

Research Article

Efecto de la Cáscara de Plátano en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero

Effect of Banana Peels on Fermentation and the Microbiota of Forage Corn Silage



Espinoza-Guerra, Italo Fernando ¹



<https://orcid.org/0000-0002-2975-3087>



iespinoza@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio ²



<https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>



acedenom@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny ³



<https://orcid.org/0009-0004-6134-5376>



jmunoz@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Barrera-Álvarez, Alexandra Elizabeth ⁴



<https://orcid.org/0000-0001-8548-1701>



abarrera@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Conrado-Palma, Diego Javier ⁵



<https://orcid.org/0000-0002-1917-0814>



dconradop@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n3/263>

Resumen: La investigación tuvo como objetivo caracterizar la microbiota y las características fermentativas del ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays*) con inclusión de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Rumiología de la finca experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con cinco tratamientos: T1 (100% maíz), T2 (75% maíz + 25% cáscara), T3 (50% + 50%), T4 (25% maíz + 75% cáscara) y T5 (100% cáscara), con cinco repeticiones. Se evaluaron variables microbiológicas como hongos, levaduras, bacterias lácticas y bacterias totales, además de pH y temperatura como indicadores de estabilidad aeróbica. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en hongos y levaduras, destacando T4 con mayor presencia de hongos y T5 con el mayor conteo de levaduras, mientras que T1 presentó los valores más bajos. No se observaron diferencias significativas en bacterias lácticas ni en bacterias totales, aunque T1 presentó los mayores promedios. En cuanto a la estabilidad aeróbica, el pH tendió a estabilizarse alrededor de 6,0, mientras que la temperatura osciló entre 21 °C y 28 °C durante el periodo evaluado. En conclusión, la inclusión de cáscara de plátano influye en la microbiota sin afectar significativamente la estabilidad aeróbica del ensilaje.

Palabras clave: fermentación anaeróbica, estabilidad aeróbica, bacterias ácido lácticas, residuos agroindustriales, conservación de forrajes.



Check for
updates

Receptado: 21/Abr/2026

Aceptado: 16/May/2026

Publicado: 31/Jul/2026

Cita: Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Barrera-Álvarez, A. E., & Conrado-Palma, D. J. (2026). Efecto de la Cáscara de Plátano en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(3), 1-13. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n3/263>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)
<https://economicsocialresearch.com>
jessr@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The study aimed to characterize the microbiota and fermentative characteristics of forage maize (*Zea mays*) silage with the inclusion of banana peel (*Musa paradisiaca*). The research was conducted at the Ruminology Laboratory of the experimental farm “La María” at the Technical State University of Quevedo. A completely randomized design was used with five treatments: T1 (100% maize), T2 (75% maize + 25% peel), T3 (50% + 50%), T4 (25% maize + 75% peel), and T5 (100% peel), with five replicates. Microbiological variables evaluated included fungi, yeasts, lactic acid bacteria, and total bacteria, as well as pH and temperature as indicators of aerobic stability. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in fungi and yeasts, with T4 presenting the highest fungal counts and T5 the highest yeast counts, while T1 showed the lowest values. No significant differences were observed in lactic acid bacteria or total bacteria, although T1 had the highest averages. Regarding aerobic stability, pH tended to stabilize around 6.0, while temperature ranged between 21 °C and 28 °C during the evaluation period. In conclusion, the inclusion of banana peel influences the microbiota without significantly affecting the aerobic stability of the silage.

Keywords: anaerobic fermentation, aerobic stability, lactic acid bacteria, agro-industrial residues, forage conservation.

1. Introducción

El ensilaje constituye una estrategia fundamental para la conservación de forrajes y la garantía de disponibilidad alimenticia para rumiantes frente a la variabilidad climática y los periodos de escasez, especialmente en sistemas productivos de regiones tropicales y subtropicales, donde la estacionalidad limita la oferta de biomasa. La eficiencia de este proceso depende de la interacción entre las características del material vegetal, su contenido de humedad y la microbiota responsable de la fermentación, siendo las bacterias ácido lácticas (BAL) epífitas actores clave en la rápida disminución del pH, la producción de ácidos orgánicos y la estabilidad aeróbica posterior a la apertura del silo, factores que determinan la conservación de la materia seca y la energía utilizable por el animal (Kung et al., 2018; Rodríguez et al., 2016; Villa et al., 2010). En este contexto, la incorporación de residuos agroindustriales, como los derivados del maracuyá, representa una alternativa viable para valorizar subproductos, reducir costos de alimentación y mitigar impactos ambientales, aunque sus efectos sobre la calidad nutricional del ensilaje pueden variar en función del tipo de residuo, su composición química y su humedad inicial, influyendo en parámetros como la proteína bruta y las fracciones fibrosas (Espinoza-Guerra et al., 2026a; Sánchez-Laiño et al., 2019).

