

Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de Pastaza

Optimization of the fermentation process of corn silage (*Zea mays* L.) under Pastaza conditions

Manuel Alcibar Tiwi Vinza¹, Franklin Geovanny Plasencia Cochancela¹, William Orlando Caicedo Quinche¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGP2324ep05-211> 

Resumen

La región amazónica ofrece recursos que se puede aprovechar para la alimentación animal, pero sin embargo en Pastaza, hay desafíos que exigen atención específica en mejorar la deficiencia nutricional en los animales sobre todo la condición climática que presenta esta zona. El objetivo de este estudio consistió en evaluar las características de la optimización del proceso de fermentación del ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de Pastaza para mejorar la calidad y eficiencia del producto final. El área de estudio se llevó a cabo en la "Granja Agropecuaria Caicedo" en la parroquia Tarqui, cantón y provincia de Pastaza. En esta investigación se empleó un diseño de mezclas con el software Design Expert versión 13.0, mismo que arrojó 16 experimentos compuestos por de forraje de maíz con tubérculo de papachina, semita, melaza, carbonato de calcio, urea, sulfato de magnesio, yogur natural, salmín y preparado microbiano. Seguidamente, se comprobó el pH, Materia Seca (MS), Fibra Bruta (FB), Proteína Bruta (PB), Extracto Etéreo (EE), Cenizas, Extractos Libres de Nitrógeno (ELN) y Energía Bruta (EB). El bioensilaje mostró resultados positivos en cuanto al pH (6.28), MS (43.18%), PB (24.53%), EE (6.59%), Cenizas (7.84%), ELN (59.27%) y EB (446.15 Mcal/kg MS). El bioensilaje de forraje de maíz constituye una gran perspectiva para aprovechar los recursos que se encuentran en la zona para la alimentación de animales monogástricos herbívoros y poligástricos.

Palabras clave Abstract

fermentación sólida; nutrición; ensilaje de maíz con papachina; preparado microbiano

The Amazon region offers resources that can be used for animal feeding, but nevertheless in Pastaza, there are challenges that require specific attention to improve nutritional deficiency in animals, especially the climatic condition that this area presents. The objective of this study was to evaluate the characteristics of the optimization of the fermentation process of corn silage (*Zea mays* L.) in Pastaza conditions to improve the quality and efficiency of the final product. The study area was carried out in the "Caicedo Agricultural Farm" in the Tarqui parish, canton and province of Pastaza. In this research, a mixture design was used with the Design Expert software version 13.0, which yielded 16 experiments composed of corn forage with papachina tuber, semita, molasses, calcium carbonate, urea, magnesium sulfate, natural yogurt, salmine and microbial preparation. Next, the pH, Dry Matter (DM), Crude Fiber (FB), Crude Protein (CP), Ethereal Extract (EE), Ash, Nitrogen-Free Extracts (ELN) and Gross Energy (EB) were checked. The biosilage showed positive results in terms of pH (6.28), DM (43.18%), CP (24.53%), EE (6.59%), Ash (7.84%), ELN (59.27%) and EB (446.15 Mcal/kg MS). Biosilage of corn forage constitutes a great perspective to take advantage of the resources found in the area for feeding monogastric herbivorous and polygastric animals.

Keywords

solid fermentation; nutrition; corn silage with papachina; microbial preparation

Direcciones Autor para la correspondencia Cómo citar

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: ma.tiwiv@uea.edu.ec, fg.plasenciac@uea.edu.ec, wcaicedo@uea.edu.ec

Manuel Alcibar Tiwi Vinza. Universidad Estatal Amazónica, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: ma.tiwiv@uea.edu.ec

TIWI VINZA, Manuel Alcibar, PLASENCIA COCHANCELA, Franklin Geovanny and CAICEDO QUINCHE, William Orlando 2026. Optimización del proceso de fermentación del ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de Pastaza. PrePrint UEA. Vol. AGP2324. p. ep05–211. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGP2324ep05-211>

Editores Académicos

Jorge Antonio Freile Almeida

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal
Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | 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 Región Amazónica presenta formidables riquezas potenciales que, si se aprovechan y se usan convenientemente, pueden constituirse un factor importante para mejorar el nivel y la calidad de producción mediante un proceso de fermentación. En este contexto, es necesario encontrar fuentes alternativas de alimentación para los animales (Caicedo et al.2016).

En Pastaza, a pesar de la alta productividad de los suelos, estos son pobres en nutrientes y dependen del reciclaje de materia orgánica para mantener su fertilidad. Además,

presentan una alta tasa de rotación de materia orgánica y pueden ser sometidos a altos niveles de intemperismo, lo que genera deficiencia de minerales en los pastos. Estas condiciones resultan en un suelo frágil y vulnerable a la perturbación antropogénica, lo que puede llevar a una pérdida en su función y, por ende, a daños en los ecosistemas y los servicios que estos proporcionan (Guimarães et al., 2017)

Estos alimentos, pueden ser manejados mediante procesos de biotecnología con microorganismos, misma que se considera aplicable en la producción de alimentos para animales mediante la utilización de platas agrícolas en postcosecha y agroindustriales. Este enfoque tiene el potencial de aumen-

tar tanto la cantidad como la disponibilidad de nutrientes, además de mejorar su digestibilidad. Entre las técnicas empleadas, se destaca el ensilaje como una opción viable (Espinoza, 2023).

El bioensilaje es un tipo de fermentación en estado sólido (FES), lo que implica que los sustratos están en forma sólida. Esta técnica permite usar fuentes no convencionales de carbohidratos, como residuos fibrosos, en la alimentación animal. Esto se logra mediante microorganismos que descomponen y fermentan los sustratos durante el proceso de fermentación (Sandoval et al., 2017).

