

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía



TESIS

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS
(LAB), EN LA CONSERVACIÓN DE MATERIA SECA EN ENSILADO
DE MAÍZ (*Zea mays*)”**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

JOSÉ LUIS DÍAZ MERINO

Asesor:

Ing.M.Sc. JESÚS HIPÓLITO DE LA CRUZ ROJAS

CAJAMARCA – PERÚ

-2026-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** José Luis Díaz Merino
DNI: 44477038
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:**
Ing.M.Sc. Jesús Hipólito De la Cruz Rojas.
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
5. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
6. **Título de Trabajo de Investigación:** "EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (LAB), EN LA CONSERVACIÓN DE MATERIA SECA EN ENSILADO DE MAÍZ (*Zea mays*)"
7. **Fecha de evaluación:** 10/03/2026
8. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 16%
10. **Código Documento:** oid: 3117:566206090
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 16%
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/03/2026

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 M.Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas DNI: 26724113

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintinueve días del mes de enero del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 053-2026-FCA-UNC, de fecha 12 de enero del 2026**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (LAB), EN LA CONSERVACIÓN DE MATERIA SECA EN ENSILADO DE MAÍZ (*Zea mays*)"**, realizada por el Bachiller **JOSÉ LUIS DÍAZ MERINO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las nueve horas y siete minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diez horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Jorge Ricardo De La Torre Araujo
PRESIDENTE

Ing. M. Cs. José Ramiro Díaz Cumpén
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis padres, por ser el motor y el motivo de mi vida. Hoy alcanzo un sueño que también les pertenece; espero que este logro los haga sentir tan orgullosos de mi como yo lo estoy de ustedes.

A Belén y Rosario, mis mayores inspiraciones. Que este éxito sea una prueba de que, con esfuerzo y perseverancia, no existen sueños inalcanzables.

AGRADECIMIENTO

A Dios, en primera instancia, por su guía y sabiduría, porque sus tiempos son perfectos.

A mi hermano Carlos, por ser un apoyo constante en este camino. Gracia por tus consejos oportunos y esas palabras de aliento que fueron fundamentales a lo largo de mi formación académica.

ÍNDICE

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
CAPITULO I.....	11
INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Problema de la investigación.....	12
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación de la investigación.....	12
1.4. Objetivos de la investigación.....	13
1.5. Hipótesis.....	14
1.6. Variables.....	14
CAPITULO II.....	15
REVISIÓN DE LITERATURA.....	15

2.1. Antecedentes	15
2.2. Base Teóricas	16
2.2.1. Bacterias ácido lácticas	16
2.2.2. Ensilados	19
CAPITULO III	28
MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	28
3.2. Materiales y equipos.....	28
3.2.1. Materia prima e insumos	28
3.2.2. Equipos.....	28
3.2.3. Materiales de laboratorio y reactivos	28
3.2.4. Materiales auxiliares y herramientas.....	29
3.3. Metodología	29
3.3.1. Diseño experimental.....	29
3.3.2. Obtención de bacterias ácido lácticas (LAB).....	30
3.3.3. Manejo del experimento.....	31
3.3.4. Análisis estadístico.....	33
CAPITULO IV	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Resultados de materia seca inicial.....	34

4.2.	Evaluación final de materia seca	35
4.3.	Resultados del análisis estadístico.....	36
4.3.1.	Análisis de varianza ANOVA	36
4.3.2.	Prueba de comparación de medias (Tukey)	37
CAPITULO V		39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		39
5.1.	Conclusiones	39
5.2.	Recomendaciones	39
BIBLIOGRAFÍA		41
ANEXOS		
Anexo A: Obtención de bacterias ácido lácticas (LAB)		44
Anexo B: Acondicionamiento de la materia prima		46
Anexo C: Caracterización inicial		47
Anexo D: Conformación de las unidades experimentales.....		47
Anexo D: Evaluación final de materia seca		50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales familias y géneros de bacterias lácticas (LAB) de importancia tecnológica.....	17
Tabla 2. Registro de pesaje para la determinación de materia seca.....	34
Tabla 3. Porcentaje de materia seca por tratamiento al sexto mes de evaluación	35
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de materia seca.....	37
Tabla 5. Prueba de significancia de Tukey para el porcentaje de materia seca	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales vías de fermentación de glucosa: fermentación homoláctica (A) y fermentación heteroláctica (B)	18
Figura 2. Dinámica microbiana y cambios en las condiciones fisicoquímicas (pH y O ₂) a lo largo del proceso de ensilado (L. Dunière, 2013)	22
Figura 3. Esquema del diseño experimental aplicado.....	30
Figura 4. Retención de materia seca al sexto mes de evaluación	36
Figura 5. Diferencias de las medias para materia seca al sexto mes	38
Figura 6. Preparación y filtrado de la solución fermentada de agua, arroz y leche	44
Figura 7. Inóculo de bacterias ácido lácticas (LAB)	44
Figura 8. Verificación microscópica de bacterias ácido lácticas (LAB)	45
Figura 9. Vista microscópica de cocos y bacilos	45
Figura 10. Picado del maíz	46
Figura 11. Maíz picado (2 – 3 cm de longitud)	46
Figura 12. Deshidratación en estufa a 105 °C	47
Figura 13. Determinación del contenido inicial de materia seca (MS)	47
Figura 14. Dosificación y pesaje de la materia prima (2 kg)	48
Figura 15. Inoculación de bacterias ácido lácticas (LAB).....	48
Figura 16. Sellado de las unidades experimentales	49
Figura 17. Determinación de materia seca al sexto mes.....	50
Figura 18. Apertura de unidades experimentales.....	50
Figura 19. Pesaje de muestras.....	50
Figura 20. Deshidratación en estufa a 105 °C	51

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la aplicación de bacterias ácido lácticas (LAB) en la conservación de la materia seca del ensilado de maíz (*Zea mays*). El estudio se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones, evaluando cuatro tratamientos: un testigo (0%) y tres niveles experimentales al 10%, 20% y 30%. El parámetro de evaluación fue el porcentaje de materia seca, registrado tanto en la etapa inicial de caracterización de la materia prima como al sexto mes de fermentación. Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey. Los resultados determinaron que la dosificación al 20% de bacterias ácido lácticas fue la más eficiente, logrando una retención del 37,6% de materia seca, garantizando una preservación superior del forraje en comparación con el testigo y las demás concentraciones evaluadas.

Palabras clave: Materia seca, bacterias ácido lácticas, ensilado.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of lactic acid bacteria (LAB) application on the dry matter preservation of corn (*Zea mays*) silage. The study was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replicates, evaluating four treatments: a control (0%) and three experimental levels of 10%, 20%, and 30%. The evaluation parameter was the percentage of dry matter, recorded both at the initial stage of raw material characterization and at the sixth month of fermentation. The data obtained were processed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test for mean comparison. The results determined that the 20% lactic acid bacteria dosage was the most efficient, achieving a 37.6% dry matter retention, thus ensuring superior forage preservation compared to the control and the other concentrations evaluated.

Keywords: Dry matter, lactic acid bacteria, silage.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), la población de ganado vacuno en el Perú ha mostrado un crecimiento sostenido, pasando de 4,98 millones de cabezas en el año 2000 a una estimación de 5,64 millones en 2020 (Lazo Zúñiga, 2022) . Según el IV Censo Nacional Agropecuario (2012), esta población se distribuye territorialmente en la sierra (73,2%), la selva (14,9%) y la costa (11,9%), sustentándose sobre una superficie de 18 018 795 hectáreas de pastos naturales y 4 155 678 hectáreas de pastos cultivados (INEI, 2012). Sin embargo, la estacionalidad y la limitada oferta forrajera exigen la adopción de estrategias de conservación para garantizar la seguridad alimentaria del ganado.

