

Artículo Científico

# Caracterización microbiológica y fermentativa del ensilaje de maíz forrajero con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis Sims*)

## *Microbiological and Fermentation Characterization of Forage Corn Silage with Passion Fruit Peels (*Passiflora edulis Sims*)*



Espinoza-Guerra, Italo Fernando <sup>1</sup>

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



[iespinoza@uteq.edu.ec](mailto:iespinoza@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny <sup>3</sup>

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



[jmunoz@uteq.edu.ec](mailto:jmunoz@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Catota-Yugcha, Evelyn Ibeth <sup>5</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0301-7986>



[evelyn.catota2016@uteq.edu.ec](mailto:evelyn.catota2016@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio <sup>2</sup>

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



[acedenom@uteq.edu.ec](mailto:acedenom@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Conrado-Palma, Diego Javier <sup>4</sup>

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



[dconradop@uteq.edu.ec](mailto:dconradop@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/217>

**Resumen:** La investigación evaluó las características microbiológicas y fermentativas del ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays*) con diferentes niveles de inclusión de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). Se empleó un Diseño Completamente al Azar con cinco tratamientos: T1 (100% ensilaje de maíz), T2 (75% maíz + 25% cáscara), T3 (50% + 50%), T4 (25% + 75%) y T5 (100% cáscara), con cinco repeticiones. El estudio se realizó en el Laboratorio de Rumiología del Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se evaluaron variables microbiológicas como unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias totales, bacterias ácido lácticas, hongos y levaduras, así como variables de estabilidad aeróbica (pH y temperatura). Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos en las variables microbiológicas. Sin embargo, T2 presentó el mayor valor de bacterias totales, mientras que T1 destacó en bacterias ácido lácticas y T4 registró el valor más bajo. En hongos y levaduras, T2 mostró los mayores conteos. La temperatura aumentó progresivamente, alcanzando 28,4 °C en T1 al sexto día. El pH varió entre 4,70 y 5,93 en las primeras 96 horas, incrementándose posteriormente. Se concluye que la inclusión de cáscara de maracuyá eleva el pH sin afectar significativamente la microbiota fermentativa.

**Palabras clave:** residuos agroindustriales, microbiota, conservación de forrajes, rumiantes, estabilidad aeróbica.



Check for updates

Received: 05/May/2026  
Accepted: 02/Jun/2026  
Published: 28/Jun/2026

**Cita:** Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Catota-Yugcha, E. I. (2026). 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>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)  
<https://revistacym.com>  
[revistacym@editorialgrupo-aea.com](mailto:revistacym@editorialgrupo-aea.com)  
[info@editorialgrupo-aea.com](mailto:info@editorialgrupo-aea.com)

© 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](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



**Abstract:**

The study evaluated the microbiological and fermentative characteristics of forage maize (*Zea mays*) silage with different levels of inclusion of passion fruit peel (*Passiflora edulis*). A completely randomized design was used with five treatments: T1 (100% maize silage), T2 (75% maize + 25% peel), T3 (50% + 50%), T4 (25% + 75%), and T5 (100% peel), with five replicates. The study was conducted at the Ruminology Laboratory of the Experimental Campus “La María” of the Technical State University of Quevedo. Microbiological variables were evaluated, including colony-forming units (CFU) of total bacteria, lactic acid bacteria, fungi, and yeasts, as well as aerobic stability variables such as pH and temperature. The results showed no significant differences ( $p > 0.05$ ) among treatments for the evaluated microbiological variables. However, T2 presented the highest total bacteria value, while T1 showed the highest lactic acid bacteria and T4 the lowest. For fungi and yeasts, T2 had the highest counts. Temperature increased progressively, reaching 28.4 °C in T1 on the sixth day. pH values ranged from 4.70 to 5.93 during the first 96 hours, increasing thereafter. It is concluded that the inclusion of passion fruit peel increases pH without significantly affecting the fermentative microbiota.

**Keywords:** agro-industrial residues, microbiota, forage conservation, ruminants, aerobic stability.

## 1. Introducción

La conservación de forrajes mediante ensilaje constituye una estrategia clave para mantener la disponibilidad de alimento en sistemas ganaderos, especialmente en regiones tropicales donde la variabilidad climática puede afectar la oferta forrajera anual. El éxito del ensilaje depende de una acidificación rápida y sostenida del material fermentable, impulsada principalmente por bacterias ácido-lácticas (BAL) que producen ácido láctico como principal metabolito, lo que reduce el pH y limita el crecimiento de microorganismos no deseados (Weiss, 1996; Bolsen et al., 1992). Esta rapidísima bajada de pH favorece la conservación de nutrientes y la estabilidad del silo durante el almacenamiento y la apertura subsecuente (Danner et al., 2003). En cultivos tropicales, la baja densidad de carbohidratos fermentables y la alta capacidad tampón de la materia vegetal pueden complicar la fermentación, haciendo crucial optimizar la disponibilidad de sustratos solubles y la población epífita de BAL al inicio del proceso (Weiss, 1996; Bolsen et al., 1992).