A nivel regional, la aplicación de inoculantes, tanto comerciales como elaborados en finca, ha demostrado capacidad para modular la dinámica fermentativa, optimizando

la producción de metabolitos finales y mejorando la estabilidad del ensilaje, lo cual repercute directamente en la cinética de degradación ruminal y en el aprovechamiento de nutrientes (Cubero et al., 2010; Espinoza-Guerra et al., 2026a). Estas intervenciones tecnológicas adquieren especial relevancia en condiciones tropicales, donde la microbiota epífita inicial puede ser altamente variable y, en algunos casos, insuficiente para garantizar una fermentación eficiente. En este sentido, la capacidad tampón del material ensilado, junto con la actividad de las BAL, condiciona la velocidad de acidificación y la dinámica microbiana, influyendo en la conservación de energía y en la calidad final del alimento (Espinoza-Guerra et al., 2026b; Villa et al., 2010).

Asimismo, diversos estudios han evidenciado que la inclusión de subproductos agrícolas puede modificar la estructura de la pared celular, afectando las fracciones de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), así como la lignina, lo que incide en la digestibilidad y en la eficiencia de utilización del ensilaje por parte de los rumiantes. Estas modificaciones estructurales, combinadas con una adecuada gestión microbiológica, pueden traducirse en mejoras en el rendimiento productivo, siempre que se logre un equilibrio entre disponibilidad energética y estabilidad fermentativa. En este marco, Kung et al. (2018) destacan la importancia de integrar la interpretación de los productos finales de fermentación, las poblaciones microbianas y la estabilidad aeróbica como herramientas para predecir el desempeño del ensilaje y diseñar estrategias de manejo más eficientes.

En conjunto, la evidencia científica coincide en que la microbiología del ensilaje no debe considerarse un componente accesorio, sino un eje central en la optimización del proceso de conservación, ya que permite maximizar la retención de energía y nutrientes, reducir pérdidas por fermentaciones indeseables y adaptar la tecnología de ensilaje a diferentes contextos agroecológicos. La integración de residuos agrícolas en la alimentación de rumiantes, bajo un enfoque microbiológico adecuado, no solo mejora la sostenibilidad de los sistemas ganaderos, sino que también promueve una economía circular en el sector agropecuario, alineándose con los principios de eficiencia productiva y responsabilidad ambiental (Villa et al., 2010; Kung et al., 2018; Sánchez-Laiño et al., 2019).

2. Materiales y métodos

Localización y área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Rumiología del Camus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el km 7 de la vía Quevedo–El Empalme, Recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia Los Ríos, Ecuador. . El clima de la zona es tropical húmedo, con temperatura media anual cercana a 25.8 °C y alta humedad relativa, condiciones que favorecen el cultivo de maíz forrajero (*Zea mays*) y la realización de ensilajes. El área de estudio abarca parcelas de maíz forrajero y las instalaciones de la finca para la

recolección de material, así como el laboratorio de Rumiología para análisis bromatológicos y microbiológicos. Se utilizaron microsilos de PVC para el diseño experimental, bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cinco réplicas, simulando silos de almacenamiento y la evaluación de variables fermentativas y de estabilidad aeróbica. Se almacenaron los microsilos y las muestras bajo condiciones controladas de luz y ventilación para minimizar variaciones ambientales. Estas condiciones aseguran replicabilidad y representatividad en contextos tropicales, y facilitan la extrapolación de resultados a fincas regionales con climas similares. La selección de este sitio facilita la aplicabilidad práctica de los hallazgos.

