

Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de caña limeña POJ93 en condiciones de Pastaza

Optimization of the fermentation process of POJ93 limeña sugarcane silage under Pastaza conditions

Mercedes Elizabeth López Saldarriaga¹, Mariuxi Estefania Guamán Toaza¹, Willan Orlando Caicedo Quinche¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep02-198> 

Resumen

El objetivo de esta investigación consistió en optimizar el proceso de fermentación del ensilaje de caña limeña POJ93 en condiciones climáticas de Pastaza para su utilización en la alimentación animal. Para la formulación de los biofermentados, se realizó un diseño de mezclas, el cual generó 16 experimentos, combinando tubérculos de papa china y caña panelera picados, semita como material secante, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, inóculo, urea y melaza. Los biofermentados se dejaron fermentar a temperatura ambiente por 8 días, protegido de los rayos solares y se determinó: pH, materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), cenizas, extracto etéreo (EE), extractos libres de nitrógeno (ELN) y energía bruta (EB). El material biofermentado presentó un pH adecuado, y produjo un incremento significativo en cuanto a MS, cenizas, PB, EE, FB, ELN y EB. La combinación de tubérculos de papa china y caña panelera picados, urea, melaza y material secante y preparado microbiano, optimizó el proceso de fermentación, mejorando los parámetros nutricionales para su empleo en la alimentación de animales de interés zootécnico.

Palabras clave

fermentado en estado sólido, caña limeña, residuos de papa china, componentes químicos.

Abstract

The objective of this research was to optimize the fermentation process of the silage of Lima cane POJ93 under climatic conditions of Pastaza for use in animal feed. For the formulation of the biofermented, a design of mixtures was made, which generated 16 experiments, combining chopped potato tubers and panelera cane, semite as drying material, calcium carbonate, magnesium sulfate, mineral salt, inoculum, urea and molasses. The biofermented were allowed to ferment at room temperature for 8 days, protected from sunlight and determined: pH, dry matter (MS), crude protein (PB), crude fiber (FB), ash, ethereal extract (EE), nitrogen-free extracts (ELN) and crude energy (EB). The biofermented material had an adequate pH and produced a significant increase in MS, ash, PB, EE, FB, ELN and EB. The combination of chopped potato tubers and panelera cane, urea, molasses and blotting material and microbial preparation optimised the fermentation process, improving nutritional parameters for use in animal feed of zootechnical interest.

Keywords

fermented in solid state, Lima cane, Chinese potato residues, chemical components.

Direcciones

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: me.lopezs@uea.edu.ec; me.guamant@uea.edu.ec; wcaicedo@uea.edu.ec;

Autor para la correspondencia

Mercedes Elizabeth López Saldarriaga. Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: me.lopezs@uea.edu.ec

Cómo citar

LÓPEZ SILDARRIAGA, Mercedes Elizabeth, GUAMÁN TOAZA, Mariuxi Estefania and CAICEDO QUINCHE, Willan Orlando 2026. Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de caña limeña POJ93 en condiciones de Pastaza. PrePrint UEA. Vol. AGP2324. p. ep02-198. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep02-198>

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

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es una planta muy importante en la economía de muchas partes del mundo debido a su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. Los países productores de caña de azúcar se ubican entre los 35,7o LN y 31,0o LS. En las zonas tropicales, extendiéndose a las zonas subtropicales y templadas. Entre los principales países productores de caña de azúcar se encuentran Brasil como principal productor, seguido de India, Tailandia, China, Pakistán, México, Australia, Colombia, Indonesia y Estados Unidos (Lagos-Burbano y

Castro, 2019).

En América Latina fue introducida por Cristóbal Colón durante su segundo viaje al continente, en el siglo XVI se empezó a desarrollar en Ecuador, donde fue introducida desde Colombia, estableciéndose en los valles de la región Interandina y en algunos sectores del Litoral. Este es un cultivo de alto consumo, ya que el 20% de la producción se dedica a la fabricación de panela y un 80% está destinado a la producción de azúcar y alcohol etílico (Iza Guanoluisa 2014).

En la provincia de Pastaza, se cultiva alrededor de 927,05

ha de la variedad POJ93 (limeña), en pequeñas áreas de 2 a 5 ha por finca, como método de producción familiar de valor socioeconómico, siendo la base de sustento de muchas familias campesinas (Caicedo y Caicedo 2021). La papa china (Colacasia Esculeta L.), conocida también como malanga o taro, proviene de Asia, expandiéndose por todo el mundo y arraigándose en Ecuador principalmente en zonas tropicales y subtropicales (Ararat et al., 2014).

Por otra parte, los subproductos de la caña y tubérculos de papa china no se aprovechan eficientemente en la alimentación animal, debido al desconocimiento de la calidad nutritiva de este alimento, la utilización de subproductos como el ensilaje de caña, papa china y otros que se incorporan en formulaciones de biofermentados, son considerados una buena opción para alimentar animales de interés zootécnico (Caicedo, et al. 2018).