En este contexto, la incorporación de subproductos agroindustriales como aditivos o componentes de mezclas de ensilaje ha emergido como una estrategia para modular la fermentación y mejorar la eficiencia energética del ensilaje. Los residuos agroindustriales pueden aportar azúcares solubles y fracciones constituyentes que alimentan a BAL, al tiempo que ofrecen un enfoque de economía circular y reducción

de pérdidas de DM durante la conservación (Sánchez-Laiño et al., 2019). En particular, la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.) ha sido estudiada como fuente de fibra, azúcares solubles y compuestos fenólicos, con efectos potenciales sobre la ecología microbiana del ensilaje y la cinética de degradación ruminal de los sustratos involucrados. Estas investigaciones señalan que la inclusión de maracuyá puede modificar las fracciones degradables y la velocidad de degradación, así como la estabilidad aeróbica de los silos, aspectos relevantes para el manejo práctico y la rentabilidad del ensilaje (Espinoza-Guerra et al., 2017; Espinoza-Guerra et al., 2016).

La dinámica microbiana en silos de maíz también ha sido documentada a lo largo de distintos climas y eco-regiones. En Colombia, estudios de ensilaje de maíz en dos eco-regiones demostraron variaciones en la composición de BAL y en la producción de ácidos orgánicos, influidas por el clima y las condiciones del forraje, lo que subraya la necesidad de comprender las respuestas microbianas ante sustratos mixtos y condiciones ambientales distintas (Villa et al., 2010). Estas observaciones respaldan la importancia de caracterizar no solo la fermentación, sino también la microbiología de BAL epífitas y la incidencia de levaduras y mohos que afectan la estabilidad aeróbica tras la apertura de los silos (Villa et al., 2010; Danner et al., 2003).

Otra base conceptual importante es la modelación de la cinética de degradación ruminal para evaluar el valor nutritivo de las dietas que incorporan residuos. El formalismo de Ørskov y McDonald (1979) para estimar la degradabilidad de la materia seca a partir de incubaciones en rumen, junto con enfoques para estimar la degradabilidad efectiva ante el pasaje, ha sido utilizado para interpretar cambios en el sustrato cuando se introducen subproductos en dietas de rumiantes (Ørskov y McDonald, 1979). Complementariamente, métodos de análisis de fibra (Van Soest et al., 1991) y la caracterización de la cinética de fermentación de BAL aportan una base metodológica para comparar tratamientos con y sin residuos de maracuyá.

Con base en estos antecedentes, el presente trabajo se propone caracterizar la microbiología y la fermentación de un ensilaje de maíz forrajero complementado con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.), evaluando: pH y perfiles de ácidos orgánicos; conteos y dinámica de BAL, levaduras, mohos y posibles indicadores de deterioro; composición química y pérdidas de DM durante el almacenamiento; y interacción entre el residuo y la microflora para estimar beneficios y límites prácticos. Este enfoque integra hallazgos sobre la respuesta de BAL a sustratos mixtos (Sánchez-Laiño et al., 2019; Espinoza-Guerra et al., 2017), la influencia de la composición del sustrato en la degradación ruminal y la estabilidad del ensilaje (Espinoza-Guerra et al., 2016; Villa et al., 2010), y fundamentos teóricos de degradabilidad y análisis de fibra (Ørskov y McDonald, 1979; Van Soest et al., 1991).

## 2. Materiales y métodos

Localización del sitio experimental.

La investigación se realizó en el Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional (RUMEN), Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). El sitio dispone de instalaciones de laboratorio, silos de ensayo y equipamiento para microbiología y análisis de fermentación, adecuados para diseños experimentales controlados.

Recolección material vegetativo

La recolección del material vegetativo para los ensilajes se realizó en parcelas experimentales del Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se obtuvo forraje de maíz forrajero (*Zea mays*) en estadio de madurez adecuada para ensilaje, cortado en fragmentos de 0,5–1 cm y picado para facilitar la compactación. Paralelamente, se recolectaron residuos de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis Sims*) los residuos de maracuyá, compuestos por cáscara y semillas, se recolectaron en la planta extractora de jugo Quicornac S.A., ubicada en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos. El material fue acondicionado y almacenado siguiendo protocolos de manejo de residuos orgánicos para garantizar su adecuado destino en los análisis de laboratorio y la preparación de ensilajes y registro documental completo.

El maíz y la cáscara se emplearon en combinaciones de los tratamientos: T1:100% ensilaje de maíz; 75% ensilaje de maíz–25% cáscara de maracuyá; 50% ensilaje de maíz–50% cáscara de maracuyá; 25% ensilaje de maíz–75% cáscara de maracuyá ; 100% cáscara de maracuyá . 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 maracuyá, 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., 2017), 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 y se recogieron muestras representativas de los microsilos de cada uno de los tratamientos para el estudio de la determinación de bacterias totales, bacterias ácido lácticas, hongos, levaduras, estabilidad aeróbica, pH y temperatura.

