UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Medicina Veterinaria

Tema:

EVALUACIÓN DE TRES MEZCLAS FORRAJERAS CON LA UTILIZACIÓN DE MICORRIZAS Y SU INFLUENCIA EN EL NUS Y NUL EN GANADO LECHERO

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Médico Veterinario. Otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Medicina Veterinaria.

Autoras:

Alicia Mishelle Castañeda Caicedo

Andrea Macarena López Idrovo

Tutor:

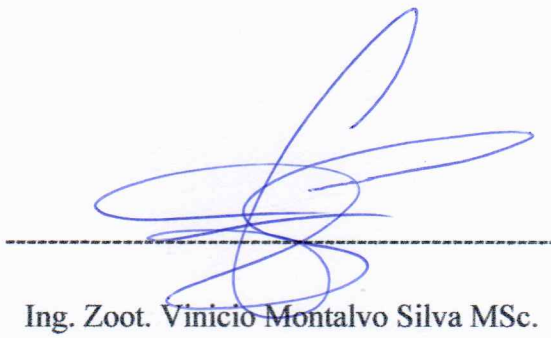
Ing. Zoot. Vinicio Montalvo Silva MSc.

Guaranda – Ecuador

2025

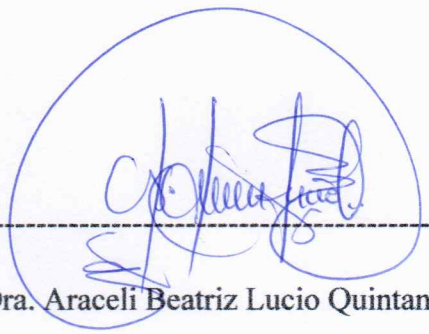
EVALUACIÓN DE TRES MEZCLAS FORRAJERAS CON LA UTILIZACIÓN DE MICORRIZAS Y SU INFLUENCIA EN EL NUS Y NUL EN GANADO LECHERO

REVISADO Y APROBADO POR:



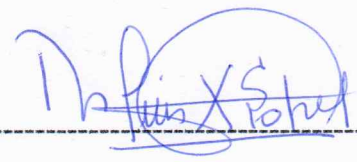
Ing. Zoot. Vinicio Montalvo Silva MSc.

TUTOR



Dra. Araceli Beatriz Lucio Quintana PhD.

PAR LECTOR



Dr. Luis Xavier Salas Mujica MSc.

PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, Castañeda Caicedo Alicia Mishelle con C.I 0202473559 y López Idrovo Andrea Macarena con CI 1850118256 declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Castañeda Caicedo Alicia Mishelle

CI. 0202473559

AUTORA

López Idrovo Andrea Macarena

CI. 1850118256

AUTORA

Ing. Zoot. Vinicio Montalvo Silva MSc.

TUTOR

NOTARIA TERCERA
Msc. Ab. Henry Rojas Narváez
GUARANDA - ECUADOR

Notaría Tercera del Cantón Guaranda
Msc.Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario

NOTARÍA TERCERA
Msc. Ab. Henry Rojas Narváez
GUARANDA - ECUADOR

rio...

N° ESCRITURA 20250201003P02303

DECLARACION JURAMENTADA

OTORGADA POR: **CASTAÑEDA CAICEDO ALICIA MISHELLE, y,**

LOPEZ IDROVO ANDREA MACARENA

INDETERMINADA DI: 2 COPIAS H.R. Factura: 001-006- 000008342

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día dos de Septiembre del dos mil veinticinco, **ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda**, comparecen **CASTAÑEDA CAICEDO ALICIA MISHELLE**, soltera de ocupación estudiante, domiciliada en la ciudadela Primero de Mayo de la parroquia Veintimilla, cantón Guaranda provincia Bolívar, con celular número (0991251052), su correo electrónico es aliciamishel9@gmail.com, y, **LOPEZ IDROVO ANDREA MACARENA**, soltera de ocupación estudiante, domiciliada en el barrio Mira Flores de la parroquia Veintimilla cantón Guaranda provincia Bolívar, con celular número (0984212823), su correo electrónico es andrelopez1223@gmail.com, por sus propios y personales derechos, obligarse a quien de conocer doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; y en cumplimiento de la Ley Notarial, la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (**LOPDP**) y su Reglamento General (**RLOPDP**), los datos personales proporcionados en este documento son autorizados por el compareciente al Notario para su uso, verificación, tratamiento y archivo, los cuales reposaran además en los libros de la Notaria Tercera del cantón Guaranda conforme lo prevé la Ley Notarial, bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertido de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declara lo siguiente manifiesto que el criterio e ideas emitidas en el presente PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, con el tema: **EVALUACIÓN DE TRES MEZCLAS FORRAJERAS CON LA UTILIZACIÓN DE MICORRIZAS Y SU INFLUENCIA EN EL NUS Y NUL EN GANADO LECHERO",** Es de nuestra exclusiva responsabilidades en calidad de autoras, previo a la obtención del título de Medicas Veterinarias de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hago para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que les fue a las comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, aquellas se ratifican y firma conmigo de todo lo cual doy Fe.

CASTAÑEDA CAICEDO ALICIA MISHELLE

C.C. 0202473559

LOPEZ IDROVO ANDREA MACARENA

C.C 1850118256

AB. HENRY ROJAS NARVAEZ

NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

C0180493

EL NOTA....

Evaluacioń de tres mezclas forrajeras con la utilizacioń de micorrizas y su influencia en el NUS y NUL en ganado lechero ....

Universidad Regional Autónoma de Los Andes

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:491143967

Fecha de entrega
3 sep 2025, 8:54 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
3 sep 2025, 9:10 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
Evaluación de tres mezclas forrajeras con la utilización de micorrizas y su influencia en el NUS y....docx

Tamaño del archivo
80.1 MB

141 páginas

30.792 palabras

158.836 caracteres

Ing. Zoot. Vinicio Montalvo Silva MSc.
TUTOR

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

8%	Fuentes de Internet
2%	Publicaciones
7%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Zoot. Vinicio Montalvo Silva MSc.
TUTOR

DEDICATORIA

Mi trabajo de investigación está dedicado con mucho amor y cariño a mi hijo Julián, mi más grande motivo, mi fuente inagotable de inspiración. Eres la luz que me impulsa a superarme, a ser mejor cada día, a no rendirme por más difícil que parezca el camino.

A Mateo, mi compañero de vida, mi roca firme en medio de las tormentas. Por caminar a mi lado con paciencia y amor.

A mis padres, que, con su amor incondicional, su guía silenciosa y su ejemplo de vida me enseñaron a luchar con firmeza y humildad.

A mis abuelos, que, con su ternura, su fe y su sabiduría sembraron en mí valores que llevaré por siempre.

A mis hermanas, que han sido mi apoyo, mis cómplices, mis amigas incondicionales.

A todos ustedes, que forman parte de mi alma y mi historia, les entrego con amor este trabajo, fruto de noches largas, sacrificios, dudas… pero también de sueños, esperanza y fe.

Andrea López Idrovo

DEDICATORIA

A ti, mi amado hijo Samuel,

Este trabajo de investigación está dedicado a ti, mi pequeño gran amor, mi inspiración constante, mi motivo para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Desde el primer instante en que llegaste a mi vida, todo cambió para siempre. Me enseñaste lo que es el amor verdadero, la entrega total, y la fuerza que solo una madre conoce cuando se trata de luchar por sus hijos.

Gracias por tu infinita paciencia y por tu compañía silenciosa pero poderosa, por estar a mi lado en jornadas largas de estudio, por acompañarme a clases, por esperarme con tus ojitos llenos de ternura y con ese abrazo que borraba todo el cansancio.

Cada página de este trabajo de investigación fue escrita con el corazón lleno de amor por ti, con el deseo firme de ser un ejemplo, de mostrarte que los sueños se alcanzan con esfuerzo, que las metas sí se cumplen cuando hay voluntad y fe.

Tus risas, tus palabras, tus dibujos mientras yo estudiaba, fueron luz en medio de mis días nublados. No sabes cuántas veces fuiste la razón por la que decidí no rendirme.

Este logro es tuyo tanto como mío. Es el reflejo de lo que el amor de una madre puede construir pensando en el futuro de su hijo, porque te mereces lo mejor y mamá te lo dará.

Gracias, Samuel, por darme la razón más hermosa para seguir creciendo y por recordarme que lo más valioso en la vida no está en los títulos, sino en el amor que nos une. Cuando seas grande y leas estas palabras, quiero que recuerdes que todo lo que hice fue por ti, y sepas que en cada paso que des, siempre estaré a tu lado, guiándote con amor. Cree en ti tanto como yo lo hago.

Con todo mi corazón, la persona que más te ama en el mundo.

Alicia Castañeda.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación no es solo el resultado de mi esfuerzo académico, sino también del apoyo incondicional, amor y presencia de las personas que han estado conmigo en cada paso del camino.

A Dios, fuente de mi fuerza, por sostenerme en mis momentos de debilidad.

A mi hijo Julián, mi más grande amor, gracias por enseñarme el verdadero significado de la fuerza. Aunque pequeño, tu presencia ha sido mi mayor motivación. Cada página de esta tesis lleva impresa tu sonrisa, tu mirada inocente y la promesa de un futuro mejor para ti. Este logro es tuyo, porque fue tu existencia la que me dio la energía para no rendirme.

A mi compañero de vida, Mateo, gracias por tu amor incansable, por ser mi mayor apoyo en los días más exigentes y por brindarme la calma. Más que un compañero, has sido el equilibrio que tanto necesitaba. Tu confianza en mí, incluso cuando yo dudaba, fue el impulso que me permitió continuar. Gracias.

A mis padres, gracias por ser la base sobre la que construí mis sueños. Su ejemplo de trabajo, esfuerzo y honestidad ha sido mi guía constante. Gracias por su apoyo silencioso, por cada palabra de aliento, por cada gesto de amor que me sostuvo en los momentos más duros. Esta meta es también de ustedes. A mis abuelos, por sus oraciones, sus abrazos llenos de fe y su cariño sincero. Sus palabras, muchas veces simples pero profundas, me dieron paz cuando más lo necesitaba. Gracias por enseñarme a valorar las cosas sencillas y a nunca olvidar de dónde vengo. A mis hermanas y sobrino, por ser mi refugio, mis confidentes. Gracias por escucharme sin juzgar, y por estar siempre dispuestas a darme ánimo. Su apoyo emocional y su compañía han sido un bálsamo en los momentos de agobio.

También agradezco a mis docentes, asesores y compañeros de formación, quienes dejaron huella en mi camino académico. Cada conocimiento compartido, cada consejo, cada corrección, contribuyó a la construcción de este trabajo. A todos los que, de una u otra forma, fueron parte de este proceso: gracias.

Andrea López Idrovo

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por ser mi guía, mi fuerza y mi refugio en cada etapa de este camino. Su presencia me dio paz, sabiduría y valor para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi hijo Samuel, gracias por ser mi mayor inspiración y dar sentido a cada esfuerzo. A mi abuelita Milita, por su amor, oraciones y enseñanzas que me acompañaron siempre. A mis padres, por su apoyo, sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la educación.

A toda mi familia y amigos, especialmente a mis tíos Mauricio y Nancy, por su compañía, consejos y cariño que fueron pilares fundamentales en este proceso. A mis hermanos Adrián y Mateo, por su amor incondicional, su comprensión y por ser mi fuerza en los momentos de debilidad.

Agradezco también a mi abuelito Efraín y a mi tía María, quienes me acompañan desde el cielo, por todo lo que me enseñaron y por ser guía espiritual en mi vida. Este logro también les pertenece.

A mi tutor Ing. Vinicio Montalvo, por su orientación y apoyo constante, finalmente a mis docentes por compartir sus conocimientos y dejar una huella en mi formación.

Este logro es el reflejo del amor, el apoyo y la fe de todos los que han estado a mi lado.

Alicia Mishelle Castañeda Caicedo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁG.
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Ganadería de leche	6
2.2. Nutrición de la vaca lactante	6
2.3. Requerimientos nutricionales de las vacas lecheras	7
2.3.3. Requerimientos de proteína	9
2.3.4. Requerimientos de carbohidratos	10
2.3.5. Requerimientos de minerales	12
2.4. Biomarcadores metabólicos de la nutrición en vacas lecheras	20
2.4.1. Nitrógeno ureico de la leche	21
2.5. Pastoreo	22
2.5.1. Pastoreo continuo	23
2.5.2. Pastoreo alterno	23
2.5.3. Pastoreo diferido	23
2.5.4. Pastoreo rotacional intensivo	23
2.6. Mezclas forrajeras	24

2.7. Micorrizas 26

2.7.1. Tipo de hongos micorriza 27

2.7.2. Bioactividades de los hongos micorrícicos 28

2.7.3. Uso de los hongos micorrícicos en el suelo 29

2.7.4. Uso de los hongos micorrícicos en la producción de forrajes 29

CAPÍTULO III 31

3. MARCO METODOLÓGICO 31

3.1. Ubicación y características de la investigación 31

- Localización del experimento . 31
- Situación geográfica y edafoclimática 31
- Zona de vida 31

3.2. Metodología 32

3.2.1. Material experimental 32

3.2.2. Factores en estudio 32

3.2.3. Tratamientos 32

3.2.4. Tipo de diseño experimental 33

3.2.5. Manejo del experimento 34

3.2.6. Métodos de evaluación 38

3.2.7. Análisis de datos 40

CAPÍTULO IV 41

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 41

4.1.1. Análisis de suelo 41

4.1.2. Bromatología 45

4.1.3. Raza 47

4.1.4. Peso 50

4.1.5. Condición corporal 53

4.1.6. Número de lactancia 56

4.1.7. Días en leche 59

4.1.8. Producción láctea 62

4.1.9. Proteína total en sangre 67

4.1.10. Proteínas totales en leche 71

4.1.11. Nitrógeno ureico en leche (NUL) 75

4.1.12. Nitrógeno ureico en sangre (NUS) 80

4.1.13. Beneficio/costo 85

4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS 87

CAPÍTULO V 88

5.1. Conclusiones 88

5.2. Recomendaciones 89

BIBLIOGRAFÍA 90

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLA

N°	DETALLE	PAG
1.	Tratamientos de la investigación	32
2.	Descripción de la unidad experimental	33
3.	Características del Análisis de varianza	33
4.	Análisis de varianza del pH, N, P y K del suelo antes y después	41
5.	Promedio del pH, N, P y K del suelo antes y después de los tratamientos	41
6.	Análisis de los componentes bromatológicos de las mezclas forrajeras	45
7.	Análisis de la raza de los animales en estudio sobre el NUL y NUS	47
8.	Análisis del peso corporal de las vacas	50
9.	Análisis de la condición corporal de los bovinos sobre el NUL y NUS	53
10.	Análisis del número de lactancias de las vacas en estudio	56
11.	Análisis de los días en leche sobre el NUL y NUS	59
12.	Análisis de estadístico de la producción láctea	62
13.	Análisis de estadístico de la producción láctea	63
14.	Análisis estadístico de la influencia de las micorrizas en la producción láctea	64
15.	Análisis de la proteína total en sangre de las vacas antes de los tratamientos.	67
16.	Análisis de la proteína total en sangre después de los tratamientos	68
17.	Análisis de la proteína en la leche de las vacas antes de los tratamientos	71
18.	Análisis de la proteína en la leche de las vacas después de los tratamientos	72
19.	Análisis del nitrógeno ureico en leche (NUL) antes	75
20.	Análisis del nitrógeno ureico en leche (NUL) después	76
21.	Influencia de las micorrizas en la concentración del NUL antes y después	77
22.	Análisis del nitrógeno ureico en sangre (NUS) antes	80
23.	Análisis del nitrógeno ureico en sangre (NUS) después	81
24.	Análisis estadístico de la influencia de las micorrizas en el NUS	82
25.	Beneficio/costo	85

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	DETALLE	PAG
1.	Resultados del pH, N, P y K del suelo antes y después de los tratamientos	42
2.	Porcentaje de los componentes bromatológicos de las mezclas forrajeras	45
3.	Resultados de las razas de los bovinos	48
4.	Resultados de los pesos de las vacas	51
5.	Resultados de la condición corporal	54
6.	Resultados del número de lactancias	57
7.	Resultados de los días en leche	60
8.	Promedios de la producción láctea	65
9.	Promedios de la proteína total en sangre	69
10.	Promedio de la proteína total en leche	73
11.	Promedios del nitrógeno ureico en leche (NUL)	78
12.	Promedios del nitrógeno ureico en sangre (NUS).	83
13.	Beneficio/costo	86

ÍNDICE DE ANEXOS

N° **DETALLE**

1. Mapa de ubicación de la investigación

2. Croquis del ensayo

3. Resultados laboratoriales

4. Base de datos

5. Fotografías de la investigación

6. Glosario de términos técnicos

RESUMEN

En la parroquia San Lorenzo del Cantón Guaranda, en la hacienda Guapungoto a una altura de 2610 msnm la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la aplicación de micorrizas en el establecimiento de tres mezclas forrajeras y su influencia sobre la concentración de nitrógeno ureico en sangre (NUS) y en leche (NUL), además, se planteó; Validar la utilización de micorrizas en diferentes tipos de pastizales. Analizar la concentración de NUL y NUS mediante exámenes de laboratorio. Determinar la relación costo / beneficio del establecimiento de tres mezclas forrajeras con la utilización de micorrizas. Se diseñó un experimento con cuatro tratamientos: un grupo testigo sin micorrizas y tres niveles de inoculación (5%, 10% y 15%), aplicados a tres mezclas forrajeras. Se utilizaron 16 vacas distribuidas equitativamente en los tratamientos, evaluando variables como: calidad nutricional del suelo, calidad bromatológica de los forrajes, raza, peso, condición corporal, número de lactancias, días en leche, producción de leche, proteína bruta en sangre y en leche, niveles de NUL y NUS, y rentabilidad económica. Los resultados evidenciaron que la inoculación micorrízica tuvo un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre el contenido de nitrógeno en el suelo sin embargo no promueve diferencias estadísticas a nivel bromatológico ni en las concentraciones de NUL y NUS, lo que indica que el metabolismo proteico de las vacas no fue alterado por los tratamientos. En términos económicos, el tratamiento con 15% de micorrizas mostró la mayor eficiencia, alcanzando un índice beneficio-costo (B/C) de 1,75, es decir se obtuvo un beneficio de $0,75 por cada dólar invertido. Por lo que consideramos prescindible fomentar la aplicación de micorrizas en mezclas forrajeras, ya que representa una estrategia agronómica sostenible y económicamente viable en sistemas pastoriles, siendo la inoculación del 15% el nivel que mejora la rentabilidad sin comprometer el bienestar metabólico de los animales.

Palabras clave: NUL, NUS, micorrizas, mezclas forrajeras, costo/beneficio.

SUMMARY

The overall objective of this research was to evaluate the application of mycorrhizae in the establishment of three forage mixtures and their influence on the concentration of urea nitrogen in blood (UNB) and milk (UMN). In addition, it sought to validate the use of mycorrhizae in different types of pastures. To analyze the concentration of NUL and NUS through laboratory tests. To determine the cost/benefit ratio of establishing three forage mixtures with the use of mycorrhizae. The study was conducted at the Guapungoto farm at an altitude of 2610 meters above sea level, located in the parish of San Lorenzo in the canton of Guaranda. An experiment was designed with four treatments: a control group without mycorrhizae and three levels of inoculation (5%, 10%, and 15%), applied to three forage mixtures. Sixteen cows were used, distributed equally among the treatments, evaluating variables such as: nutritional quality of the soil, bromatological quality of the forage, breed, weight, body condition, number of lactations, days in milk, milk production, crude protein in blood and milk, NUL and NUS levels, and economic profitability. The results showed that mycorrhizal inoculation had a significant effect ($P < 0.05$) on soil nitrogen content; however, it did not promote statistical differences in bromatological quality or in UAN and UAN concentrations, indicating that the cows' protein metabolism was not altered by the treatments. In economic terms, the treatment with 15% mycorrhizae showed the highest efficiency, reaching a benefit-cost (B/C) ratio of 1.75, i.e., a benefit of $0.75 was obtained for every dollar invested. We therefore consider it essential to promote the application of mycorrhizae in forage mixtures, as it represents a sustainable and economically viable agronomic strategy in pastoral systems, with 15% inoculation being the level that improves profitability without compromising the metabolic well-being of the animals.

