

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Uso de lactosuero en la producción de maíz chala (Zea mays) y la calidad
organoléptica y nutricional del ensilaje en Oxapampa, Pasco**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Autores:

Bach. Geder Roly VERDE HUAMAN

Bach. Fredy Antonio VERDE HUAMAN

Asesor:

Mg. Alfredo Exaltación CONDOR PÉREZ

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Uso de lactosuero en la producción de maíz chala (Zea mays) y la calidad
organoléptica y nutricional del ensilaje en Oxapampa, Pasco**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Manuel Jorge CASTILLO NOLE
PRESIDENTE

Mg. Milton TRIGOS SALAZAR
MIEMBRO

MSc. Josué Hernán INGA ORTIZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 066-2025/UIFCCAA/V

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por
VERDE HUAMAN, Geder Roly
VERDE HUAMAN, Fredy Antonio

Escuela de Formación Profesional
Agronomía - Oxapampa

Tipo de trabajo

Tesis

Uso de lactosuero en la producción de maíz chala (*Zea mays*) y la calidad organoléptica y nutricional del ensilaje en Oxapampa, Pasco

Asesor

Mg. CONDOR PÉREZ, Alfredo Exaltación

Índice de similitud

1 %

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación del software anti-plagio.

Cerro de Pasco, 17 de diciembre de 2025



Firmado digitalmente por PONCE
ROSAS Fortunato Candelario FAU
20194605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.12.2025 21:58:59 -05:00

Firma Digital
Director UIFCCAA

c.c. Archivo
FCPR/UIFCCAA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con profundo amor y gratitud a mis padres, Timoteo Verde Sasiga y Hermelinda Huamán de Verde, por ser el pilar de mi formación con su ejemplo de esfuerzo, valores y perseverancia.

A mi cuñada Olga Ruiz Ticse, por su apoyo a lo largo de este camino.

Geder Roly VERDE HUAMAN

Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada momento de este camino.

A mis padres, Timoteo Verde Sasiga y Hermelinda Huamán, por su amor, sacrificio y constante apoyo, que han sido fundamentales en mi formación personal y profesional.

Fredy Antonio VERDE HUAMAN

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por las valiosas enseñanzas impartidas a lo largo de mi formación académica y profesional.

Al Ing. Mg. Alfredo Exaltación Cóndor Pérez, por su asesoramiento constante, oportuno y comprometido durante el desarrollo de esta tesis.

Al Ph.D. Aníbal Raúl Rodríguez Vargas, Co - asesor de la tesis, por su permanente orientación y valiosos aportes que enriquecieron este trabajo.

Al Instituto de Investigación Especializada en Ganadería Oxapampa (INIGOX) de la UNDAC, por brindar las facilidades necesarias y el uso del Centro de Investigación y Estudios de Transferencia Tecnológica (CIETT) Peñaflor, espacio clave para la ejecución de esta investigación.

Los tesisistas.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del lactosuero sobre la producción de maíz chala (*Zea mays*) y la calidad organoléptica y nutricional del ensilaje en las condiciones agroclimáticas de Oxapampa, Pasco. La investigación fue de tipo experimental, con enfoque cuantitativo y carácter aplicado, desarrollada en el INIGOX–UNDAC entre junio y diciembre de 2024. Se ejecutaron dos fases experimentales: la primera evaluó diferentes proporciones de lactosuero (1:3, 1:4 y 1:5) en la producción de maíz chala, y la segunda analizó niveles de inclusión de lactosuero de 1.5 %, 2.0 % y 2.5 % en ensilados elaborados en microsilos de 12 kg. Se evaluaron características organolépticas (olor, color, textura y pH) y parámetros bromatológicos a los 30 días de fermentación. Las variables cuantitativas fueron analizadas mediante un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, ANOVA y prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), mientras que las variables cualitativas se evaluaron mediante las pruebas de Kruskal–Wallis y Dunn con corrección de Bonferroni. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento forrajero, pH, textura, contenido de fibra, grasa y ceniza del ensilaje. El tratamiento testigo con fertilización química registró el mayor rendimiento de materia verde; sin embargo, los niveles de lactosuero iguales o superiores al 2.0 % mejoraron significativamente la calidad fermentativa y física del ensilaje. El tratamiento con 2.5 % de lactosuero presentó la mejor textura, mayor contenido de fibra y menores niveles de grasa y ceniza, sin afectar significativamente la proteína cruda ni el extracto libre de nitrógeno. Se concluye que la inclusión de lactosuero, particularmente al 2.5 %, mejora la calidad del ensilaje y constituye una alternativa viable para optimizar la conservación y el valor nutritivo del forraje.

Palabras clave: lactosuero, ensilaje, maíz forrajero, calidad nutricional, evaluación sensorial.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of whey on forage maize (*Zea mays*) production and on the organoleptic and nutritional quality of silage under the agroclimatic conditions of Oxapampa, Pasco, Peru. The research was experimental, quantitative, and applied in nature, and was conducted at the Oxapampa Research Institute (INIGOX–UNDAC) between June and December 2024. The study was carried out in two experimental phases. The first phase evaluated different whey proportions (1:3, 1:4, and 1:5) on forage maize production, while the second phase assessed whey inclusion levels of 1.5%, 2.0%, and 2.5% in silages prepared in 12-kg microsilos. Organoleptic characteristics (odor, color, texture, and pH) and bromatological parameters were evaluated after 30 days of fermentation. Quantitative variables were analyzed using a completely randomized design with four replicates per treatment, analysis of variance (ANOVA), and Duncan's multiple range test ($\alpha = 0.05$), whereas qualitative variables were analyzed using the Kruskal–Wallis test and Dunn's post hoc test with Bonferroni correction. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in forage yield, pH, texture, fiber, fat, and ash contents of the silage. The control treatment with chemical fertilization achieved the highest green forage yield; however, whey inclusion levels equal to or greater than 2.0% significantly improved the fermentative and physical quality of the silage. The 2.5% whey treatment exhibited the best texture, higher fiber content, and lower fat and ash concentrations, without significantly affecting crude protein or nitrogen-free extract. It is concluded that whey inclusion, particularly at 2.5%, improves silage quality and represents a viable alternative for enhancing forage preservation and nutritional value.

Keywords: whey, silage, forage maize, nutritional quality, sensory evaluation.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales en la alimentación animal constituye una estrategia sostenible y de bajo costo para mejorar la eficiencia de producción en sistemas pecuarios. En este contexto, el lactosuero, subproducto líquido derivado de la fabricación de queso, ha cobrado relevancia como aditivo en la elaboración de ensilajes, debido a su alto contenido de lactosa, proteínas solubles y ácidos orgánicos, los cuales promueven la fermentación láctica y la acidificación del forraje, favoreciendo su conservación y valor nutritivo. Diversos estudios han evidenciado los efectos positivos del uso de lactosuero en ensilajes. Palamidi et al. (2023) reportaron que la inclusión de yogurt acid whey (5–10%) en ensilaje de maíz redujo significativamente el pH, incrementó la proteína cruda y ceniza, y disminuyó los niveles de fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), mejorando así la calidad fermentativa y nutricional. De forma complementaria, Fallah et al. (2019) demostraron que el uso combinado de lactosuero y melaza en ensilaje de maíz favorece la reducción del pH y la fibra, al tiempo que aumenta la materia seca y la proteína. Asimismo, investigaciones disponibles en Dergipark indican que la adición de lactosuero en forrajes como alfalfa incrementa la producción de ácido láctico, mejora la puntuación de Fleig y limita el desarrollo de mohos durante la fase aeróbica. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en dosis altas ($\geq 5\%$) y en materiales distintos al maíz chala, limitando la extrapolación de sus resultados a sistemas tropicales altoandinos (Gültekin y Kaya, 2022). Por ello, se hace necesario explorar el impacto de niveles bajos a moderados de lactosuero (0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%) sobre las características organolépticas (olor, color, textura) y nutricionales del ensilaje de maíz chala (*Zea mays*), bajo condiciones agroecológicas propias del valle de Oxapampa, Pasco. En este marco, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de lactosuero en la producción de maíz chala y en la calidad organoléptica y

bromatológica del ensilaje resultante, como alternativa para optimizar los procesos de conservación de forraje en zonas tropicales de altura.

INDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la investigación.....	6
1.5.1. Justificación teórica	6
1.5.2. Justificación práctica:	7

1.5.3. Justificación social.....	8
1.5.4. Justificación metodológica:	9
1.6. Limitaciones de la investigación	10
1.6.1. Costos de análisis de laboratorio	10
1.6.2. Restricciones presupuestarias en materiales e insumos.....	10
1.6.3. Condiciones operativas y climáticas.....	10

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	11
2.2. Bases teóricas – científicas.....	12
2.2.1. Evaluación de la calidad y aceptabilidad del ensillaje	12
2.2.2. Influencia del lactosuero en el ensilaje de maíz	14
2.2.3. Composición nutricional del lactosuero	15
2.2.4. Importancia del lactosuero en el ensilaje.....	15
2.2.5. Uso de aditivos en el ensilado de forrajes	16
2.2.6. Ventajas de uso de lactosueros en el ensilaje	22
2.3. Definición de términos básicos	24
2.4. Formulación de hipótesis.....	25
2.4.1. Hipótesis general	25
2.4.2. Hipótesis específicas.....	25
2.5. Identificación de variables.....	26
2.5.1. Variable Independiente.....	26

2.5.2. Variable Dependiente	27
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	27
2.6.1. Sistema de variables e indicadores	27
2.6.2. Esquema del sistema de variables e indicadores	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	29
3.2. Nivel de Investigación.....	29
3.3. Método de investigación.....	30
3.3.1. Metodología en la producción de maíz chala.	30
3.3.2. Metodología para la elaboración de un buen ensilaje.....	31
3.3.3. Evaluación de trabajo de campo para producción	33
3.3.4. Evaluación del trabajo de campo para ensilado.....	33
3.3.5. De la evaluación de las muestras de laboratorio.....	35
3.4. Diseño de investigación.....	36
3.4.1. Para variables cualitativas	36
3.4.2. Para variables cuantitativas:	36
3.5. Población y muestra	37
3.5.1. Población	37
3.5.2. Muestra	37
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	38
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	38

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	38
3.9. Tratamiento estadístico.....	39
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	40

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	42
4.1.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (Zea mays)	42
4.1.2. Para las características organolépticas.....	42
4.1.3. Para calidad nutritiva.....	43
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	43
4.2.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (Zea mays)	43
4.2.2. Para características organolépticas.	44
4.2.3. Para calidad nutritiva.....	47
4.3. Prueba de hipótesis	50
4.3.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (Zea mays)	50
4.3.2. Para las características organolépticas.....	51
4.3.3. Para calidad nutritiva:.....	53
4.4. Discusión de resultados	56
4.4.1. Para rendimiento de materia verde (t/ha)	56
4.4.2. Para características organolépticas	57
4.4.3. Para la calidad nutritiva.....	58

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Composición promedio del lactosuero líquido	15
Tabla 2 Esquema de variables, indicadores y factores de medición.	28
Tabla 3 Croquis del experimento para rendimiento productivo	39
Tabla 4 Croquis del experimento para características organolépticas y calidad nutritiva	40
Tabla 5 Color del ensilado.	46
Tabla 6 Olor del ensilado.	46
Tabla 7 Prueba de Duncan para rendimiento.	50
Tabla 8. Prueba de Duncan para pH.	51
Tabla 9. Evaluación de la textura del ensilado según niveles de inclusión de lactosuero.	52
Tabla 10. Comparaciones múltiples de Dunn para textura del ensilado	53
Tabla 11. Prueba de Duncan para porcentaje de proteína (%).	53
Tabla 12. Prueba de Duncan para porcentaje de fibra cruda (%).	54
Tabla 13. Prueba de Duncan para extracto libre de nitrógeno (%).	54
Tabla 14. Prueba de Duncan para porcentaje de ceniza (%).	55
Tabla 15 Prueba de Duncan para porcentaje de grasa (%)	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Rendimiento de forraje.	43
Gráfico 2. pH del ensilado.	44
Gráfico 3. Textura (valor)	45
Gráfico 4. Porcentaje de proteína (%).....	47
Gráfico 5. Porcentaje de fibra cruda (%)	48
Gráfico 6. Extracto libre de nitrógeno (%)	48
Gráfico 7. Porcentaje de ceniza (%).....	49
Gráfico 8. Porcentaje de grasa (%)	50

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La producción ganadera en las regiones tropicales de América Latina enfrenta limitaciones estructurales asociadas principalmente a la disponibilidad y calidad de los recursos forrajeros, los cuales dependen de la fertilidad del suelo, la estacionalidad de las lluvias y la eficiencia de conservación de los nutrientes (Saldaña, 2019). Estas restricciones son especialmente críticas en zonas con suelos de baja fertilidad y periodos prolongados de sequía, como ocurre en el caso de Oxapampa, donde las variaciones climáticas afectan directamente la disponibilidad de forraje y la calidad nutricional de los alimentos para el ganado.

La carencia de evidencia científica sobre la eficacia de los aditivos naturales en el ensilaje de maíz chala (*Zea mays*) representa una limitación crítica para los sistemas productivos del valle de Oxapampa. En particular, el uso de lactosuero como aditivo biológico ha mostrado potencial para mejorar la fermentación láctica, preservar los nutrientes y aumentar el valor proteico del ensilado (Altamirano, 2022; Zambrano, 2024). Sin embargo, las investigaciones disponibles han sido desarrolladas en contextos

agroecológicos distintos, sin considerar las condiciones edafoclimáticas de la selva alta peruana, por lo que su aplicabilidad local aún no ha sido comprobada.

Estudios previos en Perú han demostrado que la inclusión de lactosuero y melaza en el ensilado de maíz chala puede mejorar significativamente la composición bromatológica y las cualidades organolépticas del producto final, al incrementar los niveles de proteína cruda y reducir la fibra detergente neutra (Saldaña, 2019; Altamirano, 2019). No obstante, persiste un vacío de conocimiento sobre las dosis óptimas de lactosuero, su efecto en la estabilidad fermentativa y su impacto en el valor nutritivo total del ensilado bajo las condiciones particulares de Oxapampa.

La solución a esta problemática permitiría generar evidencia técnica relevante para los productores pecuarios, estableciendo pautas fundamentadas sobre la aplicación óptima de aditivos en el proceso de ensilaje. Este conocimiento contribuiría significativamente al mejoramiento cualitativo de la alimentación del ganado y a la maximización de la eficiencia productiva de los sistemas ganaderos del valle de Oxapampa (Zambrano, 2024).

En este contexto, la presente investigación se orienta a subsanar esta brecha de conocimiento mediante la evaluación del uso del lactosuero en la producción de maíz chala y su efecto sobre la calidad organoléptica y nutricional del ensilaje. Los resultados permitirán establecer correlaciones precisas entre la concentración del aditivo y los parámetros nutricionales, aportando lineamientos prácticos para la formulación de dietas ganaderas más sostenibles y costo-efectivas en la región.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial, La investigación se realizó en el Instituto de Investigación Especializada en Ganadería Oxapampa (INIGOX) - UNDAC, ubicado en el sector peñaflor del Distrito y Provincia de Oxapampa, departamento de Pasco, Perú.

Esta área refleja las condiciones agroecológicas y las prácticas ganaderas comunes de la región, permitiendo una evaluación precisa del impacto del lactosuero en el ensilaje de maíz chala dentro de un contexto relevante para los productores locales.

Delimitación temporal, La investigación se desarrolló en dos etapas: de junio a setiembre la etapa de producción y de setiembre a diciembre del 2024 la etapa de ensilado. Estos periodos incluyen las etapas de preparación, ensilado, monitoreo y análisis de los resultados, permitiendo observar los efectos del lactosuero en diferentes estaciones del año y asegurar una evaluación completa de las características organolépticas y nutricionales del ensilaje de maíz chala.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del lactosuero en la producción de maíz chala (*Zea mays*) y la calidad organoléptica y nutricional del ensilaje en Oxapampa, Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

Problemas específicos 1

PE1. ¿Cuál es el efecto de los niveles de lactosuero en el rendimiento del cultivo de maíz chala en Oxapampa – Pasco?

a) Sub problemas:

- ¿Qué diferencias se presentan en el rendimiento de maíz chala expresado en toneladas por hectárea (t/ha) entre los distintos niveles de lactosuero en Oxapampa – Pasco?

Problemas específicos 2

PE2. ¿Cuál es el efecto de los niveles de lactosuero en las características organolépticas del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?

a) Sub problemas:

- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el pH del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el color del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el olor del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en la textura del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?

Problemas específicos 3

PE3. ¿Cuál es el efecto de los niveles de lactosuero en la calidad nutricional del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?

a) Sub problemas:

- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el contenido de proteína cruda del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el contenido de extracto libre de nitrógeno del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el contenido de fibra cruda del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el contenido de ceniza del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?
- ¿Cómo influye los niveles de lactosuero en el contenido de grasa del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del lactosuero en la producción de maíz chala (*Zea mays*) y la calidad organoléptica y nutricional del ensilaje en Oxapampa, Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivos específicos 1

OE1. Evaluar el efecto de los niveles de lactosuero en el rendimiento del cultivo de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Subobjetivo:

- Determinar el rendimiento de forraje (t/ha) del maíz chala bajo diferentes niveles de lactosuero en Oxapampa – Pasco.