En este contexto, el ensilado de maíz (*Zea mays*) constituye un recurso estratégico para la nutrición del ganado vacuno y la sostenibilidad económica de los pequeños productores, dada la amplia disponibilidad de este cultivo a nivel nacional. Se destaca como un forraje de alta calidad por su óptimo contenido de materia seca (MS), alta digestibilidad y densidad energética, así como por su versatilidad en la cosecha y el suministro, lo que lo convierte en un insumo esencial tanto en sistemas de producción láctea como cárnica. Asimismo, un silo herméticamente sellado permite el almacenamiento de alimento por periodos prolongados; existen antecedentes de conservación de una temporada a otra sin comprometer el valor nutricional de la MS ni las propiedades organolépticas (color, aroma y sabor) que determinan la palatabilidad animal (Bustamante, 2020).

1.1.Problema de la investigación

La economía de la región Cajamarca se sustenta primordialmente en la actividad agropecuaria, siendo la ganadería el motor económico más relevante con una población aproximada de 800 000 cabezas de ganado vacuno (CENAGRO). A pesar de esta importancia estadística, el sector enfrenta una brecha de productividad crítica derivada de la estacionalidad forrajera. Según (Bustamante, 2020), la deficiencia en la alimentación animal ha generado un descenso progresivo en los rendimientos de producción lechera diaria, lo que constituye el principal desafío técnico para los productores locales.

Aunque el maíz (*Zea mays*) es un cultivo abundante en la región, el limitado conocimiento en técnicas de conservación forrajera y en el uso de aditivos biológicos, como las bacterias ácido lácticas (LAB), compromete la estabilidad nutricional y la disponibilidad del alimento durante todo el año. Esta situación impacta directamente en la rentabilidad del ganadero, quien, ante la escasez de reservas, se ve forzado a la descapitalización de su hato mediante la venta de animales a bajo precio o la adquisición de insumos externos onerosos durante las épocas de estiaje.

1.2.Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de bacterias ácido-lácticas (LAB) en la conservación de la materia seca del ensilado de maíz (*Zea mays*)?

1.3.Justificación de la investigación

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar la conservación de forrajes en la región Cajamarca, donde la estacionalidad climática limita el acceso a alimento de calidad. El uso de bacterias ácido lácticas (LAB) representa una alternativa biotecnológica viable para acelerar la fermentación, reducir eficientemente el pH y,

fundamentalmente, minimizar la pérdida de materia seca durante el almacenamiento.

Desde una perspectiva técnica, el estudio permitirá determinar la dosificación óptima de estos inóculos, estableciendo una comparativa precisa entre el contenido de materia seca al momento de la cosecha y el obtenido tras la estabilización del ensilado. Esta información es crucial, pues una mayor retención de materia seca se traduce en una superior densidad energética y nutricional del forraje.

A nivel socioeconómico, la investigación brindará a los ganaderos una herramienta validada para reducir la dependencia de insumos externos. Al mejorar la eficiencia del ensilado de maíz (*Zea mays*), se busca disminuir los costos de producción y garantizar la seguridad alimentaria del hato, transformando un sistema vulnerable en uno resiliente y rentable frente a las épocas de estiaje.

1.4.Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de bacterias ácido lácticas (LAB), en la conservación de materia seca en ensilado de maíz (*Zea mays*).

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la mejor dosificación en la aplicación de bacterias ácido lácticas (LAB), en la conservación de materia seca en ensilado de maíz (*Zea mays*).
- Determinar el porcentaje de materia seca en cada muestra al aplicar las diferentes dosificaciones de bacterias ácido láctico (LAB).

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis nula (H_0)

La dosificación de bacterias ácido lácticas (LAB) no tiene un efecto significativo sobre la retención de materia seca en el ensilado de maíz (*Zea mays*).

1.5.2. Hipótesis alterna (H_a)

La dosificación de bacterias ácido lácticas (LAB) influye significativamente en la retención de materia seca en el ensilado de maíz (*Zea mays*).

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente:

Dosificación de bacterias ácido lácticas (LAB).

1.6.2. Variable dependiente:

Retención de materia seca (MS).

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

En el ámbito de la optimización de forrajes, la literatura destaca el rol de los aditivos biológicos en la calidad del ensilaje. Al respecto, Podkówka et al. (2003) evaluaron el efecto de la inoculación con *Lactobacillus buchneri* sobre la fermentación y estabilidad aeróbica en maíz (*Zea mays*), variedad Matilda. Mediante un diseño experimental en microsilos y tras 42 días de fermentación, los autores reportaron variaciones significativas en el perfil fermentativo: el tratamiento inoculado (0.5 g/kg) alcanzó una concentración de ácido acético de 41.7 g/kg MS, triplicando los 12.2 g/kg MS del grupo control. La ausencia de ácidos propiónico y butírico confirmó una fermentación higiénica; en consecuencia, se determinó que *L. buchneri* actúa como un agente clave para incrementar el ácido acético, componente esencial para mitigar el deterioro aeróbico durante la fase de apertura.

Bajo una línea de investigación similar, Mier Quiroz (2009) analizó el valor nutritivo y la estabilidad de ensilajes de maíz mediante la inclusión de una mezcla de bacterias ácido-lácticas y urea (0.7%). A través de un diseño completamente al azar, se contrastó un grupo testigo frente a uno suplementado con dicho aditivo mixto. Tras 90 días de evaluación, los resultados ratificaron la tendencia observada en estudios previos: la suplementación incrementó la producción de ácido acético (1.17 ± 0.7 g/kg MS) en comparación con el control (0.7 ± 0.03 g/kg MS).

Más allá de estos estudios específicos, se reconoce que las bacterias ácido lácticas (LAB) constituyen los inoculantes de mayor difusión en una amplia diversidad de forrajes.

Entre las cepas comerciales predominan las especies homofermentativas, como *Lactobacillus plantarum*, valoradas por su eficiencia en la reducción inmediata del pH mediante la producción exclusiva de ácido láctico (Amanullah et al. 2014). Sin embargo, la literatura advierte que el ácido láctico es altamente vulnerable a la oxidación por microorganismos aerobios una vez que el silo es expuesto al oxígeno. Bajo este contexto, la investigación se ha orientado también hacia el uso de bacterias heterofermentativas como *L. buchneri*. Esta especie posee la capacidad de degradar anaeróbicamente el lactato en ácido acético y 1,2-propanodiol, compuestos que actúan como potentes inhibidores del crecimiento de levaduras y mohos, extendiendo así la vida útil del forraje tras su apertura (Muck, 2013; Dolci et al., 2011). Actualmente, diversos estudios evalúan la efectividad de combinar ambas estrategias metabólicas para optimizar la conservación integral del ensilaje.

2.2.Base Teóricas

2.2.1. Bacterias ácido lácticas

a. Generalidades

Las bacterias ácido lácticas (BAL o LAB, por sus siglas en inglés) constituyen un grupo extenso y heterogéneo de microorganismos con afinidades morfológicas, metabólicas y fisiológicas. Se caracterizan por ser cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados y carentes de movilidad. Generalmente son catalasas negativas, aunque ciertos géneros pueden degradar el peróxido de hidrógeno mediante pseudocatalasas (Dicks & Endo, 2014).