Keywords: NUL, NUS, mycorrhizae, forage mixtures, cost/benefit.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial e internacional la industria ganadera representa una importante actividad en la economía de un país, permitiendo la autosuficiencia alimentaria, representando la principal fuente de ingreso y el sustento de familias que viven de las zonas rurales y relacionadas con actividades agropecuarias. La ganadería en Latinoamérica produce entre el 23% y el 11% de carne y leche respectivamente en relación con la producción mundial, por ello, se recalca la importancia de este pilar fundamental en el desarrollo sostenible incurriendo en términos de producción y consumo responsable, cuidado del clima y regeneración de la biodiversidad ambiental (Chase & Fortina, 2023).

En el Ecuador existe una producción de 4`335 924 cabezas de ganado bovino según la última encuesta de superficie y producción Agropecuaria continua (ESPAC), siendo la ganadería una actividad productiva que conforma una gran área del producto interno bruto (PIB), además, es una fuente valiosa en la generación de empleos. La provincia de Bolívar, en especial la cuidad de Guaranda se considera como un pequeño eslabón crucial en la comercialización de proteínas de origen bovino, especialmente de tipo lácteo, siendo este sector el involucrado en aproximadamente un 48% del abastecimiento de los mercados regionales, de ciudades como, San José de Chimbo, San Miguel, San Pablo, Caluma, Echeandía, etc (Duplessis & Royer, 2023).

La aplicación de técnicas empíricas en la ganadería ha provocado desequilibrios ambientales, generación excesiva de gases de efecto invernadero y un impacto económico y social negativo, sin embargo, la implementación y desarrolló de estrategias ganaderas pueden ayudar a mitigar el impacto negativo sobre el ecosistema. En la pecuaria lechera el principal objetivo es mantener animales en condiciones óptimas, tanto a nivel nutricional, sanitario y ambiental, que permitan mantener un margen productivo y económico sustentado con la producción de leche y derivados de calidad, concatenando dicha producción a factores agrícolas y ambientales como, el manejo del suelo, el buen gerenciamiento de las pasturas y su calidad nutricional que influyen directamente (Gheorghe *et al*., 2023).

La producción de leche está relacionada directamente con procesos agrícolas como el manejo eficiente del suelo, junto con procesos de renovación edafológica para la siembra de pastos y especies forrajeras para la alimentación del ganado, sin embargo, el manejo eficiente de este requiere de medidas como el aporte de compuestos nitrogenados, fosforados y nutrientes necesarios, establecimiento y la disponibilidad de forraje que satisfaga las necesidades (Bittante *et al*., 2022).

Ventajosamente los forrajes compensan el rendimiento del suelo a partir de la asistencia ecológica al conservar aproximadamente el 15% del carbono orgánico global, además, mitigan la erosión del suelo e influyen en los ciclos hidrológicos, también proporcionan el habitat adecuado para una amplia biodiversidad de especies vegetales y animales (Arjona *et al*., 2020).

En la actualidad el uso de microorganismos simbióticos en la agricultura es una alternativa para renovar las prácticas agrícolas convencionales (Lugo *et al*., 2023). Se reconoce que su aplicación se debe fundamentalmente a las funciones de estos organismos en relación con el suelo y la planta ya que puede, promover la activación de transportadores de fosfato promoviendo mayor absorción de nutrientes por las células vegetales, también, facilitan la fijación de componentes nitrogenados (NH4+, NO3–), además, activan rutas de biosíntesis de ácidos grasos, expresión de proteínas, expresión de genes relacionados con acuaporinas, enzimas antioxidantes y bioactividades que aumentan la tolerancia a la sequía, salinidad, temperaturas desfavorables y modula señales hormonales y respuestas de defensa y tolerancia al estrés por parte de la planta (Martin & van der Heijden, 2024).

Las micorrizas son de los biológicos más importantes, que participan en una relación simbiótica con las raíces de las plantas, al promover un aumento significativo en la biodisponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento, enraizamiento, procesos fotosintéticos esenciales como el nitrógeno (N), fosforo (P), calcio (Ca), azufre (S), potasio (K), hierro (Fe), etc. (Oliveira & Soares, 2024).

En ganadería de leche existen indicadores nutricionales de eficiencia dietética, donde típicamente la evaluación del nitrógeno ureico en sangre y en leche son indicadores del metabolismo proteico (Souza *et al*., 2021).

1.2. PROBLEMA

La nutrición adecuada del ganado lechero es un factor determinante en la productividad y sostenibilidad de los sistemas pecuarios en el Ecuador, especialmente en zonas altoandinas como Guapungoto, donde las condiciones edafoclimáticas limitan la calidad y disponibilidad de forraje. Los sistemas tradicionales de pastoreo, el uso de especies forrajeras poco competitivas y la escasa fertilidad de los suelos se traducen en forrajes con bajo contenido de proteína, lo cual repercute directamente sobre el metabolismo proteico de los rumiantes y a su vez reduce la eficiencia alimentaria del animal y la producción y calidad de la leche.

Una alternativa prometedora es el uso de biofertilizantes como las micorrizas, hongos simbióticos que mejoran la absorción de nutrientes del suelo, especialmente nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales para el crecimiento vegetal. Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, existe escasa evidencia científica sobre su efecto en mezclas forrajeras utilizadas en pasturas permanentes y, más aún, sobre su influencia directa en parámetros nutricionales del ganado como el nitrógeno ureico en suero (NUS) y en leche (NUL), indicadores del aprovechamiento del nitrógeno dietético y del balance proteico.

La evaluación del NUS y NUL permite determinar si el nitrógeno presente en la dieta se está utilizando eficientemente, o si, por el contrario, se está perdiendo a través de procesos como la excreción, lo que además representa un riesgo ambiental por contaminación de suelos y fuentes hídricas. En este sentido, optimizar la calidad del forraje mediante la inoculación con micorrizas en mezclas forrajeras mejora la nutrición del ganado, y posiblemente reduce la necesidad de insumos externos para contribuir a prácticas agropecuarias sostenibles.

Con estas premisas, se identificó la necesidad de investigar si la utilización de micorrizas en el establecimiento de tres mezclas forrajeras puede influir significativamente en el metabolismo de vacas lecheras, así como en los niveles de NUS y NUL como indicadores de eficiencia alimentaria, salud animal y sostenibilidad del sistema productivo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar tres mezclas forrajeras con la utilización de micorrizas y su influencia en el NUS y NUL en ganado lechero.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Validar la utilización de micorrizas en diferentes tipos de pastizales.
- Analizar la concentración de NUL y NUS mediante exámenes de laboratorio.
- Determinar la relación costo / beneficio del establecimiento de tres mezclas forrajeras con la utilización de micorrizas.

1.4. HIPÓTESIS

Ho: La utilización de micorrizas en el establecimiento de tres mezclas forrajeras y no tendrá influencia en el NUS y NUL en ganado lechero.

Ha: La utilización de micorrizas en el establecimiento de tres mezclas forrajeras y tendrá influencia en el NUS y NUL en ganado lechero.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ganadería de leche

La población bovina en el mundo es de 270 millones de vacas lecheras, con una producción estimada de 2600 litros/vaca/año según los datos de FAOSTAT en el 2018, la industria láctea tiene como enfoque garantizar la seguridad alimentaria a través de una mayor rentabilidad con un enfoque de sostenibilidad, impartiendo desde sus comienzos con la generación de alrededor de 1200 razas de bovinos, con características distintivas en la parte fenotípica y productiva (Brito *et al*., 2021).

La producción de leche es el sector productivo que contribuye significativamente en el desarrollo de una región, ya que impacta profundamente en la autosufiencia y a la generación de fuentes de empleo y capital. Además, la práctica de producción láctea y productos derivados a cubierto las necesidades alimenticias y nutricionales de la humanidad, aunque, actualmente el rendimiento y eficiencia de las granjas lecheras ha aumentado a través del desarrollo e implementación de herramientas de medición e innovación desde la agricultura en la producción de materias primas y alimento (Gheorghe *et al*., 2023).

2.2. Nutrición de la vaca lactante

La nutrición de la vaca es un pilar fundamental en la rentabilidad de un hato lechero, está directamente relacionado con el rendimiento en cuanto a salud, fertilidad y productividad. El abordaje nutricional de las vacas lecheras principalmente se enfoca en dos dominios metabólicos, los cuales son, el metabolismo microbiano en el rumen y el metabolismo tisular, significativamente del hígado y la glándula mamaria para cubrir con los procesos bioquímicos indispensables para producir leche, mantenerse saludable y preñarse a tiempo (Petrovski *et al*., 2022).

La nutrición de las vacas lecheras en los últimos 25 años experimentado un aumento por lo que el consumo de materia seca (CMS) aumentado para lograr satisfacer la demanda de nutriente (Hristov *et al*., 2022).

La alimentación del ganado de leche se centra en el suministro de alimento y forraje de alta calidad que aseguren una mayor producción por ende una buena

rentabilidad, la alimentación de la vaca lactante está considerada que represente entre el 60% - 70% de los costos totales de la producción, además, la alimentación adecuada de la vaca garantiza la expresión del potencial genético, lo que resulta ventajoso para la sostenibilidad y rentabilidad (Nimbalkar *et al*., 2021).

2.3. Requerimientos nutricionales de las vacas lecheras

Los requerimientos nutricionales de las vacas lecheras, esencialmente corresponde a la cantidad necesaria de nutrientes que se deben administrar y en consecuencia debe ser consumido por el animal diariamente, cuya finalidad es cubrir las necesidades de una vaca sana para su mantenimiento vital, crecimiento, reproducción y lactancia sin repercusiones en las reservas corporales o estatus fisiológico, basándose en factores inherentes del organismo y condiciones ambientales que propician dicha necesidad nutricional (Moshkina *et al*., 2021).

2.3.1. Requerimientos de energía

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Energía metabolizable para mantenimiento	Mcal/kg^{0,75}/día	0.15
Energía metabolizable para lactancia	Mcal/kg^{0,75}/día	0.66
Energía neta de lactancia	Mcal/kg^{0,75}/día	0.10

Tomado de NASEM (2021)

Los requerimientos energéticos para el mantenimiento y la producción de leche se expresan en unidades de energía metabolizable para el mantenimiento (EM) y la lactancia y energía neta para la lactancia (ENL) (Albornoz *et al*., 2023).

La energía es un parámetro importante que influye directamente sobre el estatus nutricional, la digestibilidad de otros nutrientes, el nivel de producción, la condición corporal de las vacas y el peso corporal, determinando que la sobreestimación o subestimación de la energía podría causar un aumento o disminución respectivamente en la condición corporal y el peso, ya que cada unidad de condición

corporal se asocia con un cambio en el peso corporal de aproximadamente el 14 %, o aproximadamente 80 kg para una vaca Holstein típica (Sacramento *et al*., 2024).

Considerando que la condición corporal y peso vivo tienen relación directa con procesos fisiológicos y bioquímicos de importancia, como la movilización de reservar corporales, la resistencia a la insulina, la teoría de la oxidación hepática, etc., por lo que es imprescindible un adecuado suministro de energía en base a los requerimientos (Carroll *et al.,* 2025).

En cuanto a la eficiencia energética se debe saber que aproximadamente el 66% de la energía metabolizable que llega a la glándula mamaria se convierte en energía líquida para producir leche, además, el 74% de la energía disponible (energía metabolizable) puede retenerse como reserva corporal, y a su vez, el 89% de la energía contenida en las reservas corporales o energía retenida, se convierte en energía liquida para lactancia, la cual pasa por un proceso metabólico en el hígado y el tejido secretor mamaria (Hall, 2023).

2.3.2. Requerimientos de grasa

Los ácidos grasos (AG) esterificados de la dieta son hidrolizados rápidamente por microorganismos lipolíticos dentro del rumen para producir AG libres. Tras la hidrólisis, las bacterias ruminales pueden hidrogenar los AG insaturados individuales. Se fundamenta en compuestos dietéticos que son predominantemente ácidos grasos (AG), incluyendo triglicéridos (TG), fosfolípidos, galactolípidos, AG no esterificados y sales de AG. La estructura principal de glicerol en los TG y algunos fosfolípidos es nutricionalmente equivalente a un carbohidrato, al igual que las fracciones de azúcar en los galactolípidos (Sun *et al.,* 2023).

La grasa se suele suministrar para aumentar la densidad energética de la dieta, y los AG de cadena larga son la fracción más rica en energía de las grasas. Los principales AG dietéticos son los AG saturados de 16 y 18 carbonos, el ácido palmítico (C16:0), el ácido esteárico (C18:0), así como los AG insaturados de 18 carbonos con dobles enlaces cis: un doble enlace simple en el carbono 9 (ácido oleico, C18:1 cis-9), dobles enlaces en las posiciones 9 y 12 (ácido linoleico, C18:2 cis-9, 12), o dobles enlaces en las posiciones 9, 12 y 15 (la forma "alfa" del ácido linolénico, C18:3 cis-9, 12, 15) (Bales & Lock , 2024).

Además de aumentar la densidad energética de la dieta, la suplementación con grasa también puede aumentar la absorción de nutrientes liposolubles y proporcionar ácidos grasos esenciales. En general, no se recomiendan dietas con un contenido total de ácidos grasos superior al 7 % de MS, ya que pueden provocar acidosis, trastornos ruminales y menor eficiencia alimentaria (Dewanckele *et al*., 2020).

2.3.3. Requerimientos de proteína

Parámetro	Unidad	Vaca primípara (570 kg de P.V.)	Vaca madura multípara (700 kg de P.V.)
		Pico de producción (150 días en lactancia)	Pico de producción (100 días en lactancia)
Proteína cruda	% de la MS de la dieta	16.0	17.4
Proteína Metabolizable	% de la MS de la dieta	9.8	10.2
Proteína degradable en rumen (PDR)	% de la MS de la dieta	10.0	10.0
Proteína no degradable en rumen (PDR)	% de la MS de la dieta	7.0	7.4

Tomado de: NASEM (2021)

Las vacas con un buen rendimiento productivo de leche deben consumir entre 12% y 18% de proteína cruda de la materia seca total ingerida, los requerimientos de proteína se analizan en base a la proteína metabolizable, sin embargo, existen requerimientos de proteína degradable en rumen (PDR), proteína no degradable en rumen (PNDR) que también es llamada proteína pasante o proteína "by-pass" (Melo & Soares, 2023).

- **Proteína Digestible en el Rumen (PDR):** La PDR se refiere a la proteína que es digerida en el rumen indispensable para la síntesis de proteínas microbiana. El requerimiento de PDR para vacas lecheras es variable, requerido entre 50% y 60% de la proteína metabolizable total, en donde los principales factores que influyen en este parámetro son: el balance adecuado entre energía y proteína es clave ya

que un desequilibrio reduce la eficiencia de uso de los nutrientes y, por tanto, el PDR. (Marcondes *et al*., 2023).

- **Proteína no digestible en el rumen (PNDR):** La PNDR se refiere a la proteína que no se digiere en el rumen, esta fracción proteica también es denominada "proteína pasante" cuya digestión y absorción principalmente ocurre en el intestino delgado. El requerimiento de PNDR para vacas lecheras es comprendido entre el 40% al 50% de la proteína metabolizable total. Es importante reconocer que los requerimientos de proteína pueden diferir del estatus fisiológico de la vaca, así como, de la raza, la edad, el número de partos, el nivel de producción (Hanigan *et al*., 2021).

2.3.4. Requerimientos de carbohidratos

Mínimo de % FDNf	Mínimo de % FDN total	Máximo de % almidón
19	25	30
18	27	28
17	29	26
16	31	24
15	33	22

Tomado de: NASEM (2021)

Los carbohidratos son los nutrientes más importantes en la alimentación de vacas lecheras, ya que son la principal fuente de energía para el animal, estos representan alrededor del 60 al 70% de la dieta, es decir de todo lo que come una vaca lechera entre el 60% al 70% son carbohidratos, ya sea en fracciones fibrosas y no fibrosas. En los alimentos se pueden determinar desde polímeros hasta azucares simples (Oba & Kammes-Main, 2023).

Los carbohidratos, son el substrato principal en la inactividad de los microorganismos ruminales, ya que a partir de estos se produce los ácidos grasos volátiles (AGVs), proteína microbiana, siendo los de tipo fibroso los que previenen alteraciones metabólicas como la acidosis ruminal, además, son los principales involucrados en la regulación física del consumo (Oba & Kammes-Main, 2023).

Los carbohidratos fibrosos se clasifican según la solubilidad de la fibra, siendo principalmente fibra soluble en detergente neutro o FDN y fibra soluble en detergente ácido o FDA. Estos carbohidratos poseen limitación en la digestibilidad y dependen directamente de fermentación de bacterias celulolíticas a nivel ruminal (Mulakala *et al*.,2022).

la FDN estructuralmente hace referencia a los carbohidratos relacionados con la conformación de la pared celular del alimento, reconociéndose a la celulosa, hemicelulosa y lignina, mientras que los de la FDA igualmente conforman la pared celular, sin embargo, en esta clasificación solamente se engloba a la celulosa y la lignina, a pesar de que esta última porción sea un polímero de tipo fenólico que no posea valor nutricional (Whelan *et al*., 2014).

Los carbohidratos fibrosos en la nutrición de vacas en lactancia estimulan la rumia, promueven la secreción de bicarbonato (NaHCO3) de la saliva y en el rumen y definen la capacidad de consumo, ya que estos pueden limitar dicho valor a causa de las características físicas de la propia fibra, considerando que esta promueve el relleno ruminal, dicho acontecimiento provoca la despolarización de los mecanoreceptores ruminales los cuales a su vez causan estímulos en el centro de saciedad en el hipotálamo induciendo a que la vaca disminuya o cese su consumo de alimento (Mulakala *et al*.,2022).

Nutricionalmente la mayor fuente de FDN son los forrajes (FDNf), sin embargo, este nutriente también se encuentra en los subproductos que componen un concentrado, los cuales presentan FDN pero que no es físicamente efectivo, y no tiene la capacidad de regular la actividad ruminal, por lo tanto, el FDN del forraje (FDNf), es una fuente fibrosa indispensable para la modulación de la función ruminal, este debe estar presente en un 19% a 25% de la materia seca total que consuma una vaca lechera, y se debe correlacionar con el FDN total de la dieta, el cual varía de 25% a 33% de la materia seca total de la dieta (Miller *et al*., 2021).

Los carbohidratos no fibrosos (CNF), son primordialmente el contenido celular de la planta, estos poseen un coeficiente de digestibilidad alto, a diferencia de los fibrosos, estos carbohidratos no limitan el consumo físicamente, sin embargo, pueden desencadenar regulaciones químicas, en esta clasificación se encuentra

elementos como el almidón, la pectina, los betaglucanos, azucares simples, oligosacáridos, etc. Su alta fermentabilidad influye incluso en la producción de proteína microbiana y de otros nutrientes, Además esta particularidad puede ocasionar acidosis cuando su suministre es sobreestimado (Brito *et al*., 2021).

Dentro del conjunto de elementos que conforman la fracción de carbohidratos no fibrosos (CNF) el 80% es almidón, por ello se relaciona a este como elemento principal en el ajuste nutricional y balanceo de dietas en vacas lecheras, sin embargo, el 20% restante son azucares simples, polímeros, ácidos orgánicos, etc., actualmente se le llama como materia orgánica residual (MOR) al compilado de elementos nutricionales requeridos para satisfacer las demandas energéticas de las vacas lecheras en lactancia (Hanlon *et al*., 2020).