El empleo de subproductos y aditivos en el proceso de biofermentados, contribuye la creación de condiciones óptimas que ayuden a mejorar la conservación y el valor nutritivo del FES. La urea aporta beneficios al animal ya que aumenta el consumo facultativo, contiene 46 % de nitrógeno y un total de 287,50 % de proteína. La melaza (liquido viscoso) procedente del resultado de la producción de azúcar contiene un porcentaje elevado de materia seca 75 % y se usa con gran frecuencia para suplir el carbohidrato ya que es fácilmente fermentable (Perea Romano et al., 2017).

El objetivo de esta investigación consistió en optimizar el proceso de fermentación del ensilaje de caña limeña POJ93 en condiciones de Pastaza para su utilización en la alimentación animal.

2. Metodología

Ubicación

La investigación de campo (elaboración de microsilos) se realizó las instalaciones de “Granja Agropecuaria Caicedo”, ubicada en el km 3 ½ vía Madre Tierra, parroquia Tarqui, cantón y provincia de Pastaza, Ecuador con una latitud “983 01 85” N y longitud “832 42 6” E. La determinación de los componentes químicos se llevó a cabo en el “Laboratorio de Bromatología” en la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en el km 2 ½, vía al Tena con una altitud de 949 m s.n.m, latitud de “983 756 8” N y longitud de “166 49 4” N. La zona de estudio tiene un clima subtropical húmedo, con precipitaciones que oscilan entre los 4000 y 4500 mm anuales, una altitud de 931 m s.n.m, humedad relativa media de 87 % y temperatura mínima y máxima de 20 a 32 °C (INAH, 2014).

Preparación del inóculo

En la **Tabla 1** se aprecian los componentes utilizados para la elaboración del inóculo

Elaboración del fermentado (FES) de caña limeña POJ93 con rechazo de papachina

Para esto, se tomó en consideración las recomendaciones establecidas por (Borras-Sandoval et al 2017). Se procesó como base; caña panelera variedad POJ 93, rechazo de papa

china y semita como material secante, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, cultivo microbiano, urea y melaza. La caña y papas de papa china se trocearon en partículas de 2 cm, con una picadora (Tlax-Mex).

Tabla 1 | Componentes del inóculo.

Componentes	% de inclusión
Melaza	10
Urea	1,0
Sulfato de magnesio	0,2
Premezcla vitamínica y mineral	1,0
Cultivo de bacterias lácticas	2,0
Agua para consumo humano	85,8

En un recipiente se homogeneizaron las materias primas por 5 minutos a temperatura ambiente, después se enfundó con fundas negras desglosables (HG), se colocaron 300 g y se colocaron etiquetas para su fácil identificación, y se obtuvieron 48 muestras con un sellado leve para restringir la entrada de insectos. Los bioensilajes se dejaron fermentar por 8 días. La proporción de materias primas empleadas en cada experimento se detalla en la tabla 2.

Los experimentos (1, 4, 6, 7 y 15) tienen la siguiente composición: papa china 34 %, caña limeña 34 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, preparado microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Los experimentos (2, 9 y 16) están compuestos por: papa china 25 %, caña limeña 43 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Los experimentos (3, 8 y 10) tienen: papa china 43 %, caña limeña 25 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Experimento 5: papa china 28 %, caña limeña 40 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 % y material fibroso 25 %.

Experimento 11: papa china 31 %, caña limeña 27 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Experimento 12: papa china 41 %, caña limeña 27 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Experimento 13: papa china 34 %, caña limeña 29 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

Experimento 14: papa china 36 %, caña limeña 32 %, carbonato de calcio 0,5 %, sulfato de magnesio 0,5 %, sal mineral 1 %, producto microbiano 2 %, urea 1 %, melaza 2 %, material fibroso 25 %.

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

Tabla 2 | Composición de los experimentos según el diseño de mezclas del programa de Design Expert.

		Compon ent 1	Compon ent 2	Compon ent 3	Compon ent 4	Compon ent 5	Compon ent 6	Compon ent 7	Compon ent 8	Compon ent 9
I	Ru	A:Papa	B: Caña	C:Carbon	D:Sulfato	E:Sal	F:P.	G:Urea	H:Melaza	J:Material
D	n	china	Limeña	ato de	de	mineral	Microbia			fibroso
		wt %	wt %	calcio	magnesio		no			
				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	27	0,5	0,5	1	2	1	2	25
2	12	41	27	0,5	0,5	1	2	1	2	25
3	13	34	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

Tabla 3 se aprecia la composición de materias primas bases empleadas en el fermentado (FES)

Tabla 3 | Composición de materias primas bases empleadas en el fermentado (FES).