Recolección material vegetativo

La recolección del material vegetal para los ensilajes se realizó en las parcelas de maíz forrajero (*Zea mays*) establecidas en el Campus experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Se seleccionaron parcelas representativas para asegurar la variabilidad adecuada. Se utilizó un muestreo con cinco tratamientos y cinco réplicas por tratamiento. Se cosecharon plantas en la fase de madurez lechosa-masosa, adecuada para ensilaje; las plantas se cortaron a ras de suelo, separando tallos y hojas, y se evaluó la contribución de las mazorcas cuando fue posible. El material vegetal se picó en trozos de 0,5–1 cm y se pesó para estimar la materia seca. Los residuos de cáscara de plátano se obtuvieron del mercado de Quevedo para reflejar condiciones de suministro reales. Ambos materiales se transportaron al área de trabajo y se picaron con una picadora de pastos marca TRAPP, modelo TRF 80G, hasta obtener un tamaño de partícula entre 0,5 y 1 cm, facilitando la compactación y la generación de condiciones anaeróbicas. El proceso de ensilaje se realizó a nivel de laboratorio en microsilos construidos con tubos de PVC de cuatro pulgadas, de 30 cm de longitud por 10 cm de diámetro, con una capacidad de almacenamiento de 3 kg de forraje en combinación con los diferentes niveles de cáscara de maracuyá. Se picó los materiales (0.5 a 1.0 cm) en una picadora de pasto (SC Cevacos Trapp ES 400) y se pesó cada uno en la relación correspondiente al nivel de inclusión de cáscara de plátano, se compactó y selló con tapón de PVC con válvula tipo “Bunsen” adaptada, tornillos y cinta de embalaje, con el modelo de Pereira et al. (2005) y las modificaciones de extracción de efluentes (Dormond et al., 2011; Espinoza-Guerra et al., 2026b), para completar las condiciones anaeróbicas requeridas. Una vez sellados los microsilos, estos se conservaron por 35 días a temperatura ambiente, dentro de un depósito con iluminación natural 12 horas luz y 12 horas de oscuridad, sin radiación solar directa. La apertura de los silos se hizo tras 35 días de almacenamiento 30 días bajo condiciones de fermentación anaerobia y se recogieron muestras representativas de los microsilos de cada uno de los tratamientos para el estudio de la determinación de caracterizar la microbiota y las características fermentativas del ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays*) con inclusión de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).

Diseño experimental empleado

El diseño experimental utilizado fue un Diseño al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cinco réplicas, 25 microsilos de 3 kg. Proporciones evaluadas: T1 100% maíz forrajero (*Zea mays*); T2 75% maíz forrajero (*Zea mays*)/25% cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*); T3 50/50; T4 25/75; y T5 100% cáscara de plátano. Las mezclas se prepararon y asignaron al azar. Se prepararon 3 kg de mezcla por microsilo, llenando, compactando y sellando para condiciones anaeróbicas. Las réplicas estimaron variabilidad entre tratamientos. Las variables evaluadas incluyeron conteos de hongos, levaduras, bacterias lácticas y totales, así como pH y temperatura, monitorizados durante 30 días para determinar efectos de la inclusión de cáscara de plátano sobre la fermentación y la estabilidad aeróbica del ensilaje. Este diseño facilita comparaciones entre tratamientos. Para la comparación de medias se utilizó el software libre.

Determinación de población de hongos, levaduras, bacterias lácticas y totales

La determinación de la población microbiana se realiza mediante conteo de UFC a partir de muestras representativas de cada tratamiento y réplica. Las muestras se homogeneizan en 10 g de ensilaje con 90 mL de solución salina estéril y se generan diluciones seriadas hasta 10^{-6} . Se realizan siembras en duplicado en medios selectivos: hongos y levaduras con antibiótico; bacterias lácticas en agar de De Man et al. (1960) incubado en condiciones anaeróbicas; y bacterias totales en Plate Count Agar (PCA) incubado a 30 °C. Las placas se incuban durante 48–72 h para hongos/levaduras y 24–48 h para LAB y bacterias totales, según la sensibilidad de cada medio y las condiciones de incubación recomendadas. Se enumeran las unidades formadoras de colonias (UFC) y se expresan por gramo de ensilaje (UFC g⁻¹) o por mililitro cuando corresponda al extracto. Los recuentos de diluciones se promedian entre duplicados y se transforman a log₁₀ para el análisis estadístico. Este protocolo, basado en la metodología clásica de recuento por diluciones seriadas en medios selectivos, permite evaluar de forma fiable la influencia de la inclusión de cáscara de plátano sobre la estructura microbiana y su relación con la cinética de fermentación y la estabilidad aeróbica. Referencias metodológicas: Para hongos y levaduras; De Man et al. (1960) para las bacterias lácticas; Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2019) para conteo total.

Estabilidad aeróbica pH y temperatura °C

La estabilidad aeróbica describe el tiempo durante el cual un forraje conservado permanece estable cuando es expuesto al oxígeno después del proceso de fermentación. Este proceso inicia con la fase de exposición al aire, momento en el cual bacterias y levaduras comienzan a consumir azúcares residuales y ácidos orgánicos presentes en el ensilaje, lo que provoca un aumento progresivo del pH y la generación de calor. De acuerdo con McDonald et al. (1991), el incremento de la temperatura producto de la actividad microbiana y la liberación de metabolitos volátiles acelera la descomposición del material ensilado, favoreciendo el crecimiento de

microorganismos aerobios que terminan dominando el sistema. Uno de los factores más importantes asociados a la estabilidad aeróbica es la variación del pH después de la fermentación. La disminución de la acidez y la reducción del contenido de ácido láctico facilitan el desarrollo de microorganismos deteriorantes, especialmente cuando la temperatura ambiente es elevada. Cuando el pH se incrementa por encima de aproximadamente 4,2–4,5 y la temperatura aumenta, mohos y levaduras proliferan rápidamente, elevando aún más la temperatura del material y acelerando el deterioro del ensilaje. Asimismo, la humedad y la estructura física del forraje influyen en la difusión del oxígeno dentro del silo, generando microambientes oxigenados donde la respiración microbiana consume sustratos y produce calor.