Objetivos específicos 2

OE2. Determinar el efecto de los niveles de lactosuero en las características organolépticas del ensilaje de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Subobjetivo:

- Evaluar las diferencias en el pH del ensilaje de maíz chala según los niveles de lactosuero en Oxapampa-Pasco.
- Evaluar las diferencias en el Color del ensilaje de maíz chala según los niveles de lactosuero en Oxapampa-Pasco.
- Evaluar las diferencias en el olor del ensilaje de maíz chala según los niveles de lactosuero en Oxapampa-Pasco.
- Evaluar las diferencias en la textura del ensilaje de maíz chala según los niveles de lactosuero en Oxapampa-Pasco.

Objetivos específicos 3

OE3. Determinar el efecto de los niveles de lactosuero en la calidad nutritiva del ensilaje de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Subobjetivo:

- Determinar el contenido de proteína cruda del ensilaje de maíz chala en función de los niveles de lactosuero en Oxapampa – Pasco.
- Determinar el contenido de extracto libre de nitrógeno del ensilaje de maíz chala en función de los niveles de lactosuero en Oxapampa - Pasco
- Determinar el contenido de fibra cruda del ensilaje de maíz chala en función de los niveles de lactosuero en Oxapampa - Pasco
- Determinar el contenido de ceniza del ensilaje de maíz chala en función de los niveles de lactosuero en Oxapampa - Pasco
- Determinar el contenido de grasa del ensilaje de maíz chala en función de los niveles de lactosuero en Oxapampa - Pasco

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

En la producción de ensilaje, se utilizan aditivos para mejorar la fermentación y la conservación de los forrajes. Esto se basa en los principios de la microbiología, donde ciertos aditivos como los inoculantes bacterianos ayudan a establecer una población microbiana deseable, favoreciendo la fermentación láctica y reduciendo la proliferación de microorganismos indeseables. Esto puede mejorar la conservación del maíz chala mientras se mantiene la calidad nutricional.

Se pueden mejorar algunos parámetros nutricionales del maíz chala al agregar aditivos específicos al ensilaje, como ácidos orgánicos o enzimas. Por ejemplo, algunos aditivos pueden mejorar la digestibilidad de la fibra, reducir la pérdida de nutrientes

durante la fermentación o incluso aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales, como proteínas o minerales. Estas mejoras se derivan de la bioquímica de la fermentación y la digestión.

Los aditivos también pueden influir en las características organolépticas del ensilaje, como su aroma, sabor y textura. Por ejemplo, ciertos aditivos pueden reducir la formación de compuestos volátiles no deseados durante la fermentación, lo que podría mejorar el olor y el sabor del ensilaje resultante. Además, al mejorar la conservación y calidad nutricional, los aditivos pueden contribuir indirectamente a una mejor aceptación por parte de los animales.

1.5.2. Justificación práctica:

Mejora de la conservación: Las condiciones climáticas en Oxapampa-Pasco pueden ser variables y con frecuencia impredecible, lo que puede afectar la calidad y disponibilidad de los forrajes. La capacidad de conservación del ensilaje de maíz chala puede mejorarse significativamente con el uso de aditivos. Esto es especialmente importante en áreas donde la recolección y el almacenamiento adecuado del forraje pueden verse obstaculizados por períodos de sequía o lluvias intensas. Incluso en condiciones climáticas adversas, los aditivos aseguran un suministro estable de alimentos de alta calidad para el ganado al controlar la fermentación y la pérdida de nutrientes.

Reducción del desperdicio: Muchas empresas ganaderas enfrentan el desperdicio de forraje. El ensilaje de maíz chala tratado con aditivos tiende a ser más estable y tiene un menor riesgo de deterioro durante la alimentación y el almacenamiento. Esto significa que menos forraje se desperdicia debido a la contaminación microbiana, la fermentación incompleta o la pérdida de nutrientes. Los

productores pueden aprovechar al máximo sus recursos al mismo tiempo que reducen los costos de alimentación y reducen el impacto ambiental del desperdicio de alimentos.

La aceptabilidad del ensilaje por parte de los animales puede verse afectada por sus características organolépticas, como su aroma, sabor y textura. El uso de aditivos promueve una mayor ingestión de alimento por parte del ganado, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento productivo y económico para los productores al mejorar estas características. Además, se mejora el bienestar animal al proporcionar un alimento más atractivo y de mejor calidad, lo que es esencial para una producción ganadera sostenible y ética.

1.5.3. Justificación social

La ganadería es una parte importante de la economía de Oxapampa, ya que proporciona trabajo e ingresos a muchas familias. El uso de aditivos en el ensilaje de maíz chala puede mejorar la calidad y cantidad de forraje disponible para el ganado, lo que puede aumentar la productividad y rentabilidad de las explotaciones ganaderas locales. Un mejor rendimiento del ganado aumenta los ingresos de los productores, lo que ayuda a sostener a las familias y al crecimiento socioeconómico de la comunidad.

Fortalecimiento de la seguridad alimentaria: el acceso a alimentos saludables y accesibles es esencial para la seguridad alimentaria de una comunidad. Al agregar aditivos al ensilaje de maíz chala, se garantiza un suministro estable de alimentos de alta calidad para el ganado. Esto no solo beneficia a los productores ganaderos al mejorar la salud y la productividad de sus animales, sino que también ayuda a garantizar un suministro constante de productos cárnicos y lácteos para la comunidad local, lo que aumenta la seguridad alimentaria en la región.

Promoción de prácticas agrícolas sostenibles: el uso de aditivos en el ensilaje de chala de maíz puede formar parte de un enfoque agrícola más sostenible y respetuoso

con el medio ambiente. Al mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la tierra y al reducir la dependencia de insumos externos, se promueve la conservación de los recursos naturales y se reduce el impacto ambiental de la producción ganadera. Esto es fundamental para preservar el entorno natural de Oxapampa y garantizar la agricultura y la ganadería a largo plazo en la región

1.5.4. Justificación metodológica:

Se puede diseñar un estudio experimental controlado para investigar el efecto de los aditivos en el ensilaje de maíz chala. Para representar las condiciones locales y las variaciones en el cultivo, seleccione un número representativo de parcelas o lotes de maíz chala en la región de Oxapampa.

Selección de aditivos y dosis, para el estudio, se deben elegir los aditivos más adecuados, considerando su disponibilidad local, su compatibilidad con el maíz chala y su capacidad para mejorar la calidad nutricional y organoléptica del ensilaje. Se deben determinar las dosis de aditivos ideales para cada tratamiento, teniendo en cuenta el contenido de materia seca del forraje y las condiciones de fermentación anticipadas.

Muestreo y análisis, durante el proceso de fermentación y almacenamiento, se deben tomar muestras representativas de cada tratamiento de ensilaje. Estas muestras se analizarán para evaluar el contenido de materia seca, proteínas, grasas, fibra, minerales y otros nutrientes importantes, así como para identificar posibles cambios en características organolépticas como aroma, sabor y textura.

Replicación y validación, para garantizar la validez y robustez de los resultados, es esencial realizar repeticiones de cada tratamiento experimental. Además, los resultados del estudio deben ser validados mediante experimentación adicional y comparación con estudios previos para confirmar su relevancia y pertinencia para Oxapampa.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación enfrentó las siguientes limitaciones:

1.6.1. Costos de análisis de laboratorio

Los análisis bromatológicos y digestivos *in vitro* realizados sobre las muestras de materia seca representaron un gasto operativo significativo, lo que limitó la cantidad de muestras procesadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM). Esta restricción obedeció principalmente a los altos costos de los servicios especializados requeridos.

1.6.2. Restricciones presupuestarias en materiales e insumos

La adquisición de lactosuero en distintas concentraciones, así como de materiales y equipos para el proceso de ensilaje, se vio condicionada por restricciones presupuestarias. Esto afectó el número de repeticiones posibles en la fase experimental, limitando el alcance del diseño estadístico previsto.

1.6.3. Condiciones operativas y climáticas

La implementación del proceso de ensilado demandó una alta carga de trabajo operativo y disponibilidad de personal técnico. Además, las condiciones climáticas locales lluvias intensas y variabilidad térmica durante el periodo nocturno dificultaron el control de variables ambientales, afectando parcialmente la estandarización del proceso.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Tène (2015), en su investigación “*Ensilado de maíz con adición de lactosuero y microorganismos eficientes, en el cantón Palta*”, los resultados del análisis proximal revelaron que el tratamiento T4 (225 ml/kg de lactosuero) presentó el mayor contenido de materia seca (21,89%), mientras que el tratamiento T2 (75 ml/kg de lactosuero) registró el valor más elevado de cenizas (7,03%). Asimismo, el T4 mostró la mayor concentración de extracto etéreo (1,96%) y proteína cruda (7,85%). Por su parte, el T2 destacó en contenido de fibra cruda (32,80%), y el T3 (150ml/kg de lactosuero) en extracto libre de nitrógeno (54,87%) y digestibilidad con 50,99%. Estos hallazgos evidencian una variabilidad significativa en la composición nutricional en función de la dosis de lactosuero aplicada.

Saldaña (2019), a través de su tesis “*Valor nutricional y cualidades de microsilos de maíz chala con lactosuero y melaza*”, encontró que la materia seca alcanzo su valor más alto con el tratamiento de 0.0 de melaza + 7.0 de lactosuero con 24.33%, para la variable de proteína cruda se encontró 8.24% en el tratamiento de 4.0

de melaza+ 3.5 de lactosuero y finalmente encontró para fibra cruda 29.70% obtenido del tratamiento de 2.0 de melaza + 3.5 de lactosuero. Respecto al pH encontró el valor más destacable con 3.75 fue el de 4.0 de melaza + 7.0 de lactosuero, por otro lado, el color no hubo diferencias entre los tratamientos, todos obtuvieron un color verde olivo favorable para el ensilado, del mismo modo el olor no presento diferencias entre tratamientos presentando todo un olor agradable y por último la textura fue suave en todas las combinaciones del estudio.

En el estudio titulado "*Mejora del proceso de ensilaje de maíz por adición de lactosuero*", Evangelista & Ortega (2006) reportaron los siguientes hallazgos: el pH más elevado (3.83) se registró tras 90 días de incubación, mientras que el contenido máximo de humedad (78.73%) correspondió al tratamiento con 50 ml de lactosuero a los 60 días. Para el parámetro de cenizas, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, con un valor máximo registrado de 2.43%.

Por otro lado, en el estudio titulado "*Adición de aditivos en ensilaje de maíz (Zea mays) sobre el valor nutricional*", Salas et al. (2014) reportaron que el tratamiento con suero de leche presentó un pH de 3.58, junto con un contenido de proteína cruda del 8.10%, fibra cruda del 28.60% y materia seca del 29.80%

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Evaluación de la calidad y aceptabilidad del ensillaje

a) Métodos y técnicas de evaluación sensorial:

Ochoa (2019) y Ca et al. (1998) indican que la calidad organoléptica del ensilaje de maíz chala con lactosuero puede evaluarse mediante análisis sensoriales que consideren aspectos como color, olor, sabor y textura, proporcionando información sobre su aceptabilidad por parte del ganado.

Pruebas de Preferencia:

De acuerdo con Ochoa (2019), se pueden realizar pruebas de preferencia donde se presentan diferentes tipos de ensilaje a los animales y se observa cuál eligen o consumen en mayor cantidad.

Pruebas de Consumo:

Cai et al. (1998) señalan que se puede medir la cantidad de ensilaje consumida por los animales en un período de tiempo determinado para evaluar su aceptabilidad.

b) Análisis organoléptico:

Potencia de hidrógeno (pH):

Filya (2003) encontró que el uso de lactosuero como aditivo en el ensilaje de maíz reduce el pH final del producto a valores entre 3.8 y 4.2, en comparación con el ensilaje sin aditivos, que puede tener un pH superior a 4.5. Esta reducción del pH inhibe el crecimiento de bacterias patógenas y mohos, promoviendo una mejor conservación del ensilaje.

Color:

Tal como señala Ochoa (2019), el color del ensilaje puede ser un indicador visual de su calidad y frescura. Se pueden utilizar escalas de colores estándar o comparaciones visuales con muestras de referencia para evaluar el color del ensilaje.

Olor:

Según Cai et al. (1998), la evaluación del olor implica detectar cualquier indicio de fermentación anormal, moho u otros olores desagradables que puedan indicar un ensilaje deteriorado.

Sabor y textura:

Ochoa (2019) también menciona que, aunque el sabor y la textura pueden ser más difíciles de evaluar, se pueden realizar pruebas para detectar cualquier sabor amargo, ácido u otros sabores indeseables que puedan afectar la aceptabilidad del ensilaje por parte del ganado. Asimismo, se puede evaluar la uniformidad y la consistencia del ensilaje para determinar su calidad.

c) Parámetros nutricionales del ensilaje

Contenido proteico.

El contenido de proteína cruda es un indicador clave de la calidad nutricional del ensilaje. Kung y Shaver (2001) informaron que el ensilaje de maíz tratado con lactosuero puede incrementar su contenido de proteína cruda hasta en un 10%, debido a la adición de proteínas solubles provenientes del lactosuero, que se integran al material ensilado.

Según Wilkinson (2005) y Kalscheur et al. (2006), mencionan que la calidad nutricional del ensilaje de maíz chala con lactosuero puede determinarse mediante análisis de contenido proteico, fibra y otros nutrientes, lo que permite evaluar su idoneidad como fuente de alimento para el ganado.

2.2.2. Influencia del lactosuero en el ensilaje de maíz

El lactosuero, un subproducto de la industria quesera, es rico en proteínas solubles y otros nutrientes beneficiosos. Según Kung y Shaver (2001), cuando se adiciona lactosuero al ensilaje de maíz, no solo se incrementa el contenido de proteína cruda, sino que también se mejora la fermentación del ensilaje, lo cual es fundamental para mantener su estabilidad y palatabilidad. La adición de lactosuero puede

proporcionar una fuente adicional de nitrógeno no proteico, que puede ser utilizado por los microorganismos para sintetizar proteínas durante el proceso de ensilaje.

2.2.3. Composición nutricional del lactosuero

El lactosuero es un subproducto de la industria quesera que contiene aproximadamente 93–94% de agua y entre 6–7% de materia seca. Dentro de esta última predomina la lactosa, las proteínas séricas, los minerales, pequeñas cantidades de grasa y vitaminas hidrosolubles. La lactosa constituye el principal carbohidrato fermentable, favoreciendo el crecimiento de bacterias ácido-lácticas y la producción de ácido láctico durante el proceso de ensilaje (Repetto *et al.*, 2011; Mariotti *et al.*, 2020).

Tabla 1. Composición promedio del lactosuero líquido

Componente	Contenido (%)
Agua	93–94
Materia seca	6–7
Lactosa	4.5–5.0
Proteína	0.6–0.9
Grasa	0.2–0.5
Cenizas (minerales)	0.5–0.8
Ph	4.3–6.5

Fuente: Adaptado de Repetto *et al.* (2011) y Mariotti *et al.* (2020).

2.2.4. Importancia del lactosuero en el ensilaje

El lactosuero es utilizado como aditivo en ensilajes debido a su elevado contenido de azúcares fermentables, principalmente lactosa, que favorecen la fermentación láctica y mejoran la conservación del forraje. Diversos estudios reportan que su incorporación contribuye a reducir el pH, incrementar la producción de ácido láctico, mejorar la estabilidad fermentativa, disminuir las pérdidas de nutrientes y aumentar la digestibilidad de la materia seca, optimizando así la calidad nutricional y la conservación del ensilado (Repetto *et al.*, 2011; Mariotti *et al.*, 2020).

2.2.5. Uso de aditivos en el ensilado de forrajes

Diversas investigaciones han evaluado la eficacia de distintos aditivos en el proceso de ensilado. Muck y Pitt (1993) señalaron que la adición de urea puede incrementar el contenido de proteína cruda (PC) en el ensilaje; sin embargo, sus efectos sobre la fermentación son variables y menos consistentes. En contraste, el lactosuero no solo eleva la PC, sino que también mejora de forma más estable la calidad fermentativa del ensilaje de maíz.

Asimismo, otros estudios han examinado el impacto de diferentes aditivos sobre el contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN). Romero et al. (2014) reportaron que el ensilaje tratado con lactosuero presentó mayores niveles de carbohidratos solubles en comparación con otros aditivos. Por su parte, Kung et al. (2003) demostraron que la adición de fuentes de azúcares solubles, como la melaza, también puede aumentar el contenido de ELN. No obstante, el lactosuero resultó ser más eficiente tanto en la mejora de la fermentación como en la calidad nutricional del ensilaje.

a) Efecto del lactosuero en el contenido de extracto libre de nitrógeno del ensilaje.

El ELN representa la fracción de carbohidratos solubles en el ensilaje. Muck (2010) reportó que la adición de lactosuero aumenta el contenido de azúcares solubles en el ensilaje, incrementando el ELN y mejorando la disponibilidad de energía para los rumiantes. Valores específicos mostraron un incremento del ELN en un 15-20% en comparación con ensilajes sin aditivos.