Desde el punto de vista metabólico, son anaerobias facultativas, aerotolerantes o microaerófilas. Al carecer de cadena de transporte de electrones, poseen un metabolismo estrictamente fermentativo, cuyo principal producto es el ácido láctico.

Debido a sus altas exigencias nutricionales (requieren aminoácidos, vitaminas y bases nitrogenadas, entre otros), su cultivo demanda medios complejos enriquecidos con extractos de levadura o peptona. Finalmente, su notable acidofilia les permite proliferar a un pH de 5.0 o inferior, otorgándoles una ventaja competitiva decisiva en entornos ricos en nutrientes (Vinderola et al., 2019).

b. Clasificación taxonómica

Las bacterias lácticas se clasifican dentro del filo Firmicutes, clase Bacilli y orden Lactobacillales. A pesar de la vasta diversidad del orden (6 familias y >60 géneros), los taxones de importancia tecnológica se resumen a continuación:

Tabla 1. Principales familias y géneros de bacterias lácticas (LAB) de importancia tecnológica.

Familia	Géneros de importancia tecnológica
Lactobacillaceae	<i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i>
Streptococcaceae	<i>Lactococcus</i> , <i>Streptococcus</i>
Leuconostocaceae	<i>Leuconostoc</i> , <i>Oenococcus</i> , <i>Weissella</i>
Enterococcaceae	<i>Enterococcus</i> , <i>Tetragenococcus</i> , <i>Vagococcus</i>
Carnobacteriaceae	<i>Carnobacterium</i>
Aerococcaceae	<i>Aerococcus</i>

Fuente: (Björkroth & Koort, 2016)

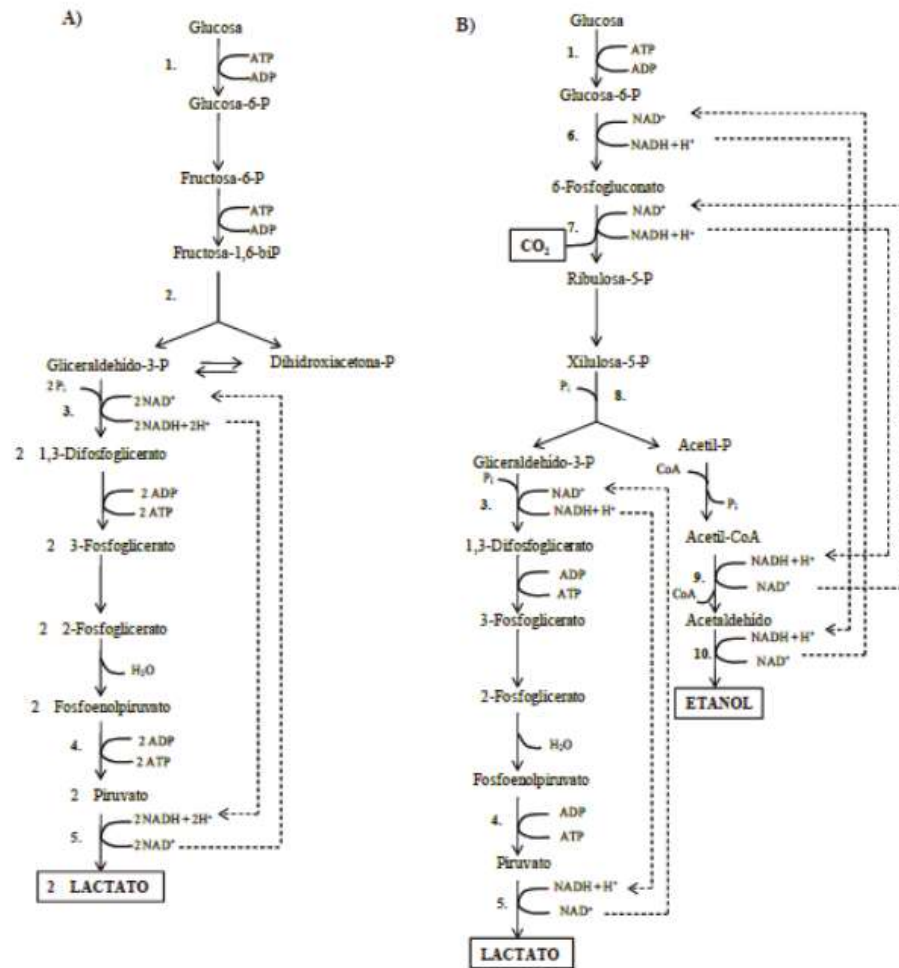
c. Metabolismo de carbohidratos

Las bacterias ácido lácticas (LAB) poseen un metabolismo estrictamente fermentativo, obteniendo energía exclusivamente por fosforilación a nivel de sustrato. Este proceso ocurre a través de dos rutas principales: la glucólisis (vía Embden Meyerhof Parnas o EMP) y la vía del 6-fosfogluconato/fosfocetolasa (6-PG-PK) (Vinderola, 2019). Las enzimas clave que distinguen estas rutas son la fructosa-1,6-difosfato aldolasa (FDP-aldolasa) para la glucólisis y la fosfocetolasa para la vía 6-PG-PK.

Según su capacidad para degradar carbohidratos, las LAB se clasifican en tres grupos:

- **Homofermentantes obligadas:** Utilizan la vía EMP para oxidar hexosas, generando principalmente dos moles de lactato y dos de ATP por cada molécula de glucosa (Fig. A). En este grupo se encuentran especies como *L. acidophilus*, *L. delbrueckii*, *L. helveticus* y *L. salivarius*, además de los géneros *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* y *Streptococcus*.
- **Heterofermentantes obligadas:** Emplean la vía 6-PG-PK, transformando una molécula de glucosa en un mol de lactato, uno de etanol y uno de ATP (Fig. B). Un rasgo distintivo de esta ruta es la liberación de CO₂ debido a la descarboxilación del 6-fosfogluconato. No obstante, ante la presencia de aceptores de electrones alternativos, estas bacterias pueden producir acetato en lugar de etanol, lo que les permite obtener una molécula adicional de ATP. A este grupo pertenecen especies como *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum* y *L. reuteri*, así como los géneros *Leuconostoc*, *Weissella*, *Oenococcus* y *Fructibacillus*.
- **Heterofermentantes facultativas:** Fermentan hexosas preferentemente por la vía EMP, pero bajo condiciones limitantes de glucosa pueden fermentar pentosas mediante la vía 6-PG-PK. Ejemplos destacados son *L. casei*, *L. curvatus*, *L. plantarum* y *L. sakei*.

Figura 1. Principales vías de fermentación de glucosa: fermentación homoláctica (A) y fermentación heteroláctica (B)



2.2.2. Ensilados

a. Ensilado y su importancia

La producción de forrajes está condicionada por la estacionalidad y los factores climáticos, lo que suele generar periodos de escasez que afectan la alimentación y el rendimiento del ganado. Para mitigar este déficit y asegurar una reserva de alimento durante todo el año, se utilizan diversos métodos de conservación. El ensilado (o ensilaje) es uno de los sistemas más extendidos para preservar forrajes frescos; su principio se basa en la estabilización del vegetal, ya sea mediante el uso de conservantes químicos o a través de la fermentación láctica

en condiciones de anaerobiosis (ausencia de oxígeno).

Esta práctica involucra diferentes etapas: la cosecha del cultivo en su estado de madurez adecuado, el picado, el llenado del silo, y una compactación y sellado cuidadosos para eliminar el aire. Tras el almacenamiento, el silo se abre finalmente para el suministro animal.