Determinación de bacterias totales, bacterias ácido-lácticas, hongos, levaduras, pH y temperatura

Para la determinación de bacterias totales, bacterias ácido lácticas (BAL), hongos, levaduras, así como pH y temperatura, se utilizó la metodología descrita por Ranjit & Kung (2000); Kung et al. (2007) y Taylor & Kung (2002), ampliamente aplicada en la evaluación de la calidad fermentativa de ensilajes. Se tomaron 10 g de muestra de cada minisilo, los cuales fueron homogenizados durante 1 minuto en una proporción 1:9 (p/v) con agua destilada estéril, obteniéndose un extracto uniforme para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. A partir de esta suspensión se determinó el pH mediante potenciómetro calibrado y la temperatura en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Posteriormente, el extracto fue filtrado a través de doble gasa estéril y transferido a matraces estériles para la realización de diluciones seriadas decimales ( $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ ) utilizando solución de Ringer estéril. Las siembras microbiológicas se realizaron por duplicado en placas Petri estériles, empleando agar MRS para el recuento de bacterias ácido lácticas y agar extracto de malta para hongos y levaduras. Las placas fueron incubadas en estufa (Memmert, Schwabach, Alemania) a  $32 \pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas para bacterias ácido lácticas y 120 horas para hongos y levaduras, bajo condiciones aerobias controladas. Finalizado el periodo de incubación, las colonias fueron contadas mediante contador de colonias, expresándose los resultados como  $\log_{10}$  unidades formadoras de colonias por gramo de muestra fresca ( $\log_{10}$  UFC  $\text{g}^{-1}$ ). La estabilidad aeróbica se evaluó mediante el monitoreo diario de pH y temperatura durante 6 días consecutivos a la misma hora, registrándose además la temperatura ambiental, manteniendo los minisilos cubiertos con un paño de algodón estéril que permitió el intercambio de aire y evitó la contaminación externa.

Análisis estadísticos

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cinco réplicas, totalizando 25 microsilos, para evaluar las variables dependientes: bacterias totales, bacterias ácido lácticas, hongos, levaduras, pH y temperatura. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software InfoStat 2008.

### 3. Resultados

#### 3.1. Crecimiento microbiano de Bacterias Totales del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá

El crecimiento de Bacterias Totales (BT) durante la fermentación y la fase de estabilidad aeróbica tras la apertura del silo se evaluó mediante recuentos en  $\log_{10}$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ , y las diferencias entre los cinco tratamientos no alcanzaron significancia estadística ( $p > 0.05$ ) en ningún punto temporal. El promedio global de BT se situó

alrededor de 8.60 log<sub>10</sub> UFC mL<sup>-1</sup>, con un rango que fue desde 8.03 (T4) hasta 8.68 (T2), siendo T2 el valor extremo superior y T4 el inferior. Los tratamientos intermedios (T1, T3 y T5) se mantuvieron próximos a 8.60, reflejando una consistencia en BT independientemente de la proporción de cáscara de maracuyá incluida. La ausencia de diferencias estadísticas se acompañó de una baja magnitud de variación entre réplicas y entre intervalos temporales, sugiriendo que la dinámica de BT fue estable a lo largo de las 0–144 h y durante la fase de estabilidad aeróbica. No se observó interacción significativa entre tratamiento y tiempo para BT, lo que indica que el efecto de la inclusión de cáscara de maracuyá sobre BT no dependió del periodo evaluado. En conjunto, estos resultados señalan que la inclusión de cáscara de maracuyá, en las proporciones estudiadas, no alteró la población total de bacterias en el ensilaje de maíz forrajero, contribuyendo a la interpretación de la robustez microbiológica del sistema.

### **3.2. Crecimiento de Bacterias Ácido-lácticas del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá.**

El crecimiento de Bacterias Ácido Lácticas (BAL) se evaluó a partir de 10 g de muestra, expresando los recuentos como log<sub>10</sub> UFC+1 mL<sup>-1</sup> para facilitar la comparación entre tratamientos a 0, 24, 48, 72, 96, 120 y 144 h, así como durante la fase de estabilidad aeróbica tras la apertura. En general, no se observaron diferencias significativas entre T1–T5 ( $p > 0.05$ ) a lo largo de todo el periodo. Los promedios de BAL se ubicaron entre 8.05 y 8.55 log<sub>10</sub> UFC+1 mL<sup>-1</sup>, con T1 mostrando una ligera tendencia a valores más altos que el resto, pero sin alcanzar significancia estadística. Las variaciones temporales fueron moderadas, sin una dirección clara de aumento o descenso asociada a la proporción de cáscara de maracuyá. La interacción entre tratamiento y tiempo no fue significativa, indicando estabilidad de BAL a través de la fermentación y la exposición al oxígeno. En conjunto, los resultados sugieren que las proporciones evaluadas de cáscara de maracuyá no alteraron la proliferación de BAL de forma relevante, manteniendo un perfil fermentativo favorable para la conservación y digestibilidad del ensilaje, y respaldando la viabilidad de utilizar este residuo agroindustrial sin comprometer la calidad microbiológica del producto final.

Los promedios obtenidos con letras iguales no presentan diferencia estadísticamente, según Tukey ( $p > 0.05$ ). T1=100% Forraje de maíz, T2= 75 % Forraje de maíz con inclusión 25 % de cáscara de maracuyá, T3=50% Forraje de maíz con inclusión 50% de cáscara de maracuyá, T4= 25% Forraje de maíz con inclusión 75% de cáscara de maracuyá, T5=100% cáscara de maracuyá con EE= Error estándar.