La adición de lactosuero es uno de los métodos más efectivos para incrementar el contenido de ELN en el ensilaje. Muck (2010) informó que la adición de lactosuero aumenta significativamente los azúcares solubles en el ensilaje, lo que se traduce en un incremento del ELN del 15-20% en comparación con ensilajes que

no contienen aditivos. Esta mejora en el contenido de ELN proporciona una mayor disponibilidad de energía para los rumiantes, optimizando su rendimiento.

b) Efecto del lactosuero en los carbohidratos solubles del ensilaje.

El lactosuero contiene una cantidad considerable de lactosa y otros azúcares solubles que se integran al ensilaje, mejorando su perfil de carbohidratos. Según Muck (2010), la adición de lactosuero no solo aumenta el contenido de azúcares solubles, sino que también promueve una fermentación más rápida y eficiente del ensilaje.

McDonald et al. (1991) también encontraron que la adición de lactosuero puede acelerar la producción de ácido láctico durante la fermentación, mejorando así la estabilidad del ensilaje y preservando su valor nutricional.

c) Efecto del lactosuero en el contenido de extracto libre de nitrógeno.

El incremento del contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) en el ensilaje tiene efectos positivos sobre el rendimiento productivo de los rumiantes. Romero et al. (2014) reportaron que los animales alimentados con ensilaje tratado con lactosuero mostraron una mayor ganancia de peso y mejor eficiencia alimenticia en comparación con otros tratamientos. Estos resultados coinciden con los de Weissbach y Honig (1996), quienes señalaron que un mayor contenido de carbohidratos solubles en el ensilaje mejora la digestibilidad y, en consecuencia, la conversión alimenticia en rumiantes.

d) Efecto del lactosuero en el contenido de proteína cruda.

El aumento del contenido de proteína cruda (PC) en el ensilaje influye directamente en la producción y el estado sanitario del ganado. Broderick (2003) encontró que dietas con mayores niveles de PC se asocian con un incremento en la producción y calidad de la leche en vacas lecheras. Asimismo, una dieta balanceada

en términos de proteína contribuye a mantener la salud digestiva y optimiza el rendimiento general del animal, al mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir trastornos metabólicos.

e) Efecto del lactosuero en el contenido de fibra cruda.

Wilkinson (2005) también menciona que la fibra es un componente importante en la dieta de los rumiantes y afecta la digestibilidad del ensilaje. Se pueden realizar análisis de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) para evaluar la cantidad y la calidad de la fibra en el ensilaje.

Charmley (2001) encontró que el ensilaje tratado con lactosuero reduce la fracción de fibra cruda en un 5-10%. Esta reducción se debe a una mejor degradación de los componentes fibrosos facilitada por una fermentación más eficiente cuando se adiciona lactosuero. Esta mejora en la fermentación se traduce en una mayor disponibilidad de nutrientes y una mejor calidad del ensilaje para el consumo animal.

El lactosuero contiene enzimas que pueden ayudar a descomponer las fibras complejas presentes en el material ensilado. Rodrigues et al. (2015) observaron que la actividad enzimática del lactosuero contribuye significativamente a la degradación de las fibras, haciendo que el ensilaje sea más digestible. Esto es crucial, ya que una mayor digestibilidad se traduce en una mejor utilización de los nutrientes por parte del ganado.

Diversos estudios han comparado la efectividad de diferentes aditivos para reducir el contenido de fibra cruda en el ensilaje. Mertens (1997) informó que la adición de enzimas fibrolíticas puede reducir la fibra cruda y mejorar la digestibilidad del ensilaje. Sin embargo, Charmley (2001) demostró que el lactosuero es particularmente efectivo debido a su doble función de mejorar la

fermentación y proporcionar enzimas adicionales que ayudan en la descomposición de las fibras.

La reducción del contenido de fibra cruda en el ensilaje tiene un impacto positivo en la digestibilidad y la salud del ganado. Van Soest (1994) destacó que una menor cantidad de fibra cruda aumenta la proporción de nutrientes disponibles y mejora la eficiencia alimenticia. Esto es especialmente importante en la producción lechera y de carne, donde la optimización de la dieta puede llevar a mejoras significativas en el rendimiento y la salud animal.

f) Efecto del lactosuero en el contenido de ceniza.

El contenido de ceniza en el ensilaje indica la cantidad de minerales presentes. Harrison et al. (1994) indicaron que la adición de lactosuero puede aumentar el contenido de ceniza en un 2-3%, reflejando la incorporación de minerales adicionales aportados por el lactosuero.

Estudio de Harrison et al. (1994), mostró que la adición de lactosuero puede aumentar el contenido de ceniza en el ensilaje en un 2-3%, lo cual refleja la incorporación de minerales adicionales aportados por el lactosuero.

Confirmación por Ferraretto et al. (2015), corroboraron estos hallazgos, demostrando que el ensilaje tratado con lactosuero tiene un mayor contenido de ceniza, lo que indica una mayor disponibilidad de minerales para el ganado.

La mayor cantidad de ceniza en el ensilaje implica una mejor disponibilidad de minerales esenciales como calcio, fósforo, y magnesio, que son cruciales para la salud ósea y la función metabólica en el ganado.

Prevención de Deficiencias Minerales: Una dieta rica en minerales puede prevenir enfermedades asociadas a deficiencias minerales, mejorando así el bienestar general y la productividad del ganado.

g) Efecto del lactosuero en el contenido de la humedad.

El contenido de humedad del ensilaje es crucial para su estabilidad y calidad. Kung et al. (1987) señalaron que el lactosuero puede aumentar la humedad del ensilaje en un 5-7%, lo cual es beneficioso para la fermentación anaeróbica, aunque debe ser controlado para evitar problemas de almacenamiento y proliferación de microorganismos indeseados.

Kung et al. (1987): Este estudio indicó que la adición de lactosuero puede aumentar la humedad del ensilaje en un 5-7%, lo cual es beneficioso para la fermentación anaeróbica. Sin embargo, es esencial controlar este aumento para evitar problemas de almacenamiento y proliferación de microorganismos indeseados.

Schmidt et al. (2016): Estos autores enfatizaron que una gestión adecuada de los niveles de humedad es crucial para prevenir el deterioro del ensilaje y asegurar una fermentación óptima.

Equilibrio Hídrico: Mantener un balance adecuado de humedad es vital para la fermentación, ya que el exceso de humedad puede llevar a la formación de ácidos no deseados y a la proliferación de bacterias patógenas.

Prevención de Problemas de Almacenamiento: Niveles de humedad excesivos pueden causar lixiviación de nutrientes y moho, mientras que niveles muy bajos pueden impedir una fermentación adecuada.

h) Efecto del lactosuero en el contenido de la grasa.

El contenido de grasa en el ensilaje suele ser bajo; sin embargo, la adición de lactosuero puede aportar una ligera mejora en este componente nutricional. Según Moran (2005), la inclusión de lactosuero incrementa el contenido de grasa del

ensilaje en aproximadamente un 1–2 %, lo que se traduce en una leve mejora del valor energético del forraje.

De manera similar, Davidson et al. (2013) observaron que el ensilaje tratado con lactosuero presentaba un aumento marginal en su contenido graso, lo que contribuye a una mayor densidad energética del alimento, favoreciendo potencialmente la producción animal, especialmente en etapas de alta demanda energética.

i) Efecto del lactosuero en el contenido en el valor energético.

La adición de lactosuero al ensilaje puede incrementar ligeramente su contenido energético, principalmente debido al aumento en el contenido de grasa. Este efecto, aunque modesto, es relevante en contextos productivos que requieren dietas con mayor densidad energética, como la lactación o el crecimiento acelerado en animales jóvenes.

Además, esta mejora contribuye al equilibrio de nutrientes en la dieta del ganado, complementando otras fuentes energéticas y facilitando un aporte más balanceado sin comprometer la digestibilidad del forraje.

j) Efecto del lactosuero en el contenido de materia seca.

La materia seca (MS) es un parámetro clave para evaluar el valor nutritivo del ensilaje, ya que refleja la proporción de nutrientes disponibles excluyendo el contenido de agua. Diversos estudios han demostrado que la adición de lactosuero puede incrementar la MS del ensilaje entre un 3 y 5 %, gracias a la elevada concentración de sólidos presentes en este subproducto lácteo (Owens et al., 1999).

Este aumento ha sido respaldado por Kolver et al. (2001), quienes señalaron que un mayor contenido de materia seca no solo mejora la concentración de nutrientes, sino también la estabilidad del ensilaje durante el almacenamiento. Una

mayor MS reduce el riesgo de fermentaciones indeseadas y deterioro, favoreciendo la conservación a largo plazo.

Desde el punto de vista nutricional, un ensilaje con mayor contenido de materia seca permite al ganado obtener una mayor cantidad de nutrientes por unidad de alimento consumido, lo cual es especialmente ventajoso en sistemas de producción intensiva o durante periodos de alta demanda metabólica.

k) Efecto del lactosuero en digestibilidad de los animales.

La digestibilidad del ensilaje es un factor clave para optimizar la eficiencia alimenticia en rumiantes. Diversos estudios han demostrado que la adición de lactosuero puede mejorar significativamente esta característica. Weinberg y Muck (1996) evidenciaron que el lactosuero incrementa la solubilidad de los nutrientes y mejora el perfil de fermentación del ensilaje, favoreciendo así su digestibilidad. Asimismo, Reis et al. (2018) reportaron un incremento del 10–15 % en la digestibilidad del ensilaje con la incorporación de lactosuero, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte del animal.

Una mayor digestibilidad del ensilaje permite una conversión más eficiente del alimento en energía y nutrientes, lo que se refleja en una mejor eficiencia alimenticia. Este efecto tiene implicancias directas sobre el rendimiento productivo, promoviendo mayores tasas de ganancia de peso, incremento en la producción de leche y mejoras en la salud general del ganado.

2.2.6. Ventajas de uso de lactosueros en el ensilaje

El lactosuero puede emplearse como aditivo en el proceso de ensilaje debido a sus propiedades fermentativas y su elevado contenido de nutrientes. Según Sucu y Filya (2006), su incorporación favorece la fermentación láctica, resultando en un pH más bajo y una mejor conservación del forraje. Sin embargo, McDonald et al. (1991) señalan

que los efectos del lactosuero pueden variar en función de la concentración de lactosa y la presencia de otros nutrientes esenciales.

a) Estimulación de la fermentación láctica

El lactosuero contiene lactosa y bacterias lácticas que promueven la fermentación láctica en el ensilaje. Esto permite una acidificación más rápida y efectiva, mejorando la estabilidad del forraje conservado (Sucu y Filya, 2006). No obstante, la eficacia de esta fermentación depende del tipo de forraje y de la dosis aplicada, como advierten Weinberg et al. (2003).

b) Mejora del valor nutricional.

El aporte adicional de proteínas y minerales presentes en el lactosuero puede enriquecer el perfil nutricional del ensilaje. Pereira et al. (2014) destacan que el incremento proteico es favorable para la dieta animal, especialmente en etapas de alta demanda nutricional. Sin embargo, Aguiar et al. (2006) advierten que la variabilidad en el contenido mineral del lactosuero puede influir en la calidad final del ensilado.

c) Inhibición de microorganismos patógenos.

El contenido de ácido láctico y la baja acidez del lactosuero contribuyen a inhibir el desarrollo de mohos y bacterias indeseables durante el almacenamiento (Muck, 2010). Aun así, Kung et al. (2003) sostienen que este efecto es más eficaz cuando se combina con otros aditivos, como los inoculantes bacterianos.

d) Reducción de pérdidas por respiración.

La aplicación de lactosuero ayuda a disminuir la actividad respiratoria del forraje ensilado, lo que reduce las pérdidas de materia seca durante el almacenamiento (Sucu y Filya, 2006). Sin embargo, McDonald et al. (1991)

señalan que la magnitud de estas pérdidas también está influenciada por factores como la compactación del ensilaje y las condiciones de almacenamiento.

2.3. Definición de términos básicos

- ✓ **Ensilaje:** Proceso de conservación de forraje mediante fermentación anaeróbica, que mantiene su valor nutricional para el consumo animal durante periodos prolongados.
- ✓ **Lactosuero:** Subproducto líquido de la producción de queso, rico en proteínas solubles y otros nutrientes, utilizado como aditivo en la fermentación del ensilaje para mejorar su calidad y valor nutricional.
- ✓ **pH:** Medida de la acidez o alcalinidad del ensilaje, crucial para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas y mohos, favoreciendo una mejor conservación del forraje.
- ✓ **Proteína Cruda (PC):** Indicador del contenido total de proteínas en el ensilaje, esencial para evaluar su valor nutricional. La adición de lactosuero puede aumentar el contenido de PC en el ensilaje.
- ✓ **Extracto Libre de Nitrógeno (ELN):** Fracción de carbohidratos solubles en el ensilaje, que proporciona energía fácilmente disponible para los rumiantes. El lactosuero aumenta el contenido de ELN, mejorando la disponibilidad energética del ensilaje.
- ✓ **Fibra Cruda (FC):** Componente del ensilaje que afecta la digestibilidad. La adición de lactosuero puede reducir la fracción de fibra cruda, mejorando la digestibilidad del forraje.
- ✓ **Ceniza:** Indicador del contenido de minerales en el ensilaje. La adición de lactosuero aumenta el contenido de ceniza, reflejando una mayor disponibilidad de minerales esenciales para el ganado.

- ✓ **Evaluación Sensorial:** Métodos utilizados para evaluar la calidad del ensilaje mediante análisis de características organolépticas como color, olor, sabor y textura, determinando su aceptabilidad por el ganado.
- ✓ **Fermentación Anaeróbica:** Proceso de descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, crucial para la conservación del ensilaje, donde se producen ácidos que inhiben el crecimiento de microorganismos indeseados.
- ✓ **Nutrición Animal:** Ciencia que estudia los requisitos dietéticos de los animales para mantener su salud y productividad, considerando la composición y el valor nutricional de los alimentos como el ensilaje.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H_i: El uso de diferentes niveles de lactosuero influye en la producción de maíz chala (*Zea mays*) y en la calidad organoléptica y nutricional de su ensilaje en el distrito de Oxapampa, Pasco.

H_o: El uso de distintos niveles de lactosuero no genera diferencias significativas en la producción de maíz chala (*Zea mays*) ni en la calidad organoléptica y nutricional de su ensilaje en Oxapampa, Pasco.

H_a: El uso de diferentes niveles de lactosuero genera diferencias significativas en la producción de maíz chala (*Zea mays*) y en la calidad organoléptica y nutricional de su ensilaje en Oxapampa, Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1 (HE1):

H_i: Los niveles de lactosuero tienen efecto en la producción de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ho: No existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero en la producción de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ha: Existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero en la producción de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Hipótesis específica 2 (HE2):

Hi: Los niveles de lactosuero tienen efecto en las características organolépticas del ensilaje de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ho: No existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero en las características organolépticas del ensilaje de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ha: Existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero en las características organolépticas del ensilaje de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Hipótesis específica 3 (HE3):

Hi: Los niveles de lactosuero tienen efecto en la calidad nutritiva del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ho: No existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero niveles de lactosuero para la calidad nutritiva del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

Ha: Existen diferencias estadísticas en los niveles de lactosuero para la calidad nutritiva del ensilado de maíz chala en Oxapampa – Pasco.

2.5. Identificación de variables

En la presente investigación se evaluaron las siguientes variables:

2.5.1. Variable Independiente

Corresponde a los niveles de inclusión de lactosuero aplicados tanto en la producción de maíz chala como en el proceso de ensilado, definidos de la siguiente manera:

Para la producción de maíz chala:

T1 = Testigo Fertilizante (sin aditivo); T2 = Lactosuero, un litro por tres de agua (1:3); T3 = Lactosuero, un litro por cuatro de agua (1:4); T4 = Lactosuero, un litro por cinco de agua (1:5).

Para la elaboración del ensilado:

T1 (Nivel 0) = Testigo (solo ensilaje); T2 (Nivel 1) = Lactosuero al 1.5 %; T3 (Nivel 2) = Lactosuero al 2 %; T4 (Nivel 3) = Lactosuero al 2.5 %.

2.5.2. Variable Dependiente

Se evaluaron tres grupos de variables en función de la respuesta de los tratamientos:

Producción: t/ha.

Características organolépticas: pH, textura, color y olor,

Calidad nutritiva: proteína cruda (PC), extracto libre de nitrógeno (ELN), fibra cruda (FC), ceniza, grasa.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

2.6.1. Sistema de variables e indicadores

En esta tesis la variable independiente fue “Niveles de lactosuero”. De la misma forma las variables dependientes son: “producción, Características organolépticas y Calidad Nutritiva”.

2.6.2. Esquema del sistema de variables e indicadores

Las siguientes son las variables involucradas en el problema general de investigación, junto con los indicadores y factores utilizados para medirlas (Tabla 1).

Tabla 2 Esquema de variables, indicadores y factores de medición.