Por lo tanto, optimizar estos procesos ayuda a organizar, mejorar y proponer nuevas metodologías para lograr una mayor eficacia y eficiencia en el aprovechamiento de materias primas. El maíz (*Zea mays*) es una poácea de gran interés e importancia agroeconómica, ya que toda su estructura puede aprovecharse para producir diversos derivados como harinas, ensilajes, aceites, entre otros. Además, se utiliza con éxito en sistemas de producción pecuaria para la alimentación animal (Hassan & Saeideh, 2022).

Según la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA 2019) el maíz es apto para el ensilaje debido a su abundancia en carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en ácido láctico. Además, es importante que los ensilados de maíz tengan un pH bajo, aproximadamente igual o inferior a 4, y que los niveles de nitrógeno amoniacal y nitrógeno soluble sean menores al 10% y al 50% del nitrógeno total, respectivamente.

La *Colocasia excelente* (papachina) es una valiosa fuente de carbohidratos. Su contenido de hidratos de carbono como almidón, azúcares, fibra cruda son fácilmente digerible. Adicionalmente, el maíz es rico en nutrientes como vitaminas, minerales y fibra, lo que lo convierte en un recurso alimenticio importante, especialmente en áreas donde se cultiva ampliamente. Esto contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y la nutrición de las comunidades locales (Arana, 2023).

Por otro lado, los inoculantes son compuestos que contienen bacterias productoras de ácido láctico y se añaden a la población bacteriana natural con el fin de mejorar y asegurar una fermentación más rápida y eficiente en el silo. Esta práctica busca mejorar el valor nutritivo del maíz al inducir y optimizar el proceso fermentativo. Este proceso se distingue por la presencia de diferentes tipos de fermentaciones (Mena, 2013).

La fermentación típica es llevada a cabo por levaduras y bacterias lácticas, aunque algunos metazoos y protistas también pueden participar en ella. Los lactobacilos, siendo bacterias gran positivas, pueden ser anaeróbicos o aeróbicos facultativos, y se encuentran en grandes cantidades en la mayoría del tracto gastrointestinal. Por lo general, se localizan en áreas donde hay una amplia variedad de sustancias ricas en carbohidratos disponibles. (Monroy, 2013).

Entre los carbohidratos solubles la melaza de caña de azúcar, reconocida como una fuente de energía altamente digerible, La melaza no solo mejora la digestibilidad de la fibra, sino que también proporciona una fuente de energía fácilmente asimilable (Salas et al., 2019). El objetivo de este trabajo

consiste en evaluar la caracterización de la optimización del proceso de fermentación del ensilaje de maíz (*Zea maíz L.*) en condiciones específicas de Pastaza para mejorar la calidad y eficiencia del producto final a partir de a) la determinación de diferentes aditivos y técnicas de inoculación en la calidad nutricional y la estabilidad aeróbica del ensilaje b) un diagnóstico del efecto de la combinación de bioensilaje de forraje de maíz con tubérculos de papa china.

2. Metodología

Ubicación geográfica

La elaboración de microsilos se realizó en la “Granja Agropecuaria Caicedo” situada en la parroquia Tarqui, en la provincia de Pastaza, Ecuador. La granja se encuentra a una altitud de 931 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas de latitud “983 01 85” N y longitud “832 41 6” E (figura 1).



Figura 1 | Localización de la zona de estudio

Nota. El marcador de color rojo indica la georreferenciación de la Granja Agropecuaria Caicedo

La determinación de análisis de la muestra se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica, ubicado en el kilómetro 2 ½ de la vía al Tena, con una altitud de 949 m.s.n.m. Las coordenadas donde se encuentra localizado el laboratorio son 983 756 8” N de latitud y 166 49 4” E de longitud.

Tipo de investigación

Es esta investigación es de tipo experimental, este método implica la manipulación cuidadosa de variables para controlar el proceso y obtener datos cuantitativos detallados (Vara-Horna, 2012). Se montaron 16 experimento producto de diseño de mezclas, con la finalidad de realizar una caracterización bromatológica de optimización del proceso de fermentación del ensilaje de maíz en condiciones de Pastaza, para ello se emplearon graficas de barras para un análisis exhaustivo.

Elaboración del inóculo

Se selecciono una fuente de microorganismos beneficioso y se cultivó en un medio nutritivo adecuado para su crecimiento óptimo. Después, en una etapa de desarrollo activo, el preparado se colocó en el material de bioensilaje a una concentración específica. Asegurando conservar las condiciones óptimas en condiciones ambientales para promover el crecimiento y la actividad microbiana para un proceso fermentativo (**tabla 1**).

Tabla 1 | Componentes para la elaboración del inóculo microbiano con actividad ácido láctica

Componentes	%
Sulfato de magnesio	10
Melaza	10
Urea	1,0
Premezcla mineral	1,0
Cultivo lactobacillus	2,0
Agua	85,5

Tabla 2 | Composiciones nutricionales de las muestras naturales

Nutrientes	MS %	PB %	FB %	EE %	Ceniza %	ELN %	EB %
Papa china	25	7,34	2,23	2,89	6,60	80,91	417,59
Maíz	20	9,44	16,98	4,78	6,59	62,18	430,42
Semita	90	18,53	5,20	14,35	3,36	58,54	506,47

Experimentos 1-4-6-7-15

Incluyó un 34 % de papachina y 34 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Experimentos 2-9-16

Incluyó un 25 % de papachina y 43 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Los experimentos 3-8-10

Incluyó un 43 % de papachina y 25 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Experimento 5

Incluyó un 28 % de papachina y 40 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Elaboración del bioensilado de Zea maíz con tubérculos de Colocasia esculenta

Se recolecto forraje de maíz con mazorca en grado lechoso pastoso, y se procedió a picar en partículas de 2 cm. Paralelamente, se realizó la limpieza y el lavado de los comerlos de papa china e inmediatamente se procedió con el picado. En la formulación ingredientes como la melaza, carbonato de calcio, urea, sulfato de magnesio, yogur natural, sal mineral y preparado microbiano. Los microsilos se dejaron fermentar por 8 días, y para monitorear el proceso fermentativo se extrajeron muestras representativas para cada experimento. En la tabla 2 se muestran la composición nutricional de las muestras naturales que fueron utilizados para la elaboración del bioensilaje conjuntamente con la actividad microbiana.