### **3.3. Crecimiento de Hongos y Levaduras del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá.**

El crecimiento de Hongos y Levaduras se evaluó mediante recuentos en UFC ml<sup>-6</sup> a partir de 10 g de muestra, empleando las cinco combinaciones de tratamiento (T1–T5) con cinco réplicas cada una. En hongos, los promedios oscilaron entre 7,10 y 7,87 UFC ml<sup>-6</sup> y no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre

tratamientos ( $p = 0.0822$ ), lo que indica una estabilidad relativa del componente fúngico ante las distintas proporciones de cáscara de maracuyá. Por otro lado, las levaduras mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.0100$ ), con recuentos que variaron de 7,46 a 8,13 UFC  $\text{ml}^{-6}$ ; el mayor valor correspondió a T2 (8,13), seguido de T1 (7,96), T3 (7,84), T4 (7,63) y T5 (7,46). Este patrón sugiere que la inclusión de cáscara de maracuyá ejerce un efecto más marcado sobre las levaduras que sobre los hongos, lo cual podría influir en la dinámica fermentativa y, por consiguiente, en la estabilidad aeróbica y la conservación del ensilaje. En conjunto, los hongos mostraron temporariamente una respuesta estable a través de las combinaciones, mientras que las levaduras respondieron a la composición del sustrato, destacando la necesidad de optimizar la dosificación de residuos agroindustriales para mejorar el perfil microbiano y la calidad del ensilaje en Mocache.

**Tabla 1**

*Crecimiento de Hongos y Levaduras de ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de maracuyá en un periodo de fermentación de 35 días*

Variable	Tratamientos UFC ( $\text{ml}^{-6}$ )					EE	Probabilidad P<
	T1	T2	T3	T4	T5		
Bacterias Totales	8,62 b	8,68 b	8,6 b	8,03 a	8,43 ab	0,12	0,0019
Bacterias Ácido-lácticas	8,55 b	8,46 b	8,39 b	8,05 a	8,43 ab	0,13	0,1034
Hongos	7,60 ab	7,87 b	7,10 a	7,51 ab	7,57 ab	0,13	0,0822
Levaduras	7,96 ab	8,13 b	7,84 ab	7,63 ab	7,46 a	0,13	0,0100

Nota: (Autores, 2026).

Los promedios obtenidos con letras iguales no presentan diferencia estadísticamente, según Tukey ( $p > 0.05$ ). T1=100% Forraje de maíz, T2= 75 % Forraje de maíz con inclusión 25 % de cáscara de maracuyá, T3=50% Forraje de maíz con inclusión 50% de cáscara de maracuyá, T4= 25% Forraje de maíz con inclusión 75% de cáscara de maracuyá, T5=100% cáscara de maracuyá con EE= Error estándar.

### 3.4. Estabilidad aeróbica

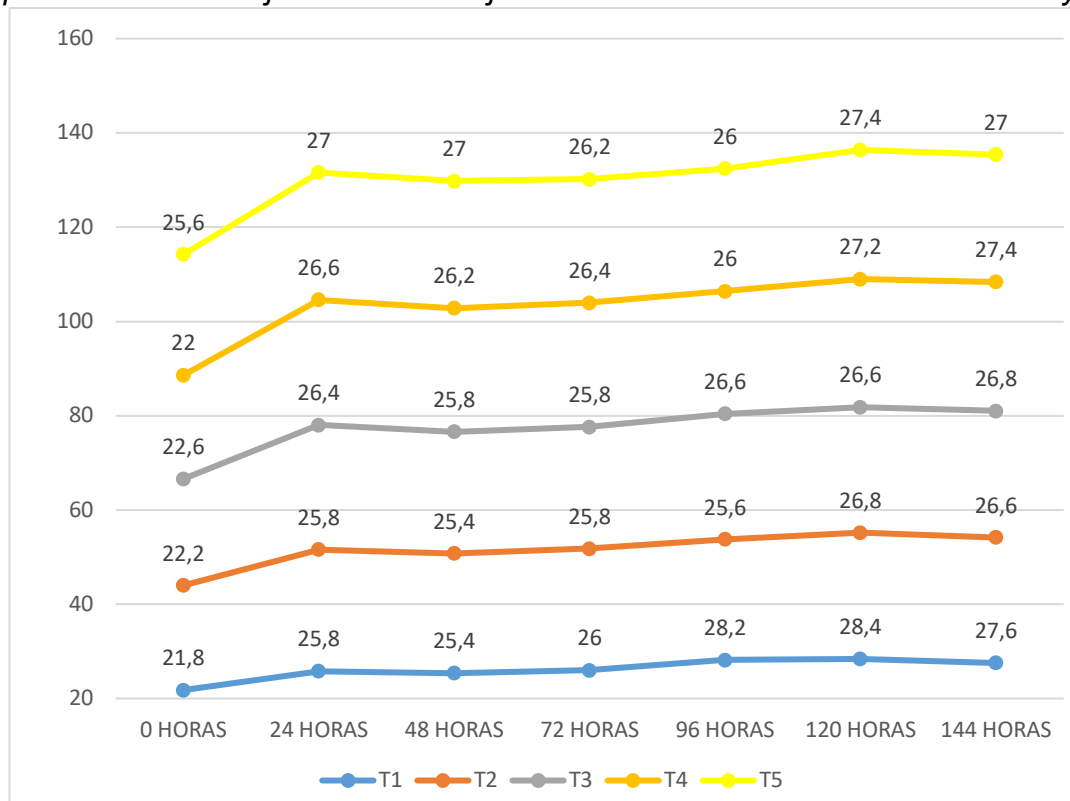
#### 3.4.1. Temperatura en el ensilaje de maíz forrajero con inclusión de niveles de cáscara de maracuyá