Muestras Naturales	Materia seca %	Proteína Bruta %	Fibra Bruta %	Extracto Etéreo %	Cenizas %	Extractos Libres de Nitrógeno %
PAPA CHINA	25	7,34	2,39	3,51	6,64	80,13
CAÑA LIMEÑA	51,74	8,53	23,74	5,27	6,18	56,28
SEMITA	90	18,38	5,21	14,36	3,36	58,69

Determinación de nutrientes en bioensilajes de caña limeña POJ93 con tubérculos de papa china de rechazo

Determinación de pH

Para determinar este parámetro se pesó los vasos de precipitación y luego se introdujo 5 g de muestra y se agregó 50 mm de agua destilada, se llevó al agitador y se colocó las barras de agitación magnética para que las muestras se homogeneicen, luego de 4 minutos se llevó al pH metro previamente desinfectado con agua destilada.

Determinación de materia seca

Las muestras fueron colocadas en una plancha de aluminio para proceder al secado en una estufa a 60 °C, durante 72 horas para obtener un buen resultado, se procedió a pesar para registrar los pesos y se colocó en un molino después cada muestra fue empacada en fundas ziploc.

Determinación de la grasa

Se peso los sobres vacíos y registro los valores, después en el mismo sobre se pesó 1g de la muestra y se selló para colocarle en la máquina, encendida y programada por 2 ho-

ras. Una vez culminado el tiempo se procedió a retirar las muestras y colocar en una estufa de 105 °C por 30 minutos, las muestras fueron retiradas y colocadas en un desecador para su enfriamiento. Para finalizar se pasó cada uno de los sobres que contenían las muestras secas, los resultados fueron anotados y analizados según el manual AOCS,2023.

Determinación de humedad

Se pesaron los crisoles y se procedió a anotar el peso, sobre el peso se adicionó 1 g de muestra y se anotó el peso, posteriormente se colocaron los crisoles en la estufa a 105 °C por 5 horas, después el tiempo transcurrido se retira de la estufa y coloca en el desecador por 30 minutos, para que enfriase y finalmente se pesa y registra el valor, de la misma manera para calcular los porcentajes se aplicó el manual AOCS,2023

Determinación de ceniza

Se tomó una muestra de 1 g se usó el peso del crisol cuando estaba vacío, posteriormente en una hornilla se carbonizó hasta que la muestra deje de emanar humo, después se colocan los crisoles en la mufla durante dos horas a una temperatura de 550 °C de tal manera que se obtenga un tono blanco, después se deja enfriar por 30 minutos y final-

mente se pesa en una balanza analítica, el valor obtenido se registra por medio del manual AOCS, 2023.

Determinación de proteína

Se tomó papel graso y se pesó 1 g de la muestra, se envolvió y colocó en un tubo de digestión con 3 perlas de ebullición y pastilla de Kjeldahl, se añadieron 20 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, y se digirió la muestra por 2 horas. Al finalizar la digestión se agregaron 5 ml de agua destilada y 60 ml de hidróxido de sodio (NaOH). Después se procedió a realizar una destilación con un matraz al cual se agregaron 3 gotas de Tashiro durante 8 minutos, para finalizar se tituló con ácido sulfúrico.

Determinación de fibra

Con una pluma permanente de color negro se etiquetaron las bolsas (TNT gramaje 100), después se pesaron las muestras y anotaron sus respectivos pesos. Se colocó 1 g de muestra en la bola y peso en la balanza analítica. Para poder hidratar las muestras, primero se colocó en un vaso de precipitación con agua destilada, así no formaremos grumos en la muestra (homogeneizar por 10 min), como siguiente paso se colocan las bolsas en el soporte e introducen en el equipo. Cuando estén insertadas se coloca 3 L de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1, 25 % para FC (AOCS, 2023).

Se enciende la agitación y se ajusta la temperatura a 89 °C, esta es la temperatura ideal para trabajar durante todo el proceso, se debe mantener controlada la temperatura durante 30 min. Al terminar la extracción, se apaga el calentador y la agitación para descartar la solución.

Se deben realizar al menos 4 lavados con agua destilada y colocar 3 ml de agua calentada previamente en el quipo a 89 °C por 5 minutos, escurrimos y repetimos el proceso.

Al finalizar los lavados se colocaron las bolsas de las muestras en el vaso de precipitación, se sumergió la primera lavada 300 ml y la segunda a 400 ml con acetona. Homogeneizamos con las manos hasta que las bolsas se humedezcan, después se secó con papel kraft y colocó en los crisoles para llevarlos a la estufa y precalentarlos durante 4 horas, finalizado el tiempo de secado se pesó y anotó el valor. Para estabilizar se colocó en una estufa hasta que dejé de salir humo, lo llevamos a la mufla por una hora y después al desecador por 30 minutos para que se enfríe, para finalizar se pesa, registra el valor y calcula el porcentaje de fibra.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los experimentos de esta investigación se formularon empleando el programa Design Expert versión 13, y para el análisis de resultados se realizaron gráficos de barras.