Desde el punto de vista microbiológico, la fermentación puede ser llevada a cabo por las bacterias lácticas presentes en el material de partida o mediante la adición de inoculantes compuestos por cepas seleccionadas. El proceso consiste en la transformación de los carbohidratos solubles del vegetal en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico. La producción de este ácido provoca un descenso rápido del pH, lo que inhibe el desarrollo de microorganismos deteriorantes y garantiza que el forraje mantenga su calidad nutricional por un periodo prolongado (L. Dunière, 2013) .

b. Fases del ensilado

El proceso de ensilaje se divide en cuatro etapas: fase aeróbica, fase anaeróbica, fase estable y fase de apertura (Fig. 2). El control de cada etapa es fundamental para garantizar la calidad del forraje, minimizar las pérdidas económicas y evitar riesgos sanitarios (Pahlow, 2003).

- Fase aeróbica: Esta etapa inicia inmediatamente tras el corte, cuando el oxígeno atrapado en la matriz del forraje permite que continúe la respiración celular del vegetal y la actividad de microorganismos aerobios. Durante este periodo, enzimas vegetales como las proteasas degradan las proteínas en péptidos, aminoácidos libres y nitrógeno no proteico. Paralelamente, los

carbohidratos no estructurales (como el almidón) se transforman en azúcares simples, los cuales son consumidos por levaduras, hongos y bacterias, generando calor, agua y gases.

- Fase anaeróbica: Comienza cuando el agotamiento del oxígeno permite el desarrollo de microorganismos anaerobios. Su duración varía de días a semanas, según las características del forraje. Esta fase se define por la fermentación de carbohidratos solubles (CHOS) por parte de las bacterias ácido lácticas (LAB), lo que genera una caída drástica del pH.

Durante este periodo, las LAB compiten por nutrientes con microorganismos facultativos y anaerobios obligados (*Clostridium*, enterobacterias, *Bacillus* y levaduras). En un ensilaje eficiente, las LAB logran dominar el medio; inicialmente predominan géneros como *Pediococcus*, *Leuconostoc* y *Streptococcus*, seguidos por *Lactobacillus* a medida que la acidez aumenta.

Riesgos de fermentación secundaria: Si el forraje está muy húmedo o es bajo en azúcares, pueden proliferar bacterias del género *Clostridium* (fermentación butírica), las cuales degradan el ácido láctico y las proteínas en ácido butírico y amoníaco (NH_3). El NH_3 eleva el pH, favoreciendo la putrefacción y el desarrollo de patógenos.

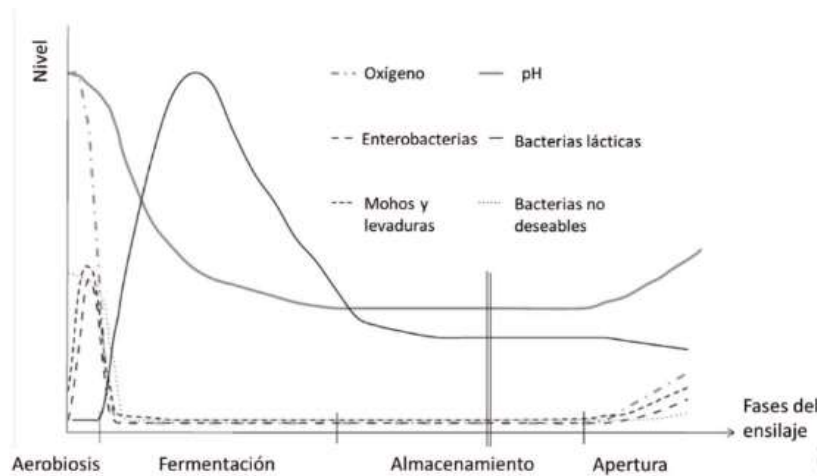
- Fase estable: Una vez alcanzado un pH bajo y en condiciones de anaerobiosis estricta, la actividad microbiana se reduce al mínimo. No obstante, algunas enzimas ácido tolerantes continúan hidrolizando polisacáridos para liberar azúcares simples. En esta fase, ciertas bacterias como *L. buchneri* pueden permanecer activas, mientras que microorganismos como *Clostridium* y

Bacillus sobreviven en forma de esporas, y algunas levaduras se mantienen en estado latente a la espera de condiciones favorables.

- Fase de apertura: Esta fase ocurre cuando el silo se abre para alimentar al ganado y el material queda expuesto nuevamente al aire. El ingreso de oxígeno reactiva a los microorganismos aerobios facultativos que estaban inactivos. Generalmente, levaduras (como *Candida* y *Pichia*) y bacterias acéticas inician el deterioro metabolizando los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación.

La oxidación aeróbica es la principal causa de pérdida de nutrientes en esta etapa y puede comprometer la salud del ganado debido a la proliferación de patógenos o toxinas. La estabilidad aeróbica se mide como el tiempo que el ensilaje permanece sin deteriorarse tras la exposición al aire, lo cual se detecta mediante el incremento de la temperatura interna del material (generalmente $>2^{\circ}\text{C}$ respecto a la temperatura ambiente) (Burns P, 2018).

Figura 2. Dinámica microbiana y cambios en las condiciones fisicoquímicas (pH y O_2) a lo largo del proceso de ensilado (L. Dunière, 2013)



c. Forraje

La calidad del silaje depende de diversos factores, destacándose la

naturaleza del forraje y su momento de cosecha. El maíz y el sorgo son de los más importantes en los sistemas de producción modernos debido a su alto contenido de carbohidratos solubles (CHOS) y su baja capacidad de amortiguación (buffer), condiciones que facilitan el descenso del pH y el desarrollo de bacterias ácido lácticas (LAB). Por el contrario, los verdeos de invierno y la alfalfa presentan mayores desafíos debido a su elevada humedad, baja carga de LAB epífitas y un desequilibrio entre el contenido proteico y los CHOS disponibles.

El estado de madurez y el porcentaje de materia seca (MS) al momento del corte son críticos para garantizar la fermentación y el valor nutricional. En maíz y sorgo, se recomienda un 35-40% de MS (Bragachini et al., 2018), mientras que en la alfalfa el rango óptimo se sitúa entre el 40-45%. Para la avena, aunque los valores varían, el rango aceptable oscila entre el 35% y 50% de MS. Cabe destacar que, frente a los cultivos de verano, los de invierno poseen menos carbohidratos solubles, lo que resulta en una fermentación láctica más lenta y menos estable, incluso con un compactado adecuado. En estos casos, el uso de inoculantes bacterianos es clave para alcanzar un pH bajo y estabilizar silajes con mayor contenido de MS.

d. Parámetros químicos indicadores de la calidad del silaje

Para evaluar la calidad fermentativa y nutricional del silaje, se consideran los siguientes parámetros químicos (Fulgueira et al., 2007):

- **Materia seca (% MS):** Representa la fracción del forraje que no es agua. Dado que el contenido de humedad varía según el tipo de forraje, estado de madurez y estación, el resto de los parámetros deben expresarse siempre sobre base

seca para permitir comparaciones válidas.