Variables	Independiente	Dependiente	Indicador (Escala)	Dependiente	Indicador (Escala)
	Niveles de lactosuero	Producción y/o característica s organoléptica s		Calidad Nutricional	
Para rendimiento productivo					
Indicadores y factores	T1 (Fertilizante)	Rendimiento	t/ha		
	T2 1:3	Rendimiento	t/ha		
	T3 1.4	Rendimiento	t/ha		
	T4 1:5	Rendimiento	t/ha		
Para la producción de ensilado					
Indicadores y factores	Nivel 0	- PH. - Color. - Olor. - Textura.	- Numérico - Color - Percepción olfativa. - Percepción visual.	- Proteína Cruda (PC). - Extracto libre de nitrógeno (ELN). - Fibra Cruda (FC). - Ceniza. - Grasa.	(%) (%) (%) (%) (%)
	Nivel 1.5 %	- PH. - Color. - Olor. - Textura.	- Numérico - Color - Percepción olfativa. - Percepción visual.	- Proteína Cruda (PC). - Extracto libre de nitrógeno (ELN). - Fibra Cruda (FC). - Ceniza. - Grasa.	(%) (%) (%) (%) (%)
	Nivel 2 %	- PH. - Color. - Olor. - Textura.	- Numérico - Color - Percepción olfativa. -Percepción visual.	- Proteína Cruda (PC). - Extracto libre de nitrógeno (ELN). - Fibra Cruda (FC). - Ceniza. - Grasa.	(%) (%) (%) (%) (%)
	Nivel 2.5 %	- PH. - Color. - Olor. - Textura.	- Numérico - Color - Percepción olfativa. - Percepción visual.	- Proteína Cruda (PC). - Extracto libre de nitrógeno (ELN). - Fibra Cruda (FC). - Ceniza. - Grasa.	(%) (%) (%) (%) (%)

Para el rendimiento productivo: Nota: T1 = Testigo N-P-K 150-100-80 (sin aditivo); T2 = Lactosuero, un litro por tres de agua (1:3); T3 = Lactosuero, un litro por cuatro de agua (1:4); T4 = Lactosuero, un litro por cinco de agua (1:5).

Para la producción de ensilados: Nota: Factores (Tratamientos): T1 (Nivel 0) = Testigo (solo ensilaje); T2 (Nivel 1) = Lactosuero al 1.5 %; T3 (Nivel 2) = Lactosuero al 2 %; T4 (Nivel 3) = Lactosuero al 2.5 %.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio adoptó un tipo de investigación experimental aplicada, porque generan conocimientos, para resolver problemas relacionado con la producción y calidad nutritiva. Se realizó la manipulación controlada de variables para analizar las relaciones causa-efecto. En este caso, se ajustó la variable independiente “lactosuero” con el fin de evaluar su impacto en la producción; propiedades organolépticas y el valor nutricional del ensilaje de maíz chala.

Lugar y fecha de estudio.

La investigación se realizó en el Instituto de Investigación Especializada en Ganadería Oxapampa (INIGOX) – UNDAC, ubicado en Peñaflor, distrito de Oxapampa, provincia y región de Pasco. El estudio se llevó a cabo durante los meses de junio a diciembre de 2024.

3.2. Nivel de Investigación

El estudio adoptó el nivel de investigación es explicativo, porque se determina el efecto de diferentes dosis de lactosuero sobre la producción y calidad nutritiva del

maíz chala y ensilado. Y que consistió en la manipulación intencional del porcentaje de lactosuero empleado durante la producción y el ensilaje de maíz chala. Se evaluó el impacto de dicha variable en la producción; propiedades organolépticas y el valor nutricional, utilizando un diseño experimental en el que se analizó la influencia de los tratamientos en Oxapampa, Pasco.

Diseño y enfoque de investigación

El estudio adoptó el diseño completamente al azar (DCA), y un enfoque de investigación cuantitativo y cualitativo.

3.3. Método de investigación

3.3.1. Metodología en la producción de maíz chala.

a) Condiciones del suelo:

El cultivo de maíz chala se estableció en parcelas experimentales con un suelo de pH 7.4 y textura franco-arenosa, características que favorecen un adecuado desarrollo radicular y una buena aireación del sustrato.

b) Tamaño de parcelas: cada unidad experimental tenía un ancho de 2.1 m. (3 hilera de maíz chala) y un largo 4 m. haciendo un área total de 8.4 m. cuadrados, se dejó una calle de 1m. teniendo un tamaño total de 11.4 m x 19 m.

c) Siembra:

La siembra se realizó de forma manual, utilizando un distanciamiento de 70 cm entre surcos y 20 cm entre plantas, dentro de las parcelas de cada unidad experimentales, garantizando una densidad de población uniforme y condiciones homogéneas de competencia por luz, agua y nutrientes.

d) Fertilización y manejo nutricional:

Se aplicó una fórmula base de fertilización 150-100-80 (N-P-K), las fuentes de fertilizantes usados fosfato diamónico 18%-46%, urea 46 %, cloruro de potasio 60%. La aplicación por planta fue un total de 8.4 gramos de fertilizante para el T1 testigo (0 aditivo, 3.4 gr primera aplicación 40% y 5 gr segunda aplicación 60%). Adicionalmente, se incorporaron aditivos de lactosuero como fuente complementaria de nutrientes y microorganismos beneficiosos para los otros tratamientos. La aplicación del fertilizante y lactosuero se efectuó en dos momentos: a los 15 días después de la siembra (40%) y a los 45 días (60%), de acuerdo con los siguientes tratamientos: T1: Testigo (sin aditivo); T2: Lactosuero, un litro por tres de agua (1:3); T3: Lactosuero, un litro por cuatro de agua (1:4); T4: Lactosuero, un litro por cinco de agua (1:5).

e) Cosecha:

La cosecha se realizó a los 106 días después de la siembra, cuando el 50% de la población de plantas se encontraba en estado lechoso de las mazorcas óptima para su aprovechamiento como forraje para ensilado.

3.3.2. Metodología para la elaboración de un buen ensilaje.

- a. **Siembra y tamaño de parcela para adquirir el maíz chala:** para adquirir las muestras para elaboración del ensilado se realizó una siembra de maíz chala en una parcela 10 m. x 6 m. haciendo un total de un área de 60 m. cuadrados. La siembra se realizó manualmente a una distancia de 70 cm. Entre hilera y 20 cm. Entre plantas. La fórmula de fertilización fue 150-100-80 NPK. las fuentes de fertilizantes usados fosfato diamónico 18%-46%, urea 46 %, cloruro de potasio 60%. La aplicación por planta fue un

total de 8.4 gramos y las aplicaciones fueron a los 15 días después de la siembra 40% 3.4 gramos y 45 días después de la siembra 60% 5 gramos.

- b. **Determinación del momento de corte:** El momento óptimo de cosecha se determinó cuando las plantas de maíz y sus mazorcas alcanzaron el estado lechoso del grano, condición que garantiza un equilibrio adecuado entre contenido de humedad y valor nutritivo, favoreciendo una fermentación eficiente durante el proceso de ensilado.
- c. **Picado del material vegetal:** El material cosechado se procesó utilizando una picadora mecánica calibrada, que permitió fragmentar la chala en partículas de 1 a 3 cm de longitud, evitando la trituration excesiva que podría afectar la compactación y la calidad del ensilaje.
- d. **Pre- secado del material:** Debido a las condiciones locales de humedad y temperatura, el material picado se sometió a un breve proceso de deshidratación natural durante varias horas, hasta alcanzar un contenido de materia seca entre 30 y 35 %, rango considerado óptimo para una fermentación láctica adecuada.
- e. **Incorporación de los tratamientos:** El forraje presecado se mezcló con lactosuero según los niveles establecidos en los tratamientos experimentales, asegurando una distribución uniforme del aditivo en toda la masa vegetal.
- f. **Llenado y compactación:** El material tratado se depositó en baldes plásticos (microsilos), cuidando su distribución uniforme. La compactación se realizó capa por capa mediante presión manual asistida con apisonadores, con el propósito de eliminar el aire residual y favorecer condiciones estrictamente anaeróbicas.

g. **Sellado hermético:** Finalmente, los microsilos fueron sellados herméticamente para evitar la entrada de aire y agua, asegurando la integridad del proceso fermentativo y la conservación del valor nutritivo del ensilado.

3.3.3. Evaluación de trabajo de campo para producción

Producción:

Para la evaluación de la producción de maíz chala la muestra se adquirió de un metro cuadrado y fue pesado en una balanza de precisión y su resultado fue llevado a toneladas por hectárea.

3.3.4. Evaluación del trabajo de campo para ensilado

Se realizaron evaluaciones organolépticas y físico-químicas del ensilaje de maíz chala con el propósito de determinar su calidad y estado de conservación.

pH: Se extrajo una muestra representativa del ensilaje, la cual fue homogeneizada mediante mezcla manual. En caso necesario, se procedió a triturarla para lograr una muestra uniforme. El pH se determinó utilizando un potenciómetro previamente calibrado, introduciendo el electrodo directamente en la muestra. Este parámetro permitió estimar la acidez y estabilidad fermentativa del ensilado.

Textura: La textura del ensilado se evaluó mediante inspección visual y palpación directa de las muestras obtenidas de cada tratamiento experimental. Esta evaluación permitió determinar el grado de compactación, cohesión y consistencia física del material ensilado, características estrechamente relacionadas con la calidad del proceso fermentativo y la estabilidad del forraje conservado.

Para la valoración se empleó una escala ordinal de cuatro niveles (1–4), adaptada de criterios técnicos de evaluación organoléptica de silajes propuestos por la

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) y otras guías internacionales de conservación de forrajes. Los criterios de clasificación fueron los siguientes:

Valor	Descripción de textura	Interpretación
1	Textura suelta o muy blanda	Compactación deficiente
2	Textura moderadamente suave	Compactación intermedia
3	Textura homogénea y semisólida	Buena compactación
4	Textura firme y cohesionada	Excelente estabilidad física

Los datos obtenidos fueron registrados individualmente para cada repetición experimental y posteriormente resumidos mediante mediana y rango intercuartílico, debido al carácter ordinal de la variable.

La comparación estadística entre tratamientos se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis ($\alpha = 0.05$), con el objetivo de determinar diferencias globales en la textura del ensilado según los niveles de inclusión de lactosuero. Posteriormente, cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para efectuar comparaciones múltiples entre pares de tratamientos.

Color: El color del ensilado se determinó mediante observación visual de las muestras, verificando la uniformidad y tonalidad característica del material fermentado. La clasificación cromática se realizó utilizando categorías descriptivas previamente definidas. Se consideró como color adecuado la tonalidad verde amarilla, característica de un proceso fermentativo normal y de una adecuada conservación del material vegetal.

Categoría de color	Interpretación
Verde amarillo	Buena fermentación y conservación
Verde oliva	Excelente conservación
Marrón claro	Fermentación moderada
Marrón oscuro o negro	Deterioro o sobrecalentamiento

Los resultados fueron registrados en frecuencia y porcentaje para cada tratamiento experimental.

Olor: El olor se evaluó mediante apreciación olfativa directa de las muestras recién abiertas. La clasificación organoléptica se realizó de acuerdo con la intensidad y características percibidas, empleando categorías descriptivas relacionadas con la calidad fermentativa del ensilado.

Categoría de color	Interpretación
Agradable	Fermentación láctica adecuada
Ligeramente agradable	Fermentación aceptable
Ligeramente hongueado	Inicio de deterioro microbiológico
Pútrido o rancio	Fermentación indeseable

Se consideró como ensilado de buena calidad aquel que presentó olor agradable o ligeramente agradable, asociado a procesos adecuados de fermentación láctica. La presencia de olor ligeramente hongueado fue interpretada como evidencia inicial de alteración microbiológica o deterioro parcial del material.

Los resultados organolépticos fueron expresados mediante frecuencias absolutas y porcentajes para cada tratamiento, permitiendo comparar el comportamiento fermentativo del ensilado en función de los niveles de inclusión de lactosuero.

3.3.5. De la evaluación de las muestras de laboratorio

Transcurridos 30 días desde la elaboración del ensilaje, se procedió a la apertura controlada de los microsilos para la obtención de muestras representativas correspondientes a cada tratamiento experimental. Las muestras fueron rotuladas, selladas y conservadas en condiciones adecuadas, garantizando su integridad hasta su traslado al Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).

En dicho laboratorio, las muestras fueron sometidas a análisis bromatológicos y nutricionales estandarizados, con el objetivo de cuantificar los principales

componentes químicos del ensilado: materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), cenizas (CZ) y extracto libre de nitrógeno (ELN).

3.4. Diseño de investigación

3.4.1. Para variables cualitativas

Las variables cualitativas de tipo ordinal, correspondientes a las características organolépticas del ensilado (textura, olor y color), fueron analizadas mediante estadística descriptiva utilizando frecuencias absolutas y porcentajes por tratamiento.

Debido al carácter ordinal de los datos y al incumplimiento de los supuestos de normalidad requeridos para análisis paramétricos, las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis ($\alpha = 0.05$), con la finalidad de determinar diferencias globales entre los niveles de inclusión de lactosuero.

Cuando la prueba de Kruskal–Wallis mostró diferencias estadísticas significativas, se aplicó la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para realizar comparaciones múltiples entre pares de tratamientos.

3.4.2. Para variables cuantitativas:

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro repeticiones, considerando como unidad experimental a cada parcela para la evaluación del rendimiento productivo y las muestras destinadas a la producción de ensilado.

El análisis se realizó mediante un modelo lineal aditivo, expresado de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + N_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Valor observado de la variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo nivel de lactosuero.

μ = Media general.

N_j = Efecto del i-ésimo nivel de lactosuero.

E_{ij} = Error experimental asociado a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Duncan al nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$), con el fin de contrastar las diferencias entre tratamientos en las variables evaluadas.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Población para producción de maíz chala

La población estuvo conformada por 960 plantas de maíz chala. Ya que cada unidad experimental contaba con 60 plantas y se tenía 16 unidades experimentales.

Población para la elaboración del ensilado

La población para la elaboración del ensilado estaba conformada por 420 plantas de maíz chala adquirida de un área de 60 metros cuadrados. Lo cual nos dio 222 kg de chala picada.

3.5.2. Muestra

Muestra para producción de maíz chala

La muestra estuvo constituida por un área de un metro cuadrado (1.43 m. x 70 cm.) de cada unidad experimental (parte céntrica) lo que nos daba 7 plantas de maíz chala.

Muestra para la elaboración del ensilado

La muestra estuvo constituida por 12 kg. De maíz chala picada, peso exacto que contaba cada unidad experimental.

La recolección de datos se realizó mediante el uso de fichas de registro en un cuaderno de campo, donde se consignaron las observaciones y mediciones efectuadas

en la zona de estudio, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la metodología. Posteriormente, la información obtenida fue digitalizada y organizada en una base de datos en Microsoft Excel, con el propósito de facilitar su procesamiento y análisis estadístico.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas, para la recolección de datos fueron a través de la observación, medición agronómica, análisis bromatológicos y en lo referente a los instrumentos fue aplicado las fichas de medición de altura, pesado de la biomasa con balanza digital, estufa de secado, registros de fotografías, cuaderno de campo, registro de análisis bromatológico, todo ello en la zona de estudio, tal como se ha descrito en la metodología de trabajo.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La selección del instrumento de investigación se basó en el diseño metodológico y en el esquema experimental propuesto en el presente estudio, conforme se detalla en la tabla siguiente:

Técnicas	Instrumentos
Análisis documentario	Ficha de registro de datos de campo.

La validez y confiabilidad de los instrumentos fueron determinadas considerando los indicadores del coeficiente de variabilidad (C.V.) y del coeficiente de determinación (r^2), los cuales se analizaron por variable mediante análisis de varianza (ANOVA).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos en la zona de estudio fueron procesados en gabinete utilizando una hoja de cálculo en Microsoft Excel, mediante la cual se calcularon los parámetros estadísticos descriptivos: promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de determinación de las variables evaluadas.

Para el contraste de hipótesis y el análisis inferencial, los datos fueron procesados empleando el software InfoStat, aplicando los procedimientos estadísticos correspondientes según el diseño experimental. Posteriormente, se efectuó la interpretación y discusión de los resultados con base en los parámetros técnicos y científicos establecidos, con el propósito de formular conclusiones y recomendaciones orientadas a la optimización del proceso de ensilaje de maíz chala en el contexto de la investigación.

3.9. Tratamiento estadístico

Tratamiento para producción de maíz chala

Para la variable rendimiento productivo, los tratamientos experimentales se establecieron considerando los niveles de inclusión de lactosuero como factor principal. Se evaluaron cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, según se detalla a continuación:

Factores (Tratamientos):

- T1 = Testigo fertilizante 150-100-80 NPK (sin aditivo)
- T2 = Lactosuero, un litro por tres de agua (1:3)
- T3 = Lactosuero, un litro por cuatro de agua (1:4)
- T4 = Lactosuero, un litro por cinco de agua (1:5).

Repeticiones:

- R1 = Parcela 1; R2 = Parcela 2; R3 = Parcela 3; R4 = Parcela 4.