3. Resultados y discusión

Valores de pH en el día 8 de fermentación

En la **figura 1**, se observa el comportamiento del pH del bioensilaje de caña limeña, papa china, tratado con carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza, y material secante. Los experimentos 5, 12, 13 y 15 representan los valores más altos (4,6- 4,8);

experimentos 1, 3, 4, 14 y 16 representa valores intermedios (4,44 – 4,51); experimentos 2, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 representan los valores más bajos de pH (4,25 – 4,35).

Dentro de los factores analizados para obtener un bioensilaje de buena calidad que se ajuste a los requerimientos nutricionales y bienestar de las especies zootécnicas, con características organolépticas (olor, color y aroma), el pH cumple un rol fundamental y debe ser monitoreado durante las primeras 96 horas de fermentación, este resultado es posible alcanzarlo gracias a la actividad de las bacterias lácticas (Caicedo, 2015), de la misma manera Salgado et al. (2012) afirma que el pH está relacionado de manera directa para poder obtener un producto final adecuado. Triana et al. (2017), menciona que las bacterias ácido lácticas desencadenan ácidos orgánicos, esto son responsables para obtener una correcta fermentación y la estabilización del pH depende de la acción de estas bacterias.

Al añadir carbonato de calcio ayuda a mantener el pH gracias al poder buferante evitando su descenso rápido lo que pudiera limitar el comportamiento y crecimiento de los microorganismos (Borras et al., 2017).

Estudios realizados por otros investigadores se relacionan con los resultados obtenidos en el presente estudio. Aranda et al. (2016) plantea que el pH se incrementó con el tiempo de fermentación, encontrándose los valores más elevados a las 48, 72 y 96 horas en la elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido con diferentes niveles de zeolitas.

Borras Sandoval et al. (2017), hacen mención que con base en la fermentación sólida post cosecha de los residuos de *Solanum tuberosum*, con salvado de trigo se mostró una disminución de pH a las 48 horas con un valor de 4,73. Por otro lado, Alves Ferreira et al. (2019) en su análisis sobre banana orito con yogurt natural, melaza, semilla, carbonato de calcio y sal mineral a los 8 días, obtuvo un pH de 4,19 esto garantiza que la materia prima pueda conservarse por un tiempo prolongado.

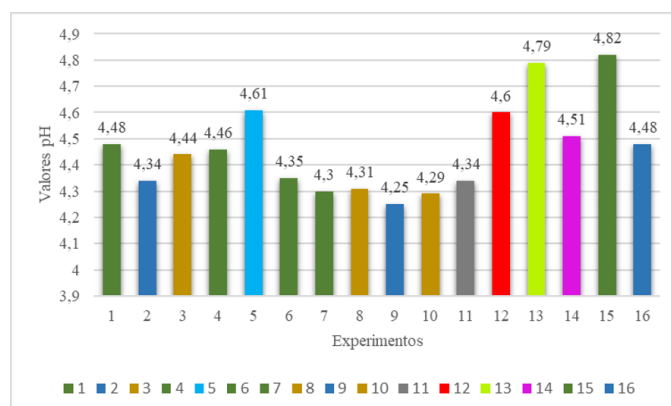


Figura 1 | Comportamiento del pH en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Los resultados de este estudio y con base en la bibliografía analizada se puede demostrar que los datos obtenidos concuerdan con las investigaciones detalladas por los autores, ya que el pH en el día 8 tiene un valor de 4,31 siendo un rango ideal para que las bacterias puedan desarrollarse en el medio alcanzando una productividad máxima.

Valores de MS en el día 8 de fermentación

En la **Figura 2**, se presentan los resultados de la materia seca del bioensilaje de caña limeña y papa china, tratado con carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, producto microbiano, urea, melaza, y material fibroso. Los experimentos 2, 9, 16 representan los valores más altos de materia seca entre (40,03-40,1%); experimentos 1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 y 15 presentan valores intermedios de materia seca entre (38,87-39,65%); experimentos 3, 8 y 10 representan los valores más bajos de materia seca (38,13-38,17%).

La MS de los alimentos fermentados fluctúa entre el 25 y 40% y puede incrementarse por efecto del tiempo de fermentación, ya que ha mayor tiempo pueden llegar hasta un 40%. En este tipo de alimentos se requiere humedad entre 60 y 65% para que se pueda dar una fermentación eficiente, sin superar los niveles de humedad, ya que los nutrientes pueden lixiviarse (Aranda et al., 2016).

Borrás-Sandoval y Torres-Vidales (2016), menciona que una adecuada constitución de MS permite que el alimento se pueda conservar de manera adecuada, el nivel mínimo para una buena preservación del FES es de 30%. Si se llega a un nivel de constitución elevado de MS va a inhibir el crecimiento de clostridios que son los que ocasionan daño en el fermentado (Nkosi et al, 2016).

