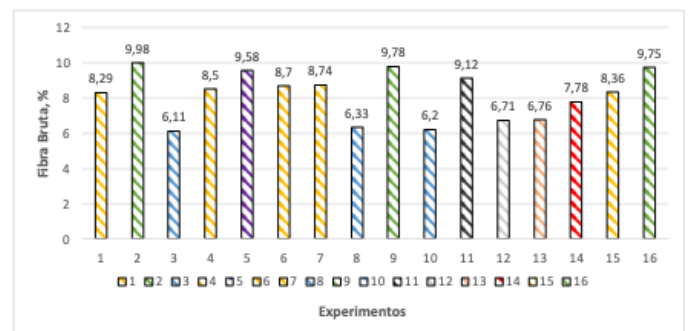


Figura 4 | Comportamiento de la Fibra Bruta de bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

El aumento de la concentración de fibra se da por la duración de fermentación que se emplea, de hecho, los contenidos de paredes celulares aumentan significativamente en comparación con la cantidad del almidón presente en el producto utilizado (Aranda et al. 2012). Los resultados de esta investigación se encuentran dentro de los rangos obtenidos por otros autores, ya que, al equilibrar la fibra bruta con otros componentes de la dieta, garantiza un adecuado aporte de energía y proteína.

En la **Figura 5**, se presentan los resultados correspondientes a la Extracto Etéreo del bioensilaje de king grass morado con papa china en el día 8 de fermentación. El valor más bajo registrado es del 3,38% y corresponde al experimento 8, mientras que el valor más alto es del 5,98% con el experimento 16.

Según Pineda et al. (2016), con bioensilaje de estrella africana (*Cynodon nlemflencis*) mezclado con melaza obtuvo 2,58% de EE. En otra investigación, con fermentación en estado sólido de trigo, a los 4 días, muestran valores de 4,1% (Mandigan et al. 2003). Mientras que con ensilado de king grass, melaza y urea, a los 21 días, se obtuvo valores de 6,67% y a los 35 días redujo a 2,22% (Gonzales, 2013). Los resultados obtenidos en este estudio están dentro de los valores reportados por otros autores, sin embargo, hay variaciones dependiendo de los ingredientes adicionales y las condiciones específicas de fermentación utilizadas en cada estudio.

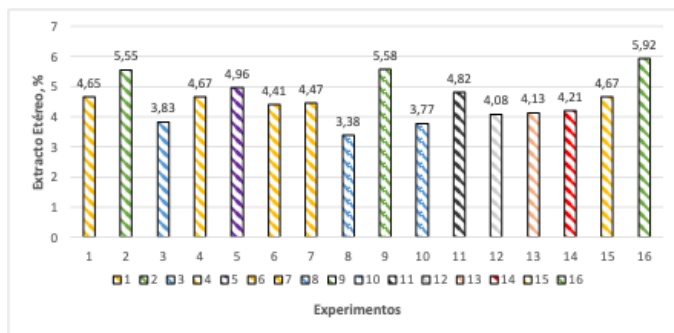


Figura 5 | Comportamiento del Extracto Etéreo (EE) de bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

En la **Figura 6**, se presentan los resultados correspondientes a las cenizas del bioensilaje de king grass morado con papa china en el día 8 de fermentación, sometido a diversos tratamientos que incluyeron carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza y material fibroso. Se observó que el valor más bajo es del 8,18% perteneciente al experimento 8, mientras que el valor más alto es del 16,76%, correspondiente al experimento 16. La fermentación de estado sólido de pasto Taiwán con ingredientes como, melaza, caña de azúcar, urea, sulfato de amonio, mezcal mineral durante 36 horas presentó un valor de ceniza a 15,25% (Jiménez-Alfaro, Solbavarro- Mena y Elizondo-Salazar,2020). Así mismo, Guamán (2019) reportó 8,65% de ceniza con ensilado de estado natural banano. Ensilado de *M. alba* con inclusión de *Musa sp* 15% presento 10,4% (Rojas-Cordero, 2020). Mientras, Vivas (2024) con biofermentado de pasto Saboya (*Panicum maximun* Jacq.) con inclusión de frutas tropicales obtuvo un valor de ceniza de 15,4%. Gonzales (2013) en bioensilaje de king grass con melaza y urea, mostró ceniza 12,15% hasta los 21 días y a

los 35 días mostró 15,90%.