Los resultados de temperatura mostraron diferencias entre tratamientos a lo largo de la fermentación y durante la fase de estabilidad aeróbica tras la apertura del silo. Durante la fermentación, T1 registró la temperatura más alta, aproximadamente 28,4 °C a las 120 h, mientras T2 a T5 se mantuvieron entre 25 y 27 °C, reflejando menor intensidad metabólica o variaciones en la liberación de calor por las comunidades microbianas. Estas diferencias sugirieron una mayor actividad de bacterias lácticas y otros microorganismos en las mezclas con mayor aporte de carbohidratos fermentables, acelerando el inicio de la acidificación y la reducción del pH. En las lecturas hasta las 96 h, las temperaturas se mantuvieron dentro de un rango estrecho, sin diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una fermentación

relativamente homogénea. Con la apertura de silos, y durante la fase de estabilidad aeróbica (0–6 días), todos los tratamientos mostraron un incremento de temperatura de aproximadamente 1–2 °C respecto a las mediciones previas, indicio de la reactivación de microorganismos aeróbicos y de la ganancia de calor por descomposición posfermentativa. En conjunto, el patrón de temperatura fue coherente con la dinámica de fermentación y no reveló señales tempranas de deterioro cuando se mantuvo la oxigenación limitada y la humedad controlada.

**Figura 1**

*Temperatura del ensilaje de maíz forrajero con inclusión de cáscara de maracuyá*



Nota: (Autores, 2026).

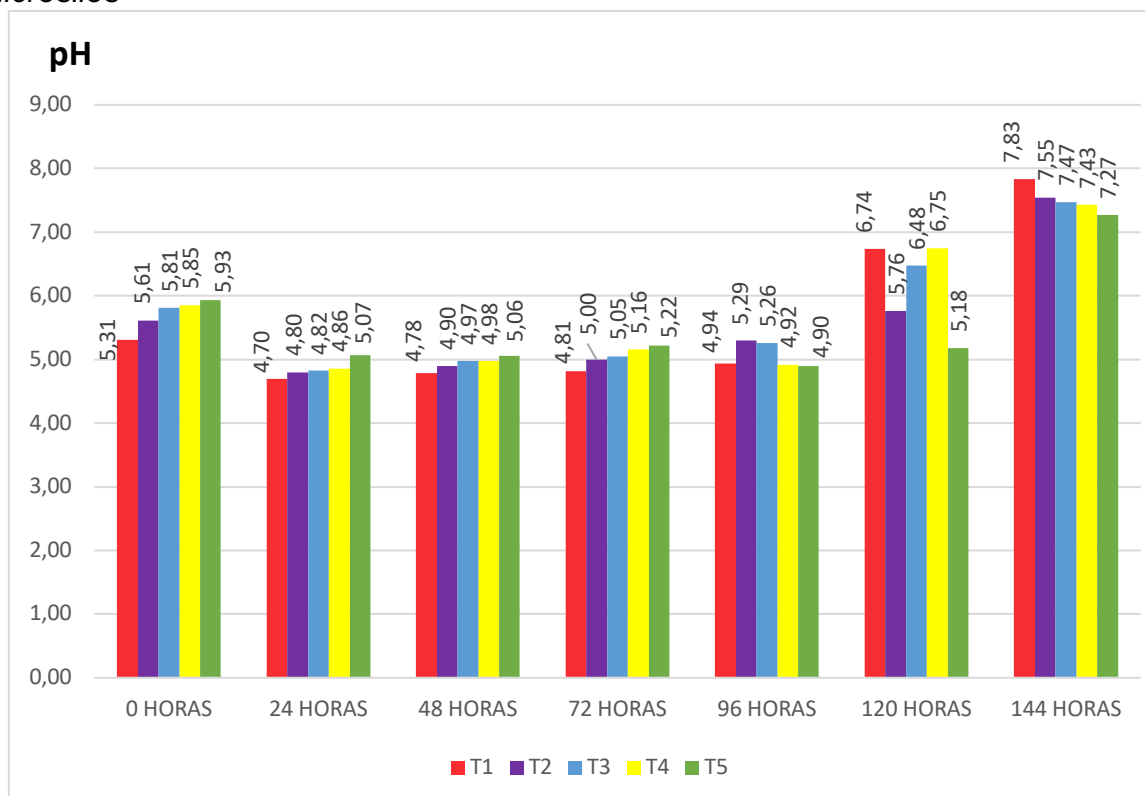
### 3.4.2. pH en el ensilaje de maíz forrajero con inclusión de niveles de cáscara de maracuyá