En otros estudios de FES, la caña limeña dio como resultado 51,74% de MS, dando un promedio adecuado, ya que los nutrientes se encuentran en esta y se necesita un valor adecuado para un buen proceso de FES. Aranda-Ibáñez et al. (2016), registró en su estudio que a las 24 horas cuando se adicionó pollinaza, la MS estuvo dentro de los rangos considerado-óptimos para favorecer el proceso de fermentación con síntesis de proteína microbiana.

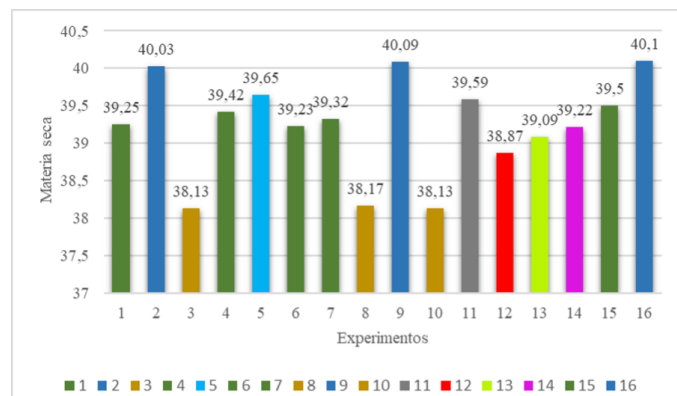


Figura 2 | Comportamiento de materia seca en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Los valores de MS obtenidos se relacionan con investigaciones similares donde demuestran los tiempos de fermentación. Un estudio realizado por Aranda et al. (2016), en relación con la MS del alimento fermentado a base de caña de azúcar, con diversos niveles de zeolita; la materia seca no tuvo efectos ante este componente, sin embargo, los menores valores se encontraron a las 0, 24 y 48 horas sin diferencias significativas entre ellos. A las 72 horas se obtuvo un valor intermedio y el mayor se pudo constatar a las 96 horas.

Valores de PB en el día 8 de fermentación

En la **Figura 3**, se presenta los valores de PB de los bioensi-

lajes de caña limeña y papa china. Los experimentos 3, 8, 10, 12 presentan los valores más altos de proteína bruta (21,13-21,83%); experimentos 1, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14 y 15 representan valores intermedios de proteína bruta (19,23-20,89%); experimentos 2, 9 y 16 tienen los valores más bajos de proteína bruta (17,1-17,57%).

Es un estudio realizado por Aranda-Ibáñez et al. (2016), en relación con la producción y evaluación de alimentos elaborados con caña de azúcar y pollinaza fermentada en estado sólido, hace referencia que la PB se incrementó de manera significativa por la adición de la pollinaza, sin embargo, el tratamiento que tenía mayor contenido de pollinaza a las 24 horas disminuyó y a partir de las 48 horas de FES, tuvo un aumento significativo.

Fonseca-Lopez y Saavedra-Montañez (2018), obtuvieron resultados similares reportados en productos con *Daucus carota* con 35% de inclusión dando un valor inicial de PB de 1,4% y posterior al proceso de fermentación llegaron 18,3%. Sin embargo, el valor de proteína bruta obtenido del FES de chontaduro analizado por Caicedo et al. (2019), fue alto en comparación con otros fermentados sólidos de materias primas.

A las 48 horas de fermentación Borrás et al. (2017), notaron incrementos en los contenidos de proteína del fermentado en estado sólido de residuos de postcosecha de *Solanum tuberosum* debido a la inclusión de carbonato de calcio (CaCO_3) con temperaturas de 20 y 25 °C.

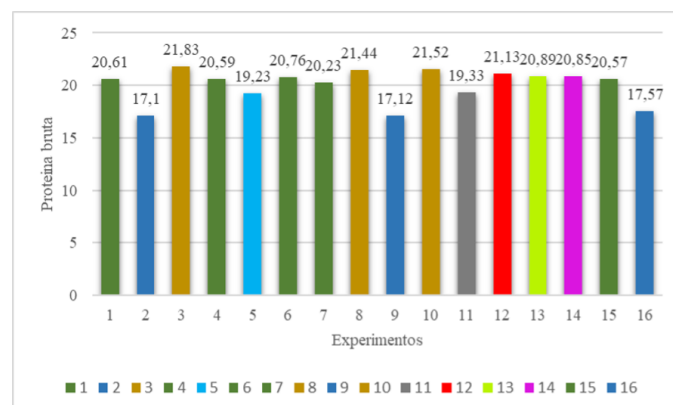


Figura 3 | Comportamiento de proteína bruta en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Valores de FB en el día 8 de fermentación