Tabla 3 *Croquis del experimento para rendimiento productivo*

Repeticiones	Niveles de lactosuero			
	T1 (P 0 A)	T2 (P 1:3 A)	T3 (P 1:4 A)	T4 (P 1:5 A)
R1	R1T1	R1T2	R1T3	R1T4
R2	R2T1	R2T2	R2T3	R2T4
R3	R3T1	R3T2	R3T3	R3T4
R4	R4T1	R4T2	R4T3	R4T4

Nota: T1 = Testigo (Fertilizante); T2 = Lactosuero, un litro por tres de agua (1:3); T3 = Lactosuero, un litro por cuatro de agua (1:4); T4 = Lactosuero, un litro por cinco de agua (1:5); R1 = Parcela 1; R2 = Parcela 2; R3 = Parcela 3; R4 = Parcela 4.

Tratamiento para la elaboración del ensilado

Para la evaluación de las características organolépticas y la calidad nutritiva del ensilado, los tratamientos experimentales estuvieron constituidos por diferentes niveles de adición de lactosuero, tal como se detalla a continuación:

Factores aditivos (4 niveles).

- T1 (Nivel 0) = Testigo 0 %
- T2 (Nivel 1) = Lactosuero al 1.5%
- T3 (Nivel 2) = Lactosuero al 2%
- T4 (Nivel 3) = Lactosuero al 2.5 %.

Repeticiones:

- R1 = Balde 1, R2 = Balde 2; R3 = Balde 3; R4 = Balde 4

Tabla 4 *Croquis del experimento para características organolépticas y calidad nutritiva*

Repeticiones	Niveles de lactosuero			
	T1 (N0)	T1(N1)	T2 (N2)	T3 (N3)
R1	R1N0	R1N1	R1N2	R1N3
R2	R2N0	R2N1	R2N2	R2N3
R3	R3N0	R3N1	R3N2	R3N3
R4	R4N0	R4N1	R4N2	R4N3

Nota: Factores (Tratamientos): T1 (Nivel 0) = Testigo (solo ensilaje); T2 (Nivel 1) = Lactosuero al 1.5 %; T3 (Nivel 2) = Lactosuero al 2 %; T4 (Nivel 3) = Lactosuero al 2.5 %. Repeticiones: R1 = Balde 1; R2 = Balde 2; R3 = Balde 3; R4 = Balde 4.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se desarrolló bajo una orientación ética basada en el respeto, la responsabilidad y la sostenibilidad, promoviendo la armonía entre la ciencia y el entorno natural. Se garantizó el uso racional de los recursos, el bienestar animal y

humano, y la integridad científica, evitando prácticas que afectaran la validez de los resultados o los principios éticos.

Desde una perspectiva filosófica y epistémica, el estudio se sustentó en un enfoque racional, empírico y científico, orientado a la comprensión objetiva de los procesos productivos y fermentativos vinculados al uso del lactosuero en el ensilaje de maíz chala en Oxapampa, Pasco. Este marco integró la observación empírica con el razonamiento lógico, favoreciendo la generación de conocimiento aplicable, verificable y éticamente responsable.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (*Zea mays*)

El rendimiento de forraje se determinó mediante el corte del material vegetal en un metro cuadrado dentro de cada parcela experimental delimitada. La cosecha se realizó en el momento óptimo de crecimiento, empleando herramientas manuales para mantener la uniformidad del muestreo. El material fresco fue pesado con una balanza electrónica de precisión, y los valores se expresaron en toneladas por hectárea (t/ha), ajustados al área efectiva de corte.

4.1.2. Para las características organolépticas

La evaluación organoléptica del ensilaje se efectuó mediante análisis sensorial y mediciones fisicoquímicas, considerando los parámetros de olor, color, pH y textura. La detección de olores anormales permitió identificar posibles alteraciones en la calidad. El color se verificó visualmente, observando la uniformidad del tono amarillo verdoso característico. El pH se midió con un potenciómetro calibrado, tras la

homogenización de las muestras. La textura se evaluó de forma visual y táctil, verificando la compactación y consistencia del material.

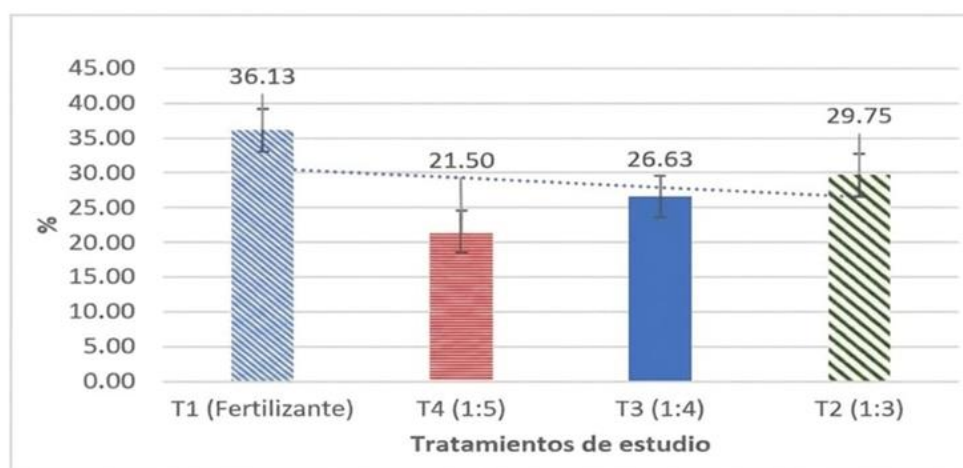
4.1.3. Para calidad nutritiva.

Las muestras de ensilaje correspondientes a cada tratamiento fueron secadas, molidas y enviadas a un laboratorio especializado para la determinación de los contenidos porcentuales de proteína cruda, fibra, grasa, humedad, ceniza, materia seca, digestibilidad y extracto libre de nitrógeno.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (*Zea mays*)

Gráfico 1. *Rendimiento de forraje.*



El Gráfico 1 muestra que el tratamiento T1 (Fertilizante) registró el valor más alto (36.13 t/ha), evidenciando una mejora significativa frente al T4 (P 1:5 A), que presentó el valor más bajo (21.50 t/ha).

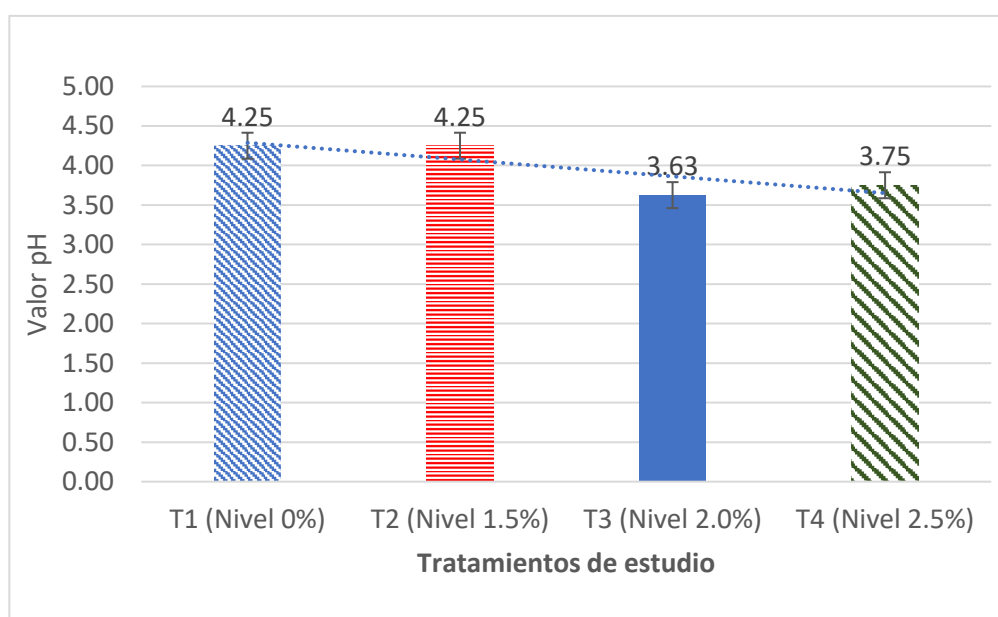
El tratamiento T3 (P 1:4 A) alcanzó un valor intermedio (26.63 t/ha), mientras que T4 (P 1:5 A) obtuvo 21.50 t/ha. La tendencia general, representada por la línea punteada, indica una reducción progresiva del porcentaje conforme aumenta la dilución del lactosuero, lo que sugiere que concentraciones moderadas generan una respuesta más favorable en el ensilaje.

4.2.2. Para características organolépticas.

a) pH del ensilado.

El Gráfico 2 muestra la evolución del pH en los cuatro tratamientos evaluados: T1 (0%), T2 (1.5%), T3 (2.0%) y T4 (2.5%). Los tratamientos T1 (4.25 ± 0.50) y T2 (4.25 ± 0.29) presentaron valores de pH significativamente más altos ($p < 0.05$), seguidos de T4 (3.75 ± 0.29), mientras que T3 registró el valor más bajo (3.63 ± 0.25). Estos resultados indican que el tratamiento con 2.0% de lactosuero (T3) alcanzó el mayor grado de acidificación, mientras que la ausencia (T1) o inclusión en menor proporción (T2) mantuvieron un pH más elevado en el ensilado.

Gráfico 2. pH del ensilado.

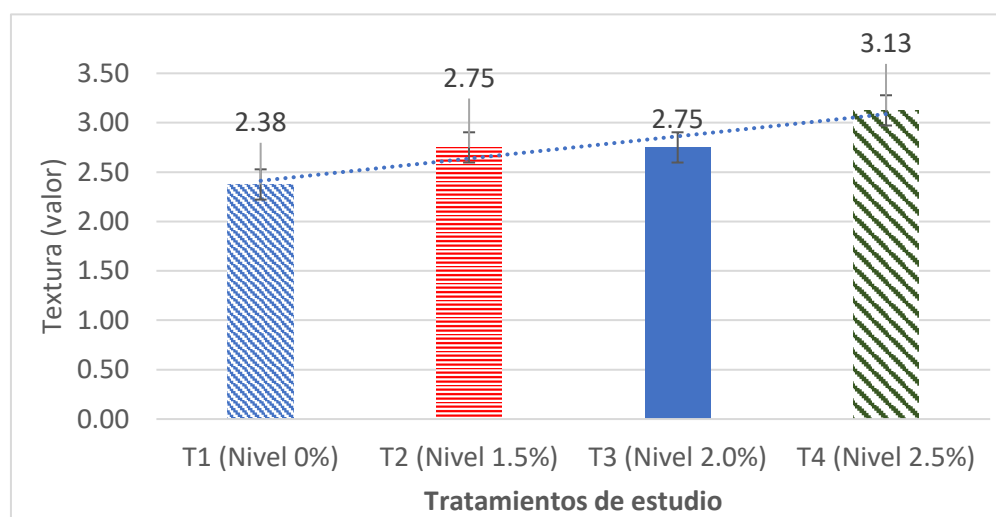


b) Textura del ensilado.

El Gráfico 3 presenta los valores de textura evaluados en los distintos tratamientos. El tratamiento T4 (2.5%) registró el valor más elevado (3.13 ± 0.25), seguido por T2 (1.5%) y T3 (2.0%), los cuales mostraron valores idénticos (2.75 ± 0.29). En contraste, el tratamiento control T1 (0%) obtuvo

el valor más bajo (2.38 ± 0.25). Estos resultados demuestran una correlación positiva entre la concentración de lactosuero y la mejora en las características texturales del ensilado, observándose que solo los niveles más altos de adición (2.5%) produjeron estas características.

Gráfico 3. Textura (valor)



c) Color.

La Tabla 3 muestra los resultados de la evaluación cromática del ensilado para los cuatro tratamientos estudiados (T1: 0%, T2: 1.5%, T3: 2.0%, T4: 2.5%). El análisis reveló que no había diferencia en los parámetros de color entre los distintos tratamientos.

Estos resultados indican que la variación en las concentraciones de lactosuero empleadas no ejerció un efecto significativo sobre las características cromáticas del ensilado, lo que sugiere que todos los tratamientos experimentaron procesos fermentativos similares en cuanto a su desarrollo pigmentario.

Tabla 5 Color del ensilado.

Tratamiento de estudio	Color	Frecuencia	Porcentaje
T1 (nivel 0%)	Verde amarillo	4	100.0
T2 (nivel 1.5%)	Verde amarillo	4	100.0
T3 (nivel 2.0%)	Verde amarillo	4	100.0
T4 (nivel 2.5%)	Verde amarillo	4	100.0

d) Olor.

La Tabla 4 presenta los resultados del análisis organoléptico del olor del ensilado. Los tratamientos T1 (0%) y T3 (2.0%) mostraron un 75% de las muestras con olor clasificado como "agradable" y 25% como "ligeramente agradable". En T2 (1.5%) se observó una distribución equitativa entre ambas categorías (50% y 50%, respectivamente). En contraste, el tratamiento T4 (2.5%) registró 25% de muestras "agradables", 50% "ligeramente agradables" y 25% con olor "ligeramente hongueado", siendo este último el tratamiento con mayor presencia de características odoríferas indeseables.

Tabla 6 Olor del ensilado.

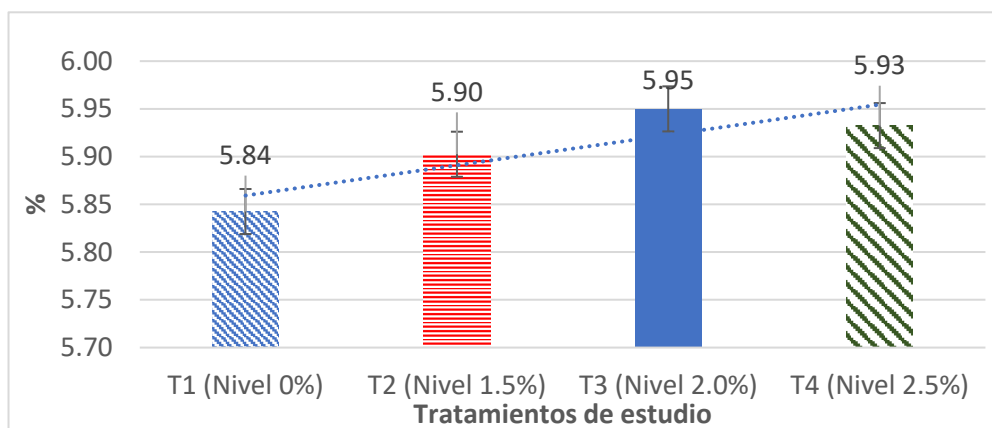
Tratamiento	Olor	Frecuencia	Porcentaje
T1 (nivel 0%)	Agradable	3	75.0
	Ligeramente agradable	1	25.0
T2 (nivel 1.5%)	Agradable	2	50.0
	Ligeramente agradable	2	50.0
T3 (nivel 2.0%)	Agradable	3	75.0
	Ligeramente agradable	1	25.0
T4 (nivel 2.5 %)	Agradable	1	25.0
	Ligeramente agradable	2	50.0
	Ligeramente hongueado	1	25.0

4.2.3. Para calidad nutritiva.

a) Porcentaje de proteína (%).

De acuerdo con el Gráfico 4, el tratamiento T3 (2.0% lactosuero) presentó el mayor contenido de proteína ($5.95 \pm 0.37\%$), seguido por T4 (2.5%) con $5.93 \pm 0.15\%$. Los tratamientos T2 (1.5%) y T1 (0%) registraron valores ligeramente inferiores. Estos resultados sugieren que la inclusión de lactosuero en concentraciones de 2.0–2.5% favoreció la conservación del contenido proteico del ensilado, posiblemente al mejorar el proceso fermentativo y reducir la degradación de compuestos nitrogenados. Este efecto es relevante desde el punto de vista nutricional, ya que un mayor contenido de proteína incrementa el valor nutritivo del forraje y su potencial para mejorar el desempeño productivo del ganado.

Gráfico 4. Porcentaje de proteína (%)

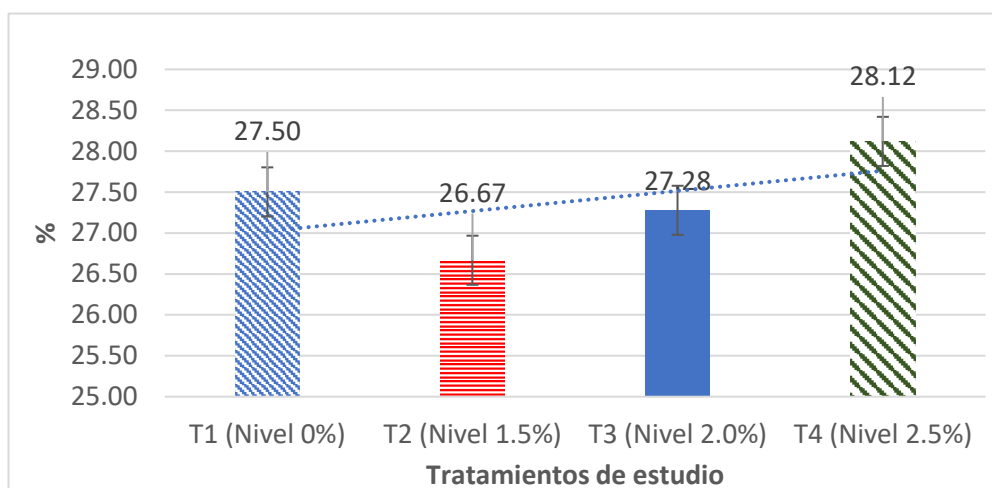


b) Porcentaje de fibra cruda (%)

Según el Gráfico 5, el tratamiento T4 (2.5% lactosuero) mostró el mayor contenido de fibra cruda ($28.12 \pm 0.21\%$), seguido por T1 (0%) con $27.50 \pm 0.73\%$, T3 (2.0%) con $27.28 \pm 1.05\%$ y T2 (1.5%) con el valor más bajo. La menor variabilidad observada en T4 sugiere una mayor estabilidad en la composición del ensilado, mientras que la mayor dispersión en T3

indica una respuesta menos uniforme al tratamiento. Estos resultados indican que la inclusión de 2.5% de lactosuero pudo favorecer la retención de la fracción fibrosa, lo cual es importante para mantener la funcionalidad ruminal y la eficiencia digestiva en rumiantes.