Fonseca-López y Borrás-Sandoval (2014), reportaron un contenido de ceniza de 8,98% al realizar bioensilaje papa fresca. Sin embargo, es necesario considerar que los valores de ceniza están influenciados por la naturaleza del suelo donde se cultiva los productos (Borrás et al.2020). Los resultados obtenidos se encuentran dentro de un rango similar a los reportados en otros materiales fermentados. Esto sugiere que el proceso de fermentación utilizado en el estudio podría proporcionar un nivel adecuado de minerales y nutrientes presentes en forma de ceniza en el producto final.

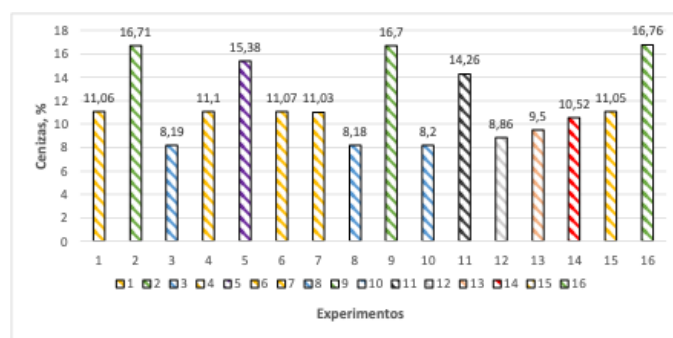


Figura 6 | Comportamiento de las Cenizas del bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

En la **Figura 7**, se presentan los resultados correspondientes a los extractos libres de nitrógeno del bioensilaje de king grass morado con papa china en el día 8 de fermentación. El valor más bajo registrado es del 48,55% perteneciente al experimento 16, mientras que el valor más alto es de 60,54% con el experimento 8.

Heredia (2020) reportó con bioensilaje de maíz con aditivo Jolisaj a 52,32% extracto libre de Nitrógeno. Mientras tanto, Caicedo et al. (2019) con fermentado en estado sólido de tubérculo de papa china, reporto 72,78%. Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los valores obtenidos por otros autores, cabe destacar que en la parte del ELN están los carbohidratos, que se incrementaron respecto al pasto natural por carbohidratos incorporados en la formulación, semita y tubérculos de taro.

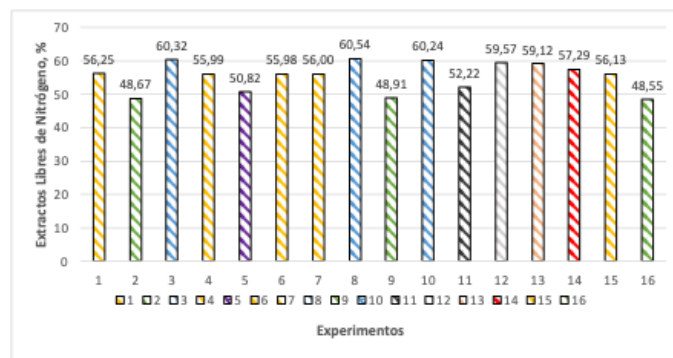
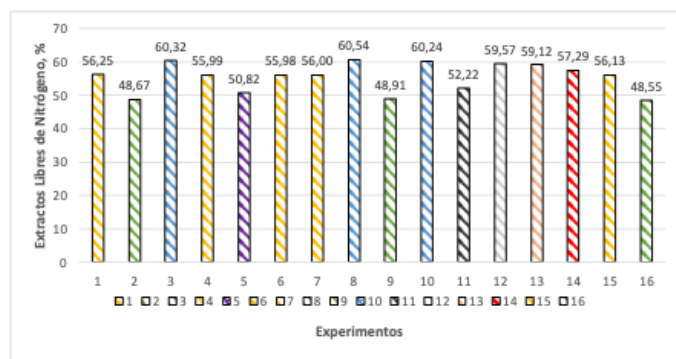


Figura 7 | Comportamiento de Extractos Libres de Nitrógeno del bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

En la **Figura 8**, se presentan los resultados correspondientes a la Energía Bruta del bioensilaje de king grass morado con tubérculos de papa china en el día 8 de fermentación. Se observa que el valor más bajo registrado es de 405,40 Mcal/kg MS perteneciente al experimento 2, mientras que el valor más alto es de 435,69 Mcal/kg MS y corresponde al experimento 8.

Existen varios estudios que muestran resultados similares a este estudio. Según Borrás-Sandoval et al. (2017) manifiesta que el aumento en los niveles de Energía Bruta se origina por la incorporación de aditivos al ensilado que incluye suero de leche, melaza, material secante. Del mismo, Caicedo et al. (2019) y Caicedo et al. (2020) muestran valores superiores a los 466 Mcal/kg MS de EB, en tiempos similares.