Experimento 11

Incluyó un 31 % de papachina y 37 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Experimento 12

Incluyó un 41 % de papachina y 27 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Experimento 13

Incluyó un 39 % de papachina y un 29 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano.

Experimento 14

Incluyó un 36 % de papachina y 32 % de maíz para una base nutritiva equilibrada. También, se adicionó importantes elementos como 0,5 % de carbonato de calcio, 0,5 % de sulfato de magnesio, 1 % de sal mineral, 1 % urea, 2 % de melaza, 25 % de material fibroso y 2 % de producto microbiano (**tabla 3**).

Tabla 3 | Formulación del bioensilaje de maíz (Zea maíz) con papa china (Colocasia esculenta)

			1	2	3	4	5	6	7	8	9
ID	Run	Row Status	A: Papa china	B: Maíz	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	Normal	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	2	Normal	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	3	Normal	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	4	Normal	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
6	5	Normal	28	39	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	6	Normal	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	7	Normal	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	8	Normal	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	9	Normal	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25
1	10	Normal	43	25	0,5	0,5	1	2	1	2	25
5	11	Normal	31	37	0,5	0,5	1	2	1	2	25
2	12	Normal	41	27	0,5	0,5	1	2	1	2	25
3	13	Normal	39	29	0,5	0,5	1	2	1	2	25
4	14	Normal	36	32	0,5	0,5	1	2	1	2	25
0	15	Normal	34	34	0,5	0,5	1	2	1	2	25
7	16	Normal	25	43	0,5	0,5	1	2	1	2	25

Análisis de muestras para determinar la composición nutricional del bioensilaje de maíz.

Las variables analizadas abarcaron aspectos fundamentales para evaluar la composición nutricional de las mezclas. Entre estas variables se incluyeron el pH, materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), cenizas, extracto etéreo (EE), extractos libres de nitrógeno (ELN) y energía bruta (EB) de acuerdo con los procedimientos de (AOAC, 2023).

Para determinar el pH, se agregó una muestra de 5 g en un vaso de precipitación y se añadió 50 mm de agua destilada, sucesivamente se repitiendo este procedimiento para todas las muestras con sus respectivas réplicas. A continuación, se colocaron barras agitadoras magnéticas en la muestra y se ubicó en los agitadores (Velp Scientifica; Estados Unidos) se dejó revolver por un periodo de 4 minutos, permitiendo esto una correcta homogeneización, transcurrido el tiempo, se trasladaron al equipo pH-metro (Hanna; México) con la finalidad de realizar su respectiva medición.

Para determinar la materia seca, se empleó el método de eliminación el contenido de agua por medio de aplicación de calor de acuerdo con los procedimientos de AOAC (2023). Se comenzó con la desecación de las muestras a 60 °C por 4 días, ya secas las muestras se pesaron con la ayuda de balanza de precisión (Ohaus; México). Una vez pesadas, las muestras se molieron, etiquetaron y marcado con su propia identificación. Luego, se procedió con el análisis de humedad de los 16 experimento de día 8 de fermentación.

Seguidamente, se determinó la obtención de ceniza mediante la aplicación de calor de una hornilla (Marcimex; Ecuador) hasta alcanzar calcinar las muestras. Inmediatamente se trasladaron los residuos inorgánicos quedados en el crisol a la mufla (Thermo Fisher Scientific; Estados Unidos) por dos horas. Trascurrido el tiempo, se extrajo los crisoles para su enfriamiento, se introdujo en la desecadora (Labolan; España) durante 15 minutos, pasado ese tiempo se empezó a pesar y registrar los datos en una libreta. En análisis de contenido grasa, se pesó los sobres vacíos y se registró los valores. En el mismo sobre, se un pesaje de 1 g de la muestra, luego se sellaron los sobres y se ocupó el equipo de extractor de grasa (Ankom; Estados Unidos). Las muestras se dejaron en el equipo por dos horas, seguido se colocó a la

estufa (Memmert; España) por 105 C° por 30 minutos. Al finalizar este proceso, se extrajo, se dio un enfriamiento en la desecadora, controlado durante 15 minutos, pasado ese tiempo se comenzó a pesar las muestras (AOAC, 2023).

Para el análisis de la fibra bruta se etiqueto las bolsas de tipo TNT con un rotulador de tejido marca Sharpie de punta fina y tinta permanente de color negro. Se pesaron las muestras, se registraron los pesos en una libreta. Cada bolsa se cargó con 1 g de muestra y se pesó utilizando una balanza analítica (Ohaus; México). Con el objetivo de hidratar las muestras, se introdujeron en un vaso de precipitación de 3000 mL con agua destilada para evitar la formación de grumos, se homogeneizaron manualmente durante por unos 10 minutos. Se situaron las bolsas en un soporte e ingresaron al equipo, donde se añadieron 3 L de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 1,25 % en el equipo de determinación de fibra (Tecnal; Brasil).