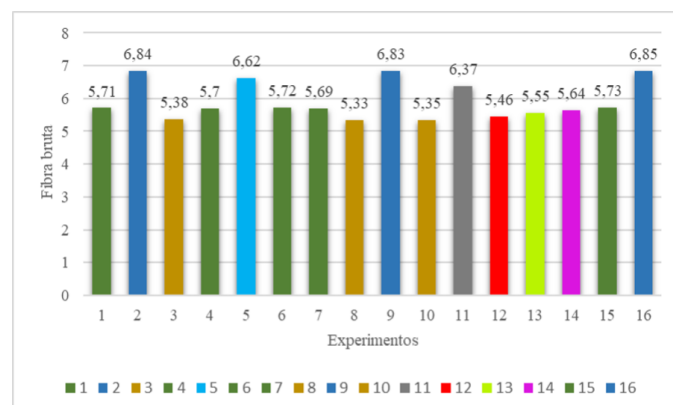


Figura 4 | Comportamiento de fibra bruta en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

En la **Figura 4**, se muestran los resultados de fibra bruta

del bioensilaje de caña limeña con tubérculos de papa china. Los experimentos 2, 5, 9, 11 y 16 tienen los valores más altos de FB (6,37-6,85 %); experimentos 1, 4, 6, 7, 12, 13, 14, 15 con valores intermedios de FB (5,46-5,73 %); experimentos 3, 8 y 10 con los valores más bajos de fibra (5,33-5,38 %).

Al respecto, Saavedra-Montañez et al. (2020), manifiesta que el aumento de la fibra se puede deber al incremento del tiempo de fermentación, mismo que aumenta significativamente el contenido de paredes celulares, con respecto al contenido de almidón del producto usado y a la fermentación producida por los microorganismos de los azúcares.

Valores de EE en el día 8 de fermentación

En la **Figura 5**, se presentan los valores de EE a los 8 días de fermentación. Los experimentos 2, 5, 9 y 16 presentan los valores más altos de extracto etéreo (4,72-4,95 %); experimentos 1, 4, 6, 7, 11, 13, 14, 15 tienen valores intermedios (4,34-4,66 %); experimentos 3, 8, 10 y 12 con los valores más bajos (4,15-4,21 %).

Valores similares de EE se encuentran en los estudios de Caro-Cusba et al (2021) con alimento FES papa – zanahoria dando como resultado 6,35 % de EE, esto hace referencia a los compuestos extraídos con éter etílicos, aquí se encuentran los lípidos y todos los ésteres de los ácidos grasos (vitaminas liposolubles, carotenoides, fosfolípidos, entre otros).

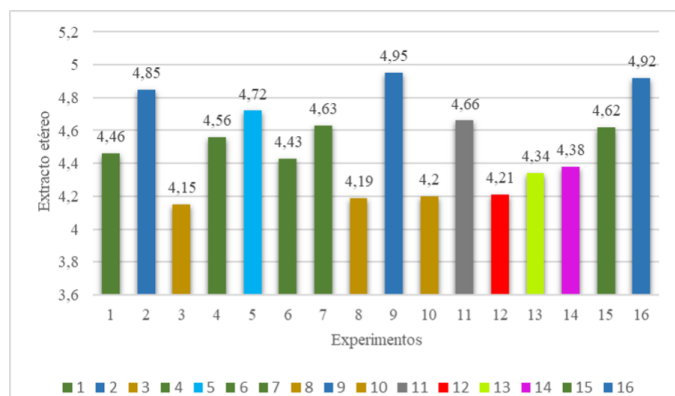


Figura 5 | Comportamiento de extracto etéreo en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Valores de cenizas en el día 8 de fermentación En la **Figura 6**, se muestran los valores de cenizas del bioensilaje de caña limeña con tubérculos de papa china. Los experimentos 2, 5, 9, 11, 16 representan los valores más altos de cenizas entre (7,5-8,19 %); experimentos 1, 3, 4, 6, 7, 12, 13, 14, 15 tienen valores intermedios (6,22 – 6,97 %); experimentos 8 y 10 con los valores más bajos de ceniza (6,02-6,03 %).

El contenido de cenizas de los bioensilajes se relaciona directamente con los minerales de la caña limeña, entre los que destacan calcio, potasio, hierro y magnesio (Caro-Cusba et al., 2021). Por otra parte, Saavedra-Montañez. (2020), hace mención que los valores de la ceniza dependen de la naturaleza del suelo donde ha sido cultivada la materia prima.