Contribuciones de los autores

Ricardo Visalde Alvarado Greff: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

Mishell Gabriela Greff Alvarado: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

Willan Orlando Caicedo Quinche: Aprobación del protocolo de investigación; revisión de la base de datos; aprobación de versiones enviadas y editadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ARANDA, E. M., et al. (2012) Elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido y con diferentes niveles de zeolitas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2), pp. 159–163.

ARCE BARBOZA, B. A.; PEÑA QUIÑONES, A. J.; CÁRDENAS ROCHA, E. A. (2013) Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la selección de especies forrajeras (STDF) en función de la oferta ambiental en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), pp. 215–229.

ARGUERO TAYUPANTA, A. P. (2014) Estudio de la producción de enzima amilasa mediante *Aspergillus niger* por fermentación sólida, con el uso de residuos agroindustriales. Tesis de Licenciatura. Quito.

BORRÁS, L. M., et al. (2020) Solid-state fermentation of post-harvest wastes of *Solanum tuberosum* and a microbial preparation. *Cuban Journal of Science*, 54(4).

BORRAS, L. M.; CABRERA, E. V.; IGLESIA, A. E. (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 microbiano. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(8), pp. 1–16.

BORRÁS-SANDOVAL, L. M.; TORRES-VIDALES, G. (2016) Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido–FES. *Orinoquia*, 20(2), pp. 47–54.

Figura 8 | Comportamiento de Energía Bruta de bioensilaje de king grass morado con papa china obtenido al día 8 de fermentación.

4. Conclusiones

En esta investigación se demuestra el potencial de la fermentación en estado sólido como una técnica efectiva para la producción de bioensilaje para uso como alimento animal en condiciones de la provincia de Pastaza.

Los bioensilajes de king grass morado combinados con tubérculos de papa china, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, preparado microbiano, urea, melaza y material fibroso presentaron valores óptimos en cuanto a pH, materia seca, proteína bruta, fibra bruta, extracto etéreo, cenizas, extractos libres de nitrógeno y energía bruta.

BORRAS-SANDOVAL, L. M.; IGLESIAS, A. E.; SAAVEDRA-MONTAÑEZ, G. F. (2015) Evaluación de la dinámica de conservación del producto final de un alimento obtenido por fermentación en estado sólido de la papa (FES-papa). *Ciencia y Agricultura*, 12(1), pp. 73–82.

CAICEDO, W., et al. (2015) Chemical composition and in vitro digestibility of silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for feeding pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1).

CAICEDO, W.; FLORES, A.; CAICEDO, M. (2018) Indicadores fermentativos de ensilajes de banano florito (*Musa acuminata* AA) con caña panelera (POJ93) para la alimentación porcina. *REDVET*, 19(5).

CAICEDO, W., et al. (2019) Composición química y digestibilidad aparente de tubérculos de taro procesados por fermentación en estado sólido (FES) en cerdos de crecimiento. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), pp. 580–589.

CARO-CUSBA, N. L.; SAAVEDRA-MONTAÑEZ, G. F.; BORRAS-SANDOVAL, L. M. (2021) Evaluación de subproductos de *Solanum tuberosum* y *Daucus carota* mediante FES como alternativa en la alimentación animal. *Ciencia y Agricultura*, 18(2), pp. 55–66.

CHEN, R., et al. (2022) Exploring the effect of wilting on fermentation profiles and microbial community structure du-

ring ensiling and air exposure of king grass silage. *Frontiers in Microbiology*, 13, 971426.

EKANEM, A. M.; OSUJI, J. O. (2006) Mitotic index studies on edible cocoyams (*Xanthosoma* and *Colocasia* spp.). *African Journal of Biotechnology*, 5(10).

ELÍAS, A.; LEZCANO, O.; HERRERA, F. R. (2001) Algunos indicadores bromatológicos y productos finales de la fermentación para la obtención de cuatro tipos de Saccharina inoculados con Vitafer. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(2), pp. 153–158.

ESPINOZA ORTIZ, F. E. (2023) Evaluación de la calidad nutricional del ensilaje de panca de maíz con diferentes aditivos en la provincia de Santa Elena. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

FONSECA-LÓPEZ, D. A.; BORRAS-SANDOVAL, L. M. (2014) Evaluación del efecto de la papa fresca incluida en un alimento para vacas Holstein sobre la producción y la calidad de la leche. *Ciencia y Agricultura*, 11(1), pp. 55–65.