Los resultados de pH observados durante la fermentación y la fase de estabilidad aeróbica reflejan la típica dinámica de un ensilaje con residuos de maracuyá: una acidificación inicial adecuada seguida de alcalinización al exponerse al oxígeno. En las primeras 0–96 horas, el pH se mantuvo entre 4,7 y 5,93, indicativo de una fermentación eficaz por bacterias lácticas y de la inhibición de microorganismos indeseables. A las 120 horas, se presentó variabilidad entre tratamientos: el T2 mostró el valor más ácido (~5,76), mientras T1 registró ~6,48 y T4 alcanzó ~6,75, sugiriendo que la cantidad de cáscara de maracuyá modula la velocidad de acidificación y la capacidad tampón de la mezcla. Esta divergencia demuestra que ciertas proporciones pueden favorecer una fermentación más rápida, con mayor acumulación de ácido láctico. En la fase de estabilidad aeróbica (120–144 horas), todos los tratamientos

evolucionaron hacia alcalinidad, con pH en el rango de 7,43 a 7,83, reflejando la reactivación de microorganismos aeróbicos y la reducción de ácido láctico residual.

### Figura 2

Valores de pH en la cual se expresa cada tratamiento relativamente en el tiempo de siete días en periodos de 24 horas donde culmina el proceso de fermentación de los microsilos



Nota: (Autores, 2026).

## 4. Discusión

Crecimiento microbiano de Bacterias Totales del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá

Los resultados muestran que el crecimiento de BT se mantuvo relativamente estable a lo largo de la fermentación y durante la fase de estabilidad aeróbica, sin diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ). Este patrón se alinea con lo reportado por Ramírez-Navarro et al. (2019), donde BT no difirió entre niveles de residuo en silajes con desperdicios de alimentos, y por (Espinoza-Guerra et al. 2016; Espinoza-Guerra et al. 2017), que observaron BT estable ante diferentes porcentajes de cáscara de maracuyá. Asimismo, Villa et al. (2010) documentaron variaciones climáticas, pero BT se mantuvo dentro de rangos compatibles con fermentación eficaz, lo que sugiere una resiliencia del microbiota epifito y de LAB que acidifican el medio y sostienen BT. Sánchez-Laiño et al. (2019) refuerzan que residuos de alimentos y sustituciones nutricionales no comprometen la estabilidad microbiana global. En conjunto, las bacterias totales demuestran robustez ante las proporciones estudiadas de maracuyá,

resaltando la importancia de mantener anaerobiosis, humedad controlada y un tiempo de fermentación adecuado para garantizar la seguridad y calidad del ensilaje

Crecimiento de Bacterias Ácido-lácticas del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá

El crecimiento de bacterias ácido-lácticas (BAL) observado durante la fermentación y la fase de estabilidad aeróbica se mantiene estable entre tratamientos, con diferencias no significativas ( $p > 0.05$ ) y rangos consistentes a lo largo del proceso. Este comportamiento se alinea con la literatura que reporta que la BAL epífita y la acidificación temprana favorecen una fermentación, permitiendo que BAL persista incluso con cambios en la fuente de carbono (Ramírez-Navarro et al., 2019; Espinoza-Guerra et al., 2016; Espinoza-Guerra et al. 2017). En silajes de maíz y en mezclas con residuos de maracuyá, la BAL continúa desempeñando un papel central en el descenso del pH y la protección del sustrato frente a microorganismos indeseables (Villa et al., 2010; Sánchez-Laiño et al. 2019) destacan que la inclusión de residuos alimentarios no compromete la estabilidad de BAL, lo que respalda la robustez observada. En conjunto, estos hallazgos sugieren que BAL se adapta a las proporciones estudiadas de residuo de maracuyá, manteniendo una fermentación láctica eficiente y una fase de estabilidad posfermentación confiable, siempre que se mantengan condiciones adecuadas de anaerobiosis, humedad y tiempo de fermentación para maximizar la conservación y seguridad del ensilaje.

Crecimiento de Hongos y Levaduras del ensilaje de maíz forrajero con niveles de inclusión de cáscara de Maracuyá

La presencia de hongos y levaduras durante el proceso de fermentación del ensilaje constituye un indicador importante de la estabilidad microbiológica del material conservado. En general, las levaduras son consideradas uno de los principales microorganismos responsables del deterioro aeróbico del ensilaje, ya que tienen la capacidad de metabolizar azúcares residuales y ácidos orgánicos, especialmente el ácido láctico, generando aumento de temperatura y pérdida de nutrientes. En las primeras etapas del proceso fermentativo, la actividad de estos microorganismos puede ser limitada debido al rápido descenso del pH generado por la acción de las bacterias ácido-lácticas. Sin embargo, su crecimiento puede incrementarse cuando el material ensilado se expone al oxígeno durante la apertura del silo, favoreciendo procesos de deterioro.