En el presente estudio, la estabilidad aeróbica fue evaluada mediante el monitoreo del pH y la temperatura del ensilaje después de la apertura de los silos. Las mediciones se realizaron en cinco períodos de tiempo: 0, 24, 48, 72 y 96 horas de exposición aeróbica. Para la determinación del pH se preparó una mezcla compuesta por 10 g de silaje y 90 mL de agua destilada; posteriormente, la solución se homogenizó y se dejó reposar durante 15 minutos antes de registrar los valores utilizando un equipo multiparámetro de mesa con analizador táctil marca OHAUS. Por su parte, la temperatura del material fue medida cada 24 horas mediante una pistola de calor marca Bosch GHG 180, registrándose sistemáticamente los datos obtenidos para su posterior análisis. En síntesis, la estabilidad aeróbica del ensilaje resulta de la interacción entre el pH, la temperatura, la composición microbiana y la estructura del forraje, factores que determinan la velocidad de deterioro del material una vez expuesto al oxígeno.

Análisis estadísticos

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos y del tiempo de exposición aeróbica sobre las variables pH y temperatura del ensilaje. Los resultados fueron organizados en una base de datos y analizados mediante estadística descriptiva para determinar promedios y variabilidad. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre tratamientos y períodos de evaluación (0, 24, 48, 72 y 96 horas). Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se empleó una prueba de comparación de medias para determinar la separación estadística entre tratamientos evaluados mediante ANOVA utilizando el software.

3. Resultados

La inclusión de cáscara de plátano (CP) en el ensilaje de maíz forrajero evidenció efectos importantes sobre la dinámica microbiológica durante la fermentación y la fase de exposición aeróbica, reflejando cambios tanto en la población de microorganismos como en variables asociadas a la estabilidad del sistema. En la evaluación de hongos y levaduras tras la apertura de los silos, realizada a intervalos de 0, 24, 48, 72 y 96

horas, se observó un incremento progresivo en ambas poblaciones, expresadas en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC g⁻¹). Inicialmente, los recuentos fueron bajos (hongos $\approx 1,2 \times 10^2$; levaduras $\approx 4,5 \times 10^2$), lo que indica una adecuada condición anaeróbica al momento de apertura. Sin embargo, a medida que avanzó el tiempo de exposición al oxígeno, los valores aumentaron de forma sostenida, alcanzando a las 96 horas aproximadamente $6,0 \times 10^3$ UFC g⁻¹ en hongos y $1,6 \times 10^4$ UFC g⁻¹ en levaduras. Este crecimiento fue más marcado en las levaduras, que a partir de las 48 horas superaron ampliamente a los hongos, evidenciando su mayor capacidad de adaptación y proliferación en condiciones aerobias.

De manera complementaria, la caracterización microbiológica inicial permitió identificar géneros como *Aspergillus* y *Penicillium* en el grupo de hongos, así como *Candida* y *Kazachstania* en levaduras, microorganismos comúnmente asociados a procesos de deterioro en ensilajes expuestos al oxígeno. Este comportamiento coincidió con incrementos paralelos en el pH y en la temperatura superficial del material, lo que sugiere una relación directa entre la proliferación microbiana y la pérdida de estabilidad aeróbica. En este sentido, el aumento de la temperatura se presentó como un indicador indirecto de la actividad metabólica de estos microorganismos, particularmente de las levaduras, que utilizan azúcares residuales y ácido láctico como fuente de energía.

En relación con la fermentación, la evaluación de bacterias ácido lácticas (LAB) y bacterias totales a los 0, 3, 7 y 14 días mostró que la inclusión de CP favoreció el crecimiento de estas poblaciones. En los tratamientos con CP, las LAB incrementaron desde $1,0 \times 10^6$ UFC g⁻¹ al inicio hasta $6,0 \times 10^7$ a los 3 días, $1,8 \times 10^8$ a los 7 días y $3,0 \times 10^8$ UFC g⁻¹ a los 14 días. En contraste, el tratamiento control presentó valores inferiores en todos los periodos evaluados, alcanzando $1,2 \times 10^8$ UFC g⁻¹ al final de la fermentación. De manera similar, la población total de bacterias fue superior en los tratamientos con CP, registrando $3,0 \times 10^9$ UFC g⁻¹ a los 14 días frente a $2,0 \times 10^9$ UFC g⁻¹ en el control, lo que indica una mayor actividad microbiana general en presencia de este subproducto. El análisis estadístico de los datos (Tabla 1) mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para las variables hongos y levaduras, evidenciando que los niveles de inclusión de CP influyen directamente en la proliferación de estos microorganismos. En contraste, las bacterias lácticas y las bacterias totales no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), lo que sugiere que, aunque la CP favorece su crecimiento, este efecto es relativamente homogéneo entre tratamientos. Los coeficientes de variación fueron bajos a moderados, indicando una adecuada precisión experimental y consistencia en los datos obtenidos.