Los concentrados generalmente son a base de maíz y otros cereales como trigo, cebada, avena, sorgo, etc., cuya cantidad de almidón es alta, interpretándose que el almidón contiene polímeros (amilosa y amilopectina) de unidades de glucosa unidas por enlaces que pueden ser escindidos por enzimas de mamíferos, que al pasar por procesos digestivos estos se convierten en glucosa o una fuente catabólica de energía como el ATP (Krogstad & Bradford , 2023)

Las vacas por características digestivas inherentes de la especie requieren de una fuente fibrosa para mantener su salud ruminal, sin embargo, los forrajes no suelen cubrir con las necesidades energéticas requeridas por el animal, de tal modo, es prescindible suministrar una fuente energética a base de elementos concentrados, por lo que actualmente se determina una estrecha relación entre el FDN y el almidón de las dietas de vacas lecheras (Oba & Kammes-Main, 2023).

2.3.5. Requerimientos de minerales

Los minerales son elementos inorgánicos fundamentales en la nutrición de vacas lecheras, aunque sean micronutrientes a comparación de los niveles requeridos de otros nutrientes, estos desempeñan papeles absolutamente importantes y críticos en una gran variedad de procesos biológicos, como el mantenimiento de la homeorresis, la formación de tejido, como el tejido óseo, la transmisión de impulsos nerviosos, coagulación sanguínea, la actividad muscular, tanto del musculo liso como estriado, diversas actividades celulares, señalización enzimática, procesos

inmunitarios, procesos bioquímicos, intercambio gaseoso, equilibrio acido-base, equilibrio electrolítico, producción, reproducción etc. principalmente se reconocen dos grupos, los macrominerales y microminerales, los cuales difieren del nivel de requerimiento por parte del animal (Weiss & Hansen , 2024).

- **Macrominerales:** Son los elementos minerales requeridos en cantidades relativamente grandes por el animal, su participación en procesos biológicos, dentro de estos se reconocen; calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), Sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), azufre (S) (Castro *et al*., 2019).

2.3.5.1. Calcio (Ca)

El calcio es uno de los principales macrominerales y está relacionado principalmente por la conformación de los huesos en conjunto con otros minerales, encontrándose el 98% del calcio total conformando los huesos, el 2% restante se encuentra biodisponible en forma ionizada en el plasma sanguíneo para su actividad diana, con una concentración de 2,2 a 2,5 mM (9 a 10 mg/dL) en la vaca adulta, con valores ligeramente superiores (Oliveira & Soares, 2024).

El flujo nutricional de calcio debe mantenerse constante ya que sus desbalances ocasionan alteraciones metabólicas, principalmente cuando la pérdida de calcio es mayor que la entrada, puede acontecer hipocalcemia en el postparto inmediato, los requerimientos del estado fisiológico del animal, reconociéndose requerimientos para mantenimiento, crecimiento, gestación y lactancia (Wang *et al*., 2020).

Las cantidades de calcio necesarias para el mantenimiento vital para ara una novilla en crecimiento con un peso promedio de 300 kg, para una vaca seca, y para una vaca en lactancia con un peso aproximado de 700kg las cantidades de calcio que debe suministrarse de 6,3, 11,7 y 22,5 g/día (Nikkhah & Alimirzaei, 2023).

Para cubrir las necesidades de calcio en animales en crecimiento las cantidades se basan en un requerimiento definido por unidad de ganancia de peso corporal, ya que conforme este parámetro aumenta el calcio dietético debe disminuir, considerándose cantidades de 71 g de Ca/kg de ganancia de proteína corporal en promedio, pudiendo ser un requerimiento de hasta 114 g de Ca/kg (NASEM 2021)

Para la gestación es importante reconocer que el feto aumenta significativamente las necesidades de calcio en el último trimestre gestacional cuando las estructuras óseas se calcifican y una parte de la actividad metabólica se activa, las cantidades definidas para la gestación pueden superar los 10 g/día (Weiss & Hansen , 2024).

Los requerimientos para la producción de leche la cantidad es variable y dependerá de factores relacionados al animal, definiéndose que para una vaca adulta de la raza Holstein son de 1,22 g de Ca/kg de leche, y de 1,45 g de Ca/kg de leche para vacas Jersey y 1,37 g de Ca/kg de leche (Vieira-Neto *et al.,* 2024).

Es destacable mencionar que nutricionalmente la inclusión de calcio en la dieta no debe superar el 1.5% de la materia seca total de la dieta, para evitar alteraciones en la absorción de otros elementos como el zinc (Zn) y el selenio (Se) y manifestaciones toxicológicas (Van, 2023).

2.3.5.2. Fósforo (P)

Es un elemento relacionado con una gran cantidad de funciones biológicas conocidas, ya sea solo o en conformación con otros elementos, clásicamente el calcio (Ca), este elemento está involucrado en la generación de energía de casi todas las células de la vaca, a partir de transacciones energéticas donde es necesario la formación o ruptura de enlaces de fosfato de alta energía como los del ATP. Además, participa en la fosforilación de procesos enzimáticos, en el mantenimiento del equilibrio ácido-base y la conformación de la membrana celular, La concentración normal de fósforo en el plasma sanguíneo de los animales lecheros es de 1,3 a 2,6 mmol/L (4 a 8 mg/dL.) (Oliveira & Soares, 2024).

Los microrganismos ruminales requieren de fosforo para ciertos procesos fermentativos, estudios revelan que un aporte inadecuado de fosforo en la dieta disminuye la digestibilidad ruminal de la fibra, por lo que este mineral limitaría la digestión de otros nutrientes y impactaría en la energía (Grunberg, 2023).

Los requerimientos se basan en condiciones de mantenimiento, crecimiento gestación y lactancia. El requerimiento del fósforo para el mantenimiento vital se determina por adición de la pérdida fecal endógena y la pérdida urinaria endógena, fijando en 0,6 mg de fósforo absorbido/kg de peso corporal, y la pérdida fecal endógena se estima en función al consumo de materia seca, reconociendo un

requerimiento que varía ente 0,95 y 1,4 g de P/kg de CMS con una media corregida de 1 g de P absorbido/kg CMS) (Malafaia *et al*., 2023).

Los requerimientos de fósforo para la etapa de crecimiento representan una mayor proporción de la ganancia de peso vivo en novillas jóvenes que en novillas mayores, por lo tanto, la cantidad de P requeridos por kilogramo de crecimiento son mayores en los animales más jóvenes. Estableciéndose en 3.9 g/100 g de proteína retenida. Los requerimientos de fósforo en la gestación son relativamente minúsculos, los cuales se incrementan significativamente en el último tercio gestacional, en donde existe un índice de agregación de fósforo en el feto de 1,7 g/día a los 190 días de gestación a 5,4 g/día a los 280 días (Grunberg, 2023).

En promedio el fósforo debe incluirse en la dieta en un valor de 0,90 g/kg de leche para vacas de alta producción, sin embargo, este valor puede estimarse a partir de la determinación de la proteína de la leche ya que las concentraciones de proteína y fósforo en la leche están correlacionadas, con un promedio de proteína verdadera en la leche del 3,1 %, se obtiene una concentración estimada de 0,88 g/L. Sin embargo, es admisible un nivel máximo de 0,7 % de la materia seca total de la dieta (Chase & Fortina, 2023).

2.3.5.3. Magnesio (Mg)

Este elemento es considerado un señalador principal que cumple el rol de cofactor de casi todas las rutas metabólicas, su forma extracelular es fundamental para la transmisión de la conducción nerviosa, la subnutrición de este elemento provoca reducción en la liberación de la parathormona, incrementando los desbalances en otros elementos como el calcio. La concentración plasmática de Mg en vacas se encuentra normalmente entre 0,75 y 1,0 mmol/L (1,8 y 2,4 mg/dL), En una vaca adulta, entre el 60 % y el 70 % del Mg corporal se encuentra en el hueso (200 a 250 g (Weiss & Hansen , 2024).

Requerimientos de mantenimiento vital: estos requerimientos se basan en los niveles de excreción tanto fecal como urinaria, definiendo que la pérdida fecal de Mg endógeno se fijó en 0,3 g Mg/kg de CMS, y la pérdida urinaria en vacas lecheras adultas fue de aproximadamente 0,0007 g Mg/kg de peso (Wagner *et al*., 2023).

Requerimiento para el crecimiento: en hembras jóvenes, se ah determinado que el magnesio (Mg) tiende a disminuir de 0,65 g/kg de peso vivo al nacimiento a 0,2 g/kg a cuando ajustan un 75% aproximadamente (Back & Hall, 2023).

Requerimientos en la gestación: durante la gestación los requerimientos de magnesio (Mg) se incrementa significativa a partir del último tercio, en donde se ha observado que para el mantenimiento y término de una gestación exitosa se requiere de 0,18 g/día en animales de raza Holstein desde el día 190 hasta el final de la gestación. Sin embargo, estudios han demostrado que 0,3 g/día pueden cumplir con los requerimientos de feto, y promueve un ajuste del requerimiento materno para evitar impactos de hipomagnesemias al parto (Spears *et al*., 2022).

Requerimientos para la lactancia: los requerimientos de este mineral para la lactancia dependen en gran medida por las pérdidas en la leche y calostro, siendo, 0,11 g y 0,38 g de Mg/litro, por su limitado nivel de reservas de magnesio, las dietas del preparto inmediato deben suplir esta necesidad. El ganado puede excretar grandes cantidades de Mg en la orina, por lo que la toxicidad por Mg no es un problema práctico en el ganado lechero. Aunque se ha establecido una LMT del 0,6 % de la materia seca total de la dieta, dependiendo en gran parte del requerimiento particular (Back & Hall, 2023).

2.3.5.4. Iones fuertes: Sodio (Na), Cloro (Cl), Potasio (K)

Son elementos importantes asociados al mantenimiento del equilibrio electrolítico como osmorreguladores, atrayendo distribuciones diferenciadas de agua a los diversos compartimentos orgánicos, además, actúan directamente sobre la actividad celular en los cambios de voltaje de la membrana celular, nutricionalmente son los principales involucrados en las diferencias de iones (Edwards & Renaud, 2025).

Las porciones de cada elemento en el organismo y el plasma son independiente y puede variar entre animales, condiciones ambientales, balance hidroelectrolítico. detallándose las concentraciones a continuación. Las concentraciones típicas de sodio en el plasma sanguíneo son de 150 mEq/L y de 160 a 180 mEq/L en la saliva. El sodio es el catión predominante en el líquido ruminal, con un contenido típico de 80 a 90 mEq/L, pero el rango puede variar de 50 a 140 mEq/L (Palomares, 2022).

Las concentraciones típicas de (Cl^-) oscilan entre 90 y 110 mEq/L en el plasma sanguíneo y entre 10 y 30 mEq/L en el líquido ruminal. La concentración de Cl^- en el ganado bovino se estimó entre 1,2 y 1,4 g/kg en un rango de 100 a 500 kg de peso corporal vacío, el cual está vinculado con procesos de homeostasis en la vaca lechera (Edwards & Renaud, 2025).

- **Requerimiento de iones fuertes en vacas en lactancia**

Elemento	Requerimiento de crecimiento	Requerimiento de gestación	Requerimiento de lactancia
Sodio (Na)	1,4 g/kg de GDP, animales de 150 kg a 500kg	1,4 g/día × (peso corporal / 715) de 190 a los 270 días de gestación	0,4 g/kg de leche producido
Cloro (Cl)	1,0 g Cl/kg de GMD, animales de 150 kg a 500kg	Para la gestación desde los 190 días de gestación hasta el parto se estableció en 1,0 g/día × P.V.	1,0 g Cl/kg de leche producida.
Potasio (K)	2,5 g K/kg de GMD, en animales de 150kg a 500kg	Para la gestación desde los 190 días de gestación, hasta el día del parto se estableció en 1,03 g/d × P.V.	1,5 g/kg de leche de leche producida.

Tomado de: NASEM (2021).

El Potasio (K) es el principal elemento intracelular y presenta concentraciones que oscilan entre 150 y 155 mEq/L. A diferencia del sodio y el clor, las concentraciones extracelulares de potasio son bajas (alrededor de 5 mEq/L). Las concentraciones en el líquido ruminal oscilan entre 40 y 100 mEq/L. El plasma sanguíneo contiene de 5 a 10 mEq/L (Back & Hall, 2023).

Los iones fuertes como el sodio (Na^+), potasio (K^+), cloruro (Cl^-), desempeñan un papel crucial en la fisiología de las vacas lecheras durante todas las fases productivas, ya que participan activamente en la regulación del equilibrio ácido-base, la presión osmótica, la transmisión nerviosa, la contracción muscular y la actividad enzimática, funciones cardiacas y renales importantes (Spears *et al*., 2022).

Estos elementos no solo son esenciales para el mantenimiento de funciones vitales, sino que también influyen directamente en la salud metabólica y en el rendimiento productivo, particularmente mediante el manejo del diferencial catión-anión fuerte (DCAD), una estrategia nutricional clave para prevenir trastornos como la hipocalcemia en el preparto y mejorar la producción láctea y el consumo de materia seca en el posparto, digestibilidad y balance de procesos metabólicos a nivel ruminal (Erdman *et al,.* 2021).

2.3.5.5. Azufre

Es un elemento fundamental en la nutrición cuyo estatus en el organismo es de 0,15% y se encuentra en; aminoácidos sulfurados, ácido aminosulfónico, taurina, conformante de la tiamina, biotina y otros componentes estructurales con importante actividad biológica, incluyendo actividades metabólicas de los microorganismos ruminales, en contexto, el requerimiento dietético de S por parte de la vaca se centra principalmente en proporcionar el sustrato adecuado para asegurar la máxima síntesis de proteína microbiana, lo que a su vez aumentará el suministro de los compuestos que contienen S que requieren las vacas. El requerimiento de azufre para el ganado lechero es del 0,2 % de la MS total de la dieta o azufre total (Apízar , 2023).

2.3.5.6. Microminerales

Mineral	Requerimiento	Función
Cromo (Cr)	0,01 mg Cr/kg de peso corporal (~6 mg/día)	El Cr es un mineral relacionado con los receptores celulares de la insulina.
Cobalto (Co)	0,2 mg Co/kg de materia seca total de la dieta	El Co es un precursor para la síntesis de vitamina B12 (cobalamina) en el rumen.
Cobre (Cu)	11 mg de Cu/kg de materia seca total de la dieta	El Cu es un elemento fundamental en la respiración aeróbica a partir de la síntesis de sustancias como la citocromo c oxidasa, la lisil oxidasa y la tirosinasa, además, a síntesis de hemoglobina y participa en el metabolismo del hierro
Yodo (I)	0,1 mg/L de leche.	El yodo regula la síntesis de las hormonas tiroideas tiroxina (T4) y triyodotironina (T3), que regulan el metabolismo energético
Hierro (Fe)	20 mg de Fe/kg de MS	El hierro es esencial para la síntesis de hemoglobina involucrada en el transporte de oxígeno, también en la inmunidad, transporte de electrones, metabolismo energético y regulación genética.
Manganeso (Mn)	27 mg de Mn/kg.	El Mn, se relación con diversas enzimas y otras proteínas necesarias para el metabolismo normal de los aminoácidos
Selenio (Se)	0,3 mg/kg de MS	La única función nutricional conocida del Se es como componente de selenoproteínas específicas.
Zinc (Zn)	57-66 mg/kg de MS	El Zn participa en el metabolismo de macronutrientes, numerosos aspectos del sistema inmunitario, la regulación génica, la regulación hormonal, la neurotransmisión y la apoptosis.
Arsénico (As)	30 mg/kg de MS	Si superan el nivel recomendado termina siendo tóxico.
Níquel (Ni)	Max 100 mg/kg MS	Indispensable como cofactor para algunas formas de ureasa.
Vanadio (V)	Max 0,04 mg/kg de PV	Puede ayudar al metabolismo de la glucosa.

Tomado de: NASEM (2021).

Son conocidos como oligoelementos, sus requerimientos son importantes, la única diferencia que su efectividad radica en necesidades pequeñas, y se relacionan con actividades como la estructuración, funciones enzimáticas, inmunológicas, transporte de gases, funciones metabólicas, funciones antioxidantes, como parte de la estructura de algunas hormonas, etc. (Oliveira & Soares, 2024).

En este grupo encontramos a minerales como; el cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se), zinc (Zn), argón (Ar), molibdeno (Mo), níquel (Ni), vanadio (Vn). Es importante mantener un nivel de suplementación adecuada de estos minerales, ya que su déficit o exceso puede causar complicaciones sanitarias de tipo nutricional en las vacas lecheras (Arthington & Ranches, 2021).

Su déficit como su exceso pueden provocar trastornos sanitarios de tipo nutricional, la deficiencia de selenio y vitamina E puede causar miopatía nutricional, mientras que un exceso de cobre podría resultar tóxico y generar daño hepático. Por ello, la formulación de dietas debe estar basada en análisis precisos de los requerimientos y las condiciones específicas del rebaño, así como del contenido mineral del forraje y el agua de bebida (Duplessis & Royer, 2023)

Los microminerales desempeñan un papel fundamental en la salud y productividad de las vacas lecheras, influyendo en múltiples procesos fisiológicos a lo largo de sus distintas fases productivas. Elementos como el zinc, selenio, cobre, manganeso, yodo y cobalto son esenciales para el funcionamiento adecuado del sistema inmunológico, la síntesis hormonal, la reproducción, el metabolismo energético y la integridad estructural de la piel, pezuñas y tejidos, interviniendo en procesos vitales de suma importancia como la gestación (Arthington & Ranches, 2021).

2.4. Biomarcadores metabólicos de la nutrición en vacas lecheras

Los metabolitos presentes en la leche, aunque constituyen una fracción menor de su composición, pueden verse alterados por factores como el consumo de materia seca, la formulación de la ración y el perfil nutricional de los ingredientes dietéticos. Estos compuestos ofrecen un valor diagnóstico, ya que pueden ser utilizados como biomarcadores para evaluar el estado nutricional del animal y el funcionamiento metabólico de la glándula mamaria (Zhao *et al*., 2025).

2.4.1. Nitrógeno ureico de la leche

El nitrógeno ureico en leche (NUL), aunque representa una fracción menor de los componentes lácteos, se ha consolidado como una herramienta eficaz y económicamente accesible para identificar desbalances nutricionales en bovinos lecheros. Diversas investigaciones han señalado que tanto el consumo de proteína y energía como su adecuada sincronización en el rumen son determinantes fundamentales en los niveles de NUL (Zhao *et al*., 2025).

En este sentido, su cuantificación ofrece un valioso indicador para optimizar la estrategia nutricional del rebaño. Sin embargo, concentraciones excesivamente elevadas o reducidas de NUL resultan perjudiciales, ya que pueden comprometer la salud, la eficiencia en la utilización del nitrógeno y el desempeño reproductivo de las vacas lecheras (Zhao *et al*., 2025).

La fracción proteica del forraje influye en la proteína de la leche, sin embargo, dietas con un desequilibrio entre este nutriente provoca un mayor desperdicio de nitrógeno, ya que aproximadamente el 70% del nitrógeno es excretado en la orina y heces, y menos el 30% restante de nitrógeno se excreta en la leche, fisiológicamente el nitrógeno es absorbido en la sangre por medio de la difusión simple gracias al trasporte activo de amoníaco que atraviesa la pared del rumen, también ingreso por un trasporte de aminoácidos y péptidos en el intestino delgado, además, dichos elementos en exceso son absorbidos por el organismo, sin embargo, estos no son utilizados para la producción de leche, pero estos pueden ser metabolizados en el hígado para convertir el nitrógeno en urea (Bittante, 2022).