En este sentido, estudios sobre fermentación de ensilajes reportan que la presencia de levaduras y hongos está estrechamente relacionada con la disponibilidad de oxígeno y la concentración de azúcares fermentables en el sustrato, factores que determinan la estabilidad aeróbica del ensilaje. Resultados similares han sido descritos en investigaciones donde se evaluó la calidad microbiológica de ensilajes con inclusión de subproductos agroindustriales, evidenciándose que niveles controlados de estos microorganismos permiten mantener la estabilidad del alimento sin afectar significativamente su calidad nutritiva (Ramírez-Navarro et al., 2019; Villa

et al., 2010). En este contexto, el control de la humedad y una adecuada compactación del silo son factores determinantes para limitar su proliferación

Temperatura en el ensilaje de maíz forrajero con inclusión de niveles de cáscara de maracuyá

Las lecturas de temperatura durante la fermentación del ensilaje mostraron diferencias entre tratamientos, con la mezcla T1 registrando la mayor temperatura a 120 h ( $\approx 28.4$  °C) y las demás mezclas (T2–T5) oscilando entre 25 y 27 °C, lo que sugiere una mayor actividad metabólica en las mezclas con mayor aporte de carbohidratos fermentables y/o humedad. Este comportamiento indica que la carga de sustrato influye directamente en la generación de calor y en la tasa de fermentación, favoreciendo la acción de bacterias lácticas y otros microorganismos que elevan la temperatura en las fases iniciales. A temperatura cercana a 28–30 °C, las BAL pueden prosperar, manteniendo una acidificación efectiva sin llegar a inhibirse; este rango no compromete la viabilidad microbiana y puede acelerar la producción de ácido láctico (Ramírez-Navarro et al., 2019; Espinoza-Guerra et al., 2016; Espinoza-Guerra et al. 2017).

Durante la fase de estabilidad aeróbica tras la apertura, todas las muestras mostraron incrementos modestos (1–2 °C), atribuibles a la reactivación de microorganismos aeróbicos y al incremento de oxígeno disponible; estos aumentos son consistentes con la literatura que relaciona la temperatura posfermentación con pérdidas si la oxigenación no se controla (Espinoza et al., 2016; Villa et al., 2010). En conjunto, la temperatura reflejó una fermentación vigorosa y relativamente estable, compatible con la inclusión de residuos de maracuyá siempre que se gestione adecuadamente la aireación y la humedad del silo (Sánchez-Laiño et al., 2019).

Estas observaciones se alinean con la literatura previa que evalúa *Lactobacillus buchneri* 40788 como estrategia para mejorar la estabilidad aeróbica del silaje de maíz. En los trabajos de (Kung et al. 2007, Taylor y Kung 2002), la inoculación con LB40788 a dosis de  $5 \times 10^5$  a  $6 \times 10^5$  cfu/g de forraje incrementa la producción de ácido acético y reduce la carga de levaduras y mohos durante la fase aeróbica, con mejoras sustanciales en la estabilidad tras almacenamiento prolongado. (Ranjit & Kung 2000) reportan efectos similares cuando las bacterias ácido-lácticas se aplica a  $6.6 \times 10^5$ – $1 \times 10^6$  cfu/g, y señalan que *Lactobacillus plantarum* no siempre supera los efectos de BAL en la estabilidad aeróbica. En ese marco, la presencia de LB40788 puede modular la fermentación y ampliar la tolerancia del silaje al oxígeno, incluso cuando la forma del sustrato (grano molido vs. grano entero) y las condiciones de almacenamiento influyen en la magnitud de la respuesta.

En nuestro estudio, la inclusión de cáscara de maracuyá no modificó significativamente bacterias totales ni bacterias ácido lácticas ni la dinámica de fermentación en 0–144 h ni en la fase aeróbica, lo que indica que, para las proporciones evaluadas, la microbiota epífita y los antifúngicos producidos por LB40788, cuando se aplica a niveles adecuados, pueden ser la principal fuente de

estabilidad, mientras que residuos agroindustriales como la cáscara de maracuyá no alteran estas poblaciones bajo las condiciones ensayadas.

pH en el ensilaje de maíz forrajero con inclusión de niveles de cáscara de maracuyá.

La dinámica de pH observada refleja una fermentación láctica adecuada seguida de un incremento de alcalinidad tras la apertura del silo. En las primeras horas (0–96 h) el pH se mantuvo entre aproximadamente 4,7 y 5,9, indicativo de acidificación eficiente por bacterias lácticas y reducción de microorganismos indeseables; este comportamiento coincide con lo reportado por (Ramírez-Navarro et al. 2019; Espinoza-Guerra et al. 2016, Espinoza-Guerra et al. 2017), quienes asocian descensos de pH con la actividad epífita y LAB en silajes con residuos. A las 120 h se observó variabilidad entre tratamientos: tratamientos con mayor fracción de cáscara de maracuyá mostraron pH relativamente más alto (~6,7), mientras otros, con menor residuo, alcanzaron valores más bajos (~5,8), sugiriendo que la disponibilidad de carbohidratos fermentables y la humedad influyen en la intensidad de la acidificación.

Durante las 120–144 h, al exponerse al aire, el pH se desplazó hacia rangos alcalinos (aproximadamente 7,4–7,8), lo que concuerda con la reactivación de levaduras y hongos tras la apertura, y con la literatura que asocia la alcalinización posfermentativa con mayores pérdidas si no se controla la oxigenación (Sánchez-Laiño et al., 2019). Taylor & Kung (2002); Ranjit & Kung (2000) y Kung et al. (2007) usaron LB40788, una cepa “mejorada” de *Lactobacillus buchneri* seleccionada por Kung y colaboradores para hacer que el ensilaje dure más tiempo sin dañarse al abrir el silo. Esta cepa heterofermentativa convierte lactato en acetato, aumentando el ácido acético y reduciendo levaduras y mohos, con estabilidades que pueden extenderse por cientos de horas tras almacenamiento (Brito-Gómez et al., 2026).