La **Figura 6** contiene el comportamiento de ceniza en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

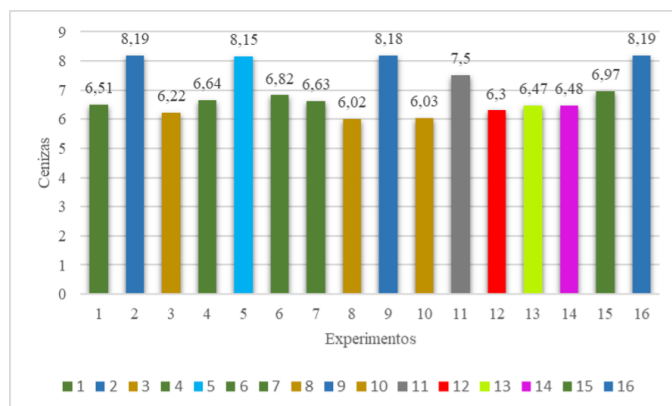


Figura 6 | Comportamiento de ceniza en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Valores de ELN en el día 8 de fermentación

En la **Figura 7**, se muestran los valores de ELN del bioensilaje de caña y tubérculos de papa china. Los experimentos 1, 2, 7, 8, 9, 10, 12 y 14 tienen los valores más altos (62,65-63,02 %); experimentos 3, 4, 6, 11, 15 y 16 representan los valores intermedios de ELN (62,11-62,51 %); experimento 5 tiene el valor más bajo (61,28 %).

En estudios realizados por Caicedo et al (2019), reportaron para tubérculos de taro procesados por (FES) un alto tenor de ELN (72,78 %), producto del alto contenido de carbohidratos que tienen los tubérculos de papa china.

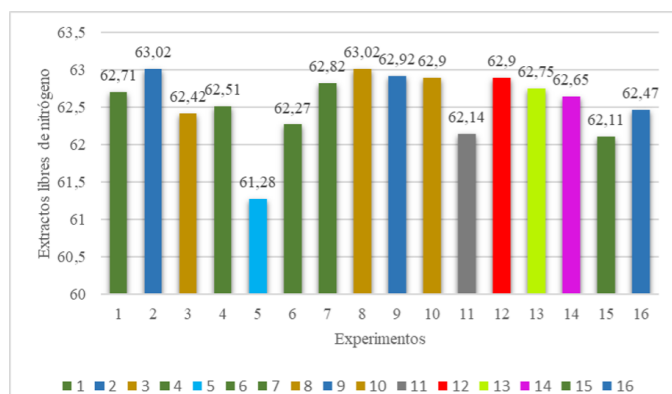


Figura 7 | Comportamiento de extractos libres de nitrógeno en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación.

Valores de EB en el día 8 de fermentación

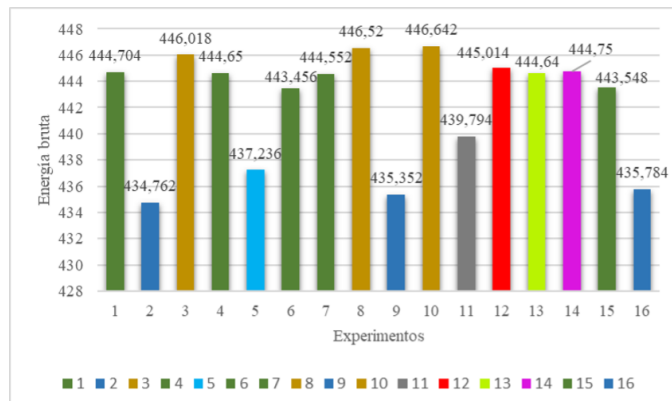


Figura 8 | Comportamiento de energía bruta en bioensilaje de caña con papa china en el día 8 de fermentación. En la **Figura 8**, se observan los valores de energía bruta del bioensilaje de caña limeña, con papa china. Los experimentos 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15 tienen los mayores valores de energía bruta

(443,456-446,642 Mcal/kg MS); 5, 11 representa los valores intermedios de energía bruta está entre (437,236-439,794 Mcal/kg MS); 2, 9, 16 representan los valores más bajos de energía bruta está entre (434,762-435,784 Mcal/kg MS).

Valores similares fueron reportados por Caicedo et al (2019), quienes realizaron estudios sobre la composición química de tubérculos de papa china procesados por (FES), obtuvieron un valor de EB de 416,213 Mcal/kg MS. Esto se debe a que los tubérculos de papa china tienen un alto contenido de carbohidratos y por ende una excelente fuente de energía.

4. Conclusiones

El empleo de procesos de biofermentación es una alternativa óptima para preservar la caña limeña para épocas donde

los forrajes de corte no alcanzan los niveles nutricionales adecuados para la alimentación animal, el enriquecimiento de la caña complementada con tubérculos de papa china, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, inóculo, urea, melaza y material secante optimizó el proceso de fermentación.

El uso de tubérculos de papa china, material secante, melaza, urea y material fibroso, permitió mejorar la composición nutricional de la caña limeña, presentando incrementos significativos en relación con la materia seca, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta, extractos libres de nitrógeno y energía bruta, generando un alimento de alto valor nutricional para su empleo en la alimentación de animales de interés zootécnico.