GONZÁLEZ ALBARRACÍN, L. W. (2013) Evaluación de la composición nutricional de microsilo de King Grass (*Pennisetum purpureum*) y pasto Saboya (*Panicum maximum* Jacq) en dos estados de madurez con 25 % de contenido ruminal de bovinos faenados en el camal municipal del cantón Quevedo.

GUAMÁN CALI, A. Y. (2019) Composición química y digestibilidad de nutrientes del banano orito (*Musa acuminata* AA) ensilado en cerdos de crecimiento Landrace × Duroc × Pietrain. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal Amazónica.

HERRERA, R. S., et al. (2014) Frecuencia de corte en indicadores de calidad de variedades de *Pennisetum* y *Saccharum* durante el período poco lluvioso. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(2), pp. 159–166.

JIMÉNEZ, F.; MORENO, J. (2000) El ensilaje: una alternativa para la conservación de forrajes. Bucaramanga: CORPOICA.

JIMÉNEZ-ALFARO, D.; SOBALVARRO-MENA, J. L.; ELIZONDO-SALAZAR, J. A. (2020) Enriquecimiento proteico de dos especies forrajeras y cáscara de piña por medio de fermentación en estado sólido. *Agronomía Costarricense*, 44(2), pp. 175–187.

LAGUNA, M. C.; MARTÍNEZ, Y. K. (2018) Fermentación en estado sólido de caña de azúcar y forraje fresco de *Moringa oleífera* con diferentes niveles de inclusión de *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria.

LATIMER, G. W. Jr. (2023) Guidelines for dietary supplements and botanicals. In: *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, Vol. 22.

LEY-DE COSS, A., et al. (2023) Síntesis de proteína mediante la fermentación de la caña de azúcar adicionada con urea y un cultivo ácido láctico. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(1).

LI, Y., et al. (2022) Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage. *Frontiers in Microbiology*, 13, 830121.

LUDEÑA-URQUIZO, F.; ENCINA-ZELADA, C.; MICHUE-MANGO, J. (2015) Optimización del overrun (aireado), de la dureza, la viscosidad y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. B. (2003) *Biología de los microorganismos*. 12 ed. Madrid: Pearson Prentice Hall.

MALEBANA, I. M. M., et al. (2019) Microbial additives affect silage quality and ruminal dry matter degradability of avocado (*Persea americana*) pulp silage. *South African Journal of Animal Science*, 49(6), pp. 997–1007.

MIYASAKA, S. C., et al. (2003) Site and planting date effects on taro growth: comparison with aroid model predictions. *Agronomy Journal*, 95(3), pp. 545–557.

MONTAÑEZ, G. F. S.; GUERRERO, D. C. C.; MOLANO, C. E. R. (2019) Evaluación de subproductos agrícolas sometidos a fermentación en estado sólido. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), pp. 13–27.

PARRA HUERTAS, R. A. (2010) Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), pp. 93–105.

PINEDA CORDERO, L.; CHACÓN HERNÁNDEZ, P.; BOSCHINI FIGUEROA, C. (2016) Evaluación de la calidad del ensilado de pasto estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) mezclado con tres diferentes aditivos. *Agronomía Costarricense*, 40(1), pp. 11–27.

QUINCHE, W. O. C. (2015) Valoración nutritiva del ensilaje de tubérculos de papa china [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] y su uso en la alimentación de cerdos en crecimiento ceba. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

RAMÍREZ, V. M.; PEÑUELA, L. M.; PÉREZ, M. R. (2017) Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), pp. 107–124.

RAMOS, J. A.; ELÍAS, A.; HERRERA, F. (2006) Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(1), pp. 51–58.

REVUELTA LLANO, D. (2012) Cambios en nitrógeno amínico de ensilados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), pp. 90–92.

RODRÍGUEZ GRANADO, J. M. (2021) Comportamiento agronómico del pasto King Grass morado (*Pennisetum purpureum*) a diferentes edades de corte en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

ROJAS-CORDERO, D., et al. (2020) Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y Forrajes*, 43(3), pp. 210–219.

TOMICICH, T. R., et al. (2003) Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 55, pp. 747–755.

TRIANA, E., et al. (2014) Evaluación de ensilaje a partir

de dos subproductos agroindustriales (cáscara de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Alimentos Hoy*, 22(31), pp. 33–45.

VIVAS, L. M. (2019) Características de fermentación y nutritivas de ensilajes de forrajes tropicales con diferentes niveles de inclusión de subproductos agroindustriales. Tesis Docto-

ral. Universidad de Córdoba.

WILLAN, C., et al. (2013) Efecto de inocuidad del ensilado biológico de tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) para la alimentación de cerdos. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 2(3), pp. 162–171.