La formulación de las dietas de vacas lechera no es la adecuada podemos estar sobrealimentado los requerimientos nutricionales, en este caso sobrepasando los requerimiento de la proteína cruda (PC) lo que conlleva al incremento de los costos de alimentación y causar problemas ambientales, una importante fracción del nitrógeno se desperdicia por medio de las heces y la orina, ya que, la urea por sus propiedades químicas es una molécula neutra pequeña, que se difunde fácilmente por medio de las membras celulares, por tal motivo el nitrógeno ureico en leche (NUL) mantiene un fuerte correlación con el nitrógeno ureico en sangre (NUS) (Bittante, 2022).

El nitrógeno ureico en leche es catalogado como un componente traza en la leche, ya que, refleja los niveles de urea en la sangre, además, no solo está relacionado con la eficiencia en el metabolismo del nitrógeno en las vacas, si no que está vinculado con las emisiones de nitrógeno resultantes del exceso de secreción de urea, correspondiendo a niveles elevados de nitrógeno ureico en sangre (BUM) y el nitrógeno ureico en leche (MUN), siendo este último un fuerte predictor relacionado con los costros de producción (Portnoy *et al*., 2021).

La principal funcionalidad del MUN es reconocida como mensajero o indicador para identificar posibles problemas relacionados con el estatus nutricional de la vaca lechera, tanto la cantidad elevada como la disminución indican problemas en el metabolismo, ya que está relacionada con un desequilibrio entre los carbohidratos de la dieta y las fuentes de nitrógeno. En la actualidad hay varias formas de medir cuantitativamente el nitrógeno ureico en leche (MUN), de los cuales se destaca métodos enzimáticos, espectroscopía, diacetilo, cromatografía de gases y biosensores, sin embargo, cada uno con procedimiento específicos dentro de cada metodología, han demostrados ser eficaces para determinar la concentración del nitrógeno ureico en leche (Langenfeld *et al*., 2021).

2.5. Pastoreo

El sistema de alimentación a pastoreo en el ganado bovino está íntimamente relacionado con la planta-animal, el cual es parte de un sistema ecológico en que el flujo de energía fotosintética pasa de la planta al animal y de allí regresa al suelo en forma de heces y orina, los forrajes proporcionan al bovino energía, proteína, minerales y vitaminas (Arthington & Ranches, 2021).

Este sistema de producción se ha considerado en regiones templadas como en el noroeste de Europa, Nueva Zelanda, sur de Latinoamérica, que consiste en proporcionar el pasto fresco a los animales, sin embargo, la producción de materia seca de los pastos está en dependencia de factores; humedad, edáficos, climático, tipo de fertilización, la composición y mezclas forrajeras (Rivero *et al*., 2021).

El pasto es una fuente de nutriente más económico de las vacas lecheras, con un buen manejo agronómico su valor nutricional es superior, las vacas lecheras en lactancia representan uno de los mayores desafíos para el ganadero, ya que las vacas

de alto rendimiento requieren pastos con un manejo más intensivo para mantener o aumentar la producción de leche (Raynor *et al*., 2021).

2.5.1. Pastoreo continuo

Este sistema de pastoreo tiene la característica de que el animal permanece todo el tiempo en el mismo potrero, considerando una alta selección, es decir que los animales seleccionaran las plantas más palatables como los forrajes más suculentos, esta acción permite la defoliación de los rebrotes sin permitir que se realice un rebrote adecuado y el potrero pierda forraje adecuados (Huertas *et al*., 2021).

2.5.2. Pastoreo alterno

Es considerado como un pastoreo rotacional, ya que, el fundamento de este pastoreo es utilizar dos potreros, uno es ocupado por lo animales, mientras que el otro potrero se encuentra descansando, este tipo de pastoreo proporciona que los forrajes se recuperen y almacenen reservas para su próximo rebrote (Medeiros *et al*., 2021).

2.5.3. Pastoreo diferido

Es considerado como un pastoreo rotacional, una característica de este pastoreo es dejar descansar al potrero por un ciclo para favorecer su crecimiento, como es adquirir semillas, plántulas, reducir el pisoteo por los animales o serán utilizados para la producción de ensilaje o heno (Wagner *et al*., 2021).

2.5.4. Pastoreo rotacional intensivo

Este sistema de pastoreo rotacional consiste en dividir un potrero en varias zonas y los animales consumirán el forraje de un potrero por un periodo corto, a esta técnica se la considera como el tiempo o periodo de ocupación, mientras que los otros potreros donde no tienen animales tienen la capacidad para recuperar el rebrote, el cual es conocido como periodo de descanso (Anzai & Hirata, 2021).

Dentro de este sistema de pastoreo rotacional intensivo se ha considerado varias variantes, que a continuación se describirán las características de cada uno;

- **Pastoreo Voisin**

Este sistema de pastoreo fue creado por el francés Andrés Voisin, es una técnica agroecológica, ya que es respetuosos con el medio ambiente, ya que para establecer

este tipo de sistemas debe considerarse los siguientes puntos; no roturar los suelos, maximizar la fotosíntesis y minimizar las pérdidas de carbohidratos, aumentar la cantidad de materia seca por hectárea, alta carga animal (Daros *et al*., 2022).

La característica fundamental de este tipo de pastoreo es considera el momento óptimo de reposo, es cuando la planta ha logrado culminar sus reservas de las raíces, y ha conseguido un rebrote optimo, el cual es el momento ideal para conseguir la máxima cosecha de materia orgánica por hectárea/año (Maher *et al*., 2025).

- **Pastoreo en franja**

Es un sistema que utiliza el movimiento de la cerca eléctrica en periodos cortos de tiempo, de esta manera el animal accede a una nueva franja de forraje, de esta manera el productor utiliza de manera eficiente e intensiva al pasto ya que les proporciona un consumo más uniforme y completo, demás un control adecuado de las malezas y plagas de un potrero (Clariget *et al*., 2021).

- **Pastoreo en línea**

Este sistema de pastoreo clasifica a los animales en dos categorías, los que requieren mayor calidad de nutrientes y animales con menor requerimiento de nutrientes, en base a estas características, los animales que necesitan mayor cantidad y calidad ingresan primero al potrero, los cuales tiene la capacidad de seleccionar la alimentación idónea para ellos, al momento de salir esta categoría de animales ingresan los animales de menor requerimiento nutricional, estos consumirán el forraje remanente en el potrero (Grandin, 2022).

2.6. Mezclas forrajeras

Los pastos son una fuente de alimento gruesa y voluminosa con gran proporción de fibra y bajo contenido de nutrientes digestibles como energía y proteína, históricamente el ganado ha consumido forraje durante la mayor parte de los años, con algunas suplementaciones con concentrados durante cortos períodos, por lo cual, está bien adaptado a obtener los nutrientes necesarios del forraje para satisfacer sus necesidades nutricionales (Mahanta *et al*., 2020).

Los sistemas pastoriles utilizados en la ganadería de leche especializados, se fundamentan en las pasturas, cuya cumplen la función de proporcionar a los

animales una dieta equilibrada, considerando varias especies forrajeras, sin embargo, la selección de alimentos de la vaca limita la maximización de estas pasturas para cubrir las necesidades nutricionales, por ello al aumentar la diversidad de las plantas de pastura se considera como una alternativa valiosa, ya que ofrece ventajas como efectos medicinales con una gama más amplia de nutrientes y metabolitos secundarios bioactivos, diferente palatabilidad de la vegetación, mejorar el rendimiento del animal, promueve el secuestro de carbono en el suelo, aumento de la producción de biomasa vegetal, reducción de lixiviación de nitrógeno y mejora la resiliencia a la sequía (Cherney *et al*., 2021).

La implementación de mezclas forrajeras hace más eficientes el modelo productivo, ya que puede combinar gramíneas con leguminosas, este técnica busca una sinergia entre la producción de biomasa y la características nutricionales, entre ellos destaca el raigrás perenne (*Lolium perenne*), pasto azul (*Dactylis glomerata*) y festuca (*Festuca arundinacea*) con capacidad de brindar forraje de buenas digestibilidad, las cuales son responsables de suministrar energía y fibra efectiva fundamental para el mantenimiento de la producción láctea y salud ruminal (Reinsch *et al*., 2021).

Las leguminosas como el trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), lotus (*Lotus corniculatus*), alfalfa (*Medicago sativa*), son utilizadas en la alimentación de vacas lecheras por su alto contenido de proteína, calcio y minerales, además, contribuyen en la fertilidad de los suelos por medio de la fijación del nitrógeno atmosférico, lo que beneficia al reducir el consumo de fertilizantes químicos siendo un sistema más sostenible con el ambiente (Loza *et al*., 2021).

Una mezcla forrajera para vacas lecheras bien equilibrada puede contener alrededor de un 60% de gramíneas y un 40% de leguminosas. Estas mezclas forrajeras permiten establecer un potrero con alto valor nutricional, de buena palatabilidad, con buena capacidad de rebrote para mantener una constante oferta forrajera, favoreciendo la producción de leche tanto en volumen como en calidad disminuyendo la necesidad de suplementar con concentrados, lo que ocasiona que disminuya los costos de producción (Nikitin *et al*., 2022).

En sistemas de producción intensivos donde la salud ruminal y prevención de enfermedades metabólicas son las principales necesidades, han implementado el

uso de plantas medicinales como por ejemplo chicoria y llantén forrajero (*Plantago lanceolata*), las mismas que las asocian con raigrás y festuca, dentro los beneficios es que estas especies forrajeras aumenta el procesos de masticación, estimulando la producción de saliva y favoreciendo el pH ruminal, previniendo la acidosis y mejorando la digestibilidad de la fibra, adicionalmente, se puede combinar con leguminas lo que mejora el aporte nutricional al mejorar la funcionalidad digestiva de las vacas lecheras (Hamacher *et al*., 2021).

Existes mesclas forrajeras especializadas para la producción de biomasa en periodos cortos, las cuales permite una buenas conservación, entre ellas destaca la avena forrajera (*Avena sativa*) en combinación con vicia y rábano forrajero (*Raphanus sativus*), esta mezcla permite un equilibrio entre energía y proteína ideal para realizar un proceso de ensilaje (fermentación anaeróbica) o suministrar en fresco durante épocas de verano, además, estas especies forrajeras toleran bien la rotación con otros cultivos. La designación de una adecuada mezcla forrajera debe centrarse en los objetivos productivos, características del suelo, el clima y buenas prácticas agronómicas para maximizar su potencial nutricional (Celis *et al.,* 2021).

2.7. Micorrizas

Son microorganismos que habitan en el suelo y participan en una simbiosis con las plantas terrestres, además, tiene una distribución amplia y se encuentran en diversos ecosistemas y suelos, este proceso de simbiosis entre el hongo y la planta actúa como un mejoramiento a las raíces de la planta para la absorción de nutrientes, estructuralmente estos hogos poseen una red hifas, esto proporciona una mayor superficie de absorción en las plantas (Bennett & Groten, 2022).

Los hongos micorrizas en la actualidad han sido utilizados para mejorar la absorción de nutrientes del suelo que se encuentran en bajas concentraciones, como es el caso del elemento P, además, aumenta la fijación de nitrógeno y por ende la productividad de la planta, también, interactúa al reducir el uso excesivo de fertilizantes químicos y por ende los costos operacionales de una producción agrícola (Delgado & Gutiérrez, 2022).

La principal función que existe entre esta acción simbiótica es que la planta le propicia al hongo alrededor del 5% y 20% de carbono, el cual es adquirido por

medio de la fotosíntesis, mientras que el hongo le proporciona a la planta nitrógeno y fosforo, esto permite generar exudados radicales que mantienen las raíces de las plantas en perfectas condiciones, otra ventaja que proporciona los hongos micorrizas a la planta es protección contra patógenos (Carrillo *et al*., 2022).

2.7.1. Tipo de hongos micorriza

En la actualidad se han logrado caracterizar alrededor de 5 000 especies de hongos micorrízicos, están representados por tres divisiones, *Glomeramycota, Basidiomycota* y *Ascomycotay*, además, se clasifican en tres grupos; Ectomicorrizas, Ectendomicorrizas y Endomicorrizas (Delgado & Gutiérrez, 2022).

- **Micorrízicos arbusculares**

Son microorganismos que conciernen al phylum *Glomeromycota*, con un grupo de alrededor 342 especies identificadas, son considerados como biotrofos estrictos, es decir que necesitan a la planta para culminar su ciclo vital, además, tiene una distribución en el 80% de las plantas terrestres, ocupando la posición intraradical y extraradical en las plantas (Branco *et al*., 2022).

La fusión entre el hongo y la planta genera una estructura llamada arbúsculos, que se definen como estructura encargada de la compensación de nutrientes entre la planta y el hongo, además, el hongo genera la formación de las vesículas intraradicales, las cuales poseen una pared gruesa y almacena aceite (Branco *et al*., 2022).

El hongo micorrízico arbusculares expresa dentro de su ciclo vital una fase extraradical, este proceso acontece cuando el micelio sale de la raíz y explora el suelo con la finalidad de conseguir los nutrientes y el agua para sus supervivencia, este micelio es el encargado de generar esporas multinucleadas grandes, que posteriormente será una ramificación hifal, las cuales son encargadas de conseguir agua, nutrientes y minerales en suelos que no están disponibles, además, controlan el flujo de otros macronutrientes que ayudaran a resolver la deficiencia de estos nutrientes en la planta y permite mayor producción (Bunn *et al*., 2024).

- **Ectomicorrizas**

Son organismos pertenecientes al phyla *Ascomycota*, *Mucoromycota* y *Basidiomycota*, tiene características de ser saprótrofos facultativos, dentro de las características de estos hongos es que oxidan la materia orgánica del suelo para conseguir carbono. Los hongos ectomicorrizas se encuentran en ecosistemas templados y boreales, se estima que poseen alrededor de 20 000 a 25 000 especies, además, estos hongos se pueden encontrar entre 10 000 y 60 000 especies de plantas, con un 2% de plantas coníferas y angiospermas, principalmente se puede encontrar en los bosques templados (Fall *et al*., 2022).

Estos microorganismos presentan una estructura denominada red de Hartig, las cual es la encargada de transferir los nutrientes entre el hongo y las células vegetales, además, estas tienen una conexión con los agregados hifales. Los hongos ectomicorrizas generan una modificación en la parte morfológica de las raíces de las plantas terrestres, esta formación se denomina 'tips' considerado como el engrosamiento de las puntas de las raíces, el cual es regulado por la expresión genética de las plantas, las hifas de estos hongos no ingresan en las células corticales de las plantas (Weng *et al*., 2022)

2.7.2. Bioactividades de los hongos micorrícicos

En los últimos años se han descubiertos interacciones entofícas y endofíticas ente las plantas terrestres y los hongos microscpicos y macroscopicos, lo que genera una mayor tasa fotosintética, además, este proceso proporciona mayor sustancia químicas bioactivas que ayudan a mejorar el crecimiento de la planta, la resistencia a enfermedades y el rendimiento productivo (Wahab *et al*., 2023).

Los exudados radiculares son macromoléculas orgánicas, las cuales se descargan en la rizosfera de las raíces, esto constituye entre el 5% al 40% de carbono absorbido durante la fotosíntesis de la planta, estas macromoléculas contienen sustancia ricas como el ácido cítrico, ácido fumárico, flavonoides, triptófano, entre otros, que tiene como funcionalidad atraer a otro microorganismos a la rizosfera (Emmanuel & Babalola, 2020).

Está colonización del sistema radicular por parte delos hongos micorrícicos y las macromoléculas desempeñan un papel en los procesos de nutrición vegetal,

además, describen que los pigmentos fotosintéticos clorofilas y carotenoides intervienen como bioestimulante, ya que los microorganismos propician el aumento de clorofila, estos microorganismos utilizan para acelerar el desarrollo de la planta Las plantas por medio de los estomas absorben CO_2 y exhalan O_2, se a documentado que los hongos micorrícicos pueden controlar la conductancia estomática de las plantas, el carbono se elimina del ambiente y se deposita en el suelo debido al aumento de secuestro de CO_2 del aire, mejora la fotosíntesis y aumenta la materia orgánica del suelo (Wahid *et al*., 2020; Diagne *et al*., 2022).

Los hongos micorrízicos arbusculares pueden estar en simbiosis con bacterias como *Rhizobiaceae, Trichoderma* y *Piriformosporas,* esta simbiosis produce un aumento de proteínas que desintoxican a las plantas de reacciones ROS, impactando en el proceso de fotosíntesis sea más eficiente, además, mayor concentración de CO_2 promueve el desarrollo de las plantas al mejorar el aporte fotosintético de clorofila, mejora la utilización de nutrientes y agua (Buczkowska & Sałata, 2020).

Estos microorganismos fortalecen el sistema inmune de las plantas, además, protegen las raíces de la planta, ya que le proporciona compuestos que actúan como antibiótico, y evitan la colonización de patógenos que proporcionen alguna enfermedad a la planta, adicionalmente, se ha considerado la producción de flavonoides que tiene efecto de repeler los insectos (Igiehon *et al*., 2025).

2.7.3. Uso de los hongos micorrícicos en el suelo

Los hongos micorrícicos al interactuar con la planta y el suelo proporcionan una mayor absorción de nutrientes, esto esta influenciada por factores de la raíz, la área de superficie y la cantidad y longitud de los pelos radiculares, emplean varios mecanismos para mejorar la tolerancia al estrés abiótico y promover el crecimiento de la planta, el suelo puede mantener mejor su estructura y fertilidad a lo largo del tiempo, ya que conserva una forma de suelo microporoso y permeable al agua. (Wang *et al*., 2023).

2.7.4. Uso de los hongos micorrícicos en la producción de forrajes

Durante varias décadas se han reportado diferentes grupos de hongos asociados con gramíneas que pueden actuar como patógenos, comensales y mutualistas, mostrando los factores genéticos en cada uno de los dos socios una alta variabilidad

y un rango de efectos en la aptitud de la planta, algunas micorrizas confieren beneficios al pastos, tales como (1) resistencia a los herbívoros de pastoreo, (2) resistencia a los nematodos, (3) resistencia a los hongos patógenos, (4) tasas fotosintéticas más altas, (5) tolerancia a la sequía, (6) protección contra fluctuaciones ambientales extremas causadas por el cambio climático y (7) persistencia en el campo (Argumedo *et al*., 2022).

- **Ejemplos del uso de hongos micorrízicos en la produccion de forraje**

La asociación positiva para el forraje de *Vicia villosa*, donde, al ser inoculado por los hongos micorrízicos arbusculares *Diversisporaspurca*, *Funneliformismosseae* y *Rhizophagusintraradices* y el hongo endófito *Serendipitaindica*, se encontró que hubo una mejora en el crecimiento de las plantas y la morfología de las raíces, elevaron significativamente la clorofila a y b, carotenoides y clorofila total, así como la sacarosa foliar, lo que consecuentemente condujo a una acumulación de glucosa y fructosa en las raíces, proporcionando fuentes de carbono para los simbiontes, lo que influyó positivamente en la fertilidad del suelo (He *et al*., 2022).

La inoculación de trébol blanco (*Trifolium repens*) con una micorriza arbuscular (*Rhizophagus intraradices*) y un rizobio (*Rhizobium trifolii*), estimuló significativamente la colonización de raíces, revelando una interacción cooperativa entre la micorriza arbuscular y el rizobio que magnificó parcialmente los efectos positivos de los metabolitos de nitrógeno (aspartato y prolina) y enzimas relevantes (asparaginas sintasa, nitrato reductasa y glutamato sintasa) para la asimilación de nitrógeno del trébol blanco proporcionando mayor nitrógeno en la planta (Xie *et al*., 2021).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación y características de la investigación

- **Localización del experimento**

La presente investigación se realizó en la Hacienda Guapungoto, ubicada en la Parroquia San Lorenzo perteneciente al Cantón Guaranda, de la Provincia de Bolívar, Ecuador.