Se inició la agitación y se encendió la temperatura hasta alcanzar a 88-89 °C por 30 minutos. Trascurrido el tiempo, se apagó los reguladores con la finalidad de eliminar solución resultante. Se realizaron al menos 4 lavados por 5 minutos a una temperatura de 85 C° con agua destilada, seguidamente se procedió a repetir el mismo proceso con ácido de sodio (NaOH). Terminado los lavados, las muestras se traspasaron a un vaso de precipitación y se sumergieron en 300 mL de alcohol el primer lavado, el segundo se agregó 400 mL de acetona en dos tiempos fregados, se secaron con papel kraft. Ya escurrido las muestras se colocaron en crisoles y se introdujo por 4 h en la estufa, al siguiente día se extrajeron de la estufa y se ubicaron en el desecador para su enfriamiento por 10 minutos, pasado el tiempo se pesaron y se registraron los pesos. Finalmente se calcinaron la muestra en una hornilla, se llevó los crisoles con los restos de materia inorgánica restantes a la mufla por 1 h a 550 C°, se alojó en el desecador por 15 min y efectuó pesaje final (AOAC, 2023).

En el análisis de proteína según Goyal (2022) con el método de Kjeldahl menciona que se basa en una volumetría ácido-base, se siguió rigurosamente de acuerdo con los procedimientos de (AOAC, 2023). Se comenzó tomando una muestra de 1 g envuelta en papel graso y se ubicó en un tubo de digestión, junto con 3 perlas de ebullición y una pastilla

de Kjeldahl. Seguidamente, se agregaron 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, iniciando la digestión de la muestra por un lapso de 3 horas. Después de este proceso, se incorporaron 65 mL de agua destilada y 60 mL de hidróxido de sodio (NaOH). La fase subsiguiente consistió en llevar a cabo una destilación, añadiendo al matraz 3 gotas de Tashiro y procediendo con la destilación durante 8 minutos. Posteriormente, se efectuó la titulación con ácido sulfúrico y se registró los datos obtenidos.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de mezclas con el apoyo del programa estadístico Design Expert versión 13.0, mismo que arrojó 16 experimentos, y para el análisis de resultados se realizaron gráficos de barras, lo que permitió visualizar y comparar el rendimiento de cada combinación de los experimentos.

3. Resultados y discusión

El pH del bioensilaje de maíz, utilizando una combinación de tubérculo de papa china y aditivos como el carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sal mineral, inoculantes microbianos, urea, melaza y material fibroso, muestran una acidificación moderada (rango de 4.39 a 5.67). Esta acidificación indica una fermentación ácida adecuada, que es fundamental para mantener la calidad nutricional y la estabilidad microbiológica del bioensilaje (**Figura 2**).

Al comparar estos resultados con estudios similares, se observa una consistencia en los hallazgos. Por ejemplo, en una investigación realizada en Los Ríos, Ecuador, por Guerra et al. (2017), sostienen que en el ensilado de maíz forrajero con cáscara de maracuyá y 30 días de fermentación, en el tiempo 0, 24, 48, 72, 96, 120 y 144 horas no existe diferencia significativa ($p > 0.05$), y concluyeron que para mantener la acidificación es importante utilizar inoculantes microbianos.

En otro estudio con FES de papa y material secante, Moyano (2014) obtuvo valores de pH que oscilaron entre (4,3 y 5,7) cifras similares a las obtenidas en este estudio, es fundamental mantener el pH con estos valores para favorecer un crecimiento microbiano.

Sin embargo, en el experimento 13 se observa un aumento en el valor de pH (6.28) respecto al rango deseado, para lograr una conservación óptima del forraje. De hecho, Abdul et al (2017), resaltan la posibilidad de que el bioensilaje no haya alcanzado la acidificación necesaria, lo que podría resultar en pérdidas de la materia seca.

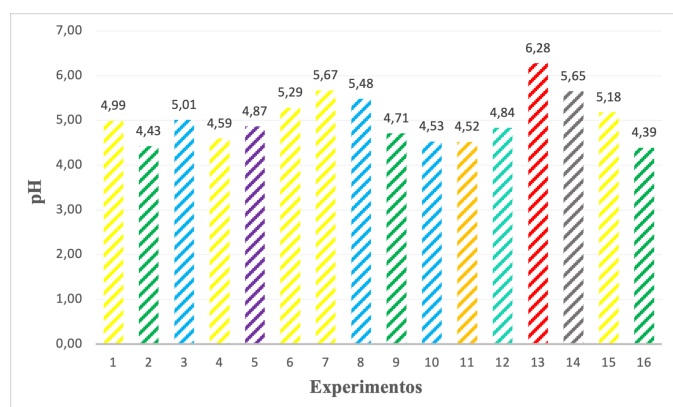


Figura 2 | pH en el día 8 de fermentación en cada experimento

En los experimentos 2, 9 y 16, se observa un contenido de MS del 43 %; experimento 5, se registró un contenido de MS ligeramente menor, con un 42.76%; experimento 11 exhibió un 41,49 % de MS; experimentos 1, 4, 6, 7 y 15 presentan un contenido de MS del 41 %, excepto el experimento 6, que mostró una disminución significativa con un 38.80 % (**Figura 3**).

Según Espinoza (2017), los resultados de materia seca (MS) en relación con la composición nutricional de la inclusión de cáscara de maracuyá en el ensilaje de maíz oscilan entre 27.16 % y 28.31 %, cifras inferiores respecto a las obtenidas en esta investigación, valores por debajo de 30 % pueden afectar el proceso fermentativo ocasionando pérdidas del alimento fermentado. Los mayores valores de MS encontrados en esta investigación se relacionan con el uso de material secante (Sandoval et al 2017).