En cuanto a la estabilidad aeróbica, el ensilaje con inclusión de CP mostró un comportamiento más favorable en comparación con el control. Las muestras con CP mantuvieron temperaturas superficiales más estables durante la fase de exposición, retrasando entre 12 y 18 horas el incremento crítico hasta aproximadamente 40 °C, lo que indica una mayor resistencia al deterioro aeróbico. Este comportamiento sugiere que la fermentación previa fue más eficiente, reduciendo la disponibilidad de sustratos

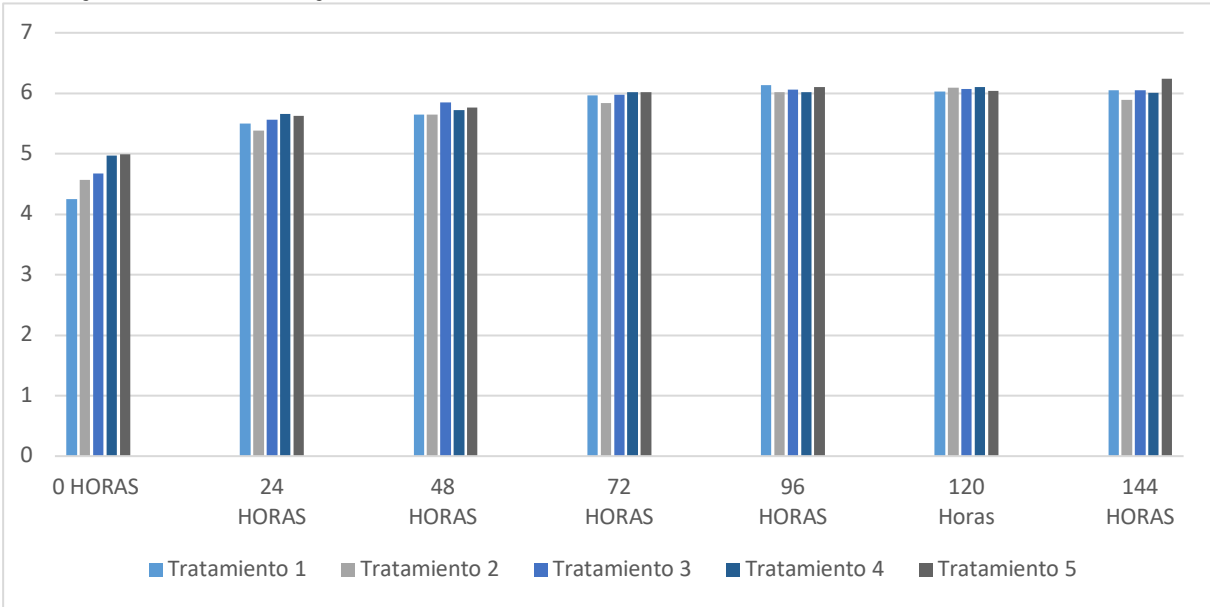
fácilmente degradables para microorganismos aerobios. Asimismo, el pH mostró una disminución más rápida en los tratamientos con CP durante la fermentación, alcanzando valores de 5,1 a los 3 días, 4,7 a los 7 días y 4,3 a los 14 días, en comparación con valores ligeramente superiores en el control (5,4; 4,9 y 4,6, respectivamente), evidenciando una acidificación más eficiente. los resultados indican que la inclusión de cáscara de plátano modifica de manera significativa la microbiota del ensilaje y su comportamiento durante la fermentación y la exposición aeróbica, favoreciendo el crecimiento de bacterias lácticas, incrementando la actividad microbiana total y mejorando la estabilidad aeróbica inicial, aunque también promoviendo el desarrollo de hongos y levaduras en condiciones de exposición al oxígeno.