- **Situación geográfica y edafoclimática**

Parámetro	**Valor**
Altitud	2610 msnm
Latitud	01° 40' 34" S
Longitud	78° 59' 50" W
Temperatura máxima	18 ºC
Temperatura mínima	10 ºC
Temperatura media	14 ºC
Humedad relativa media	73%
Precipitación	155 mm^3

Fuente: Windy, Wind map & weather forecast (2025).

- **Zona de vida**

Según la clasificación de zonas de vida propuesta por Ransselaer Holdridge, el área experimental se ubica dentro de la categoría de Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-mb)

3.2. Metodología

3.2.1. Material experimental

- 16 vacas
- Micorrizas

3.2.2. Factores en estudio

Factor A: Mezcla forrajera

Factor B: Nivel de micorriza

B1: 5% de micorrizas

B2: 10% de micorrizas

B3: 15% de micorrizas

3.2.3. Tratamientos

Tabla 1.

Tratamientos de la investigación

Tratamiento	Código	Detalle
T1	A1B1	Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%
T2	A1B2	Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%
T3	A1B3	Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%
T4	A1B4	Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%

3.2.4. Tipo de diseño experimental

- Diseño de bloques completamente al azar (DBCA).
- Prueba de comparación de promedios de Duncan, 5% de significancia.

Tabla 2.

Descripción de la unidad experimental

Concepto	Valor
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	4
Número de unidades experimentales	16
Área de unidad experimental	625 m^2
Número de animales por unidad experimental	1
Número de animales en total	16

Tabla 3.

Características del Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	C.M.E.*
Repeticiones (r-1)	3	$f^2e + 4\,f^2$
Tratamientos (t-1)	3	$f^2e + 4\,\theta^2$ B
Error experimental (t-1) (r-1)	9	f^2e
Total (t x r) – 1	15	

3.2.5. Manejo del experimento

- **Focalización de parcelas**: se dividió en 625 m^2 (25m * 25 m) el terreno en estudio, según su uso fueron 4 parcelas por cada tratamiento, a cada parcela se le colocó un letrero de asignación con referencia al tipo de mezcla forrajera que se sembró y a la cantidad de micorriza que se aplicó.

- **Muestreo del suelo**: se realizó un muestreo del suelo en diversas partes de las parcelas, el muestro se lo efectuó con un barreno en zigzag a una profundidad de 20 a 30 cm desde la superficie, en el procedimiento se trató de cubrir todas las parcelas previamente divididas, el total de muestra de suelo se homogenizó y se dividió en cuatro, este proceso se repitió al menos 2 veces, una vez obtenido el representativo se empacó en una bolsa tipo zip-lock la misma que se etiquetó y remitió al laboratorio de análisis de suelo.

- **Preparación del suelo**: se inició con la remoción de malezas, residuos de cultivos y material vegetal no deseado. Esto se lo realizó un pase de rastra liviana, además, se realizó un arado profundo (15–25 cm) para descompactar el suelo, facilitar la aireación y mejorar la infiltración de agua, posteriormente, se efectuó uno o dos pases de rastra para desmenuzar los terrones, nivelar el terreno y afinar el lecho de siembra.

- **Aplicación de las micorrizas en semilla**

Una vez preparado el suelo se realizó la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (*Glomus intraradices, Rhizophagus irregularis, Glomus mosseae*) para su ejecución se mezcló el inóculo con la semilla momentos previos a la siembra. Además, se distribuyó diluida las proporciones estudiadas con una bomba de mochila tratando de cubrir toda la superficie de las parcelas, respetando a que nivel de administración pertenecían.

- **Siembra de las mezclas forrajeras**

Se llevó a cabo una labranza mecánica con arado y rastra para lograr una mejor estructura del suelo, favoreciendo la aireación, retención de humedad y uniformidad.

Posteriormente la dosis total de semilla por hectárea se estableció en función del requerimiento agronómico para cada tratamiento, las proporciones se respetaron de acuerdo con el diseño experimental establecido. Las semillas fueron adquiridas de una casa comercial confiable las mismas que vinieron desinfectadas y listas para sembrar, estas fueron mezcladas manualmente en seco para asegurar una distribución homogénea.

Para el T1, que no incluye micorrizas, la siembra en una parcela de 2500 m² requiere un total estimado de 40 kg de semillas forrajeras. Esta mezcla está compuesta por un 25% de Ray grass perenne, 25% de pasto azul y 25% de holco, lo que implica 10 kg de cada una de estas gramíneas. Complementariamente, se incorporan 7,2 kg de trébol blanco (18%), 1,2 kg de trébol rojo (3%) y 1,6 kg de achicoria (4%).

En el T2 se incorpora un 5% de micorrizas en la mezcla total, lo que significa que, de los 40 kg totales por parcela, 2 kg corresponden a micorrizas. El resto se distribuyó entre las especies forrajeras de la siguiente forma: 12 kg de Ray grass perenne (30%), 8 kg de pasto azul (20%) y 8 kg de holco (20%). Se incluyeron además 7,2 kg de trébol blanco (18%), 1,2 kg de trébol rojo (3%) y 1,6 kg de achicoria (4%).

En el T3 incluye 4 kg de micorrizas, correspondientes al 10% del total. La proporción de especies forrajeras se ajusta a 8 kg de Ray grass perenne (20%), 8 kg de Ray grass anual (20%) y 10 kg de pasto azul (25%). También se añaden 7,2 kg de trébol blanco (18%), 1,2 kg de trébol rojo (3%) y 1,6 kg de achicoria (4%).

En el tratamiento T4, se incorporó el 15% de micorrizas en la mezcla, lo que equivale a 6 kg de micorrizas dentro de los 40 kg totales por parcela. Las especies forrajeras se distribuyen en 8 kg de festuca alta (20%), 8 kg de festuca arundinácea (20%) y 8 kg de pasto azul (20%). Además, se incorporan 7,2 kg de trébol blanco (18%), 1,2 kg de trébol rojo (3%) y 1,6 kg de achicoria (4%).

Se aplicó un método de siembra al voleo, procurando la distribución uniforme de la mezcla sobre toda la superficie. A continuación, se realizó un paso de rastra liviana o rastrillo manual para enterrar las semillas a una profundidad de 1 a 2 cm. Además, Se aplicó un riego inmediato, especialmente importante en la etapa inicial para promover la germinación y favorecer la activación del hongo micorrícico.

- **Estimación de la cantidad de forraje en materia seca por tratamiento**

Para estimar la cantidad de forraje disponible en una parcela correspondiente a cada tratamiento, se realizó mediante un aforo de $1m^2$, se delimitó primero la parcela y se seleccionaron de forma aleatoria al menos cinco subunidades de muestreo. En cada cuadrante, se realizó el corte del forraje disponible a una altura 5 cm del suelo, procurando no incluir tierra ni residuos. Las muestras cortadas se colocaron en bolsas identificadas y se pesaron en fresco utilizando una balanza digital. Posteriormente, se tomó una submuestra de 1 kg de cada una para determinar el porcentaje de materia seca (% MS), mediante secado en estufa a 65 °C hasta obtener un peso constante. Con estos datos, se calculó la producción de materia seca por metro cuadrado multiplicando el peso fresco promedio por el porcentaje de MS, y este valor se proyectó a toda la superficie de la parcela multiplicándolo por 2500 m^2, lo que permitió obtener la disponibilidad total de forraje en kilogramos de materia seca por tratamiento.

- **Evaluación de registros**

Este procedimiento se lo realizó con la finalidad de obtener información de los registros individuales de cada animal considerado en este estudio, y se obtuvo; la raza, el peso, la condición corporal, el número de lactancias, los días en lactancia y la cantidad de litros de leche producida, estos datos se registraron y se corroboraron con maniobras en campo de cada uno de estos parámetros.

- **Estimación del consumo de materia seca (CMS).**

La estimación del consumo de materia seca se fundamentó en la relación entre el contenido de FDN del forraje y el peso vivo promedio del animal. Según Belyea *et al*. (2017), las vacas lecheras pueden consumir diariamente entre 1,0 % y 1,1 % de su peso corporal en FDN, siendo este valor una limitante fisiológica del consumo de MS por su naturaleza de ocasionar “Llenado ruminal”.

- **Toma de muestra sanguínea**

Los animales fueron contenidos adecuadamente en un collarín de manejo para garantizar la seguridad durante el procedimiento. Se seleccionó la vena coccígea como sitio de punción, desinfectando previamente el área con alcohol al 70%. Se

extrajeron entre 5 y 10 ml de sangre utilizando una jeringa estéril con aguja de calibre 18, depositando la muestra en tubos de tapa roja (sin anticoagulante). Los tubos fueron dejados en reposo a temperatura ambiente durante 30 minutos para permitir la coagulación, y posteriormente centrifugados a 3000 rpm durante 10 minutos para obtener el suero. El suero separado fue almacenado en tubos estériles identificados y conservado en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio.

- **Toma de muestra de leche**

Las muestras fueron recolectadas directamente durante el ordeño, descartando los primeros chorros para evitar contaminaciones. Se tomaron aproximadamente 50 ml de leche por vaca en frascos plásticos estériles con tapa hermética, previamente rotulados con la identificación del animal y la fecha de muestreo. Las muestras se agitaron suavemente para homogeneizar la fracción grasa sin formar espuma excesiva, y fueron conservadas inmediatamente en un cooler portátil a 4 °C para evitar alteraciones bioquímicas. Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio en un lapso no mayor a 4 horas desde su recolección.

- **Metodología de los análisis de laboratorio**

En el laboratorio se determinaron los parámetros de calidad de suelo como el pH a partir de potenciometría, la textura a partir del método de los Bouyoucos, la proporción del nitrógeno total (N) a partir del método de combustión, el fósforo (P) y potasio (K) mediante espectrofotometría UV-VIS y espectrofotometría de absorción atómica.

A nivel de la bromatología de las mezclas de forrajes se realizó: Fibra bruta mediante el método de Weende, grasa mediante el AOAC 2003.06, el porcentaje de humedad mediante el AOAC 925.10, cenizas mediante AOAC 923.03 y la proporcionalidad de proteína total mediante el método de Dumas.

Las determinaciones de proteínas totales en sangre, proteínas totales en leche se determinaron a partir de la estimación del nitrógeno total en sangre y nitrógeno total en leche, mediante el método de DUMAS, a partir de este valor estimado se obtuvo la cantidad de proteína bruta mediante multiplicación del nitrógeno total por 6,25,

este valor se considera como constante ya que todas las proteínas tienen un 16% de nitrógeno en su conformación.

La cantidad de nitrógeno ureico en leche fue determinada a partir de la estimación al multiplicar la cantidad de nitrógeno total por la densidad de la leche, dividiéndolo entre 0,4667 que sería la fracción ureica del nitrógeno total, en dicha ecuación también se consideró el cambio de unidades, como lo describe la metodología de estimación del NUL a partir del nitrógeno total postulada por Arjona *et al*, (2020).

La cantidad de nitrógeno ureico en sangre se determinó mediante la estimación entre el valor del nitrógeno total en sangre determinado con el método de combustión con un determinador elemental, de tal modo se multiplicó el nitrógeno total por 2,14 el cual es una constante del nitrógeno total derivado de urea en base a su peso molar.

3.2.6. Métodos de evaluación y datos registrados

- **Análisis de suelo:** Se realizó un análisis químico del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos con micorrizas, con el fin de evaluar cambios en la fertilidad edáfica, se estimó; pH, N, K y P.
- **Bromatológico:** Análisis que se desarrolló a partir de muestras de forrajes de cada tratamiento, mediante la determinación de la proporción de proteína bruta, fibra bruta, grasa, humedad, ceniza, además, se estimó mediante calculo la cantidad de FDN a partir del valor de la fibra bruta.
- **Raza:** Se registró mediante observación directa y revisión de los registros zootécnicos de cada vaca. Se trató de una variable cualitativa nominal, en la que se identificaron animales de las razas Holstein, Jersey, Brown Swiss y cruzas entre ellas.
- **Peso:** El peso de los animales se obtuvo mediante el uso de una balanza electrónica al inicio del periodo experimental. En los casos donde no se dispuso de balanza, se estimó utilizando una cinta torácica y su valor fue expresado en kg.
- **Condición Corporal:** Fue evaluada mediante la inspección visual y palpación de estructuras anatómicas clave como la columna vertebral,

apófisis transversas, cadera y base de la cola según Choudhary *et al*. (2021), utilizando la escala de 1 a 5, en la que 1 representa un animal muy flaco y 5 un animal con obesidad severa.

- **Número de lactancia:** Se registró mediante la revisión de los historiales productivos de cada vaca, recopilando el número de ciclos de lactancia previos al inicio del experimento.
- **Días en leche:** Se contabilizó el número de días transcurridos desde el parto hasta la fecha del muestreo. Esta variable fue obtenida a partir de los registros reproductivos individuales de cada animal.
- **Producción de leche:** Se midió en litros por día mediante el registro diario de ordeño de cada vaca. Se utilizó un balde medidor calibrado para obtener valores precisos. Los datos fueron registrados durante todo el periodo experimental y se promediaron por tratamiento.
- **Proteína total en sangre:** Se evaluó mediante el análisis de muestras sanguíneas tomadas en ayuno parcial, extraídas de la vena coccígea con tubos sin aditivos para la obtención del suero sanguíneo. Se expresó en gramos por decilitro (g/dl).
- **Proteína total en leche:** La proteína total en leche se determinó a partir de muestras compuestas obtenidas en ordeños consecutivos, las cuales se conservaron refrigeradas hasta su análisis. Esta variable fue cuantitativa continua, expresada en porcentaje (%).
- **Nitrógeno ureico de la leche:** El nitrógeno ureico en leche se estimó mediante el cálculo a partir de los resultados del nitrógeno total en leche, como se describe en la metodología y se expresó en miligramos por decilitro (mg/dl).
- **Nitrógeno ureico de la sangre:** El nitrógeno ureico en sangre se determinó a partir de los resultados de nitrógeno total en sangre, como se establece en la metodología anteriormente descrita y se expresó en miligramos por decilitro (mg/dl).

- **Costo/beneficio**: Esta variable se calculó con base en la relación entre los costos totales asociados a cada tratamiento y los ingresos generados por la venta del forraje verde. El índice se expresó como un valor, calculado mediante la siguiente fórmula;

$$C/B = \frac{\text{Egresos totales}}{\text{Ingresos totales}} * 100$$

3.2.7. Análisis de datos

Los datos cuantitativos obtenidos fueron procesados utilizando el software estadístico SAS versión 9.4. Para evaluar las diferencias entre tratamientos se empleó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento PROC ANOVA, considerando un diseño de bloques completamente al azar. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, estableciendo un nivel de significancia del 5% ($P < 0,05$). Como complemento al análisis inferencial, se generaron representaciones gráficas de barras con el fin de facilitar la visualización e interpretación de los resultados.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Análisis de suelo

Tabla 4.

Análisis de varianza del pH, N, P y K del suelo antes y después de los tratamientos

Varianza	Antes				Después			
	pH	N	P	K	pH	N	P	K
Trata.	2,5	4,46	2,96	2,27	0,05	6,50	2,53	1,90
P	0,2	0,06	0,119	0,180	0,983	**0,03**	0,153	0,2310
Bloque	2,55	33,54	11,82	7,51	3,45	21,68	38,72	80,38
P	0,16	**0,0006**	**0,0083**	**0,023**	0,1005	**0,0018**	**0,0004**	**<,001**

Tabla 5.

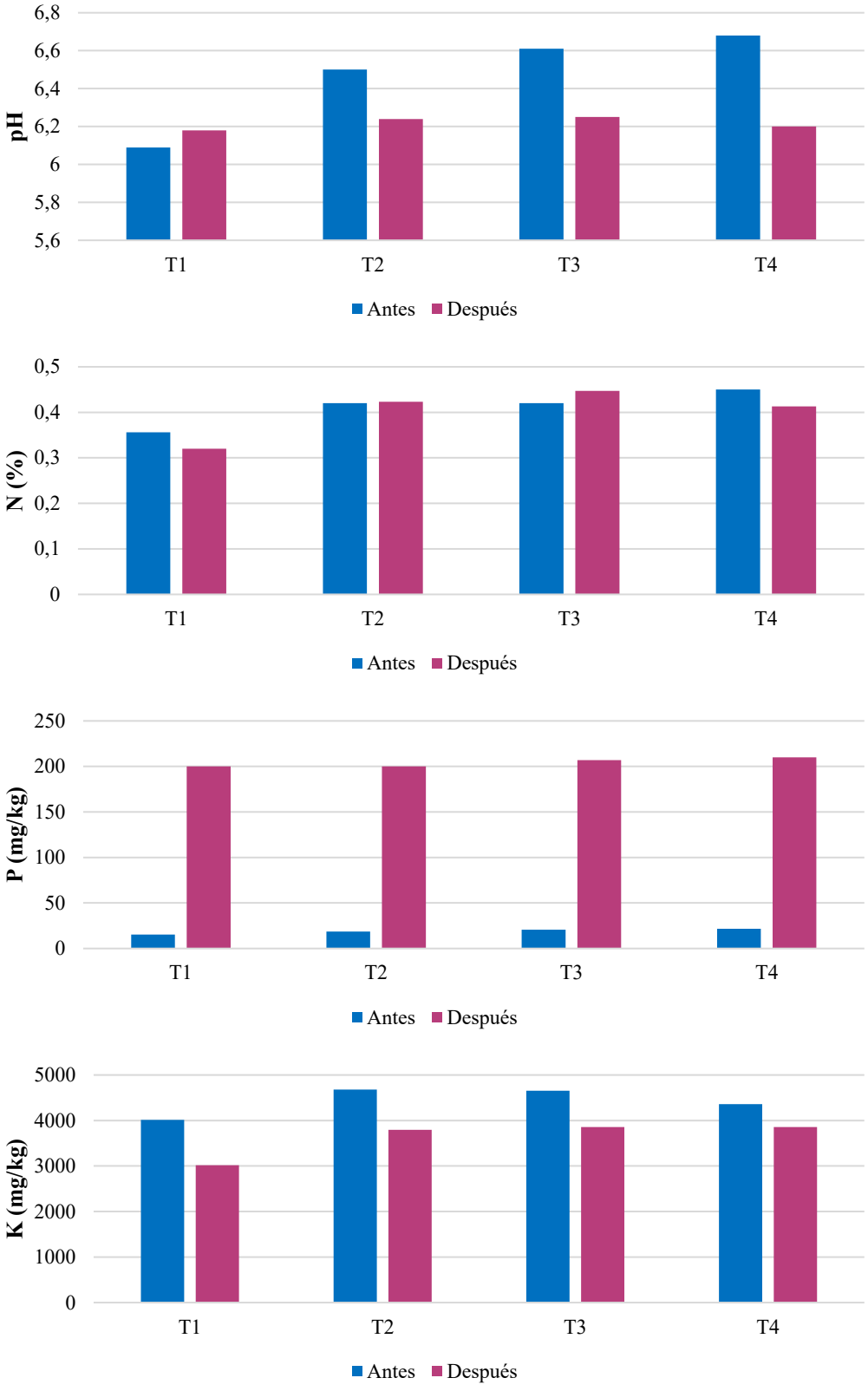
Promedio del pH, N, P y K del suelo antes y después de los tratamientos

Antes				
Tratamiento	**pH**	**N**	**P**	**K**
T1	6,09 ^{A} ±0,17 (6,29– 5,99)	0,356^{A} ±0,09 (0,48 – 0,25)	15,33 ^{A} ±3,21 (19 – 13)	4011,3^{A}±724,6 (4740 – 3291)
T2	6,50 ^{A} ±0,19 (6,68– 6,31)	0,420^{AB}±0,09 (0,51 – 0,34)	18,67 ^{A} ±4,93 (22 – 13)	4677,7^{A}±546,4 (5189 – 4102)
T3	6,61 ^{A} ±0,26 (6,88– 6,36)	0,420^{AB}±0,09 (0,52 – 0,34)	20,67 ^{A} ±5,13 (25 – 15)	4653,67^{A}±413,3 (5128 – 4371)
T4	6,68 ^{A} ±0,57 (7,24– 6,11)	0,450^{B} ±0,09 (0,51 – 0,35)	21,67 ^{A} ±7,51 (26 – 13)	4360^{A} ±599,09 (5049 – 3962)
Después				
T1	6,18 ^{A} ±0,16 (6,32– 6,01)	0,320^{A} ±0,08 (0,41 – 0,25)	200^{A} ±20 (220 – 180)	3015,7^{A}±1654 (4587 – 1290)
T2	6,24 ^{A} ±0,32 (6,47– 5,88)	0,423^{AB}±0,11 (0,48 – 0,30)	200,16^{A}±23,7 (232 – 189)	3797^{A}±2588 (6493 – 1332)
T3	6,25 ^{A} ±0,47 (6,60– 5,71)	0,447^{B}±0,08 (0,50 – 0,36)	207 ^{A} ±30,8 (235 – 174)	3855^{A}±2499 (6594 – 1697)
T4	6,20 ^{A} ±0,35 (6,43– 5,80)	0,413^{AB} ±0,1 (0,48 – 0,29)	210 ^{A} ±19,1 (222 – 188)	3856,7^{A} ±2573 (6589 – 1481)

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%.