Ferraretto et al. (2018) sugieren que la reducción en la concentración de materia seca durante los procesos de fermentación podría deberse al calor utilizado para su medición, ya que este puede volatilizar alcoholes, acetato, propionato y una porción del lactato. Sin embargo, se observó que en los experimentos 3, 8 y 12, que son repeticiones, se presentó un bajo contenido de concentración de materia seca (37.52 %). Estos valores tienden a disminuir progresivamente a medida que aumenta el estadio reproductivo de la planta, Este patrón se observa también en el estudio de Barrera (2019), donde se alcanzó un contenido de materia seca del 36,44 % en la etapa R5 (grano dentado), con una humedad aproximada del 55 %

Los porcentajes de materia seca y su relación con la disponibilidad de nutrientes, según Salazar (2017) es importante considerar la producción de biomasa y la calidad nutricional teniendo en cuenta que la altura de corte influye en la composición nutricional de los forrajes. Mientras que, Correa et al. (2013) mencionan que a medida que se incrementa el nivel de inclusión de vinaza en el ensilaje de maíz, hay una tendencia a reducir el contenido de materia seca, el mismo autor indica que una menor materia seca en el ensilaje puede tener implicaciones en su estabilidad durante el almacenamiento, ya que una mayor humedad puede promover la proliferación microbiana y la fermentación no deseada.

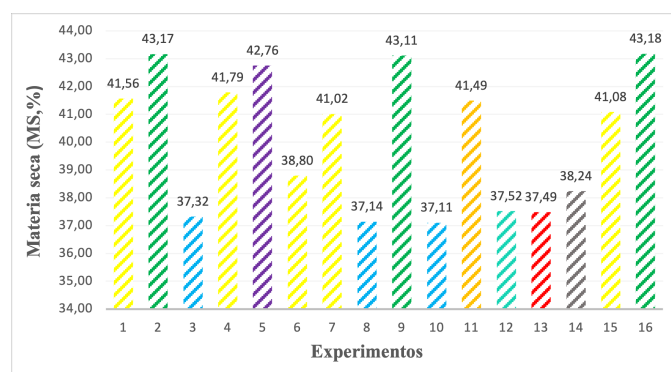


Figura 3 | Contenido de materia seca (MS) obtenidos en el día 8

Los valores obtenidos respecto al contenido de Fibra Bruta (FB) se observan en la (**Figura 4**). Los experimentos 2, 9 y 16 obtuvieron valores superiores al 9.30 %; experimento 15, mostró un valor de 9.14 %; experimento 11 registró un valor de 8.98 %; experimentos 15, 4, 6, 1, 7, 14, 13, 12, 8, 3 y 10

mostraron valores de FB inferiores a 9,15

Espinoza (2023) elaboró ensilaje de maíz forrajero y obtuvo valores de FB entre 39.55 y 50.10%, estos resultados son superiores a los obtenidos en esta investigación, lo cual se debe al uso de combinación de materias primas con bajo nivel de FB, este entorno es favorable para lograr un mejor aprovechamiento de la pared celular. Por otra parte, cuánto más alto sea el contenido de fibra, menor será el contenido energético del alimento (FOSS, 2018).

Respecto al bajo tenor de FB del bioensilaje de maíz, los datos obtenidos en esta investigación son satisfactorios para mejorar la velocidad de tránsito digestivo, un aspecto muy interesante en la formulación de piensos para animales monogástricos, como indica la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Además, se destaca que en este proceso de fermentación en estado sólido (FES) se empleó tubérculos de papa china que tienen un bajo tenor de este nutriente (Caicedo, 2019).

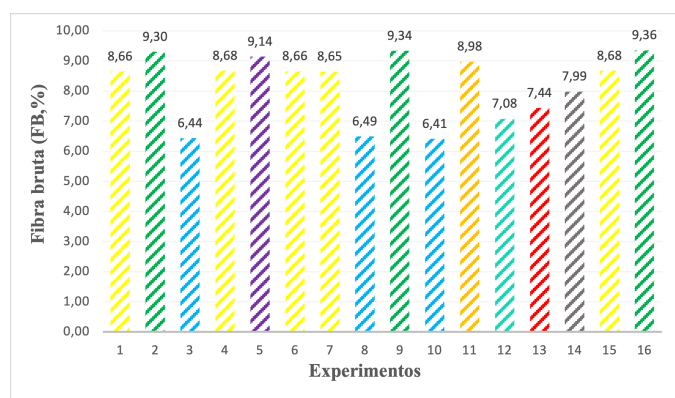


Figura 4 | Contenido de fibra bruta (FB) en el día 8 de fermentación

Los experimentos 3, 8 y 10 mostraron un alto contenido de proteína bruta (>24%); experimento 12 con 23.83% de PB; experimentos 13 y 14 registraron 22.79% y 21.29%, respectivamente; experimentos 1, 4, 6, 7 y 15 presentaron un contenido de PB del 20%. Sin embargo, los experimentos 11, 2, 9 y 16 presentaron valores por debajo del 19.24% (**Figura 5**).

Mendoza (2019) indica que, que la inoculación de *Lactobacillus plantarum* para la fermentación y conservación del ensilaje de maíz, los valores de PB fueron superiores a los 45 días (10,13%). Por otro lado, Silveira y Santos (2017) reportan porcentajes de proteína cruda en ensilajes de maíz inferiores al 8%. En otro estudio, Díaz (2013) indica que la cantidad de PB en el bioensilaje de pastos y forrajes como alimento para rumiantes con preparado de prefermento mixto fue de (13.43%).

Los valores de PB obtenidos por estos autores son más bajos que los encontrados en este estudio, en el cual se obtuvo resultados entre 17,73 y 24,53%, lo cual podría atribuirse a la adición de urea, preparado microbiano, melaza, mismo que favorece al proceso de fermentación, esto conlleva a la reducción de carbohidratos y la producción de proteínas microbiana (Aguirre et al 2018). Al respecto, Molano (2023) indica que al evaluar tres activadores ruminales sólidos (SAR) con adición de diferentes niveles de inclusión de un preparado microbiano, se observa una estabilidad en el contenido de PB a lo largo del tiempo, alcanzando un 22% a

los 90 días.