- pH: Es el indicador principal de la acidez alcanzada. Un descenso rápido y profundo del pH es esencial para la conservación del material.
- Proteína bruta (% PB): Comprende tanto el nitrógeno proteico (proteínas y péptidos) como el nitrógeno no proteico (NNP), el cual incluye nitratos, amonio, urea, aminos y aminoácidos libres. Un nivel elevado de PB no garantiza necesariamente una alta calidad nutricional, dado que las fracciones de NNP poseen un valor biológico inferior al de la proteína verdadera.
- Fibra detergente neutra (% FDN): Estima el contenido total de fibra (celulosa, hemicelulosa y lignina). Se utiliza para predecir el consumo voluntario, ya que niveles excesivos de FDN limitan la capacidad de ingesta del animal.
- Fibra detergente ácido (% FDA): Mide el contenido de celulosa y lignina. Es un indicador inverso de la digestibilidad: a mayor porcentaje de FDA, menor es la energía que el animal puede extraer del forraje.
- Lignina detergente ácida (% LDA): Es el componente de la pared celular que más afecta la digestibilidad. Carece de valor energético y funciona como una barrera física que impide la degradación de otros carbohidratos fibrosos. Su incremento reduce drásticamente la digestibilidad y el desempeño animal.
- Cenizas (% Cz): Representa el contenido total de minerales (macro y microelementos). Normalmente constituye entre el 3% y el 15% de la MS. Niveles muy altos pueden indicar contaminación con tierra durante la cosecha.
- Extracto etéreo (% EE): Representa la fracción lipídica. Valores superiores al 14% son indeseables, ya que pueden resultar tóxicos para las bacterias del

rumen y predisponer al enranciamiento del material si no está bien acondicionado (Gallardo, 2007).

- Nitrógeno amoniacal ($\%NH_3/NT$): Se utiliza como indicador de la degradación proteica y la calidad de conservación. Concentraciones elevadas de amoníaco (respecto al nitrógeno total) sugieren una fermentación deficiente. Según su pH y $\% NH_3/NT$, los silajes se clasifican en: muy buenos ($pH < 4$ y $\% NH_3/NT \leq 5$), buenos ($pH \geq 4$ y $\% NH_3/NT 5-15$), regulares ($pH \geq 4$ y $\% NH_3/NT \leq 15$) o malos ($pH > 4$ y $\% NH_3/NT > 15$).
- Ácidos orgánicos: El perfil fermentativo del silaje se define principalmente por la presencia de ácido láctico y ácido butírico. El ácido láctico es el producto deseable de la fermentación y una valiosa fuente de energía para el rumiante, por lo que un silaje de calidad debe contener niveles superiores al 3%. Por el contrario, el ácido butírico es el resultado de fermentaciones clostridiales secundarias e indeseables; concentraciones mayores al 0,1% indican una mala conservación, generan olores pútridos y provocan el rechazo del alimento por parte del ganado.

e. Bacterias lácticas como inoculantes para ensilado

El uso de aditivos en ensilajes tiene como objetivo primordial conservar el valor nutritivo del forraje y garantizar condiciones higiénico sanitarias óptimas. Las principales categorías de aditivos incluyen: promotores de la fermentación (inoculantes microbianos, enzimas y sustratos), inhibidores de fermentaciones secundarias (ácidos y formaldehído), inhibidores del deterioro aeróbico (LAB, ácidos y sales) y nutrientes. Las LAB preservan el forraje mediante tres

mecanismos principales: la inhibición del desarrollo microbiano por el descenso del pH, la acción de compuestos antifúngicos y la producción de bacteriocinas (Vinderola et al., 2019). Debido a la diversidad de inoculantes disponibles (compuestos por cepas individuales o combinadas, y a veces reforzados con enzimas), su elección dependerá estrictamente del tipo de forraje y del objetivo productivo buscado.

- Bacterias lácticas homofermentativas: Los inoculantes de primera generación están compuestos por LAB homofermentativas, principalmente *L. plantarum* (heterofermentativa facultativa), especies de *Pediococcus* y *Enterococcus faecium*. Su propósito central es acelerar la caída del pH mediante la producción eficiente de ácido láctico.

Diversos estudios señalan que la inoculación con estas bacterias genera ensilajes con menor pH y contenido de CHOS, pero con mayores niveles de materia seca (MS) y ácido láctico en comparación con silos no tratados. Asimismo, presentan menores concentraciones de NH_3 y ácido butírico. Su eficacia es mayor en forrajes con baja carga de LAB epífitas y alta capacidad buffer. Aunque aún se desconocen los mecanismos exactos, se ha observado que esta inoculación mejora el desempeño animal y aumenta la producción de leche. No obstante, las LAB homofermentativas pueden reducir la estabilidad aeróbica, ya que el lactato acumulado puede servir como sustrato para la proliferación de levaduras al abrir el silo (Vyas, 2016).

- Bacterias lácticas heterofermentativas: Para mitigar las deficiencias en la estabilidad aeróbica, se desarrollaron los inoculantes de segunda generación,

los cuales combinan cepas homofermentativas y heterofermentativas. Estas últimas tienen la capacidad de generar compuestos antifúngicos, como los ácidos acético y propiónico.

L. buchneri es la LAB heterofermentante más utilizada debido a su capacidad para degradar el ácido láctico en ácido acético, 1,2-propanodiol y trazas de etanol bajo condiciones de anaerobiosis y pH ácido (Oude Elferink et al., 2001). Por su parte, *L. brevis* también se emplea para mejorar la estabilidad aeróbica, aunque con una eficiencia menor en comparación con *L. buchneri* (Danner et al., 2003).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación se desarrolló en las instalaciones del I.E.S.T.P. CEFOP Cajamarca (U.O. Celendín), ubicadas en la intersección de los jirones Dos de Mayo y Ayacucho, donde las actividades se distribuyeron según su naturaleza técnica: el procesamiento inicial del forraje (maíz) se realizó en el área de picado; mientras que la fase experimental completa, que comprendió la obtención de bacterias ácido lácticas, la determinación de materia seca (MS) inicial, el proceso de fermentación y la evaluación final de las unidades experimentales al sexto mes, se llevó a cabo en el laboratorio de pastos y forrajes.

3.2.Materiales y equipos

3.2.1. Materia prima e insumos

- Maíz (Zea mays)
- Leche
- Arroz
- Agua destilada

3.2.2. Equipos

- Picadora industrial
- Estufa de laboratorio
- Refrigeradora
- Microscopio
- Balanza gramera
- Laptop
- Cronómetro

3.2.3. Materiales de laboratorio y reactivos

- Cristalería: pipetas, probetas, matraz, embudo, tubos de ensayo
- Accesorios: gradilla
- Reactivos: aceite de inmersión y azul de metileno

3.2.4. Materiales auxiliares y herramientas

- De campo: machete, hoz
- De empaque/sellado: film, cinta adhesiva, bolsas de plástico
- De limpieza y escritorio: papel higiénico/toalla, papel bond, lápiz