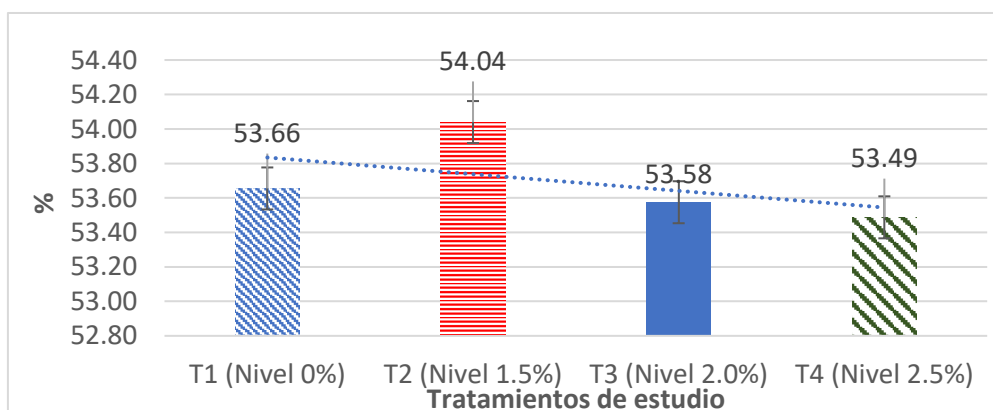
Gráfico 5. Porcentaje de fibra cruda (%)



c) Extracto libre de nitrógeno (%)

El Gráfico 6 muestra que el tratamiento T2 (1.5% lactosuero) presentó el mayor contenido de ELN ($54.04 \pm 1.40\%$), seguido por T1 (0%), T3 (2.0%) y T4 (2.5%), que registró el valor más bajo ($53.49 \pm 0.51\%$). Esta tendencia sugiere que niveles bajos de lactosuero favorecieron la conservación de carbohidratos solubles en el ensilado.

Gráfico 6. Extracto libre de nitrógeno (%)

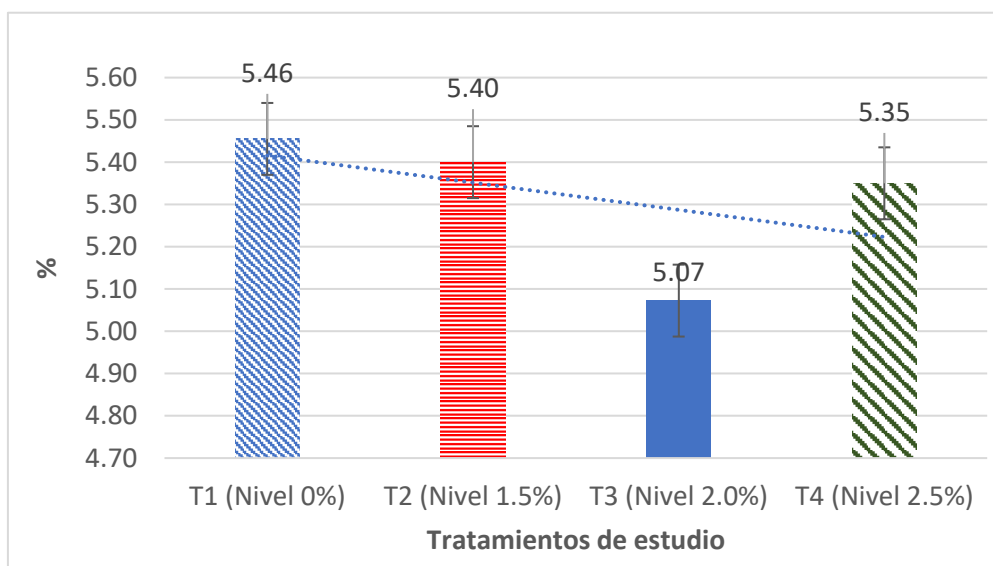


El mayor contenido de ELN implica una mayor disponibilidad de energía fermentable en el rumen, lo cual podría traducirse en una mejor eficiencia productiva en animales alimentados con este forraje.

d) Porcentaje ceniza (%)

El Gráfico 7 muestra que el tratamiento T1 (0% lactosuero) presentó el mayor contenido de ceniza ($5.46 \pm 0.09\%$), seguido por T2 (1.5%), T4 (2.5%) y T3 (2.0%), que registró el valor más bajo ($5.07 \pm 0.37\%$). Esta tendencia indica que la ausencia de lactosuero favoreció una mayor acumulación de minerales en el ensilado, mientras que su adición redujo dicho contenido, especialmente en el tratamiento con 2.0%. Los valores intermedios observados en T2 y T4 sugieren que el efecto del lactosuero sobre el contenido de ceniza no sigue un patrón lineal en función de la dosis aplicada.

Gráfico 7. Porcentaje de ceniza (%)

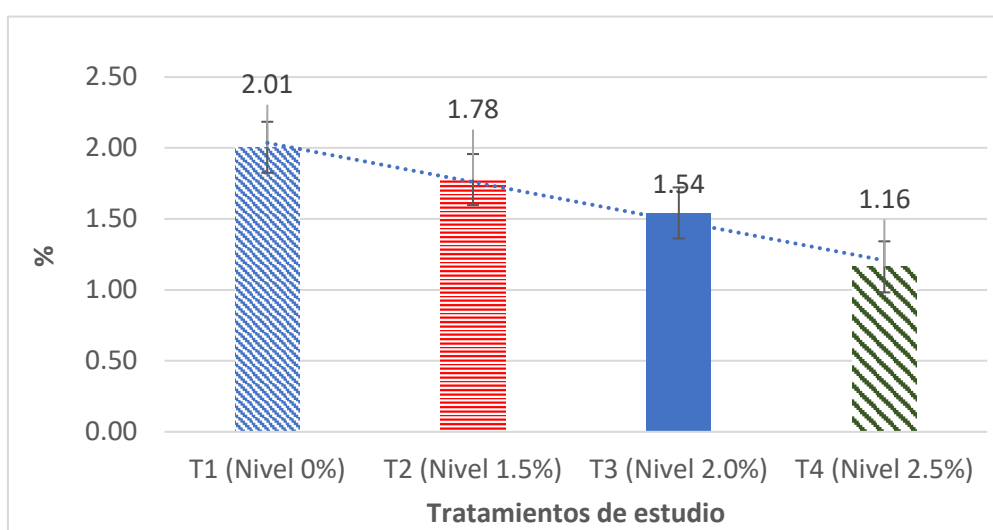


e) Porcentaje de grasa (%)

El tratamiento T1 (0%) presentó el mayor contenido de grasa ($2.01 \pm 0.15\%$), seguido por T2 ($1.78 \pm 0.36\%$), T3 ($1.54 \pm 0.06\%$) y T4

($1.16 \pm 0.01\%$). Se observa una relación inversa entre la concentración de lactosuero y el contenido lipídico, con una reducción promedio de 0.28% por cada 0.5% de incremento en la dosis. Esto sugiere que el lactosuero podría afectar la estabilidad o síntesis de lípidos durante la fermentación, posiblemente por acción microbiana o procesos oxidativos.

Gráfico 8. Porcentaje de grasa (%)



4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Para rendimiento de forraje (t/ha), maíz chala (Zea mays)

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció un efecto altamente significativo de los tratamientos sobre el rendimiento de materia verde ($p < 0.0001$), mostrando además un adecuado ajuste del modelo ($CV = 5.13\%$).

Tabla 7 Prueba de Duncan para rendimiento.

Tratamiento		T1 (Fertilizante)	T4 (P 1:5)	T3 (P 1:4)	T2 (P 1:3)
Repetición	R1	38.00	20.00	26.00	30.00
	R2	37.00	23.00	27.00	32.00
	R3	35.00	22.00	28.00	29.00
	R4	34.50	21.00	25.50	28.00
Promedio		36.13a	21.50d	26.63c	29.75b
Desviación estándar		1.65	1.29	1.11	1.71

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Según la prueba de comparación de medias de Duncan, el tratamiento T1 (Fertilizante) alcanzó el mayor rendimiento promedio (36.13 t/ha), siendo significativamente superior al resto de tratamientos. Le siguió T2 (1:3) con un promedio de 29.75 t/ha, T3 (1:4) con 26.63 t/ha y, finalmente, el T4 (1:5) con 21.50 t/ha, que registró el valor más bajo.

4.3.2. Para las características organolépticas

a) Valor de pH.

El ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con un r^2 de 0.47 y una variabilidad explicada del 8.72%. La prueba de Duncan identificó tres grupos: T1 (0%) y T2 (1.5%) con los valores de pH más altos y estadísticamente similares; T3 (2.0%) con el valor más bajo, y T4 (2.5%) en un grupo intermedio.

Tabla 8. Prueba de Duncan para pH.

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R1	3.50	4.50	4.00	3.50
	R2	4.50	4.00	3.50	4.00
	R3	4.50	4.00	3.50	4.00
	R4	4.50	4.50	3.50	3.50
Promedio		4.25a	4.25a	3.63b	3.75ab
Desviación estándar		0.50	0.29	0.25	0.29

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estos resultados indican un efecto no lineal del lactosuero sobre el pH, donde concentraciones $\geq 2.0\%$ redujeron significativamente la acidez del ensilado. La baja desviación estándar entre repeticiones refuerza la consistencia de los datos (Tabla 6).

b) Textura (valor)

La Tabla 8 muestra que la textura del ensilado presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Kruskal–

Wallis (($H = 8.56$); ($p < 0.05$)). Se observó una tendencia creciente en la mediana de textura conforme aumentó el nivel de inclusión de lactosuero, pasando de 2.50 en el tratamiento T1 (0%) a 3.00 en T4 (2.5%). Estos resultados indican que los tratamientos con mayores niveles de lactosuero produjeron ensilados con mejor compactación, cohesión y consistencia física.

Asimismo, el rango intercuartílico evidenció menor dispersión y mayor uniformidad en los tratamientos T2, T3 y T4, sugiriendo una respuesta más estable en la calidad física del material fermentado. El tratamiento T4 presentó los valores más altos de textura (3.0–3.5), reflejando una estructura más firme y homogénea del ensilado.

Tabla 9. *Evaluación de la textura del ensilado según niveles de inclusión de lactosuero.*

Tratamiento	n	Mediana	Rango intercuartílico	Estadístico H
T1 (0%)	4	2.50	2.0 – 2.5	8.56
T2 (1.5%)	4	2.75	2.5 – 3.0	
T3 (2.0%)	4	2.75	2.5 – 3.0	
T4 (2.5%)	4	3.00	3.0 – 3.5	

Nota. Comparación realizada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis (($\alpha = 0.05$)).

Por otro lado, la Tabla 9 muestra que las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni no evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre pares específicos de tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, se observó una tendencia consistente de mejora física del ensilado en los tratamientos con mayor inclusión de lactosuero, especialmente en T4 (2.5%), lo cual sugiere un efecto favorable del lactosuero sobre la estabilidad y compactación del material ensilado.

Tabla 10. Comparaciones múltiples de Dunn para textura del ensilado

Comparación	p-valor ajustado	Interpretación
T1 vs T2	0.802	No significativo
T1 vs T3	0.802	No significativo
T1 vs T4	0.137	No significativo
T2 vs T3	1.000	No significativo
T2 vs T4	0.802	No significativo
T3 vs T4	0.802	No significativo

Nota. Ajuste de significancia mediante corrección de Bonferroni ($\alpha = 0.05$).

4.3.3. Para calidad nutritiva:

a) Porcentaje de proteína (%).

El ANOVA no detectó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). El C.V. fue 4.3% y el R^2 solo 0.04%, indicando baja variabilidad explicada por los tratamientos.

Según la prueba de Duncan (Tabla 8), todos los tratamientos compartieron la misma letra (a), con promedios entre 5.84% y 5.95%. Esto confirma que el uso de lactosuero, en las proporciones evaluadas, no modificó significativamente el contenido proteico del ensilado.

Tabla 11. Prueba de Duncan para porcentaje de proteína (%).

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	5.96	6.23	5.40	5.73
	R ₂	5.88	5.91	6.10	6.06
	R ₃	5.75	5.67	6.10	6.04
	R ₄	5.78	5.80	6.20	5.90
Promedio		5.84a	5.90 ^a	5.95a	5.93a
Desviación estándar		0.10	0.24	0.37	0.15

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

b) Porcentaje de fibra (%).

El ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con un C.V. de 2.96% y un R^2 de 35%, lo que indica buena homogeneidad y moderada explicación de la variabilidad por los tratamientos.

Según la prueba de Duncan (Tabla 9), T4 (2.5%) presentó el mayor contenido de fibra ($28.12 \pm 0.21\%$), agrupándose con T1 (0%) y T3 (2.0%). T1 ($27.50 \pm 0.73\%$) y T3 ($27.28 \pm 1.05\%$) no difirieron entre sí. T2 (1.5%) mostró el menor valor ($26.67 \pm 0.97\%$) y fue estadísticamente inferior a T4, pero similar a T1 y T3.

Tabla 12. Prueba de Duncan para porcentaje de fibra cruda (%).

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	28.15	27.04	27.77	28.00
	R ₂	26.47	27.87	28.43	28.38
	R ₃	27.79	25.86	26.91	27.90
	R ₄	27.60	25.90	26.00	28.20
Promedio		27.50ab	26.67b	27.28ab	28.12a
Desviación estándar		0.73	0.97	1.05	0.21

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

c) Porcentaje de extracto libre de nitrógeno (ELN) (%).

El ANOVA no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), con un C.V. de 2.18% y un R² de 0.04%, lo que indica baja variabilidad explicada.

Según la prueba de Duncan (Tabla 10), los valores promedio fueron: T2 ($54.04 \pm 1.40\%$), T1 ($53.66 \pm 1.08\%$), T3 ($53.58 \pm 1.45\%$) y T4 ($53.49 \pm 0.51\%$), sin diferencias significativas entre ellos, ya que todos comparten la misma letra estadística (a).

Tabla 13. Prueba de Duncan para extracto libre de nitrógeno (%).

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	52.35	52.98	54.84	54.11
	R ₂	54.81	53.15	51.79	52.97
	R ₃	53.26	56.03	54.67	53.67
	R ₄	54.20	54.00	53.00	53.20
Promedio		53.66a	54.04a	53.58a	53.49a
Desviación estándar		1.08	1.40	1.45	0.51

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

d) Porcentaje de ceniza (%).

El ANOVA evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con un coeficiente de variación de 4.02% y un R^2 de 39%, lo que indica una influencia moderada de los tratamientos sobre el contenido de cenizas.

Tabla 14. Prueba de Duncan para porcentaje de ceniza (%).

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	5.41	5.52	4.52	5.11
	R ₂	5.56	5.35	5.27	5.37
	R ₃	5.35	5.33	5.20	5.52
	R ₄	5.50	5.40	5.30	5.40
Promedio		5.46a	5.40ab	5.07b	5.35ab
Desviación estándar		0.09	0.09	0.37	0.17

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Según la prueba de Duncan (Tabla 11), T1 ($5.46 \pm 0.09\%$) presentó el mayor valor, seguido de T2 ($5.40 \pm 0.09\%$) y T4 ($5.35 \pm 0.17\%$), que no difirieron significativamente entre sí. T3 ($5.07 \pm 0.37\%$) mostró el valor más bajo, significativamente diferente de T1 ($p < 0.05$), pero estadísticamente similar a T2 y T4.

En general, el aumento del nivel de lactosuero tendió a reducir el contenido de cenizas en el ensilado.

e) Porcentaje de grasa (%).

El ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con un coeficiente de variación de 12.22% y un R^2 de 77%, indicando buena capacidad explicativa del modelo.

Según la prueba de Duncan (Tabla 12), T1 ($2.01 \pm 0.15\%$) tuvo el mayor contenido de grasa, seguido por T2 ($1.78 \pm 0.36\%$) y T3

($1.54 \pm 0.06\%$). T4 ($1.16 \pm 0.01\%$) presentó el valor más bajo, significativamente inferior al resto.

El contenido de grasa disminuyó a medida que se incrementó el nivel de lactosuero en el ensilado.