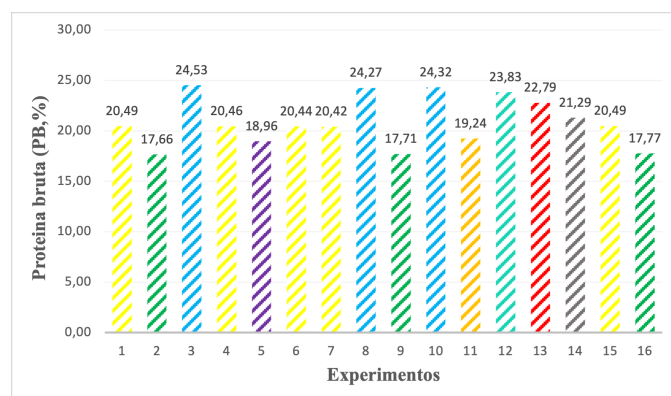


Figura 5 | Valores de Proteína Bruta (PB) obtenidos en el día 8 de fermentación

El extracto etéreo (EE) en los experimentos 2, 9 y 16 en el día 8 de fermentación presentó los mayores valores con 6,46% a 6,59%, mientras que los experimentos 1, 4, 6, 7, 11, 13, 14 y 15 presentaron niveles intermedios entre 4,21% a 4,77%. Sin embargo, los experimentos 3, 8 10 y 12 muestran valores bajos entre 3,50% a 3,90% (**Figura 6**).

Los valores obtenidos en este estudio están en concordancia con Martínez (2017) mismo que indica en el FES de maíz el contenido de EE está entre 3,76% y 4,54%, el extracto etéreo del alimento hace referencia a los compuestos extraídos con éter etílicos, aquí se encuentran los lípidos y todos los esteres de los ácidos grasos.

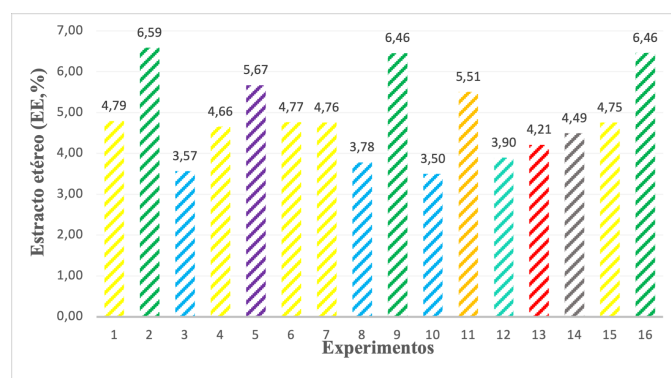


Figura 6 | Contenido de extracto etéreo (EE, %) en el bioensilaje de maíz y papa china al día 8 de fermentación.

Los valores obtenidos en la concentración de cenizas para los 16 experimentos, se encuentran en valores entre 6,52% a 7,58% (**Figura 7**).

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los hallazgos encontrados por Famakin (2016) misma que presenta un contenido de cenizas de 6,65% en el ensilaje de maíz. Por el contrario, Mera (2022) en su investigación de composición química de ensilaje de maíz (*Zea mays*) y cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) en porciones distintos en una dieta, indica mayores valores 9.42%, 12,18%, 11,12% y 12,52%. Los contenidos de ceniza en el alimento se relacionan con la presencia de minerales, entre los que se pueden resaltar calcio, magnesio entre otros.

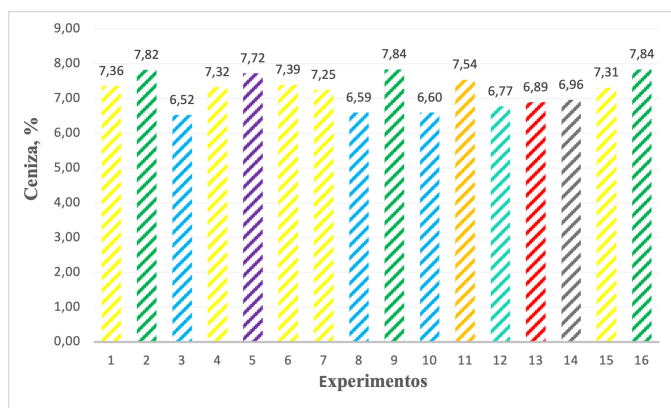


Figura 7 | Nivel de ceniza en el bioensilaje de maíz y papa china al día 8 de fermentación

Respecto al contenido Extractos Libre de nitrógenos (ELN), en los experimentos 10 y 14 se obtuvieron valores entre 59,19 a 59, 27%. Por otra parte, los experimentos 3, 4, 7, 8, 11, 7 y 15 presentaron valores intermedios de 58,74 a 58,94%. Sin embargo, los experimentos 1, 2, 5, 6, 12, 13 y 16 presentaron los menores valores 58,42 a 58,70% (**Figura 8**).

Valores similares de ELN fueron reportados en la investigación realizada por Heredia (2022) quienes lograron 57.32% de extracto libre de nitrógeno con ensilaje solido de maíz. En otra investigación realizada por Espinoza (2023) en la evaluación de la eficiencia nutricional del ensilaje de panca de maíz, lograron obtener valores bajos de ELN de 39,61%, 40.88% 40.93% y 39.12%, lo cual se debió al alto contenido de fibra del alimento.