Tabla 1
Crecimiento de hongo, levaduras, bacterias lácticas y bacterias totales de la Cáscara de Plátano en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero

Variables	Tratamientos										EEM	P < Probabilidad
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5		
Hongos	1,87	a	3,07	a	3,31	b	4,41	b	3,86	b	0,32	0,0003
Levaduras	2,01	a	2,42	ab	2,95	bc	2,84	bc	3,08	c	0,15	0,0003
Bacterias lácticas	8,6	a	8,43	a	8,43	a	8,5	a	8,52	a	0,06	0,2955
Bacterias totales	8,81	a	8,69	a	8,78	a	8,78	a	8,78	a	0,03	0,1121

Nota: Las medias con una letra común no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \geq .05$)

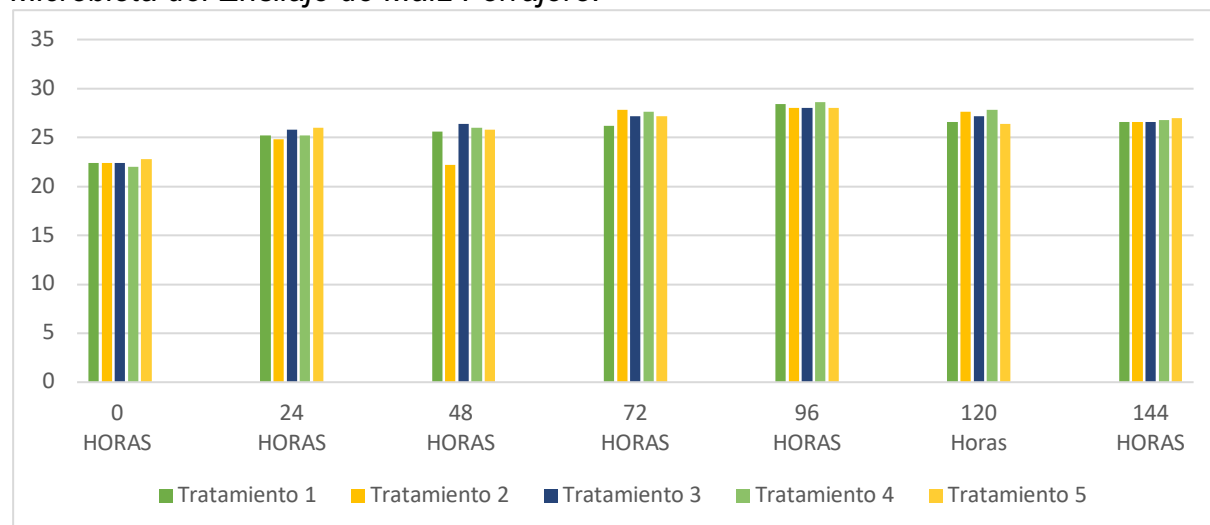
Figura 1
Resultados del pH de la Cáscara de Plátano en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero.



Nota: (Autores, 2026).

Figura 2

Resultados de temperatura de la Cáscara de Plátano en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero.



Nota: (Autores, 2026).

4. Discusión

Población Microbiana en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero

Los resultados obtenidos confirman que la inclusión de cáscara de plátano (CP) modula significativamente la dinámica microbiana del ensilaje, particularmente en el crecimiento de bacterias ácido lácticas (LAB) y en la estabilidad aeróbica del sistema. El incremento acelerado de LAB en los tratamientos con CP sugiere que este subproducto aporta carbohidratos fermentables y micronutrientes que estimulan la actividad microbiana beneficiosa, favoreciendo una fermentación más eficiente. Este comportamiento coincide con lo descrito por McDonald et al. (1991), quienes destacan el papel central de las LAB en la producción de ácido láctico y en la rápida disminución del pH, factores determinantes para la adecuada conservación del ensilaje.

En este sentido, la reducción más rápida del pH observada en los tratamientos con CP refuerza esta interpretación, ya que una acidificación temprana limita el desarrollo de microorganismos indeseables, estabiliza el sistema y reduce las pérdidas de nutrientes. La disponibilidad de sustratos fermentables es un factor clave que regula la eficiencia del proceso fermentativo, lo cual se evidencia claramente en los resultados obtenidos.

La microbiología del ensilaje, por tanto, no solo depende de la presencia de LAB, sino también de la interacción con otras comunidades microbianas presentes en el sustrato. En sistemas tropicales, donde los forrajes presentan alta humedad y variabilidad en azúcares solubles, la inclusión de residuos agroindustriales como la CP puede favorecer la dominancia de bacterias homofermentativas, mejorando la

cinética de acidificación y la calidad del ensilaje (Espinoza-Guerra et al., 2026a; Espinoza-Guerra et al., 2026b). De hecho, se ha reportado que las poblaciones de LAB pueden incrementarse desde aproximadamente $1,0 \times 10^6$ UFC g^{-1} en el material fresco hasta valores de 10^7 – 10^8 UFC g^{-1} en etapas tempranas de fermentación, lo que favorece la rápida estabilización del sistema (Espinoza-Guerra et al., 2026a; Sánchez-Laiño et al., 2019).