3.3. Metodología

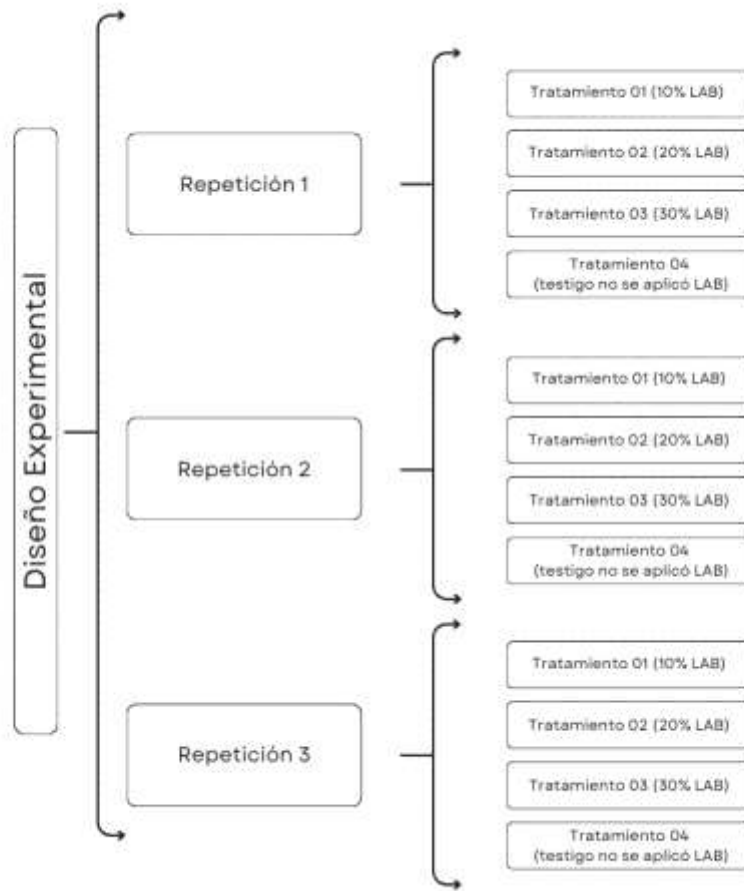
3.3.1. Diseño experimental

La investigación fue de tipo experimental, empleando un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. El factor de estudio consistió en el nivel de aplicación de bacterias ácido lácticas (LAB), evaluado mediante cuatro tratamientos: un testigo (0%) y tres niveles experimentales (10%, 20% y 30% de solución bacteriana).

Cada unidad experimental estuvo constituida por 2 kg de maíz picado (*Zea mays*), a los cuales se incorporó el inóculo según el tratamiento asignado. Esta configuración resultó en un total de 12 unidades experimentales.

El proceso de evaluación se realizó en dos etapas: una caracterización inicial y una evaluación final tras seis meses. La variable de respuesta principal fue la retención de materia seca (MS), con el propósito de determinar el nivel de inoculación que optimiza la estabilidad y conservación del ensilado.

Figura 3. Esquema del diseño experimental aplicado



3.3.2. Obtención de bacterias ácido lácticas (LAB)

La obtención del inóculo de bacterias ácido lácticas (LAB) se realizó mediante la fermentación controlada de carbohidratos y lácteos, utilizando como insumos arroz, agua y leche. El procedimiento se desarrolló bajo las siguientes fases:

- Extracción de almidón: Se sumergió 1 kg de arroz en 2 litros de agua durante 24 horas para facilitar la liberación de almidón en la solución.
- Fermentación primaria: Tras el periodo de remojo, se tamizó la mezcla para separar el grano del líquido. El agua resultante se dejó reposar en condiciones de

oscuridad por siete días.

- Inoculación láctica: Transcurrida la semana, se añadió a la solución un volumen de leche equivalente al 10% de la mezcla total.
- Fermentación secundaria: La solución se mantuvo en reposo por tres días adicionales. Durante esta etapa, las bacterias lácticas se multiplicaron metabolizando la lactosa de la leche y el almidón residual.
- Filtración final: El producto se filtró empleando una tela fina para separar los sólidos, obteniendo así el suero con alta concentración de bacterias ácido lácticas.
- Verificación microscópica: La presencia de los microorganismos se confirmó mediante microscopía, donde se identificaron estructuras morfológicas típicas de las LAB, específicamente formas esféricas (cocos) y bastones (bacilos).
- Control de calidad: Durante todo el proceso se supervisaron las características organolépticas. Se estableció como criterio de descarte la presencia de olores fétidos (putrefacción), coloraciones oscuras (marrones o negras) o crecimiento de mohos. Un inóculo óptimo debe presentar una coloración blanca o lechosa y un aroma característico a leche fermentada, lo cual garantiza la estabilidad biológica del producto.

3.3.3. Manejo del experimento

El desarrollo experimental se llevó a cabo siguiendo una secuencia lógica que garantizó la integridad de las muestras y la precisión de los datos:

- Picado del maíz (*Zea mays*): El forraje se procesó utilizando una picadora industrial, ajustando el corte a una longitud de entre 2 y 3 cm. Este tamaño de partícula es fundamental para asegurar una compactación eficiente, eliminando

el aire residual y mejorando la palatabilidad para el ganado.

- Muestreo y caracterización inicial: Se extrajo una muestra representativa de 100 gramos del material recién picado. La muestra se sometió a deshidratación en estufa a 105°C hasta alcanzar un peso constante, verificado mediante tres pesajes sucesivos. Esto permitió determinar el porcentaje de materia seca (MS) inicial.
- Inoculación de las unidades experimentales: Al inicio del proceso de ensilaje, se incorporó la solución de bacterias ácido lácticas (LAB) en cada unidad de 2 kg según el tratamiento correspondiente (10%, 20% y 30%), además de un grupo testigo (0%). La aplicación se realizó de manera uniforme sobre el material vegetal antes de su sellado.
- Toma de datos y seguimiento: Se estableció una evaluación en dos momentos: durante la fase inicial (caracterización del forraje fresco) y al momento de la apertura, transcurridos seis meses. Esta medición final permitió comparar el efecto de las distintas concentraciones de LAB sobre la retención de MS y la calidad de la conservación.
- Apertura de unidades experimentales: Transcurrido el periodo de seis meses, se procedió a la apertura de las unidades experimentales para realizar el pesaje final y la determinación de materia seca post fermentación.
- Pesaje de muestras y determinación de materia seca: Se extrajo una muestra representativa de 100 g de cada unidad experimental. Siguiendo el protocolo inicial, las muestras se sometieron a secado en estufa a 105°C hasta alcanzar un peso constante. Este procedimiento permitió determinar con precisión el contenido de materia seca al sexto mes de evaluación.

3.3.4. Análisis estadístico

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). En los casos donde se detectaron efectos significativos, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación y separación de medias, permitiendo identificar específicamente qué tratamientos presentaron variaciones entre sí.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados de materia seca inicial

Los datos correspondientes a la determinación de materia seca (MS) se detallan en la Tabla 2. El procedimiento se realizó a partir de una muestra representativa de 100 g de forraje fresco, sometida a deshidratación en estufa a 105 °C. Se efectuaron pesajes sucesivos en intervalos decrecientes de tiempo hasta alcanzar el peso constante de 39 g, verificado tras tres mediciones consecutivas.

Tabla 2. Registro de pesaje para la determinación de materia seca

Intervalo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
10	100	85
10	85	70
10	70	64
5	64	55
5	55	50
5	50	45
5	45	40
5	40	39
3	39	39
3	39	39
3	39	39

A partir de estos registros, se determinó un contenido final de 39% de materia seca respecto a la masa inicial. Este valor constituye un indicador favorable para la calidad del forraje destinado al ensilaje.

Al contrastar este resultado con la literatura especializada, el valor obtenido (39%) es superior al rango de 25% a 35% recomendado por Rolando Demanet (2020) para la elaboración de ensilado de maíz. Esta diferencia sugiere una mayor concentración de nutrientes por unidad de peso fresco en el material evaluado, lo que podría influir

positivamente en la estabilidad fermentativa del silo.

4.2.Evaluación final de materia seca

En la Tabla 3 se presentan los promedios del porcentaje de materia seca (MS) obtenidos para cada tratamiento tras seis meses de evaluación, basados en tres repeticiones por grupo.