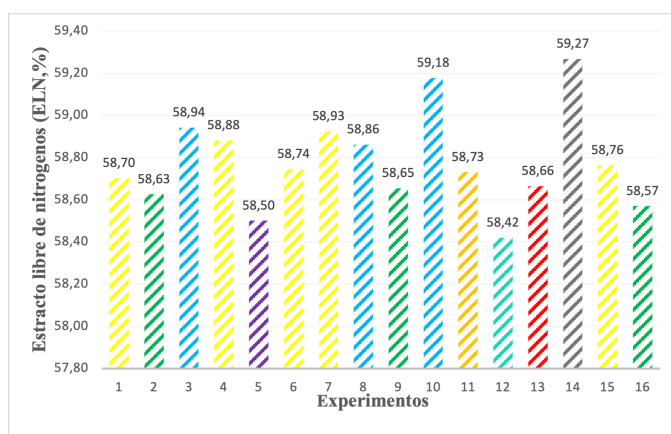


Figura 8 | Contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN, %) de maíz y papa china al día 8 de fermentación.

En la Energía Bruta (EB) los Experimentos 2, 3, 8, 9, 10, 12,

13 y 16 presenta valores altos con 444,86 a 446,15 Mcal/kg MS. Los experimentos 5, 11 y 14 presentaron valores intermedios con 443,60 a 443,94 Mcal/kg MS (**Figura 9**).

Los valores de energía bruta (EB) de esta investigación están en correspondencia a los reportados por Guamán (2019) y Caicedo et al. (2019), quienes indican valores entre 400 y 480 Mcal/kg MS en fermentados en estado sólido (FES) de banano y taro, respectivamente. Los valores altos de EB se deben a la presencia del contenido de carbohidratos solubles en el ensilaje; entre los que se destacan los tubérculos de papa china y melaza.

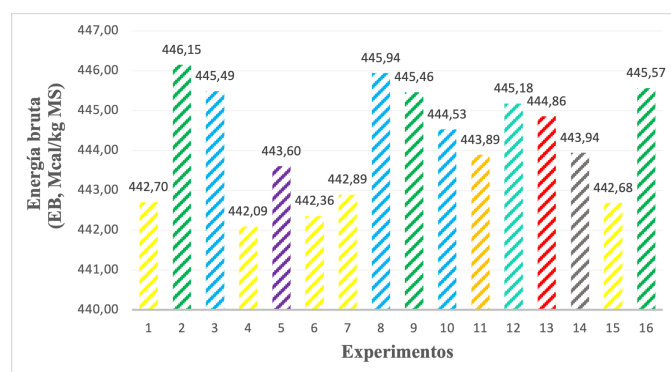


Figura 9 | Valores de energía bruta (EB, Mcal/kg MS) de maíz y papa china a los 8 días de fermentación

4. Conclusiones

La fermentación en estado sólido de una combinación de forraje de maíz con tubérculo de papachina, semita, melaza, carbonato de calcio, urea, sulfato de magnesio, yogur natural, salmín y preparado microbiano, presenta una oportunidad prometedora para la alimentación de animales de interés zootécnico en la zona. Esta estrategia permite aprovechar eficazmente los recursos disponibles en el sitio, ofreciendo una fuente de alimento nutritiva, que permite contribuir significativamente a mejorar la producción animal y la sostenibilidad agrícola en el área.

El bioensilaje de forraje de maíz, presentó resultados favorables, en cuanto en pH, materia seca, ceniza, proteína bruta, extractos libres de nitrógeno y energía bruta para emplear un uso eficiente en la dieta de los animales. Estos valores indican un alimento nutricionalmente equilibrado y apropiado para satisfacer las necesidades alimenticias de los animales.

Contribuciones de los autores

Manuel Alcibar Tiwi Vinza: Curación de datos, Análisis formal y Redacción – Preparación del borrador original

Franklin Geovanny Plasencia Cochancela: Curación de datos, Análisis formal y Redacción – Preparación del borrador original

William Orlando Caicedo Quinche: Conceptualización, Curación de datos, Supervisión y Redacción – Revisión y edición

Todos los autores aprobaron la version enviada y editada.[0.5em]

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ABDUL RAHMAN, Norafizah, et al. Determination of the use of *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium freudenreichii* application on fermentation profile and chemical composition of corn silage. *BioMed Research International*, 2017, vol. 2017.

AGUIRRE, L. A., et al. Efecto del suero de leche en la fermentación en estado sólido de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.) para uso en la alimentación de rumiantes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 2018, vol. 52, no 3, p. 303-312.

AOAC. Método oficial de análisis de AOAC internacional. 2a ed. Prensa de la Universidad de Oxford, 2023. ISBN 9780197610145.

ARANA MONTENEGRO, José Alexander. Comportamiento agronómico de cultivares de papa china (*Colocasia esculenta*) en el Ecuador. 2023. Tesis de Licenciatura. BABAHOYO: UTB, 2023.

BARRERA, José J.; BONILLA, Juvenal A. Efecto de ensilaje de maíz (*Zea mays*) cosechado en diferentes estados fenológicos y dos tamaños de partícula sobre el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso en ganado de carne. 2019. Tesis Doctoral. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.

CAICEDO, Willan, et al. 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*, 2019, vol. 30, no 2, p. 580-589.

CAICEDO, Willan, et al. 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*, 2020, vol. 31, no 4.

DÍAZ, Eunice Coromoto Guevara. Ensilado de pastos y forrajes como estrategia de conservación alimenticia para rumiantes. *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*, 2013, p. 251.

ESPINOZA ORTIZ, Freddy Eduardo. Evaluación de la calidad nutricional del ensilaje de panca de maíz con diferentes aditivos en la provincia de Santa Elena. 2023. Tesis de Licenciatura. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

ESPINOZA, Italo, et al. El efecto de inoculantes microbianos sobre la composición bromatológica y estabilidad aeróbica de ensilado de maíz forrajero (*zea mays*) y cáscara de maracuyá (*passiflora edulis*). *Revista de Investigación Talentos*, 2017, vol. 4, no 2, p. 18-22.