Por otra parte, durante la fase de exposición aeróbica, especialmente tras la apertura del silo, se produce un cambio significativo en la microbiota. La entrada de oxígeno favorece el desarrollo de hongos y levaduras, microorganismos asociados al deterioro del ensilaje. Se ha documentado que los hongos pueden presentarse en concentraciones cercanas a 10^2 UFC g^{-1} , mientras que las levaduras pueden incrementarse hasta 10^4 UFC g^{-1} a las 96 horas, con un crecimiento más marcado a partir de las 48 horas (Espinoza-Guerra et al., 2022; Espinoza-Guerra et al., 2026b; Sánchez-Laiño et al., 2019). Este aumento se asocia con incrementos en la temperatura y el pH, comprometiendo la estabilidad aeróbica y favoreciendo pérdidas de materia seca y energía.

En este contexto, la actividad de las LAB no solo es crucial durante la fase anaeróbica, sino también para prolongar la estabilidad del ensilaje tras su apertura. La producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, genera condiciones desfavorables para microorganismos deteriorantes. Asimismo, el uso de inoculantes microbianos, tanto comerciales como elaborados en finca, representa una estrategia efectiva para optimizar la fermentación, modular la microbiota y mejorar la conservación del material ensilado (Cubero et al., 2010; Kung et al., 2018; Villa et al., 2010).

En conjunto, estos resultados evidencian que la microbiología del ensilaje es un sistema dinámico altamente influenciado por la composición del sustrato y las condiciones de manejo. La inclusión de cáscara de plátano emerge como una alternativa viable para mejorar la eficiencia del proceso fermentativo, favoreciendo una rápida acidificación y una mejor conservación de los nutrientes. Esto resulta especialmente relevante en condiciones tropicales, donde los desafíos asociados a la estabilidad del ensilaje son mayores, y donde el manejo adecuado del proceso es determinante para maximizar su valor nutricional (Kung et al., 2018; Sánchez-Laiño et al., 2019; Villa et al., 2010).

Estabilidad aeróbica en la Fermentación y en la Microbiota del Ensilaje de Maíz Forrajero

La inclusión de cáscara de plátano (CP) en el ensilaje de maíz forrajero modifica de manera significativa la dinámica microbiana tanto durante la fermentación como en la fase de exposición aeróbica, con implicaciones directas sobre la estabilidad del silo. Durante la fermentación, se observa un incremento marcado de las bacterias ácido lácticas (LAB) epífitas en los tratamientos con CP, pasando de aproximadamente $1,0 \times 10^6$ UFC g^{-1} en el material fresco a $3,0 \times 10^8$ UFC g^{-1} a los 14 días. De forma paralela, la población bacteriana total alcanza valores cercanos a $3,0 \times 10^9$ UFC g^{-1} ,

superando al tratamiento control. Este patrón sugiere una mayor actividad microbiana global, asociada a una disponibilidad superior de sustratos fermentables, lo que favorece una acidificación más rápida y, en consecuencia, una mejor conservación de la materia seca y de los nutrientes (Espinoza-Guerra et al., 2026a; Espinoza-Guerra et al., 2026b).

En concordancia con lo anterior, el pH mostró una reducción más acelerada en los tratamientos con CP, alcanzando valores de 5,1 a los 3 días, 4,7 a los 7 días y 4,3 a los 14 días, en comparación con 5,4; 4,9 y 4,6 en el control. Esta acidificación más eficiente limita el desarrollo de microorganismos indeseables y estabiliza el sistema en etapas tempranas del ensilaje, lo cual es fundamental para minimizar pérdidas fermentativas y proteicas (Kung et al., 2018; Villa et al., 2010).

Durante la fase de exposición aeróbica, la dinámica microbiana cambia de manera predecible con la entrada de oxígeno. Se evidencia un incremento progresivo de levaduras y hongos, alcanzando aproximadamente $6,0 \times 10^3$ y $1,6 \times 10^4$ UFC g⁻¹ a las 96 horas, respectivamente. Este comportamiento refleja la capacidad de estos microorganismos para utilizar compuestos residuales del ensilaje y proliferar en condiciones aeróbicas, lo que incrementa el riesgo de deterioro si la exposición se prolonga (Espinoza-Guerra et al., 2022; Sánchez-Laiño et al., 2019).

No obstante, los tratamientos con CP mostraron una mayor estabilidad aeróbica, evidenciada por un comportamiento térmico más controlado. El incremento crítico de temperatura (≈ 40 °C) se retrasó hasta un rango de 12 a 18 horas, lo que indica una menor disponibilidad de sustratos fácilmente oxidables para microorganismos aerobios. Este efecto está estrechamente vinculado con una fermentación previa más eficiente, que reduce los compuestos susceptibles de degradación secundaria.