Tabla 15 Prueba de Duncan para porcentaje de grasa (%)

Tratamiento		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	2.23	2.19	1.59	1.16
	R ₂	1.95	1.95	1.45	1.18
	R ₃	1.89	1.39	1.55	1.16
	R ₄	1.95	1.58	1.58	1.15
Promedio		2.01a	1.78ab	1.54b	1.16c
Desviación estándar		0.15	0.36	0.06	0.01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Para rendimiento de materia verde (t/ha)

La aplicación de fertilizante químico produjo el mayor rendimiento forrajero (36.13 t/ha), lo que coincide con estudios que muestran la alta eficiencia de los nutrientes sintéticos en promover un crecimiento rápido del cultivo. No obstante, la relación 1:3 (agua: lactosuero) alcanzó un rendimiento de 29.75 t/ha, lo cual evidencia que enmiendas orgánicas pueden reducir la brecha productiva con fertilización química. Investigaciones sobre el uso de biogas slurry un tipo de estiércol líquido similar al lactosuero han documentado incrementos considerables en rendimiento de cultivos comparables a los de fertilizantes convencionales (Moriones y Montes, 2017).

El aumento en rendimiento en proporciones mayores de estiércol líquido sugiere un efecto sinérgico entre los nutrientes del lactosuero y la materia orgánica, que mejora la estructura y fertilidad del suelo. Aunque la relación 1:5 alcanzó solo 21.50 t/ha, representa una opción viable en sistemas orientados a la sostenibilidad y bajo costo. Este enfoque está en línea con propuestas actuales de agricultura regenerativa, donde

subproductos como el lactosuero son reutilizados para mejorar la productividad y reducir la dependencia de insumos químicos (Botero et al., 2019).

4.4.2. Para características organolépticas

a) pH del ensilado.

El pH observado fue inferior al reportado por Saldaña (2019) y Evangelista & Ortega (2006), lo que indica una fermentación más eficiente, probablemente promovida por los azúcares fermentables presentes en el lactosuero. Aunque ligeramente superior al hallado por Salas et al. (2014), los valores obtenidos se mantuvieron dentro del rango óptimo (3.8–4.2) para la inhibición de microorganismos indeseables, favoreciendo la conservación del forraje. Estos resultados refuerzan el papel acidificante del lactosuero en la estabilización del ensilado, al mejorar el crecimiento de bacterias ácido-lácticas.

b) Textura del ensilado.

La mejora observada en la textura del ensilado con mayores niveles de inclusión de lactosuero, especialmente en T4 (2.5%), sugiere un efecto favorable sobre la compactación y cohesión del material fermentado. Estos resultados coinciden con lo reportado por Saldaña (2019), quien indicó que la incorporación de aditivos líquidos mejora la integridad estructural y estabilidad física del ensilado. Una textura más firme y homogénea favorece la conservación del forraje, reduce pérdidas por deterioro y facilita el consumo voluntario por parte de los animales.

Por otro lado, aunque la prueba global de Kruskal–Wallis evidenció diferencias significativas entre tratamientos, las comparaciones múltiples de Dunn no detectaron diferencias estadísticas específicas entre pares de

tratamientos. Esto podría atribuirse al reducido tamaño muestral y a la baja variabilidad observada entre repeticiones. Sin embargo, la tendencia creciente en los valores de textura indica que el lactosuero podría contribuir positivamente al proceso fermentativo y a la estabilidad física del ensilado.

c) Color.

La coloración verdosa uniforme observada en tratamientos con mayor concentración de lactosuero está en línea con lo descrito por Saldaña (2019), quien asocia el uso de aditivos con una mejor conservación de los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila. Este efecto podría deberse a una fermentación controlada que reduce la oxidación y degradación de compuestos sensibles a la luz y al oxígeno, indicando una buena estabilidad del ensilado y mayor valor nutritivo percibido por el animal.

d) Olor.

Los tratamientos con mayores niveles de lactosuero generaron olores agradables, similares a los descritos por Saldaña (2019), quien atribuye estas características a la formación de compuestos volátiles beneficiosos como el ácido acético en bajas concentraciones. La presencia de estos aromas es un indicador indirecto de una fermentación láctica dominante y de la ausencia de procesos indeseables como la putrefacción, lo que mejora la aceptación del ensilado por parte del ganado y su calidad higiénico-sanitaria.

4.4.3. Para la calidad nutritiva.

a) Porcentaje de proteína (%)

El mayor contenido proteico fue registrado por el tratamiento T3 (2.0% de lactosuero), con un valor de $5.95 \pm 0.37\%$. Aunque este nivel es inferior

a los reportados por Tene (2015) y Saldaña (2019), quienes alcanzaron valores de 8.24% y 8.10% respectivamente en ensilajes suplementados con lactosuero y melaza, los resultados del presente estudio se mantienen dentro de un rango nutricionalmente adecuado para forrajes conservados. Las diferencias encontradas pueden estar relacionadas con la variabilidad en la calidad del material vegetal, el momento de corte, la adición de otros coadyuvantes (como microorganismos eficientes o azúcares fermentables), y las condiciones de fermentación. No obstante, el incremento relativo de proteína en los tratamientos con lactosuero sugiere un aporte nitrogenado positivo, que podría mejorar el perfil nutricional del ensilado.

b) Porcentaje de fibra cruda (%)

El contenido promedio de fibra cruda ($28.12 \pm 0.21\%$) se encuentra en consonancia con los valores informados por Saldaña (2019) y Salas et al. (2014), lo que indica una consistencia metodológica en el procesamiento de microsilos de maíz. Sin embargo, se observa una diferencia con los datos de Tene (2015), quien reportó hasta 32.80% en tratamientos con mayor dosis de lactosuero. Estas discrepancias podrían estar vinculadas a factores como la madurez fisiológica del forraje, el tipo y proporción de aditivos utilizados, y el grado de compactación y anaerobiosis alcanzado durante el ensilado. Dado que la fibra cruda afecta directamente la digestibilidad, la adecuada caracterización de este parámetro es esencial para evaluar la eficiencia de aprovechamiento por parte del animal.

c) Extracto libre de nitrógeno (%)

El tratamiento T2 (1.5% de lactosuero) alcanzó el mayor porcentaje de ELN ($54.04 \pm 1.40\%$), valor comparable al documentado por Tene (2015),

quien registró 54.87% en tratamientos con 150 ml/kg de lactosuero. Este resultado sugiere que concentraciones moderadas del aditivo pueden optimizar el contenido de carbohidratos solubles, lo que se traduce en una mejor disponibilidad energética del ensilado. El ELN es un componente clave para la eficiencia energética de las dietas ruminantes, por lo que su incremento moderado indica una fermentación más favorable y un perfil nutricional potencialmente más equilibrado.

d) Porcentaje ceniza (%)

El contenido más alto de ceniza fue observado en el tratamiento control (T1: $5.46 \pm 0.09\%$), en contraste con los valores superiores reportados por Tene (2015) (7.03%) y los inferiores documentados por Evangelista y Ortega (2006) (2.43%). Estas variaciones reflejan la influencia de múltiples factores, como las condiciones edáficas, el estado fenológico de la planta al momento del corte, y la inclusión o exclusión de aditivos minerales. Un mayor porcentaje de ceniza puede estar asociado a una mayor concentración de minerales, aunque también podría indicar contaminación con tierra o material inerte. Por tanto, este parámetro debe interpretarse con cautela dentro del contexto agroecológico de cada ensayo.

e) Porcentaje de grasa (%)

El mayor contenido grasa fue encontrado en el tratamiento T1 (0% lactosuero), con un valor de $2.01 \pm 0.15\%$, superando ligeramente al registrado por Tene (2015) en tratamientos con altas dosis de lactosuero (1.96%). Esta tendencia sugiere que el lactosuero podría inducir una ligera disminución en el contenido graso, posiblemente por una mayor actividad fermentativa que favorece la degradación parcial de lípidos. La grasa es una

fracción energética importante del ensilado, y aunque su contenido no varió drásticamente entre tratamientos, su reducción moderada en presencia de lactosuero podría ser atribuible a diferencias en el metabolismo microbiano durante la fermentación. Este hallazgo resalta la necesidad de equilibrar la inclusión de aditivos para evitar reducciones no deseadas en componentes energéticos clave.

CONCLUSIONES

a) Rendimiento de materia verde (t/ha):

El tratamiento con fertilizante comercial obtuvo el mayor rendimiento de forraje. El abono orgánico mejoró el rendimiento conforme aumentó su concentración, aunque sin igualar al fertilizante químico.

b) Para las Características Organolépticas:

La adición de lactosuero favoreció la acidificación del ensilado, alcanzando valores de pH adecuados para su conservación. En cuanto a la textura, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($H = 8.56$; $p < 0.05$), evidenciándose una tendencia de mejora conforme aumentó el nivel de lactosuero, con la mayor mediana registrada en T4 (2.5%). Respecto al olor, los tratamientos T1 (0%) y T3 (2.0%) presentaron una percepción agradable en el 75% de las muestras. No se observó un efecto definido sobre el color, aunque la inclusión de urea en T3 pudo haber influido en esta característica.

c) Para la Calidad Nutritiva:

T3 (2.0%) y T4 (2.5%) alcanzaron los mayores niveles de proteína cruda, indicando buena conservación. T4 mostró el valor más alto de fibra cruda, y T2 (1.5%) el mayor contenido de ELN, reflejando buena disponibilidad de carbohidratos solubles. El contenido de grasa disminuyó con más lactosuero, siendo T4 el más bajo. No hubo diferencias significativas en cenizas entre tratamientos.

RECOMENDACIONES

a) Rendimiento de materia verde (t/ha):

Se recomienda utilizar lactosuero en proporción 1:3 como alternativa complementaria en la fertilización de maíz chala, dado que esta concentración favorece un mayor rendimiento de materia verde. Asimismo, se sugiere continuar investigando la combinación de lactosuero con otras fuentes orgánicas para optimizar la eficiencia del fertilizante y reducir la dependencia de insumos químicos en sistemas de producción sostenible.

b) Para las características organolépticas:

Se recomienda utilizar niveles de inclusión de lactosuero de hasta 2.5% en la elaboración de ensilaje de maíz chala, debido a que favorecen la acidificación del material y mejoran sus características organolépticas, especialmente la textura, contribuyendo a una adecuada conservación y calidad del ensilado. Asimismo, se sugiere realizar investigaciones complementarias que evalúen su efecto sobre el consumo voluntario y el desempeño productivo de los animales.

c) Para la calidad nutritiva:

Se aconseja emplear concentraciones de lactosuero entre 2.0% y 2.5%, ya que estas favorecieron la conservación del contenido de proteína cruda y fibra. También se recomienda investigar más a fondo el impacto del 1.5% de lactosuero sobre el contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN), así como evaluar la reducción del contenido de grasa observada a mayores concentraciones, a fin de optimizar su inclusión según los requerimientos nutricionales del ganado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, S. C., Carvalho, G. G., Leite, V. M., Rodrigues, P. H., & Ruggieri, A. C. (2006). Effects of additives on the fermentation and chemical composition of sugarcane silage. *Brazilian Journal of Animal Science*, 35(3), 635-641.
- Altamirano Leiva, M. G. (2022). *Efectos de la miel de caña de azúcar y lactosuero sobre la calidad fermentativa de ensilados de maralfalfa (Pennisetum sp.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11850>
- Altamirano Ochoa, C. E. (2019). *Composición química y calidad del ensilado de maíz chala con urea y melaza* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4665>
- Botero Londoño, J. M., Gómez Carabalí, A., & Botero Londoño, M. A. (2019). *Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la Tithonia diversifolia con base en diferentes niveles de fertilización*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), 789–800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>
- Broderick, G. A. (2003). Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(4), 1370-1381.
- Cai, Y., Zhao, J., Guo, X., Wang, X., Wang, J., & Nishino, N. (1998). Effects of whey protein concentrate and dextrose addition on the fermentation quality of maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 73(3-4), 243-248. Enlace
- Charmley, E. (2001). Towards Improved Silage Quality – A Review. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(2), 157-168.

- Davidson, S., Hopkins, B. A., Odle, J., Brownie, C., Fellner, V., & Whitlow, L. W. (2013). Supplementing limited methionine diets with ruminally protected methionine improves lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 6446-6457.
- Evangelista López, M., & Ortega Meneses, J. A. (2006). Mejora del proceso de ensilaje de maíz por adición de lactosuero.
- Fallah, R. (2019). *Effects of adding whey and molasses on corn silage quality, growth performance and health of Simmental fattening calves*. **Journal of Livestock Science**, 10, 91–96. <https://doi.org/10.33259/JLivestSci.2019.91-96>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., & Espineira, M. (2015). Effects of feeding a reduced-starch diet with or without whey permeate to lactating dairy cows on feed intake, lactation performance, and total-tract nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science*, 98(2), 1351-1360.
- Filya, I. (2003). The Effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the Fermentation and Aerobic Stability of Maize Silage. *Journal of Applied Microbiology*, 95(5), 1080-1086.
- Gültekin, Ş., & Kaya, E. (2022). The use of whey powder additions for grass silage: Effects on nutrient content, fermentation properties and aerobic stability. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1843–1848. <https://doi.org/10.21597/jist.1113858>
- Harrison, J. H., Blauwiel, R., & Stokes, M. R. (1994). Fermentation and Utilization of Grass Silage. *Journal of Dairy Science*, 77(10), 3209-3235.
- Harrison, J. H., Blauwiel, R., & Stokes, M. R. (1994). Fermentation and utilization of ammoniated condensed whey in dairy rations. *Journal of Dairy Science*, 77(2), 533-542.

- Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., & Schingoethe, D. J. (2006). Corn silage: factors affecting quality and feed value. In *Silage science and technology* (pp. 305-360). American Society of Agronomy. Enlace
- Kolver, E. S., Roche, J. R., De Veth, M. J., Thorne, P. L., & Napper, A. R. (2001). Total mixed rations versus pasture diets: Evidence for a lower production response in New Zealand dairy cows. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 61, 90-93.
- Kung Jr, L., & Shaver, R. D. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(3), 1-6.
- Kung, L., Jr., Craig, W. M., & Satter, L. D. (1987). Ammonia treated alfalfa silage: Fermentation characteristics and feeding value for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 70(2), 222-230.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2003). Silage fermentation and additives. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 279-284.
- Kung, L., Stokes, M. R., & Lin, C. J. (1987). Silage Additives. In: *Proceedings from the Silage: Field to Feedbunk North American Conference*, 305-319.
- Mariotti, M., Fratini, F., Cerri, D., Andreuccetti, V., Giglio, R., Angeletti, F. G. S., & Turchi, B. (2020). *Use of fresh scotta whey as an additive for alfalfa silage*. *Agronomy*, 10(3), 365. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030365>.
- Marshall, K. (2004). Therapeutic applications of whey protein. *Alternative Medicine Review*, 9(2), 136-156.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (1991). *Animal Nutrition*. Longman Scientific & Technical.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe Publications.

- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463-1481.
- Moran, J. (2005). *Tropical Dairy Farming: Feeding Management for Small Holder Dairy Farmers in the Humid Tropics*. Landlinks Press.
- Moriones Ruiz, M. L., & Montes-Rojas, C. (2017). *Aporte de Tithonia diversifolia en abonos orgánicos: Efecto en producción y suelo en Cauca, Colombia*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 101–111. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)101-111](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)101-111)
- Muck, R. E. (2010). Silage Additives. *Animal Feed Science and Technology*, 162(1-2), 1-3.
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(Supl. especial), 183-191.
- Muck, R. E., & Pitt, R. E. (1993). Ensiling and its effects on crop quality. *Proceedings of the National Forage Symposium*, 57-67.
- Ochoa, C. E. (2019). Composición química y calidad del ensilado de maíz chala con urea y melaza. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4665>
- Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J., & Gill, D. R. (1999). Acidosis in cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 77(E-Suppl), 275-286.
- Owens, V. N., Albrecht, K. A., & Muck, R. E. (1999). Protein Degradation and Fermentation Characteristics of Red Clover and Alfalfa Silage. *Crop Science*, 39(6), 1873-1880.
- Palamidi, I., Paraskeuas, V. V., Kotsampasi, B., Hadjigeorgiou, I., Politis, I., & Mountzouris, K. C. (2023). *Effect of yogurt acid whey on the quality of maize silage*. **Fermentation**, 9(12), 994. <https://doi.org/10.3390/fermentation9120994>
- Pereira, O. G., Ribeiro, K. G., Valadares Filho, S. C., Cecon, P. R., & Detmann, E. (2014). Chemical composition, intake, and digestibility in cattle fed elephant grass silage

- treated with chemical or bacterial additives. *Journal of Animal Science*, 92(11), 4538-4548.
- Reis, R. B., Pereira, M. N., Fernandes, J. J. R., & Branco, A. F. (2018). Effects of total mixed ration management on dairy cow performance: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3710-3721.
- Repetto, J. L., Echarri, V., Aguerre, M., & Cajarville, C. (2011). *Use of fresh cheese whey as an additive for lucerne silages: Effects on chemical composition, conservation quality and ruminal degradation of cell walls*. *Animal Feed Science and Technology*, 170(3–4), 160–164. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.004>
- Rodrigues, P. H. M., et al. (2015). Enzymatic activity in whey and its effects on silage fermentation. *Journal of Animal Science*, 93(3), 1505-1513.
- Romero, J. J., et al. (2014). Effects of whey on the fermentation and nutritional quality of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2400-2406.
- Salas, O., de los Reyes, V. M., Calderón, O. M., Robles, D., Barrales, S. M., Anaya, J., ... & Barrera, M. A. (2014). Adición de aditivos en ensilaje de maíz *Zea mays* sobre el valor nutricional. *Guerra Liera, JE*, 351-356.
- Saldaña Benavides, R. (2019). Valor nutricional y cualidades de microsilos de maíz chala con lactosuero y melaza.
- Saldaña Benavides, R. (2019). *Valor nutricional y cualidades de microsilos de maíz chala con lactosuero y melaza* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. ALICIA — Concytec. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG_29a2a15538e73f83772dab1b700e648e

- Schmidt, R. J., & Kung, L. (2016). The effects of *Lactobacillus buchneri* 40788 and *Pediococcus pentosaceus* R1096 on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4335-4344.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins-From 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704.
- Sucu, E., & Filya, I. (2006). Effects of bacterial inoculants on the fermentation, aerobic stability and in situ rumen degradability characteristics of maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 137(1-2), 12-17.
- Tene Chamba, D. A., & Fernández Guarnizo, P. (2015). Ensilado de maíz con adición de lactosuero y microorganismos eficientes, en el cantón Paltas.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press.
- Weinberg, Z. G., & Muck, R. E. (1996). New Trends and Opportunities in the Development and Use of Inoculants for Silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53-68.
- Weinberg, Z. G., Chen, Y., & Gamburg, M. (2003). The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages. *Journal of Applied Microbiology*, 84(1), 138-144.
- Weissbach, F., & Honig, H. (1996). The effect of different levels of water-soluble carbohydrates on silage fermentation. *Grass and Forage Science*, 51(4), 408-416.
- Wilkinson, J. M. (2005). *Quality and preservation of forage crops*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Zambrano Napa, J. F. (2024). *Elaboración de silo de maíz con distintos niveles de inclusión de lactosuero en el sitio Mache-Cantón Pedernales* [Tesis de licenciatura, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/6663>

ANEXOS

ANEXO 1. Datos procesados

Rendimiento de materia verde (t/ha.)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Rendimiento MV (t/ha)	16	0.95	0.93	5.13	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	448.88	3	149.63	70.07	<0.0001
Tratamiento	448.88	3	149.63	70.07	<0.0001
Error	25.63	12	2.14		
Total	474.50	15			

Test:Duncan Alfa=0.05 DMS=3.06776

Error: 2.1354 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1 (F. comercial)	36.13	4	0.73	A
T2 (P 1:3)	29.75	4	0.73	B
T3 (P 1:4)	26.63	4	0.73	C
T4 (P 1:5)	21.50	4	0.73	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

pH (valor)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
pH (valor)	16	0.47	0.34	8.72	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.30	3	0.43	3.61	0.0458
Tratamiento	1.30	3	0.43	3.61	0.0458
Error	1.44	12	0.12		
Total	2.73	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.1198 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2 (Vivel 1.5%)	4.25	4	0.17	A
T1 (Nivel cero)	4.25	4	0.17	A
T4 (Vivel 2.5%)	3.75	4	0.17	A B
T3 (Vivel 2.0%)	3.63	4	0.17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Proteína (%)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Proteína (%)	16	0.04	0.00	4.03	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	3	0.01	0.16	0.9229
Tratamiento	0.03	3	0.01	0.16	0.9229
Error	0.68	12	0.06		
Total	0.71	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0566 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3 (Vivel 2.0%)	5.95	4	0.12	A
T4 (Vivel 2.5%)	5.93	4	0.12	A
T2 (Vivel 1.5%)	5.90	4	0.12	A
T1 (Nivel cero)	5.84	4	0.12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fibra cruda (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fibra cruda (%)	16	0.35	0.19	2.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.32	3	1.44	2.19	0.1416
Tratamiento	4.32	3	1.44	2.19	0.1416
Error	7.88	12	0.66		
Total	12.20	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.6565 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4 (Vivel 2.5%)	28.12	4	0.41	A
T1 (Nivel cero)	27.50	4	0.41	A B
T3 (Vivel 2.0%)	27.28	4	0.41	A B
T2 (Vivel 1.5%)	26.67	4	0.41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Ceniza (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ceniza (%)	16	0.39	0.23	4.02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.35	3	0.12	2.53	0.1068
Tratamiento	0.35	3	0.12	2.53	0.1068
Error	0.55	12	0.05		
Total	0.90	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0458 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1 (Nivel cero)	5.46	4	0.11	A
T2 (Vivel 1.5%)	5.40	4	0.11	A B
T4 (Vivel 2.5%)	5.35	4	0.11	A B
T3 (Vivel 2.0%)	5.07	4	0.11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Extracto libre de nitrógeno (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Extracto libre de nitrógen..	16	0.04	0.00	2.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.71	3	0.24	0.17	0.9126
Tratamiento	0.71	3	0.24	0.17	0.9126
Error	16.45	12	1.37		
Total	17.17	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 1.3712 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2 (Vivel 1.5%)	54.04	4	0.59 A
T1 (Nivel cero)	53.66	4	0.59 A
T3 (Vivel 2.0%)	53.58	4	0.59 A
T4 (Vivel 2.5%)	53.49	4	0.59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Grasa (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grasa (%)	16	0.77	0.71	12.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.55	3	0.52	13.17	0.0004
Tratamiento	1.55	3	0.52	13.17	0.0004
Error	0.47	12	0.04		
Total	2.03	15			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0393 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1 (Nivel cero)	2.01	4	0.10 A
T2 (Vivel 1.5%)	1.78	4	0.10 A B
T3 (Vivel 2.0%)	1.54	4	0.10 B
T4 (Vivel 2.5%)	1.16	4	0.10 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 2. Análisis de datos

a) Rendimiento de forraje

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (Fertilizante)	T ₄ (P 1:5)	T ₃ (P 1:4)	T ₂ (P 1:3)
Repetición	R ₁	38.00	20.00	26.00	30.00
	R ₂	37.00	23.00	27.00	32.00
	R ₃	35.00	22.00	28.00	29.00
	R ₄	34.50	21.00	25.50	28.00
Promedio		36.13a	21.50a	26.63c	29.75b
Desv. Estándar		1.65	1.29	1.11	1.71

b) Valor de pH

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	3.50	4.50	4.00	3.50
	R ₂	4.50	4.00	3.50	4.00
	R ₃	4.50	4.00	3.50	4.00
	R ₄	4.50	4.50	3.50	3.50
Promedio		4.25a	4.25a	3.63b	3.75ab
Desv. Estándar		0.50	0.29	0.25	0.29

c) Textura

Tratamiento	n	Mediana	Rango intercuartílico	Estadístico H
T1 (0%)	4	2.50	2.0 – 2.5	8.56
T2 (1.5%)	4	2.75	2.5 – 3.0	
T3 (2.0%)	4	2.75	2.5 – 3.0	
T4 (2.5%)	4	3.00	3.0 – 3.5	

Comparación	p-valor ajustado	Interpretación
T1 vs T2	0.802	No significativo
T1 vs T3	0.802	No significativo
T1 vs T4	0.137	No significativo
T2 vs T3	1.000	No significativo
T2 vs T4	0.802	No significativo
T3 vs T4	0.802	No significativo

d) Color del ensilado

Tratamiento de estudio	Color	Frecuencia	Porcentaje
T1 (nivel 0%)	Verde amarillo	4	100.0
T2 (nivel 1.5%)	Verde amarillo	4	100.0
T3 (nivel 2.0%)	Verde amarillo	4	100.0
T4 (nivel 2.5%)	Verde amarillo	4	100.0

e) Olor del ensilado

Tratamiento	Olor	Frecuencia	Porcentaje
T1 (nivel 0%)	Agradable	3	75.0
	Ligeramente agradable	1	25.0
T2 (nivel 1.5%)	Agradable	2	50.0
	Ligeramente agradable	2	50.0
T3 (nivel 2.0%)	Agradable	3	75.0
	Ligeramente agradable	1	25.0
T4 (nivel 2.5 %)	Agradable	1	25.0
	Ligeramente agradable	2	50.0
	Ligeramente hongueado	1	25.0

f) Porcentaje de proteína

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	5.96	6.23	5.40	5.73
	R ₂	5.88	5.91	6.10	6.06
	R ₃	5.75	5.67	6.10	6.04
	R ₄	5.78	5.80	6.20	5.90
Promedio		5.84a	5.90a	5.95a	5.93a
Desv. Estándar		0.10	0.24	0.37	0.15

g) Porcentaje de fibra

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	28.15	27.04	27.77	28.00
	R ₂	26.47	27.87	28.43	28.38
	R ₃	27.79	25.86	26.91	27.90
	R ₄	27.60	25.90	26.00	28.20

Promedio	27.50a	26.67a	27.28ab	28.12a
Desv. Estándar	0.73	0.97	1.05	0.21

h) Porcentaje de extracto libre de nitrógeno

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	52.35	52.98	54.84	54.11
	R ₂	54.81	53.15	51.79	52.97
	R ₃	53.26	56.03	54.67	53.67
	R ₄	54.20	54.00	53.00	53.20
Promedio		53.66a	54.04a	53.58a	53.49a
Desv. Estándar		1.08	1.40	1.45	0.51

i) Porcentaje de ceniza

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	5.41	5.52	4.52	5.11
	R ₂	5.56	5.35	5.27	5.37
	R ₃	5.35	5.33	5.20	5.52
	R ₄	5.50	5.40	5.30	5.40
Promedio		5.46a	5.40ab	5.07b	5.35ab
Desv. Estándar		0.09	0.09	0.37	0.17

j) Porcentaje de grasa

Tratamiento		Niveles de lactosuero			
		T ₁ (0%)	T ₂ (1.5%)	T ₃ (2.0%)	T ₄ (2.5%)
Repetición	R ₁	2.23	2.19	1.59	1.16
	R ₂	1.95	1.95	1.45	1.18
	R ₃	1.89	1.39	1.55	1.16
	R ₄	1.95	1.58	1.58	1.15
Promedio		2.01a	1.78ab	1.54b	1.16c
Desv. Estándar		0.15	0.36	0.06	0.01

ANEXO 3. Resumen de las variables evaluadas

Tratamiento	pH (valor)	Textura (valor)	Color	Olor	Proteína (%)	Fibra cruda (%)	Extracto libre de nitrógeno (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)
T1 (Nivel 0%)	3.50	2.50	Verde amarillo	Agradable	5.96	28.15	52.35	5.41	2.23
T1 (Nivel 0%)	4.50	2.50	Verde amarillo	Agradable	5.88	26.47	54.81	5.56	1.95
T1 (Nivel 0%)	4.50	2.50	Verde amarillo	Agradable	5.75	27.79	53.26	5.35	1.89
T1 (Nivel 0%)	4.50	2.50	Verde amarillo	Ligeramente agradable	5.78	27.60	54.20	5.50	1.95
T2 (Nivel 1.5%)	4.50	2.75	Verde amarillo	Agradable	6.23	27.04	52.98	5.52	2.19
T2 (Nivel 1.5%)	4.00	2.75	Verde amarillo	Agradable	5.91	27.87	53.15	5.35	1.95
T2 (Nivel 1.5%)	4.00	2.75	Verde amarillo	Ligeramente agradable	5.67	25.86	56.03	5.33	1.39
T2 (Nivel 1.5%)	4.50	2.75	Verde amarillo	Ligeramente agradable	5.80	25.90	54.00	5.40	1.58
T3 (Nivel 2.0%)	4.00	2.75	Verde amarillo	Agradable	5.40	27.77	54.84	4.52	1.59
T3 (Nivel 2.0%)	3.50	2.75	Verde amarillo	Agradable	6.10	28.43	51.79	5.27	1.45
T3 (Nivel 2.0%)	3.50	2.75	Verde amarillo	Agradable	6.10	26.91	54.67	5.20	1.55
T3 (Nivel 2.0%)	3.50	2.75	Verde amarillo	Ligeramente agradable	6.20	26.00	53.00	5.30	1.58
T4 (Nivel 2.5%)	3.50	3.00	Verde amarillo	Agradable	5.73	28.00	54.11	5.11	1.16
T4 (Nivel 2.5%)	4.00	3.00	Verde amarillo	Ligeramente agradable	6.06	28.38	52.97	5.37	1.18
T4 (Nivel 2.5%)	4.00	3.00	Verde amarillo	Ligeramente agradable	6.04	27.90	53.67	5.52	1.16
T4 (Nivel 2.5%)	3.50	3.00	Verde amarillo	Ligeramente hongueado	5.90	28.20	53.20	5.40	1.15

ANEXO 4. Resultados de análisis de laboratorio



INFORME DE ANÁLISIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Página 1 de 2

INFORME DE ANÁLISIS N°: LABNUT-2025-19

RAZÓN SOCIAL O NOMBRE DEL CLIENTE : Geder Roly VERDE HUAMAN
RUC / DNI : 45512985
BOLETA/OS : N° 1005
TIPO DE MUESTRA : FORRAJES
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : BOLSAS DE PAPEL MOLIDO
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 29/05/2025
FECHA DE ANÁLISIS DE MUESTRA : 02/06/2025
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 09/09/2025

ID Muestra	Humedad ¹ (%)	Cenizas ² (%)	Grasa cruda ³ (%)	Proteína cruda ⁴ (%)	Fibra cruda ⁵ (%)	ELN ⁶ (%)
T1 (Nivel cero)	7.03	5.41	2.23	5.96	28.15	52.35
T1 (Nivel cero)	6.68	5.56	1.95	5.88	26.47	54.81
T1 (Nivel cero)	6.19	5.35	1.89	5.75	27.79	53.26
T1 (Nivel cero)	7.09	5.50	1.95	5.78	27.60	54.20
T2 (Nivel 1.5%)	7.30	5.52	2.19	6.23	27.04	52.98
T2 (Nivel 1.5%)	5.97	5.35	1.95	5.91	27.87	53.15
T2 (Nivel 1.5%)	6.38	5.33	1.39	5.67	25.86	56.03
T2 (Nivel 1.5%)	6.13	5.40	1.58	5.80	25.90	54.00
T3 (Nivel 2.0%)	7.24	4.52	1.59	5.40	27.77	54.84
T3 (Nivel 2.0%)	6.13	5.27	1.45	6.10	28.43	51.79

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

T3 (Nivel 2.0%)	5.86	5.20	1.55	6.10	26.91	54.67
T3 (Nivel 2.0%)	6.73	5.30	1.58	6.20	26.00	53.00
T4 (Nivel 2.5%)	6.24	5.11	1.16	5.73	28.00	54.11
T4 (Nivel 2.5%)	6.65	5.37	1.18	6.06	28.38	52.97
T4 (Nivel 2.5%)	6.78	5.52	1.16	6.04	27.90	53.67
T4 (Nivel 2.5%)	6.33	5.40	1.15	5.90	28.20	53.20

OBSERVACIONES:

Nombre del método:

¹ Método nro. 934.01 - Gravimétrico por estufa (AOAC, 2019).

² Método nro. 942.05 - Gravimétrico por incineración en mufla (AOAC, 2019).

³ Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction (AOCS, 2004 & ANKOM, 2021).

⁴ Método nro. 2001.11 - Método Kjeldahl (AOAC, 2019).

⁵ Método 7: Determinación de Fibra Cruda en Alimentos (ANKOM, 2021).

⁶ Extracto libre de nitrógeno: Análisis por diferencia (AOAC, 2019).

⁷ Fibra detergente neutra: Método 6: Determinación de fibra detergente neutra (ANKOM, 2021).

⁸ Fibra detergente ácida: Método 5: Determinación de fibra detergente ácida. (ANKOM, 2021).

⁹ Digestibilidad *in-vitro*: Metodo 3: In Vitro True Digestibility using the DAISYII Incubator (ANKOM, 2005).

Referencias:

ANKOM. (2005). *Method 3: In Vitro True Digestibility using the DAISYII Incubator*. ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Method 2: Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction*. ANKOM Technology. ANKOM. (2021). *Método 5: Determinación de fibra detergente ácida*. ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Método 6: Determinación de fibra detergente neutra*. ANKOM

Technology. ANKOM. (2021). *Método 7: Determinación de Fibra Cruda en Alimentos*.

ANKOM Technology.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International. AOCS. (2004). *Procedimiento official Am 5-04: Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extractio*

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUES DE MENDOZA DE AMAZONAS
LAB. DE NUTRICIÓN ANIMAL Y BRONATOLOGÍA DE ALIMENTOS

Ph.D. Ives Julian Yoplac Tafur
Responsable del LABNUT

ANEXO 5. Panel fotográfico



Fotografía 1. Ensilado en micro silos.



Fotografía 2. Suministro de lactosuero



Fotografía 3. Suministro de lactosuero



Fotografía 4. Suministro de lactosuero



Fotografía 5. Suministro de lactosuero



Fotografía 6. Llenado de ensilado por tratamiento.



Fotografía 7. Llenado de ensilado por tratamiento.



Fotografía 8. Proceso de fermentación.



Fotografía 9. Proceso de fermentación.



Fotografía 10. Proceso de fermentación.