En estos trabajos, cuando LB40788 se aplica a  $\approx 5 \times 10^5$ – $6 \times 10^5$  cfu/g, las mejoras son consistentes, y, a veces, combinaciones con *Lactobacillus plantarum* no superan el efecto de LB solo. En contraste, la cáscara de maracuyá utilizada en el ensilaje de maíz mostró efectos limitados sobre temperatura y pH, requiriendo condiciones específicas para influir de manera similar. Así, LB40788 representa un mecanismo robusto para la estabilidad aeróbica, mientras que residuos agroindustriales como la cáscara de maracuyá no replican de forma general ese beneficio. En conjunto, el pH sugiere una fermentación efectiva y una transición a estabilidad aeróbica consistente, subrayando la necesidad de gestión adecuada de humedad y del momento de apertura para garantizar seguridad y calidad (Vinces-Tachong et al., 2025).

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que la inclusión de cáscara de maracuyá en diferentes proporciones en el ensilaje de maíz forrajero no genera cambios significativos en la dinámica de bacterias totales ni bacterias ácido lácticas, manteniendo valores estables durante la fermentación (0–144 h) y en la fase de

estabilidad aeróbica, lo que indica una microbiota funcionalmente robusta independientemente del tratamiento. Asimismo, el crecimiento de hongos mostró estabilidad relativa, mientras que las levaduras presentaron diferencias significativas entre tratamientos, sugiriendo una mayor sensibilidad de este grupo microbiano a la composición del sustrato y a la disponibilidad de azúcares fermentables.

En cuanto a la temperatura y el pH, se observó un comportamiento típico de ensilajes bien fermentados, con una fase inicial de acidificación eficiente seguida de un incremento de pH y ligera elevación térmica tras la apertura del silo, asociado a la actividad microbiana aeróbica. En conjunto, estos hallazgos indican que la cáscara de maracuyá puede incorporarse como subproducto agroindustrial en el ensilaje de maíz sin afectar negativamente la calidad microbiológica ni la estabilidad fermentativa del sistema, aunque su efecto sobre levaduras sugiere la necesidad de optimizar las proporciones de inclusión para maximizar la estabilidad aeróbica y la conservación del material ensilado.

## CONFLICTO DE INTERESES

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

## Referencias Bibliográficas

- Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066–3083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9)
- Brito-Gómez, V. M., Herrera-Jácome, D. F., Miranda-Monar, G. H., Conrado-Palma, D. J., & Miranda-Monar, H. P. (2026). Modelación DSSAT del maíz bajo cambio climático y densidad de siembra en época lluviosa. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 548-562. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/170>
- Danner, H., Holzer, M., Mayrhuber, E., & Braun, R. (2003). Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(1), 562–567. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.562-567.2003>
- Dormond H., H., Rojas B., A., Boschini F., C., Mora L., G., & Sibaja R., 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://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/974>
- Espinoza-Guerra, Í., Montenegro, B., Rivas, J., Romero, M., García, A., & Martínez, A. (2017). Características microbianas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya (*Megathyrus maximus*) con niveles crecientes de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista Científica FCV-LUZ*, 27(4), 241–248. <https://www.redalyc.org/journal/959/95953011007/>

- Espinoza-Guerra, Í., Pérez-Oñate, C., Montenegro-Vivas, L., Sánchez-Laiño, A., García-Martínez, A., & Martínez-Marín, A. (2016). Composición química y cinética de degradación ruminal in vitro del ensilado de pasto saboya (*Megathyrus maximus*) con niveles crecientes de inclusión de residuo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.). *Revista Científica FCV-LUZ*, 26(6), 402–407. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95949934009>
- Kung, L., Jr., Schmidt, R. J., Ebling, T. E., & Hu, W. (2007). The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, 90(5), 2309–2314. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-713>
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- 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>
- Ramírez-Navarro, V. M., Peñuela-Sierra, L. M., Garcia-Saavedra, Y. M., & Pérez-Rubio, M. D. R. (2019). Caracterización organoléptica, nutricional, microbiológica y digestibilidad in vitro de ensilados con diferentes niveles de inclusión de desperdicios de alimentos. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(3), 245–259. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n3.84261>
- Ranjit, N. K., & Kung, L., Jr. (2000). The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 526–535. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74912-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74912-5)
- 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>
- Taylor, C. C., & Kung, L., Jr. (2002). The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. *Journal of Dairy Science*, 85(6), 1526–1532. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74222-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74222-7)
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- 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>

Vinces-Tachong, R. E., Solorzano-Cedeño, L. J., Zambrano-Morales, D. M., Murillo-Orellana, D. D., & Muñoz-Montoya, J. A. (2025). Productividad del maíz en función de distintas dosis del biofertilizante Ferti-Organ. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 414-425. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/121>

Weiss, W. (1996). When to consider silage additives. En *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference* (pp. 125–137). Ohio State University, Department of Animal Science. <https://www.tristatedairy.org/articles-sorted-by-topic>