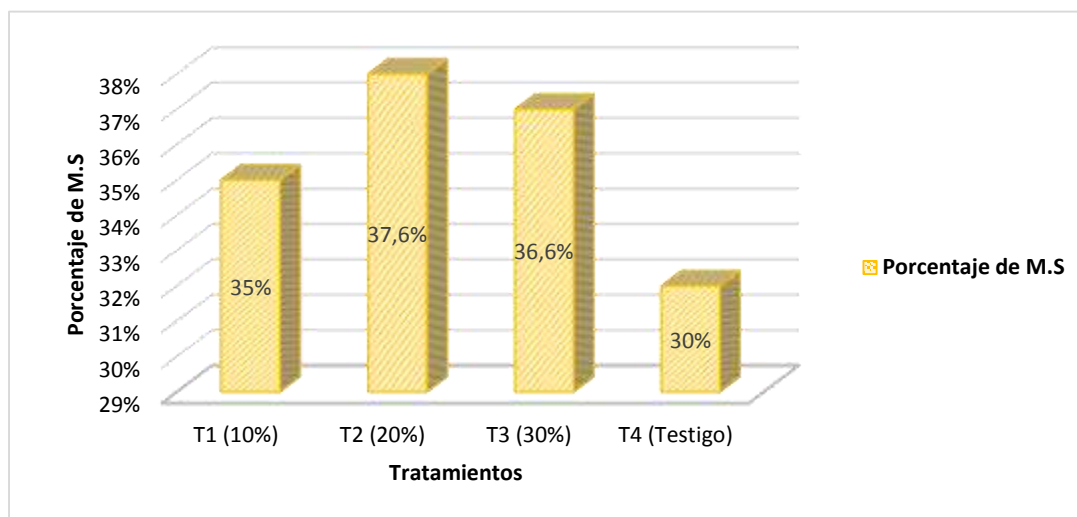
Tabla 3. Porcentaje de materia seca por tratamiento al sexto mes de evaluación

Repeticiones	T1 (10% LAB)	T2 (20% LAB)	T3 (30% LAB)	Testigo
R1	36	38	36	31
R2	34	38	38	29
R3	35	37	36	30
Promedio	35	37.6	36.6	30

Los resultados al sexto mes muestran que la inclusión de Bacterias Ácido Lácticas (LAB) favoreció la retención de materia seca en todos los niveles de aplicación en comparación con el testigo. El tratamiento T2 (20% LAB) presentó el mayor índice de conservación con un 37,6%, seguido por el T3 (30% LAB) con un 36,6% y el T1 (10% LAB) con un 35%. Por el contrario, el tratamiento testigo (T4), sin inóculo, registró el valor más bajo con un 30%.

Esta mayor retención de materia seca en los grupos inoculados demuestra que el uso de bacterias ácido lácticas acelera el descenso del pH, lo que favorece una fermentación más eficiente y reduce las pérdidas de nutrientes. Estos resultados guardan coherencia con lo planteado por Vinderola et al. (2019), quienes subrayan la importancia de las LAB en la fermentación de forrajes bajo condiciones anaeróbicas para preservar la calidad del alimento.

Figura 4. Retención de materia seca al sexto mes de evaluación



Como se observa en la Figura 4, al finalizar el sexto mes de estudio, el tratamiento T2 obtuvo la mayor retención de materia seca (37,6%), superando significativamente a los demás tratamientos analizados y consolidándose como la dosificación más efectiva para la conservación del forraje.

4.3.Resultados del análisis estadístico

Para determinar la validez de los datos obtenidos sobre la retención de materia seca, se procedió a realizar un Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey.

4.3.1. Análisis de varianza ANOVA

En la Tabla 4 se presentan los resultados del ANOVA para el contenido de materia seca en el ensilado de maíz tras seis meses de evaluación.

El análisis indica que las repeticiones no influyeron de manera significativa en la variable analizada ($p=0.5637>0.05$), lo que confirma la homogeneidad de las unidades experimentales y la precisión del diseño de bloques.

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de materia seca

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	2.67	2	1.33	0.63	0.5637
Tratamiento	104.33	3	34.78	16.47	0.0027
Error	12.67	6	2.11		
Total	119.67	11			

Por otro lado, el efecto de los tratamientos resultó estadísticamente significativo ($p=0.0027<0.05$). Esto demuestra que la aplicación de bacterias ácido lácticas (LAB) produjo diferencias reales en la conservación del material, confirmando que la respuesta del ensilado dependió directamente del nivel de inoculación. El Coeficiente de Variación (CV) de 4.17% valida la confiabilidad del experimento al mostrar una baja variabilidad entre los datos.

4.3.2. Prueba de comparación de medias (Tukey)

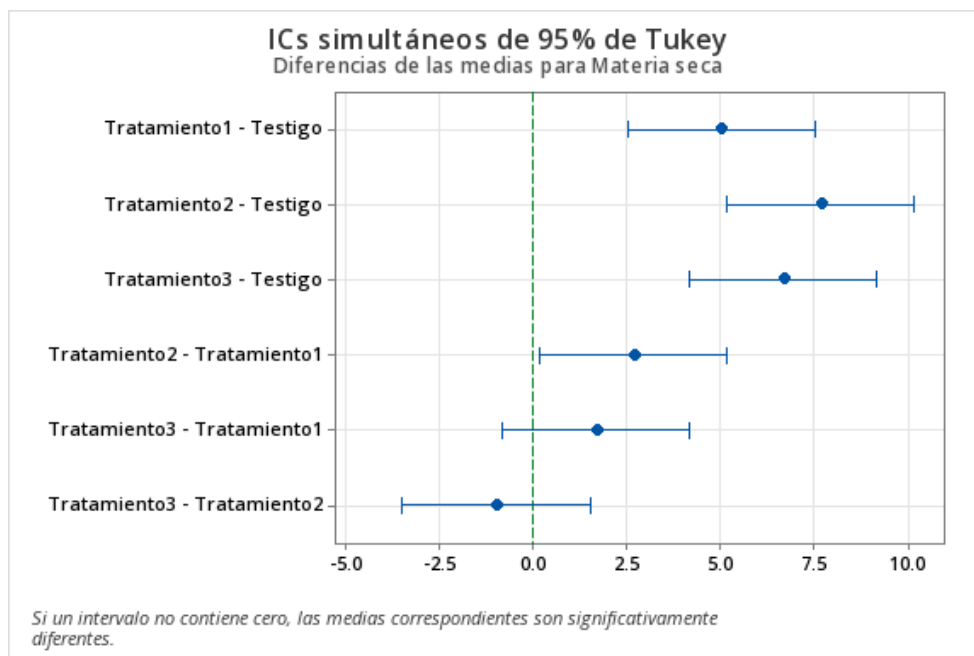
Tras hallar diferencias significativas en el ANOVA, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Este análisis permitió identificar las diferencias específicas entre los tratamientos evaluados y determinar qué niveles de inoculación presentan un comportamiento estadísticamente distinto (ver Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de significancia de Tukey para el porcentaje de materia seca

Tratamiento (LAB)	N	Materia seca (%)	Agrupación
T2 (20% LAB)	3	37.67	A
T3 (30% LAB)	3	36.67	A B
T1 (10% LAB)	3	35	B
Testigo	3	30	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figura 5. Diferencias de las medias para materia seca al sexto mes



Como se observa en la Tabla 5 y el Gráfico 5, el tratamiento T2 (20% LAB) obtuvo el mejor desempeño numérico, posicionándose en el grupo superior (A). El tratamiento T3 (30% LAB), al compartir las letras A y B, muestra una respuesta intermedia: no difiere significativamente del T2, pero tampoco del T1 (10% LAB), el cual se ubica estrictamente en el grupo B.