Figura 1.

Resultados del pH, N, P y K del suelo antes y después de los tratamientos



El análisis de varianza indicó que, un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de nitrógeno en el suelo (p: 0,030), lo que demuestra que la inoculación con micorrizas incrementó la disponibilidad de este nutriente. En contraste, no se detectaron diferencias significativas en el pH, fósforo ni potasio entre grupos en los periodos evaluados. Sin embargo, los efectos a nivel de bloques fueron altamente significativos para el fósforo y potasio, lo que sugiere una influencia en la agregación de estos nutrientes a nivel de suelo por parte de las micorrizas. Independientemente del efecto estadísticos entre tratamientos a base de micorrizas, se observó un marcado efecto creciente en la agregación del fósforo después de su aplicación, esta agregación fue lineal en todos los grupos incluyendo el testigo.

En el análisis del pH, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la inoculación con micorrizas no produjo cambios relevantes en esta variable edáfica. Antes de la aplicación del tratamiento, el valor promedio de pH más alto se observó en el tratamiento T4 (6,68 ± 0,57), mientras que el más bajo correspondió a T1 (6,09 ± 0,17). Tras la aplicación, el tratamiento T3 presentó el promedio más elevado (6,25 ± 0,47), y T1 mantuvo el valor más bajo (6,18 ± 0,16).

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas en los niveles de nitrógeno total del suelo entre algunos tratamientos, tanto antes como después de la aplicación de micorrizas, como lo indica la asignación de letras distintas en la prueba de Tukey. Inicialmente, el mayor contenido promedio fue registrado en el tratamiento T4 (0,450 ± 0,09 %), mientras que el menor correspondió a T1 (0,356 ± 0,09 %). Tras la aplicación del tratamiento, T3 presentó el valor más alto (0,447 ± 0,08 %) y T1 nuevamente el más bajo (0,320 ± 0,08 %). Estos resultados sugieren que los tratamientos T3 y T4 podrían haber contribuido a una mayor retención o disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Los niveles de fósforo no evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, ni antes ni después de la aplicación de micorrizas. Antes del tratamiento, el mayor valor promedio fue registrado en T4 (21,67 ± 7,51 mg/kg) y el menor en T1 (15,33 ± 3,21 mg/kg). Posteriormente, se observó un incremento sustancial en todos los tratamientos, con T4 manteniendo el promedio más alto (210

± 19,1 mg/kg) y T1 el más bajo (200 ± 20 mg/kg), infiriendo que las micorrizas promovieron una óptima agregación de este nutriente a nivel del suelo.

Respecto al potasio, los análisis no revelaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, tanto antes como después del tratamiento. Antes de la aplicación, T2 presentó el mayor valor promedio (4677,7 ± 546,4 mg/kg), mientras que T1 registró el más bajo (4011,3 ± 724,6 mg/kg). Tras la intervención, T4 alcanzó el valor más alto (3856,7 ± 2573 mg/kg), y T1 nuevamente reportó el promedio más bajo (3015,7 ± 1654 mg/kg).

Alsharmani *et al*. (2023) evaluaron el efecto de micorrizas sobre plantas forrajeras, destacando que tienen influencia en la retención de carbono a nivel del suelo y que está directamente relacionada con la biomasa total de hifas presentes en el sustrato. Así mismo, los autores subrayan que la disponibilidad de fósforo en el suelo se vincula estrechamente con esta actividad micorrízica, y que dichos hongos mejoran significativamente la eficiencia en el aprovechamiento de fertilizantes fosfatados.

Silva *et al*. (2021) evaluaron los efectos de los hongos micorrízicos sobre las propiedades químicas del suelo en pasturas, utilizando dos tratamientos: T0 (control) y T1 (con inoculación). Los resultados evidenciaron incrementos en el pH del suelo (T0: 4,5; T1: 4,7), así como de potasio (T0: 0,3; T1: 0,4 cmol/kg).

Tanto Alsharmani *et al*. (2023) como Silva *et al*. (2021) demostraron que la inoculación con hongos micorrízicos mejora la calidad del suelo en pasturas. Alsharmani reportó un aumento en el secuestro de carbono y la disponibilidad de fósforo, mientras que Silva evidenció incrementos en el potasio del suelo. Ambos estudios son concordantes con los hallazgos de este estudio, ya que las micorrizas optimizaron la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Recalcamos la falta de reportes científicos comparativos que validen la influencia de las condiciones edáficas producto de la micorrización sobre los valores biológicos del NUL y NUS, sin embargo, con nuestros resultados de los valores de NUL y NUS tras el consumo de mezclas forrajeras provenientes de parcelas micorrizadas de cada tratamiento, determinamos que las micorrizas si mejoran las condiciones edáficas del suelo, adicionalmente, mejoran los niveles del NUL y no causan variaciones a nivel del NUS en vacas lecheras.

4.1.2. Bromatología

Tabla 6.

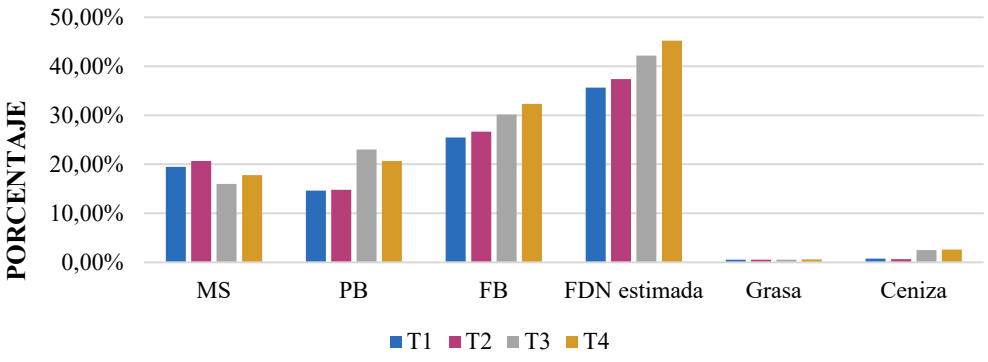
Análisis de los componentes bromatológicos de las mezclas forrajeras

Análisis	Unidad	TRATAMIENTOS				Shapiro-Wilk	
		T1	T2	T3	T4	Estadístico	P
Materia Seca	%	19,50	20,67	16	17,79	0,979	0,8994 NS
Proteína Bruta	%	14,65	14,81	23,02	20,69	0,846	0,2160 NS
Fibra Bruta	%	25,45	26,69	30,13	32,3	0,942	0,666 NS
FDN estimada	%	35,63	37,37	42,18	45,22	0,942	0,6680 NS
Grasa	%	0,52	0,53	0,53	0,60	0,737	0,0292*
Ceniza	%	0,76	0,67	2,53	2,62	0,770	0,06 NS

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%.

Figura 2.

Porcentaje de los componentes bromatológicos de las mezclas forrajeras



Mediante el análisis estadístico de Shapi-Wilk se determinó que no hubo diferencias estadísticas en los contenidos de materia seca, proteína bruta, fibra bruta, FDN estimado y cenizas, mientras que a nivel de grasa se evidenció diferencias estadísticas significativas (P: 0,0292). Sin embargo, el T2 registró el mayor

contenido de materia seca con 20,67 %, mientras que T3 evidenció la menor concentración con 16 %. En cuanto a la proteína bruta, el T3 alcanzó el valor más elevado con 23,02 %, a diferencia de T1, que presentó el contenido más reducido con 14,65 %. Respecto a la fibra bruta, T4 sobresalió con el nivel más alto de 32,3 %, siendo T1 el ensayo con la menor proporción con un 25,45 %. Para la fibra detergente neutra (FDN), el T4 también destacó con la mayor concentración de 45,22 %, mientras que T1 reportó el valor más bajo con 35,63 %. En relación con la grasa cruda, el tratamiento T4 presentó el contenido más alto con 0,60 %, en contraste con T1, con 0,52 %. Finalmente, en cenizas, T4 exhibió la concentración más elevada de 2,62 %, siendo el T2 el valor más discreto con 0,67 %.

Uzun *et al*. (2021) evaluaron el efecto del uso de un inóculo micorrízico bajo condiciones de baja fertilización sobre el rendimiento de Ray grass. Los resultados indicaron que los forrajes fertilizados con micorrizas presentaron una reducción de fibra bruta y un incremento significativo en la concentración de proteína cruda en comparación con el testigo, el cual registró valores más altos de fibra y menor contenido proteico. Estos hallazgos evidencian el potencial de la simbiosis micorrízica para mejorar la calidad nutricional del forraje y por ende un mayor metabolismo proteico y mayor contenido de NUL y NUS.

Petigrosso *et al*. (2022) evaluaron la interacción entre hongos endófitos y micorrízicos arbusculares en *Festuca arundinacea*, en el contexto de una fertilización fosfatada. Los resultados evidenciaron que la inoculación con hongos micorrízicos promovió un incremento significativo en la biomasa de las plantas, así como una mayor eficiencia en la absorción de fósforo.

Basándonos en los resultados bromatológicos de este estudio, se observaron resultados concordantes con los de las investigaciones citadas, ya que la inoculación con micorrizas promovió un incremento significativo en el contenido de proteína cruda y en fibra bruta, lo que refleja una mejora en la calidad nutricional del forraje. Considerando que en esta investigación la fertilización con 10% de micorrizas mejoró la producción de leche (21,75 ± 8,50), así mismo, propició el mayor contenido de NUL (11,86 ± 1,33) y niveles menores de NUS (6,44 ± 0,92), aspectos influenciados por la calidad nutricional del forraje.

4.1.3. Raza

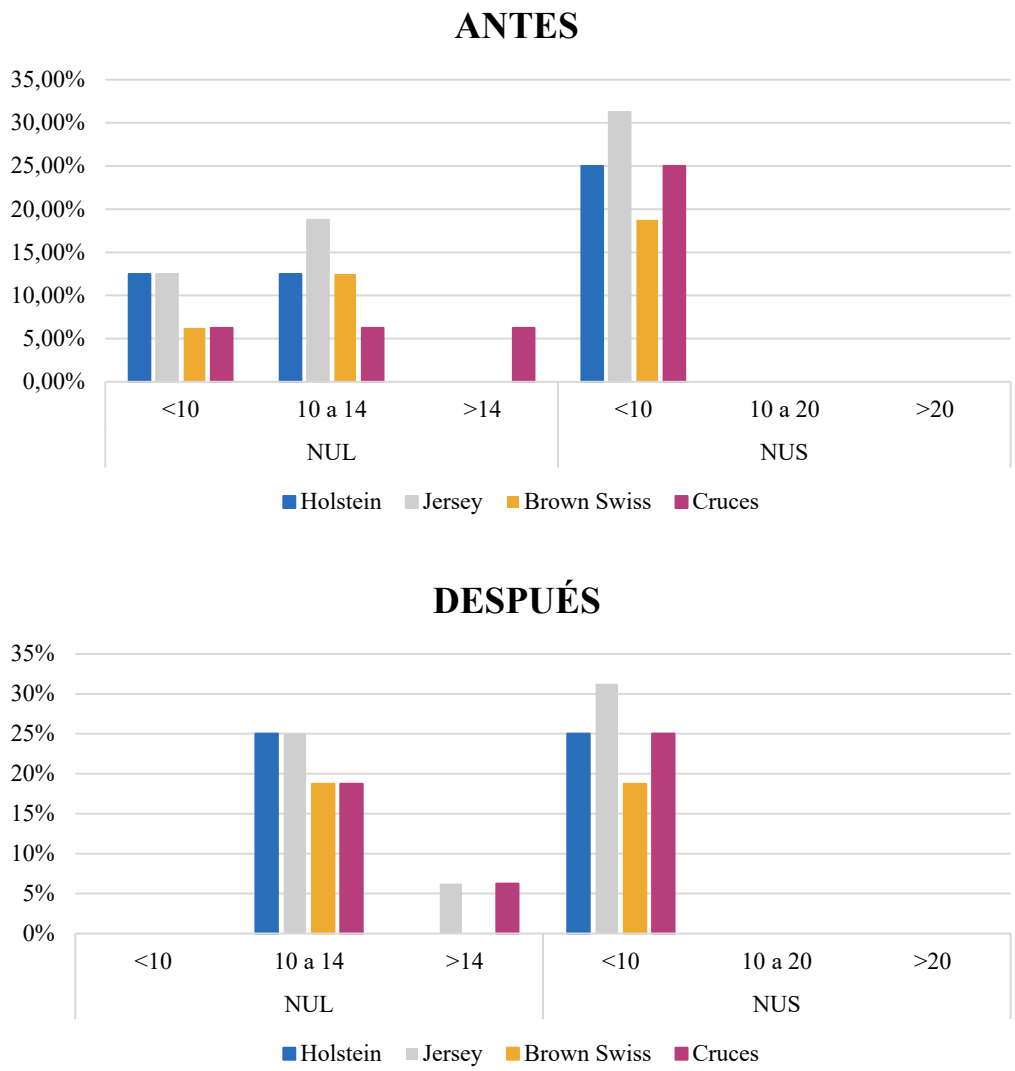
Tabla 7.

Análisis de la raza de los animales en estudio sobre el NUL y NUS

Razas	ANTES								DESPUÉS							
	NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)				NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)			
	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total
Holstein	2 12,5%	2 12,5%	0	4 25%	4 25%	0	0	4 25%	0	4 25%	0	4 25%	4 25%	0	0	4 25%
Jersey	2 12,5%	3 18,75%	0	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%	0	4 25%	1 6,25%	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%
Brown Swiss	1 6,25%	2 12,50%	0	3 18,75%	3 18,75%	0	0	3 18,75%	0	3 18,75%	0	3 18,75%	3 18,75%	0	0	3 18,75%
Cruces	2 6,25%	1 6,25%	1 6,25%	4 25%	4 25%	0	0	4 25%	0	3 18,75%	1 6,25%	4 25%	4 25%	0	0	4 25%
Total	7 43,75%	8 50%	1 6,25%	16 100%	16 100%	0	0	16 100%	0	14 87,50%	2 12,50%	16 100%	16 100%	0	0	16 100%

Figura 3.

Resultados de las razas de los bovinos sobre el NUL y NUS



Se evaluaron un total de 16 animales, distribuidos entre las razas Holstein (25%), Jersey (31,25%), Brown Swiss (18,75%) y cruces (25%). Antes del tratamiento, al analizar los niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL), se observó que el 43,75% de los animales (7 de 16) presentaron valores bajos (<10 mg/dL). Estos casos se distribuyeron entre todas las razas: Holstein (2 animales), Jersey (2 animales), Brown Swiss (1 animal) y cruces (2 animales), lo que evidencia que esta condición no fue exclusiva de una raza en particular. Por otro lado, el 50% de los animales (8 de 16) se encontró dentro del rango considerado fisiológicamente adecuado (10–14

mg/dL). La mayor proporción de estos casos se registró en las razas Jersey (3 animales) y Brown Swiss (2 animales), con menor representación en Holstein y cruces. Mientras que el 6,25% restante, correspondiente a un cruce racial, presentó un valor elevado de NUL (>14 mg/dL).

Tras la aplicación de los tratamientos, se evidenció un cambio notable en la distribución de los niveles de NUL. Con evidencias de ningún animal con valores bajos (<10 mg/dL), mientras que el 87,5% (14 de 16) se ubicó en el rango medio (10–14 mg/dL). Este patrón se observó en todas las razas evaluadas. Sin embargo, dos animales (12,5%) mostraron valores altos de NUL (>14 mg/dL): uno perteneciente a la raza Jersey y otro al cruce racial. En cuanto al nitrógeno ureico en sangre (NUS), tanto antes como después del tratamiento, el 100% de los animales se mantuvieron dentro del rango bajo (<10 mg/dL).

Webb & de Bruyn (2021) evaluaron los niveles del nitrógeno ureico de la leche (MUN) de vacas Holstein Friesian y Jersey alimentadas con diferentes mezclas forrajeras con un 16.6 ± 0.82 % y 17.3 ± 1.11 % de proteína cruda de la dieta respectivamente. E identificaron un umbral crítico para vacas Holstein Friesian, de NUL superior a 18,1 ± 4,28 mg/dL, y en vacas Jersey, con un umbral más bajo, en torno a 13,0 ± 4,70 mg/dL, aunque en su estudio no se determinó directamente el NUS, postularon que su valor no posee buena especificidad y sensibilidad diagnóstica en los esquemas nutricionales, por lo que el NUL resulta más sensible y específico. Además, concluyeron que, los estándares nutricionales deben ajustarse según la raza, ya que un NUL/NUS elevado podría afectar de forma negativa otros índices productivos con mayor repercusión a vacas Jersey que en Holstein.

Comparativamente los valores máximos observados en esta investigación fueron inferiores al umbral crítico para Holstein (18,1 ± 4,28 mg/dL), y similares, al umbral para Jersey (13,0 ± 4,70 mg/dL) de la referencia citada, ya que en este estudio, tras el consumo de forrajes fertilizados con micorrizas no hubo evidencias de valores bajos y el 87,5% alcanzó el rango de 10 a 14 mg/dL, mientras que el 12,5% de vacas superaron los 14 mg/dL, representados por una vaca Jersey y un animal F1 Holstein x Jersey en tanto que, a nivel del NUS el 100% de las vacas mantuvieron valores <10 mg/dL.

4.1.4. Peso

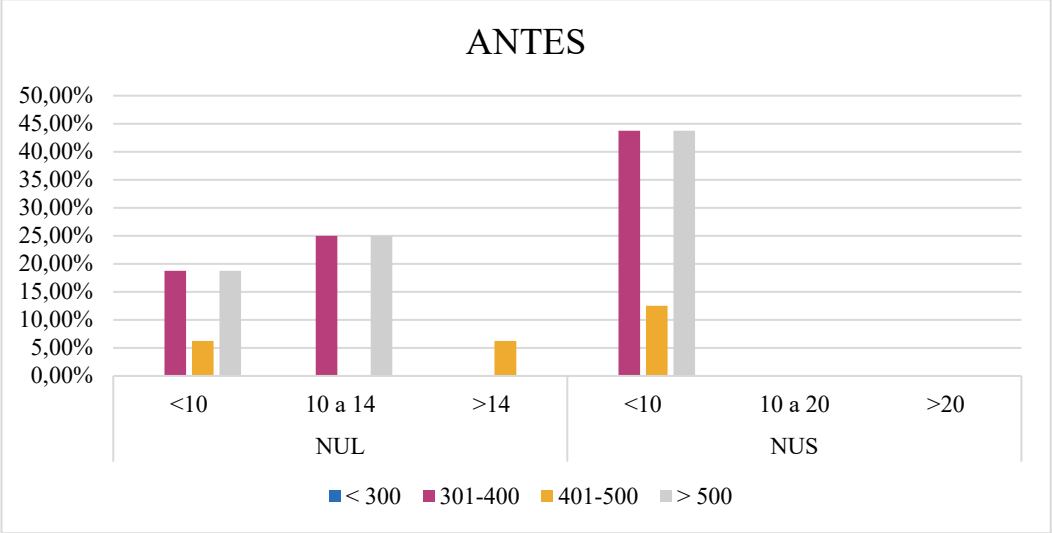
Tabla 8.