FERRARETTO, L. F., FERNANDES, T., SILVA FILHO, W. I., SULTANA, H. y MORIEL, P. Pérdida de materia seca, perfil de fermentación y estabilidad aeróbica de granos cervancieros húmedos ensilados con diversas cantidades de maíz seco molido. 2018, *El Científico Animal Profesional*, 34(6), 642-648.

FOSS. El análisis de la fibra en el pienso animal en fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) - los estándares y las opciones de automatización. 2018. FOSS ANALYTICAN. P. 1-32.

GUALOTO, Estrada; CRISTIAN, J. Composición química y digestibilidad aparente de los nutrientes de la harina de rechazo de banano orito (*Musa Acuminata* AA) en cerdos largewhite x pietrain en la etapa de crecimiento. 2018. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal Amazónica.

GUAMÁN CALI, Andrea Y. Composición química y digestibilidad de nutrientes del banano orito (*Mussa Acuminata* AA) ensilado en cerdos de crecimientos landrace x duroc x pietrian. 2019. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal Amazónica.

GUERRA, Italo Fernando Espinoza, et al. Efecto de inoculantes microbianos sobre las características químicas y fermentativas de ensilajes de maíz forrajero. *Revista Espamciencia*, 2015, vol. 6, no 1, p. 15-21.

GUIMARÃES, Rachel M. L., et al. The merits of the Visual Evaluation of Soil Structure method (VESS) for assessing soil physical quality in the remote, undeveloped regions of the Amazon basin. *Soil and Tillage Research*, 2017, vol. 173, p. 75-82.

HEIDARI, Hassan and HOSSEINI, Saeideh Sargol. Effect of removal of the upper stem of the ear (topping) and nitrogen application on maize for

dual-purpose production of fodder and seed. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* [online]. 2022, vol. 75, n. 3, pp. 10053-10060. Epub Sep 30, 2022. ISSN 0304-2847.

HEREDIA GUERRA, Andrés Sebastián. Efecto de la adición de dos aditivos en ensilaje de maíz (*Zea mays*) sobre la calidad nutritiva del silo. 2020.

GOYAL, Kanya, et al. Kjeldahl method. *Advanced Techniques of Analytical Chemistry*, 2022, vol. 1, p. 105-112.

PÉREZ, Mena. Procesos fermentativos. *Revista de la Universidad de Guadalajara*. 2014, 2(4), 1-16.

MARTÍNEZ, Daniela A. Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado. 2017. Tesis Doctoral. Zamorano, Escuela Agrícola Panamericano, 2017.

MERA MACÍAS, Nathaly Sullyn. Composición química de ensilaje de maíz forrajero (*ZEzea mays*) y cáscara de plátano verde (*musa paradisiaca*) en diferentes proporciones en una dieta base. 2022.

MOLANO, Carlos Eduardo Rodríguez; SANDOVAL, Luis Miguel Borrás; BARRERA, Iván Camilo Henao. Evaluación de tres activadores ruminales sólidos (SAR), con adición de diferentes niveles de inclusión de un preparado microbiano. *RIAA*, 2023, vol. 14, no 1, p. 2.

MOLINA CONTRERAS, Sonia Paola; URQUIJO VELA, Karen Daniela. Uso de residuos agroindustriales en alimentación de rumiantes y métodos para mejorar su eficiencia de uso. 2021. Tesis Doctoral. Universidad Santo Tomás.

MOYANO BAUTISTA, Mónica Andrea, et al. Fermentación en estado sólido (fes) de la papa (*Solanum Tuberosum*), como alternativa tecnológica para la alimentación animal. 2014.

MONROY, Byron Leoncio Díaz; IGLESIAS, Arabel Elías; VALIÑO, Elaine. Consorcios microbianos con actividad ácido-láctica promisorios aislados desde inoculantes bacterianos nativos para ensilajes. *Revista ciencia y Agricultura*, 2014, vol. 11, no 1, p. 17-25.

ROMERO, Henry Yarbey Suarez; SANDOVAL, Luis Miguel Borrás; MOLANO, Carlos Eduardo Rodríguez. Caracterización de bloques multinutricionales con bovinaza enriquecidos con un preparado a base de bacterias ácido lácticas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2021, vol. 12, no 2, p. 115-126.

SILVEIRA, Leidiane; SANTOS, Thiago Moreira. Silagem de cana-de-açúcar acrescida con aditivos químicos e inoculante bacteriano. *Pubvet*, 2016, vol. 11, p. 424-537.

SALAS-REYES, Isela G., et al. Productive and economic response to partial replacement of cracked maize ears with ground maize or molasses in supplements for dual-purpose cows. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2019, vol. 10, no 2, p. 335-352.

SALAZAR, Jorge Alberto Elizondo. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 2017, p. 329-340.

SANDOVAL, Luis Miguel Borrás; CABRERA, Elaine Valiño; IGLESIA, Arabel Elías. 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*, 2017, vol. 18, no 8, p. 1-16.

S, CALSAMIGLIA, FERRET A y BACH A. Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2018. ISBN 978 84 617 5894.

VALENCIA, Alberto, HERÁNDEZ Antonio y LÓPEZ Lorena. El ensilaje: ¿qué es y para qué sirve? *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 2011, 24(2), 1-14. ISSN 0187 8786.

VILLEGAS Oria, MIGUEL Ignacio. Utilización de yogur bovino como aditivo en el ensilaje de maíz (*zea mays*) en asociación con frijol (*phaseolus vulgaris*). *Metanoia: revista de ciencia, tecnología e innovación* [en línea]. 2023, 10(1), 10-22. ISSN 2953-6545.v10i1.3190.