El contraste más marcado se observa con el grupo Testigo, el cual quedó relegado al grupo C con un promedio de 30%. Este resultado confirma que la aplicación de inóculos (especialmente en las dosis superiores) garantiza una mayor retención de materia seca en comparación con un ensilado sin tratamiento, validando la eficacia de las LAB como agentes de conservación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Conclusiones

La aplicación de bacterias ácido-lácticas (LAB) favorece significativamente la preservación de pastos y forrajes. Su uso garantiza el mantenimiento de la calidad y el valor nutritivo de la materia seca en el ensilado de maíz.

Los resultados obtenidos en las tres repeticiones demuestran que los tratamientos evaluados (T1, T2 y T3) presentaron una mayor retención de materia seca al sexto mes de evaluación, en comparación con el tratamiento testigo que no recibió inoculación bacteriana.

El análisis estadístico confirmó que el efecto de los tratamientos es significativo. La aplicación de LAB generó diferencias reales y medibles en el contenido final de materia seca del ensilado de maíz.

Se confirmó la presencia y actividad de las bacterias ácido lácticas mediante análisis microscópico, logrando identificar géneros clave como *Lactococcus* y *Lactobacillus*, lo que valida la calidad del proceso fermentativo.

Bajo las condiciones experimentales de este estudio, se concluye que la concentración más efectiva para la conservación de forraje mediante ensilado es la dosificación al 20% (T2).

5.2.Recomendaciones

Evaluar la combinación de bacterias ácido lácticas (LAB) con otros componentes, como las enzimas, para determinar su efecto sobre la digestibilidad del ensilado.

Extender la investigación del uso de LAB en otros forrajes, específicamente en ensilados de avena forrajera, empleando la dosificación óptima del 20 % identificada en este

estudio.

Desarrollar estudios de estabilidad microbiológica para determinar la vida útil y persistencia de las bacterias ácido lácticas durante las distintas etapas del proceso de ensilaje y almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Amanullah, S. M., Kim , D. H., Lee , H. J., Joo, Y. H., Kim , S. B., & Kim , S. C. (2014). Effects of microbial additives on chemical composition and fermentation characteristics of barley silage. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(4), 511-517. Obtenido de Asian-Australasian journal of animal sciences, 27(4).
- Björkroth, K., & Koort, J. (2016). *Lactic Acid Bacteria: Taxonomy and Biodiversity*. Reference Module in Food Science.
- Bragachini, M., Cattani, P., Giordano, J. M., Peiretti, J., Sánchez, F., & Urrets Zavalía, G. (2018). *Manual técnico de forrajes conservados : Tecnologías para producir alimentos de alta calidad y aspectos relacionados a la eficiencia del uso de la maquinaria y el manejo nutricional*. Manfredi, Córdoba : INTA-EEA Manfredi.
- Burns P, B. M. (2018). Burns P, Borgo MF, Binetti A, Puntillo M, Bergamini C, Páez R, Mazzoni R, Reinheimer J, Vinderola G. *Front Microbiol Nov 28;9:2861. doi: 10.3389/fmicb.2018.02861*.
- Bustamante, W. W. (2020). “El maíz forrajero como suplemento alimenticio en el ganado bovino para el incremento de la producción lechera”. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8469/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000087.pdf?sequence=1>
- Danner , H., Holzer, M., Mayrhuber, E., & Braun , R. (2003). Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Appl Environ Microbiol*.
- Dicks, L., & Endo, A. (2014). *The Family Lactobacillaceae: Genera Other than Lactobacillus*.

- Dolci, P. T. (2011). Microbial dynamics during aerobic exposure of corn silage stored under oxygen barrier or polyethylene films. *Applied and environmental microbiology*, 77(21), 7499–7507.
- Fulgueira, C. L., Amigot, S. L., Gaggiotti, M., Romero, L. A., & Basílico, J. C. (2007). Forage Quality: Techniques for Testing. *Fresh Prod*, vol. 1, no. 2.
- Gallardo, M. (2007). *Dietas balanceadas con forrajes conservados: la importancia de diagnosticar la calidad nutricional*. Obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/74-dietas_balanceadas_forrajes_conservados.pdf
- INEI. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Obtenido de <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- L. Dunière, J. S.-D.-S. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182 (1-4), pp.1 - 15.
- Lazo Zúñiga, J. (2022). *ANÁLISIS SOBRE EL MERCADO POTENCIAL DE CARNE BOVINA PROCEDENTE DE MADRE DE DIOS*. Lima: Sociedad Peruana de Ecodesarrollo y Earth Innovation Institute. Obtenido de <https://produccionsostenible.org.pe/wp-content/uploads/2022/12/AGRAP-251122.pdf>
- Mier Quiroz, M. (2009). *Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero*. Córdoba: Universidad de Córdoba - Departamento de producción animal.

- Muck, R. (2013). Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 3-15.
- Oude Elferink, S. J., Krooneman, J., & Gottschal, J. (2001). Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Applied and environmental microbiology*, 67(1), 125-132. Obtenido de <https://doi.org/10.1128/AEM.67.1.125-132.2001>
- Pahlow, G. M. (2003). Microbiology of ensiling. In DR. Buxton, RE. Muck, & JH. Harrison (Eds.), *Silage Science and Technology*, 31-93. (Agronomy; No. 42).
- Podkówka, Z., Podkówka, W., & Čermák, B. (2003). The effect of *Lactobacillus Buchneri* on fermentation and aerobic stability of maize silage. *XI International scientific symposium*, 124-125.
- Rolando Demanet, F. (2020). *Producción y consumo de materia seca*. Obtenido de https://praderasypasturas.com/documentos/102.-Catedras_Agronomia/01.-Praderas_y_Pasturas/2020/02.-Produccion_y_Consumo_de_Materia_Seca.pdf
- Vinderola, G., Ouwehand, A., Salminen, S., & von Wright, A. (2019). *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects (5th ed.)*. Obtenido de <https://doi.org/10.1201/9780429057465>
- Vyas, D. (2016). *Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows*. Obtenido de <https://doi.org/10.3168/JDS.2016-11815>

ANEXOS

Anexo A: Obtención de bacterias ácido lácticas (LAB)

Figura 6. Preparación y filtrado de la solución fermentada de agua, arroz y leche



Figura 7. Inóculo de bacterias ácido lácticas (LAB)



Figura 8. Verificación microscópica de bacterias ácido lácticas (LAB)



Figura 9. Vista microscópica de cocos y bacilos



Anexo B: Acondicionamiento de la materia prima

Figura 10. Picado del maíz



Figura 11. Maíz picado (2 – 3 cm de longitud)



Anexo C: Caracterización inicial

Figura 12. Deshidratación en estufa a 105 °C



Figura 13. Determinación del contenido inicial de materia seca (MS)



Anexo D:

Conformación de las

unidades experimentales

Figura 14. Dosificación y pesaje de la materia prima (2 kg)



Figura 15. Inoculación de bacterias ácido lácticas (LAB)



Figura 16. Sellado de las unidades experimentales



Anexo D: Evaluación final de materia seca

Figura 17. Determinación de materia seca al sexto mes



Figura 18. Apertura de unidades experimentales



Figura 19. Pesaje de muestras



Figura 20. Deshidratación en estufa a 105 °C