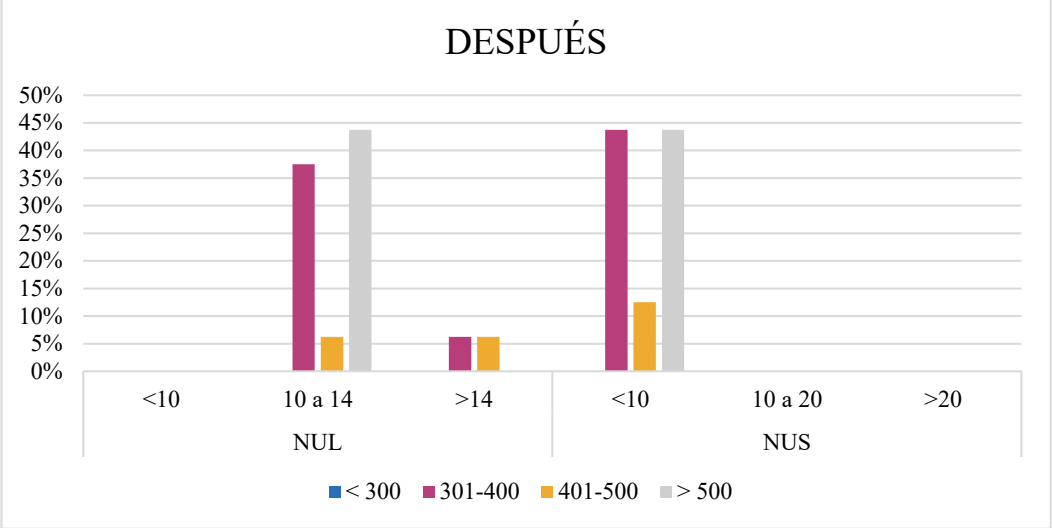
Análisis del peso corporal de las vacas

Peso	ANTES								DESPUÉS							
	NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)				NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)			
	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total
< 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
301-400	3 18,75%	4 25%	0	7 43,75%	7 43,75%	0	0	7 43,75%	0	6 37,50%	1 6,25%	7 43,75%	7 43,75%	0	0	7 43,75%
401-500	1 6,25%	0	1 6,25%	2 12,50%	2 12,50%	0	0	2 12,50%	0	1 6,25%	1 6,25%	2 12,50%	2 12,50%	0	0	2 12,50%
> 500	3 18,75%	4 25%	0	7 43,75%	7 43,75%	0	0	7 43,75%	0	7 43,75%	0	7 43,75%	7 43,75%	0	0	7 43,75%

Figura 4.

Resultados de los pesos de las vacas con el NUL y NUS





Según la estratificación del peso corporal se observó que de un total de 16 bovinos el 43,75% (7/16) pesaron entre 301 a 400 kg. El 12,5% (2/16) entre 401 a 500 kg y el 43,75% (7/16) con pesos superiores a los 500kg, sin registro de animales con pesos inferiores a 300 kg. En cuanto a la valoración del nitrógeno ureico de la leche se observó que el 18,75% de los animales con pesos entre 301 y 400 kg presentaron valores bajos de NUL (<10 mg/dL), mientras que 25% se ubicó dentro del rango fisiológicamente adecuado (10–14 mg/dL), sin observarse niveles elevados (>14 mg/dL). De forma similar, entre los bovinos con pesos > 500 kg, el 18,75% presentó

valores bajos de NUL y el 25% se mantuvo en el rango medio. En contraste, los animales con pesos de entre 401–500 kg mostraron una distribución más dispersa ya que el 6,25% tuvo valores bajos y otro 6,25% presentó concentraciones elevadas de NUL (>14 mg/dL).

Tras la aplicación de los tratamientos, se observó una redistribución marcada en los niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL), ya que ningún animal exhibió valores <10 mg/dL, mientras que el 87,5% (14 de 16) expresaron valores dentro del rango fisiológicamente adecuado (10–14 mg/dL). Esta tendencia fue consistente en los grupos de peso de 301–400 kg y >500 kg, donde todos los animales se distribuyeron entre los rangos adecuados y alto, registrándose solo un caso en cada grupo (6,25%) con niveles elevados de NUL (>14 mg/dL). En la categoría de animales con pesos de entre 401 a 500 kg, la distribución fue equitativa, con un animal en el rango medio y otro en el rango alto. En cuanto al nitrógeno ureico sérico (NUS), se observaron valores constantes, ya que el 100% de los animales expresaron valores dentro del rango bajo (<10 mg/dL) tanto antes como después de los tratamientos.

Alrhmoun *et al,* (2023) evaluaron el impacto del peso corporal y su relación con la concentración de NUL, para lo cual, analizaron 5,680 muestras de leche de vacas en 32 granjas bajo distintas condiciones de manejo, como resultados encontraron que vacas más pesadas (> 600 kg) tendían a exhibir valores menores de NUL (19,7 mg/100 mL) debido a mayor eficiencia metabólica y producción de leche.

Hojman *et al*. (2025) analizaron la asociación entre el peso vivo y los niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL) en vacas Holstein. Dentro del rango de peso evaluado, se observó que un incremento de 100 kg (por ejemplo, de 500 a 600 kg) se asoció con una disminución aproximada de 1,2 mg/dL en NUL; mientras que un incremento adicional de 100 kg (llegando a 700 kg) implicó una reducción de aproximadamente 0,6 mg/dL en NUL. En contraste con lo reportado en las investigaciones previamente citadas, los resultados del presente estudio no evidencian una asociación significativa entre el peso corporal y las concentraciones de nitrógeno ureico en leche (NUL), lo que sugiere la ausencia de una relación directa entre ambas variables en las condiciones experimentales evaluadas.

4.1.5. Condición corporal

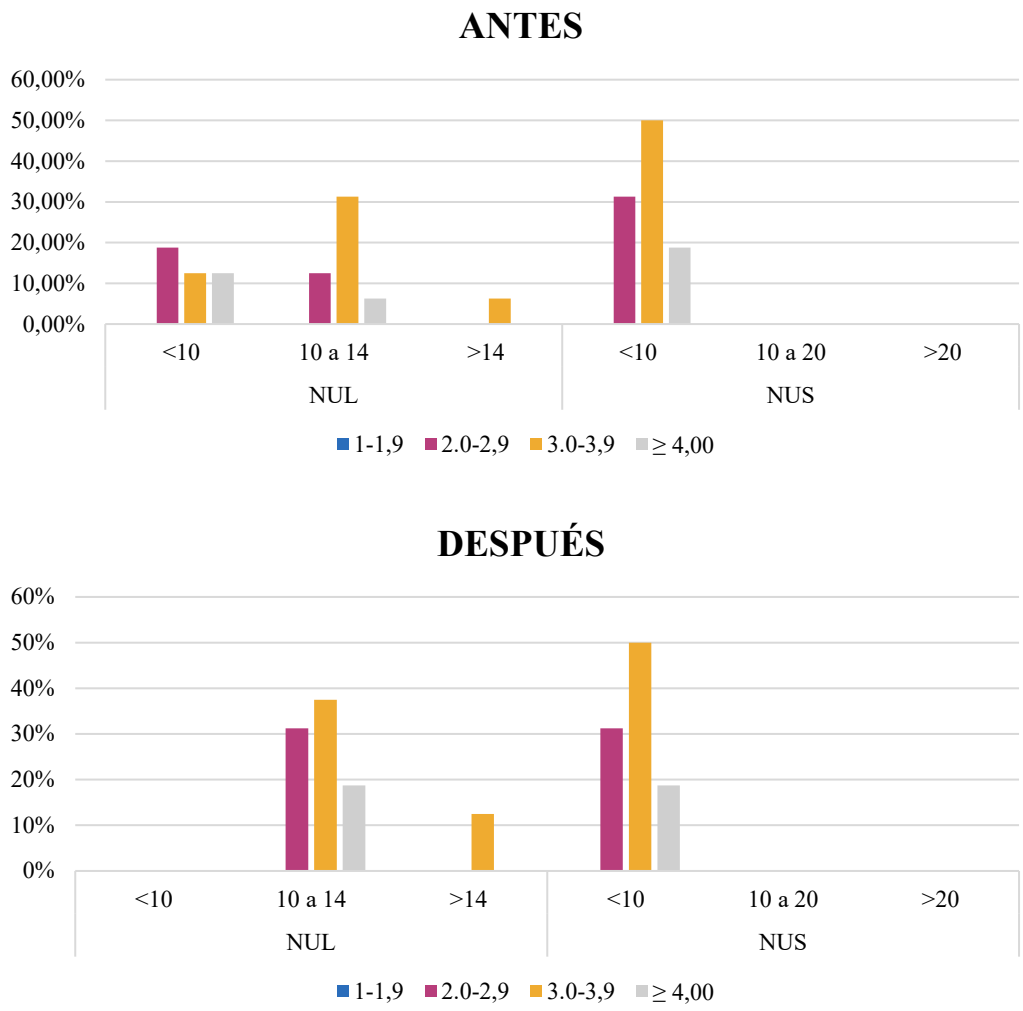
Tabla 9.

Análisis de la condición corporal de los bovinos sobre el NUL y NUS

CC	ANTES								DESPUÉS							
	NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)				NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)			
	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total
1-1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0-2,9	3 18,75%	2 12,50%	0	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%	0	5 31,25%	0	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%
3.0-3,9	2 12,50%	5 31,25%	1 6,25%	8 50%	8 50%	0	0	8 50%	0	6 37,50%	2 12,50%	8 50%	8 50%	0	0	8 50%
≥ 4,00	2 12,50%	1 6,25%	0	3 18,75%	3 18,75%	0	0	3 18,75%	0	3 18,75%	0	3 18,75%	3 18,75%	0	0	3 18,75%

Figura 5.

Resultados de la condición corporal de las vacas con el NUL y NUS



Según la estratificación de los animales en base a la condición corporal (CC) previo a los tratamientos, se observó que el 31,25% presentaron una CC entre 2,0–2,9, el 50% una CC entre 3,0–3,9 y el 18,75% una CC ≥ 4,0. Además, no se registraron bovinos con CC inferior a 2,0. En el grupo con CC 2,0–2,9, el 18,75% presentaron niveles bajos de NUL (<10 mg/dL) y el 12,5% se ubicaron entre los valores fisiológico (10–14 mg/dL), sin embargo, no se observaron valores elevados. En la categoría de animales con CC entre 3,0–3,9, el 12,5% tuvo NUL bajo, el 31,25% en el rango medio y el 6,25% valores elevados (>14 mg/dL). En los animales con CC ≥ 4,0, el 12,5% presentó NUL bajo y el 6,25% dentro del rango aceptable, sin registros animales con niveles elevados.

Después de los tratamientos, se observó una distribución más uniforme y fisiológicamente favorable de los niveles de NUL. Desaparecieron por completo los casos con NUL bajo. En los grupos con CC 2,0–2,9 y ≥ 4,0, ya que el 100% de los animales se ubicaron en el rango fisiológico. En el grupo con CC 3,0–3,9, el 37,5% presentó NUL en el rango medio y el 12,5% en el rango elevado. No se observaron cambios en el perfil del NUS, ya que todos los animales mantuvieron valores bajos (<10 mg/dL), independientemente de la condición corporal.

Sheedy *et al*., (2025) evaluaron la asociaciones entre la puntuación de la condición corporal, el peso corporal y la bioquímica sérica en vacas lecheras, y determinaron que las porciones nitrogenadas en sangre se asocian positivamente con la condición corporal y que vacas con puntajes de CC baja y peso corporal bajo tenían mayor probabilidad de presentar niveles bajos de nitrógeno ureico en sangre, además, proponen que, como tal, las vacas con CC baja pueden estar catabolizando comparativamente menos proteína, procesando menos amoníaco ruminal o tener una ingesta reducida.

Jiang *et al*., (2025) evaluaron en 1.960 vacas lecheras el impacto del puntaje de condición corporal (BCS) en la producción de leche, el rendimiento reproductivo y el estado de salud de vacas lecheras en lactancia. Y lograron determinar que un puntaje de condición corporal de 3.25 a 3.5 durante el período de transición temprana, de 3.0 a 3.25 en el período de transición tardía y mantener una CC de aproximadamente 3.0 durante la lactancia influye en un mejor balance metabólico, lo que se traduce en una mayor eficiencia proteica y, por ende, menos variaciones específicas en el NUL y NUS.

Nuestros resultados son concordantes con las dos investigaciones citadas, quienes reportaron que una condición corporal óptima (entre 3,0 y 3,5) está asociada con un mejor balance metabólico y eficiencia proteica, reflejándose en niveles estables de nitrógeno ureico en sangre NUS y leche NUL. Aunque en este estudio no se evidenciaron diferencias significativas, los valores observados sugieren que mantener una CC adecuada favorece la regulación de los niveles de NUL y no provocan variaciones a nivel de NUS en vacas lecheras.

4.1.6. Número de lactancia

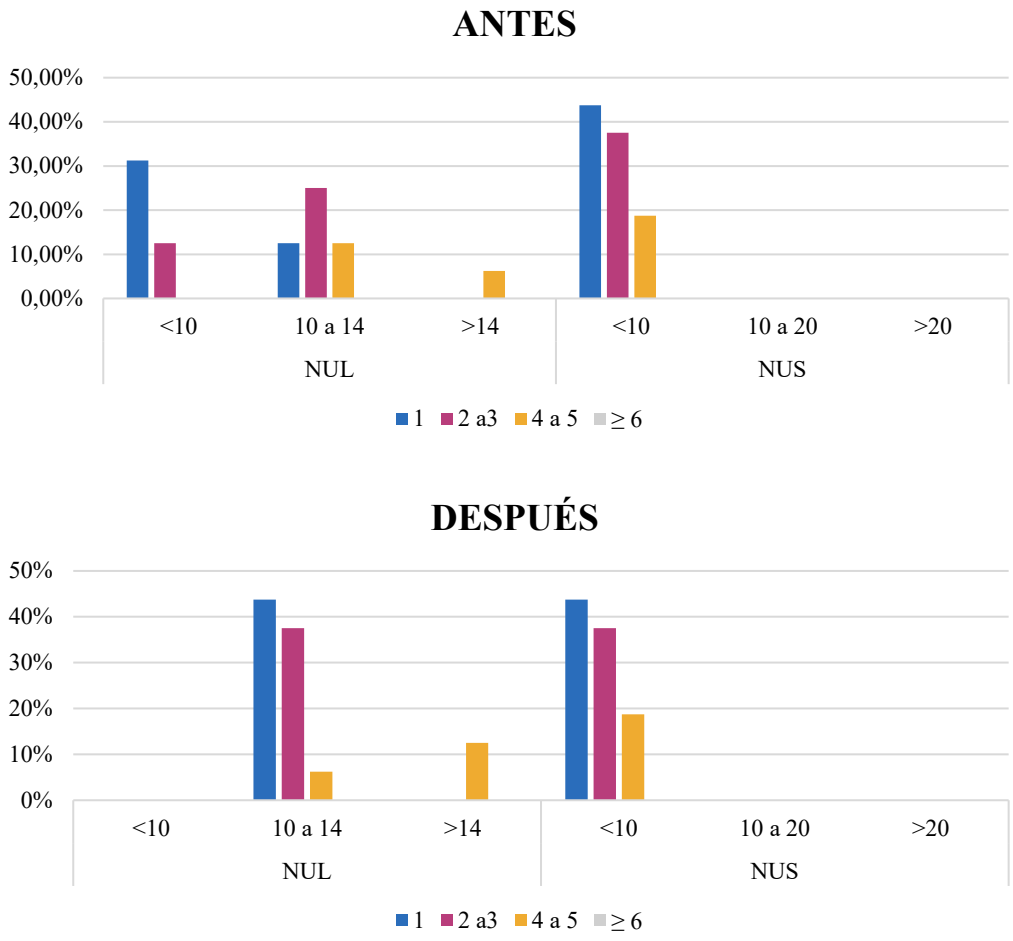
Tabla 10.

Análisis del número de lactancias de las vacas en estudio

Lac	ANTES								DESPUÉS							
	NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)				NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)			
	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total
1	5 31,25%	2 12,50%	0	7 43,75%	7 43,75%	0	0	7	0	7 43,75%	0	7	7 43,75%	0	0	7
2-3	2 12,50%	4 25%	0	6 37,50%	6 37,50%	0	0	6 %	0	6 37,50%	0	6 %	6 37,50%	0	0	6
4-5	0	2 12,50%	1 6,25%	3 18,75%	3 18,75%	0	0	3 %	0	1 6,25%	2 12,50%	3 %	3 18,75%	0	0	3
≥ 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 6.

Resultados del número de lactancias en las vacas sobre el NUL y NUS



Se analizaron 16 bovinos categorizados según su número de lactancias: el 43,75% correspondía a vacas con una lactancia (primíparas), el 37,5% a vacas con 2 a 3 lactancias y el 18,75% a vacas con 4 a 5 lactancias. No se registraron animales con seis o más lactancias. Los valores de nitrógeno ureico en leche (NUL) antes de los tratamientos mostraron una distribución variable de acuerdo con el número de lactancias. En las primíparas, el 31,25% presentó concentraciones bajas de NUL (<10 mg/dL), mientras que el 12,5% se encontraba dentro del rango fisiológico (10–14 mg/dL), sin presencia de casos con niveles elevados (>14 mg/dL). En el grupo de vacas con 2 a 3 lactancias, el 12,5% mostró valores bajos y el 25% se ubicó en el rango fisiológico. En tanto, las vacas con 4 a 5 lactancias evidenciaron un 12,5% de animales con NUL en rango medio y un 6,25% con niveles elevados.

Posterior a la aplicación de los tratamientos, se evidenció una redistribución clara y favorable de los valores de NUL. En el grupo de primíparas, el 43,75% de los animales se concentró en el rango medio (10–14 mg/dL), y no se registraron valores extralimitados. En las vacas con 2–3 lactancias, el 37,5% se mantuvo en el rango fisiológico, con ausencia total de casos en rangos bajos o altos. En el grupo de 4–5 lactancias, el 6,25% presentó NUL medio y el 12,5% niveles elevados, reflejando un desplazamiento hacia concentraciones mayores en comparación con el estado basal. Respecto al nitrógeno ureico sérico (NUS), se observó una estabilidad total en los valores antes y después de la intervención. En todos los grupos de lactancia (1, 2–3 y 4–5), el 100% de los animales se mantuvo dentro del rango bajo (<10 mg/dL) tanto en la etapa pretratamiento como postratamiento.

Timkovičová *et al*., (2022) evaluaron cómo el número de lactancias (paridad) y los días en leche (DEL) afectan la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) y otros componentes lácteos en 5838 vacas Holstein. Y determinaron que, las vacas de primera lactación (primíparas) presentaron menores niveles de NUL ($p < 0.05$) en comparación con vacas de lactancias superiores, y que esto se debe al crecimiento corporal y a una mayor eficiencia en la utilización de aminoácidos en hembras jóvenes.

Liu *et al*. (2024) evaluaron los cambios metabólicos en suero y leche de vacas Holstein mediante análisis bioquímico y metabolómica no dirigida. El estudio incluyó vacas de primera a cuarta lactación, con un promedio general de tres lactancias por granja. Los resultados evidenciaron un incremento en el NUL a medida que aumentaba el número de lactancias.