En conjunto, estos resultados demuestran que la microbiología del ensilaje, particularmente la dinámica de las LAB, constituye un factor determinante en la calidad de la fermentación y en la estabilidad aeróbica. La inclusión de CP emerge como una estrategia eficaz para modular estos procesos, mejorando la eficiencia de conservación y la resiliencia del ensilaje frente a la exposición al oxígeno, lo cual resulta especialmente relevante en condiciones tropicales (Espinoza-Guerra et al., 2026a; Kung et al., 2018; Sánchez-Laiño et al., 2019).

5. Conclusiones

La inclusión de cáscara de plátano en el ensilaje de maíz forrajero demostró ser una estrategia eficaz para mejorar la dinámica microbiológica durante la fermentación, favoreciendo el crecimiento de bacterias ácido lácticas (LAB) y promoviendo una acidificación más rápida del medio. Este efecto contribuye a una mejor conservación del ensilaje, al reducir el pH en etapas tempranas y limitar el desarrollo de microorganismos indeseables, lo que se traduce en una mayor estabilidad y menor pérdida de nutrientes. Asimismo, el incremento en la población bacteriana total refleja

una mayor actividad fermentativa asociada al aporte de sustratos fácilmente disponibles presentes en la cáscara de plátano. Durante la fase de exposición aeróbica, aunque se evidenció un aumento progresivo de hongos y levaduras, los tratamientos con cáscara presentaron una mayor estabilidad, reflejada en un retraso del incremento crítico de la temperatura, lo que indica una menor susceptibilidad al deterioro inmediato. No obstante, la proliferación de microorganismos aerobios tras la apertura del silo resalta la importancia de un manejo adecuado para evitar pérdidas de calidad, la cáscara de plátano se posiciona como un aditivo con alto potencial para optimizar la fermentación y mejorar la estabilidad del ensilaje, especialmente en condiciones tropicales, siempre que se implementen prácticas adecuadas de manejo y conservación.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International. https://members.aoac.org/AOAC/AOAC/Item_Detail.aspx?Category=OMA&iProductCode=1121
- Cubero, J. F., Rojas, A., & WingChing-Jones, R. (2010). Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*, 34(2), 237–250. <https://doi.org/10.15517/rac.v34i2.3634>
- De Man, J. C., Rogosa, M., & Sharpe, M. E. (1960). A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of Applied Bacteriology*, 23(1), 130–135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1960.tb00188.x>
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*) (Nota técnica). *InterSedes*, 12(23), 17–31. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/974>
- Espinoza-Guerra, I. F., Alvarez-Perdomo, G. R., Barrera-Alvarez, A. E., Montenegro-Vivas, L. B., Sánchez-Laiño, A. R., & Romero-Garaicoa, D. A. (2022). Composición química y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto elefante con inclusión de cáscara de maracuyá. *Ingeniería e Innovación*, 10(1). <https://doi.org/10.21897/23460466.2927>
- Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Á. V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Catota-Yugcha, E. I. (2026a). Caracterización microbiológica y fermentativa del ensilaje de maíz forrajero con cáscara de maracuyá (*Passiflora*

- edulis* Sims). *Revista Científica Ciencia y Método*, 4(2), 625–639. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/217>
- Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Á. V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Velásquez-Robles, S. M. (2026b). Composición química y fibrosa de residuos agrícolas (plátano, frejol gandul, maracuyá, lodo de palma) y su potencial como alimento alternativo para el ganado. *Revista Científica Zambos*, 5(2), 28–38. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/175>
- Kung, L., Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (2nd ed.). Chalcombe Publications. <https://search.worldcat.org/title/733981614>
- Pereira, L. G. R., Gonçalves, L. C., Tomich, T. R., Borges, I., & Rodriguez, N. M. (2005). Silos experimentais para avaliação da silagem de três genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57(5), 690–696. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352005000500015>
- Rodríguez, A. A., Acosta, Y., Rivera, V., & Randel, P. F. (2016). Effect of a microbial inoculant on fermentation characteristics, aerobic stability, intake, and digestibility of corn silage by rams. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(2), 108–118. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324970>
- Sánchez-Laiño, A. R., Torres-Navarrete, E., Espinoza-Guerra, Í., Montenegro-Vivas, L., Barba-Capote, C., & García-Martínez, A. (2019). Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracuyá (*Passiflora edulis*) en sustitución del maíz (*Zea mays*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 149–157. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14438>
- Villa, A. F., Meléndez, A. P., Carulla, J. E., Pabón, M. L., & Cárdenas, E. A. (2010). Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 65–77. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324531>