Contribuciones de los autores

Mercedes Elizabeth López Saldarriaga: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

Mariuxi Estefania Guamán Toaza: 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

ALVES FERREIRA, F., VIÁFARA, D., GUAMÁN, A., SÓCOLA, C., PÉREZ, M., DÍAZ, L., MOTTA, W., & CAICEDO, W. (2019) Evaluación química y digestibilidad fecal de cerdos en crecimiento alimentados con banano orito (*Musa acuminata* AA) fermentado en estado sólido. Researchgate, 31.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists) Official methods of analysis.

ARANDA-IBÁÑEZ, E., RAMOS-JUÁREZ, J., SALGADO, S., & ARIAS, F. (2016) Production and evaluation of feed concentrate made from sugar cane (*Saccharum* spp.) and fermented chicken droppings in solid state. Agroproductividad, 47-51.

ARANDA, I., RAMOS, J., GUZMÁN, T., MENDOZA, M., SALGADO, G., & IZQUIERDO, F. (2016) Evaluation of food fermented with raw and burnt sugar cane (*Saccharum* spp.) stems. Agroproductividad, 60-64.

ARARAT et al. (2014) Valoraciones agronómicas y de rendimiento en la cosecha de papa china (*Colocasia esculenta* L.) en el trópico húmedo colombiano. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 25-32.

BORRÁS SANDOVAL, L., VALIÑO CABRERA, E., & ELÍAS IGLESIA, 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. REDVET, 3-13.

BORRAS-SANDOVAL, L. M. and TORRES-VIDALES, G. (2016) Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido - FES. Orinoquia.

BORRAS LUIS MIGUEL, RODRIGUEZ C., RODRIGUEZ A. (2017) Inclusión de carbonato de calcio (CaCO_3) en la cinética de fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum*. Revista Ciencia y Horticultura, 145-148.

CAICEDO, W., FLORES, A., & CAICEDO, M. (2018) Fermentative indicators of banana silage (*Musa acuminata* AA) with cane (POJ93) for swine feeding. REDVET.

CAICEDO, W., RODRÍGUEZ, R., LESCANO, P., VALLE, S., & FLORES, L. (2015) Chemical composition and in vitro digestibility of silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for feeding pigs. Cuban Journal of Agricultural Science, 59-64.

CAICEDO, W. (2019) Chemical composition and apparent digestibility of taro tubers processed by solid state fermentation (SSF) in growing pigs. Revista de Investigación Veterinaria del Perú, 580-589.

CAICEDO, W. and CAICEDO, L. (2021) Chemical and microbiological characteristics of cocoa shell silage (*Theobroma cacao* L.) treated with natural yogurt. Revista de Investigación Veterinaria del Perú.

CAICEDO, W. et al. (2019) Calidad fermentativa de ensilajes líquidos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) tratados con yogur natural, suero de leche y melaza. Revista de Investigación Veterinaria del Perú, 167-177.

CARO-CUSBA, N. L., SAAVEDRA, G. F., & BORRAS-SANDOVAL, L. M. (2021) Evaluation of byproducts of Sola-

num tuberosum and *Daucus carota* by FES as an alternative in animal feed. *Ciencia y Agricultura*, 20–25.

FONSECA-LÓPEZ, D., & SAAVEDRA-MONTAÑEZ, G. (2018) Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 175–182.

LAGOS-BURBANO, E. and CASTRO-RINCÓN, E. (2019) Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 917–934.

IZA GUANOLUISA, E. (2014) Respuesta a la fertilización orgánica de tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. híbrido) en la parroquia Simón Bolívar, provincia de Pastaza. *Universidad Estatal Amazónica*.

NKOSI, B. D., MEESKE, R., LANGA, T., MOTIANG, M. D., MODIBA, S., MUTAVHATSINDI, T. F., & MALEBANA, I. M. (2016) Effects of bacterial inoculation on the fermentation characteristics and aerobic stability of ensiled whole plant

soybeans (*Glycine max* (L.) Merr). *South African Journal of Animal Science*, 129–138.

PEREA ROMAN et al. (2017) Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Ciencia en Desarrollo*, 39–50.

SAAVEDRA MONTAÑEZ, G. F., BORRÁS SANDOVAL, L. M., & CALA GUERRERO, D. C. (2020) Liquid silage of peach residues (*Prunus pérsica*) as an alternative for animal feed. *Ciencia en Desarrollo*, 33–37.

SALGADO, S., ARANDA, E., GEORGANA, E., & RAMOS, J. (2012) Elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido con diferentes niveles de zeolitas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 159–163.

TRIANA, E., LEAL, F., CAMPO, Y., & LIZANO, H. (2014) Evaluación de ensilaje a partir de dos subproductos agroindustriales (cáscaras de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Revista Alimentos Hoy*, 33–45.