Nuestros resultados concuerdan con lo reportado en investigaciones previas, las cuales señalan que vacas con menor número de lactancias tienden a presentar concentraciones más bajas de NUL y el aumento en el número de lactancias con mayores concentraciones de NUL. Esta tendencia también se evidenció en el presente estudio: las vacas con 1 a 3 lactancias mostraron concentraciones de NUL inferiores a 10 mg/dL, mientras que aquellas con 4 o más lactancias presentaron valores elevados de NUL, sin embargo, el NUS no sufrió variaciones dependientes de los tratamientos o el número de lactancias.

4.1.7. Días en leche

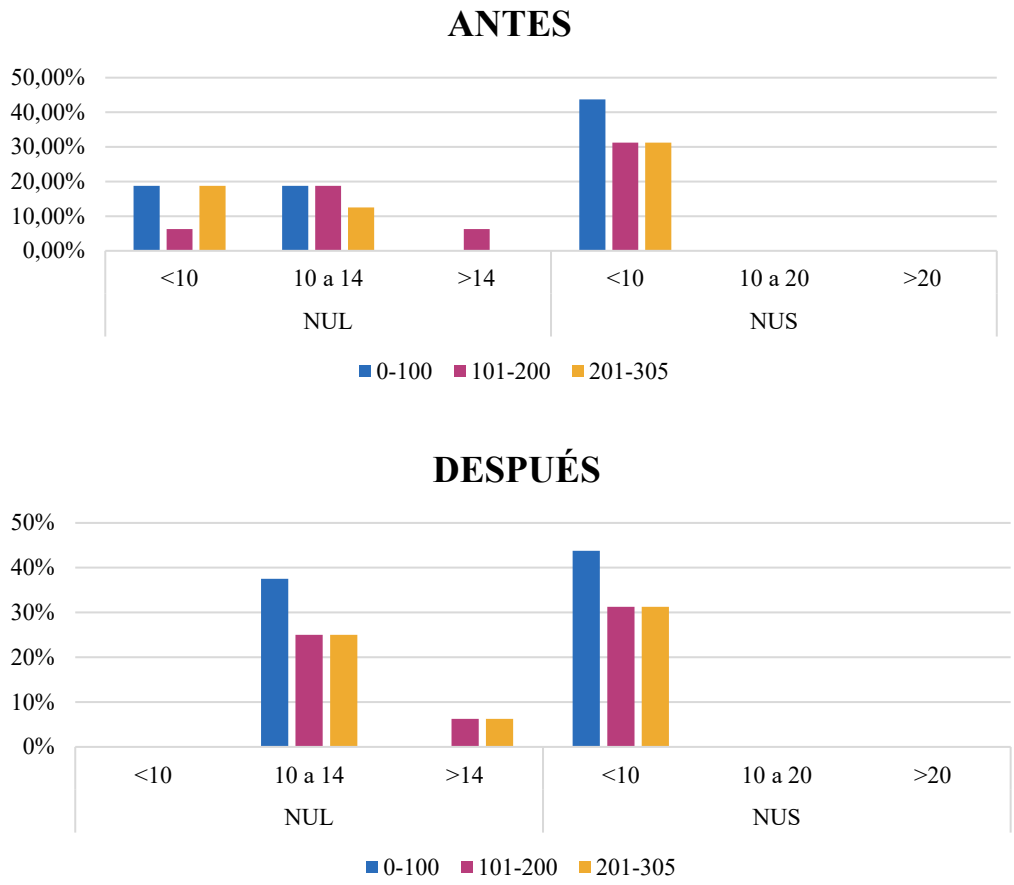
Tabla 11.

Análisis de los días en leche sobre el NUL y NUS

DEL	ANTES								DESPUÉS							
	NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)				NUL (mg/dL)				NUS (mg/dL)			
	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total	<10	10-14	>14	Total	<10	10-20	>20	Total
0-100	3 18,75%	3 18,75%	0	6 43,75%	6 43,75%	0	0	6 43,75%	0	6 37,50%	0	6 43,75%	6 37,50%	0	0	6 43,75%
101-200	1 6,25%	3 18,75%	1 6,25%	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%	0	4 25%	1 6,25%	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%
201-305	3 18,75%	2 12,50%	%	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%	0	4 25%	1 6,25%	5 31,25%	5 31,25%	0	0	5 31,25%

Figura 7.

Resultados de los días en leche de las vacas sobre el NUL y NUS



De un total de 16 vacas evaluadas se determinó que el 43,75% (6/16) de la población en estudio se encontraban con valores de días en leche entre 0 y 100 es decir con una edad de lactancia temprana, el 31,25% (5/16) entre 101 a 200 días de lactancia y el 31,25% (4/16) de 201 a 305 días en leche, En el grupo de vacas con 0–100 días en leche, el 18,75% del total presentó valores bajos de NUL (<10 mg/dL) y otro 18,75% estuvo dentro del rango (10–14 mg/dL); no se registraron casos con NUL elevado (>14 mg/dL). En las vacas con 101–200 días en leche, el 6,25% del total tuvo valores bajos, el 18,75% en el rango y el 6,25% mostró niveles elevados. En el grupo de 201–305 días, el 18,75% tuvo valores bajos y el 12,5% presentó valores dentro del rango fisiológico. Sin embargo, el 100% de los animales independientemente de los días en leche (DEL) presentaron valores de NUS por debajo de 10 mg/dL.

Tras de la aplicación de los tratamientos, se evidenció una mayor uniformidad en la distribución del NUL. En las vacas con 0 a 100 días en leche, en su totalidad exhibieron valores dentro del rango fisiológico (10–14 mg/dL). En los grupos de 101 a 200 días y de 201 a 305 días, el 25% (4/16) de los animales mostraron niveles en el rango fisiológico y un 6,25% (1/16) presentó valores elevados de NUL (>14 mg/dL) respectivamente, sin registrarse casos con valores bajos. Estos cambios sugieren un efecto positivo sobre la regulación del NUL, especialmente en las vacas más cercanas al parto. Sin embargo, el 100% de los animales independientemente de los días en leche (DEL) presentaron valores de NUS por debajo de 10 mg/dL.

Daniel *et al*. (2022), llevaron a cabo un estudio longitudinal evaluando el balance de nitrógeno en vacas lecheras desde 21 días antes del parto hasta 112 días después del parto, y lograron observar que la eficiencia de uso de nitrógeno alcanzó el 65,9 % a los 14 días postparto, y que los indicadores nitrogenados fueron disminuyendo gradualmente a 61,9 % hacia el día 112, dicha eficiencia fue determinada a partir del análisis de nitrógeno ureico en sangre NUS y nitrógeno ureico en leche NUL, heces y orina, enmarcando la importancia de ajustar las estrategias nutricionales a nivel proteico conformen avancen los días en leche.

Tshuma *et al*., (2023) analizaron 25 655 registros de vacas Holstein y observaron un promedio de DEL de 135 ± 50 días, determinaron un incremento significativo del NUL durante los primeros 100 días de lactancia, con valores de 10,4 hasta 15,2 mg/dL, y establecieron que, puede ocurrir un aumento progresivo de este indicador y el cual se correlaciona con cambios en el metabolismo proteico y la eficiencia del uso de nitrógeno, influenciados también por el manejo alimentario.

Los resultados superan los 135 ± 50 días reportados por Tshuma *et al.,* quienes evidenciaron un aumento del NUL (10,4 a 15,2 mg/dL) durante los primeros 100 días de lactancia, coincidiendo con esta investigación. Daniel *et al.,* registraron una reducción en la eficiencia del uso del nitrógeno (de 65,9 % a 61,9 %) tras 112 días en leche, atribuyéndolo a un menor metabolismo proteico con el avance de la lactancia. En contraste, en este estudio se determinó una estabilidad en los niveles de NUL sin cambios a nivel del NUS en todas las etapas de lactancia tras la aplicación de micorrizas.

4.1.8. Producción láctea

Tabla 12.

Análisis de estadístico de la producción láctea antes de la aplicación en los grupos experimentales

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	16,25^{A}±7,14	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	16,00 ^{A} ± 5,66	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,05	0,9855
T3	16,00 ^{A} ± 7,87	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 0,30	0,8271
T4	14,50 ^{A} ± 5,80	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínima de la producción láctea antes; 16,25 litros.

Tabla 13.

Análisis de estadístico de la producción láctea después de la aplicación en los grupos experimentales

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	17,25^{A}±7,80	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	19,25 ^{A} ± 5,44	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,21	0,8846
T3	21,75 ^{A} ± 8,50	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 0,53	0,6711
T4	19,12 ^{A} ± 7,94	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas entre grupos después de los tratamientos: 17,65 litros.

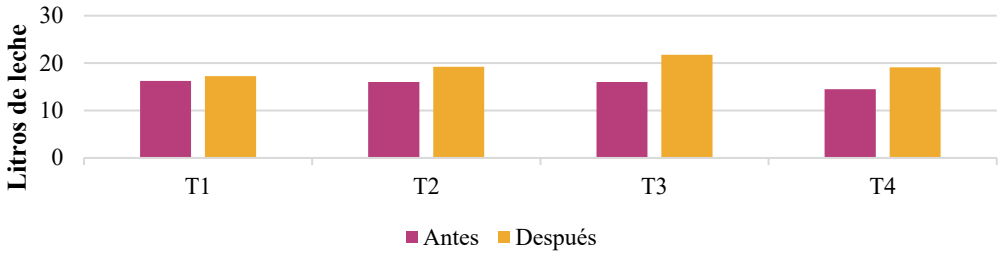
Tabla 14.

Análisis estadístico de la influencia de las micorrizas en la producción láctea antes y después de los tratamientos

Intervalo de estudio	Media General	Diferencias mínimas significativas	Probabilidad de Fisher	Coeficiente de variación	Correlación y regresión lineal de Pearson	
					Valor de R	Valor de R^2
Antes	15,69 ± 6,02 B	1,23 litros de leche	< 0,0001 **	36,7 %	0,1355	0,0184 = 1,84%
Después	19,34 ± 6,92 A					

Figura 8.

Promedio de la producción láctea de los tratamientos en estudio



Los análisis de la producción láctea, expresada en litros de leche, no mostraron diferencias significativas (P > 0,05) entre tratamientos ni entre las repeticiones, tanto antes como después a la aplicación de los tratamientos. En términos generales, la producción inicial promedio fue de 15,69 ± 6,02 litros. Mientras que, después de la aplicación de los tratamientos, se observó un aumento en la producción, alcanzando un promedio de 19,34 ± 6,92 litros, denotando diferencias estadísticas altamente significativas (P: < 0,0001), sin embargo, se determinó un coeficiente de variabilidad del 36,7%. Además, la correlación entre el efecto de las micorrizas y el aumento en la producción láctea fue nula (R= 0,1355), es decir que la inoculación con micorrizas solamente participa en un 1,84% en el aumento de la producción de leche, mientras que el 88,16% restante fue por influencia de las mezclas forrajeras y otros factores no considerados en este análisis.

Antes de la aplicación de los tratamientos, el tratamiento T1 registró la mayor producción láctea, con un promedio de 16,25 ± 7,14 litros. En este grupo, dos de los cuatro bovinos presentaron valores bajos de nitrógeno ureico en leche (NUL) (<10 mg/dL), mientras que los dos restantes se ubicaron dentro del rango fisiológico (10–14 mg/dL). Por otro lado, el tratamiento T4 exhibió la menor producción láctea, con un promedio de 14,50 ± 5,80 litros; en este grupo, una vaca presentó valores bajos de NUL, mientras que las demás se mantuvieron dentro del rango fisiológico.

Después de la aplicación de los tratamientos, el tratamiento T3 registró la mayor producción láctea, con un promedio de 21,75 ± 8,50 litros. Las cuatro vacas incluidas en este grupo presentaron niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL) dentro del rango fisiológico (10–14 mg/dL). En contraste, el tratamiento T1 mostró

la menor producción láctea, con una media de 17,25 ± 7,80 litros, y de igual forma, todos los animales evaluados en este grupo mantuvieron valores de NUL dentro del rango fisiológico. El análisis del nitrógeno ureico sérico (NUS) reveló que, tanto antes como después de la aplicación de los tratamientos, no se observaron variaciones significativas en los niveles de NUS. En ambos periodos de evaluación, el 100% de los bovinos evaluados (16/16) presentaron concentraciones por debajo del límite inferior del rango de referencia (10–14 mg/dL).

Nguyen *et al*., (2025) evaluaron la producción de leche y excreción de nitrógeno de vacas lecheras en pastoreo, y reportaron una producción láctea estable de 20 a 30 litros/día en promedio, mientras que la concentración de NUL incrementó dentro del rango (>14 mg/dL) según la calidad del forraje consumido.

Timkovičová *et al*. (2022) valoraron la eficiencia de utilización del nitrógeno durante la lactancia en 5838 vacas Holstein. Y determinaron una producción de leche diaria: significativamente mayor en vacas de primera lactación (primíparas: 31 kg/d; multíparas ~29 kg/d; $P < 0,05$), además, observaron que las primíparas exhibieron niveles más bajos de nitrógeno ureico en leche (<10 mg/dL), en comparación con vacas de dos o más lactancias, sin determinaciones de NUS.

Loza *et al*, (2021) evaluaron la producción de leche de vacas Jersey que pastan raigrás perenne, trébol blanco y mezclas de forrajes multiespecies, y encontraron que las mezclas forrajeras de diversas especies promovieron una producción en promedio de 24,9 ± 0,86 litros de leche diarios, frente al grupo testigo el cual exhibió una producción de 23,4 ± 0,77 litros sin variaciones en el NUL (100% con valores de, 10 a 14 mg/dL) sin determinaciones de NUS.

Nuestros resultados se ubicaron por debajo de los valores reportados por Nguyen *et al*, con una producción entre 20–30 L/día, influenciadas por la calidad del forraje y su efecto sobre el NUL. Por su parte, Loza *et al*, demostraron una mayor producción (24,9 ± 0,86 L/día) con mezclas forrajeras. Aunque no existe diferencias estadísticas entre grupos experimentales, destacamos la influencia de inoculación del 10% de micorrizas sobre la producción láctea y NUL sin variaciones evidentes en el NUS de las vacas estudiadas.

4.1.9. Proteína total en sangre

Tabla 15.

Análisis de la proteína total en sangre de las vacas antes de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	15,52^{A} ±2,98	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	17,78^{A} ± 4,74	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T3	14,22^{A} ± 2,45	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,76 **Blo:** 0,32	0,5452 0,8085
T4	15,58^{A} ± 0,93	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
General	15,77 ± 3,07	7 (43,75%)	8 (50%)	1 (6,25%)	16 (100%)	0 (0%)	(0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) antes; 7,49 g/dL.

Tabla 16.

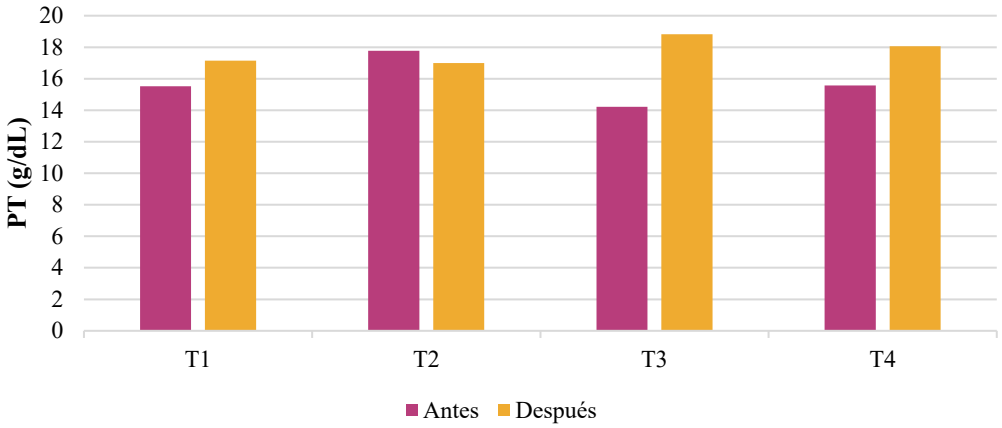
Análisis de la proteína total en sangre de las vacas después de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	$17,14^{A} \pm 0,56$	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	$17,00^{A} \pm 1,14$	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T3	$18,82^{A} \pm 2,68$	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 1,43 **Blo:** 1,68	0,2963 0,4201
T4	$18,06^{A} \pm 0,75$	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
General	17,76 ± 1,57	0 (0%)	14 (87,50%)	2 (12,50%)	16 (100%)	0 (0%)	(0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) después; 3,13 g/dL. Diferencias significativas mínimas (DMS) antes vs. después; 2,22 g/dL.

Figura 9.

Promedios de la proteína total en sangre de los tratamientos en estudio



El análisis estadístico, basado en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas (P > 0,05) a nivel de los tratamientos ni de los bloques sobre la concentración de proteína total en sangre, tanto antes y después de la intervención con micorrizas (DMS= 7,49 g/dL antes; DMS=3,13 g/dL después). En la fase pretratamiento, se obtuvo un promedio de proteína total en sangre de 15,77 ± 3,07 g/dL. Posteriormente, tras la inoculación micorrízica, se observó un incremento en la concentración proteica, alcanzando en promedio 17,76 ± 1,57 g/dL, sin evidencia de diferencias estadísticas entre periodos (DMS= 2,22 g/dL).

En la fase previa a la aplicación de los tratamientos, los valores promedio de proteína total sérica fueron estadísticamente similares entre grupos. No obstante, desde un enfoque numérico, el T2 presentó el valor más alto, con un promedio de 17,78 ± 4,74 g/dL, en este grupo, dos vacas presentaron niveles bajos NUL <10 mg/dL, una se ubicó dentro del rango fisiológico (10–14 mg/dL) y una vaca mostró un valor elevado (>14 mg/dL). En contraste, el T3 registró el promedio más bajo de proteína total, con 14,22 ± 2,45 g/dL. En este grupo, dos animales presentaron valores bajos de NUL y las otras dos vacas valores dentro del rango fisiológico.

Después de la inoculación con micorrizas, los valores promedio de proteína total (PT) en sangre no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. No obstante, desde un enfoque numérico, el T3 registró la mayor

concentración, con un promedio de 18,82 ± 2,68 g/dL, al relacionar estos resultados con los niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL), se observó que los cuatro bovinos de este grupo presentaron valores dentro del rango referencial (10–14 mg/dL). Por otro lado, la menor concentración de PT se registró en el T2, con un promedio de 17,00 ± 1,14 g/dL. En este grupo, el 50 % (2/4) de los animales mostraron valores de NUL dentro del rango fisiológico, mientras que el otro 50 % (2/4) presentaron valores superiores a 14 mg/dL.

Al relacionar estas concentraciones de proteína total con los valores de nitrógeno ureico en sangre (NUS), se observó que la totalidad de los bovinos evaluados (16/16), tanto antes como después de la inoculación, mantuvieron niveles por debajo del límite inferior del rango referencial establecido (<10 mg/dL).

Gathinji *et al*. (2023) investigaron la dieta a base de mezclas forrajera en vacas Jersey durante la lactancia, la producción de leche obtuvo un promedio general de 22,6 kg/día. Los valores de nitrógeno ureico en leche (NUL) fluctuaron desde un mínimo de 3,86 mg/dL en el segundo mes, hasta un máximo de 12,3 mg/dL al sexto mes. La concentración de nitrógeno ureico en sangre (NUS) varió de 5,57 mg/dL en el segundo mes hasta 14,2 mg/dL en el sexto. Por último, la proteína total sérica mostró un incremento desde 3,85 g/dL hasta un pico de 7,04 g/dL.

Siachos *et al*., (2024) evaluaron la alimentación con mezclas forrajeras y las características de producción de leche en 238 vacas Holstein, y evidenciaron concentraciones promedio de proteína total de 6,85 ± 0,56 g/dL y de nitrógeno ureico en sangre (NUS) de 13,2 ± 4,3 mg/dL. Las vacas con niveles de proteínas totales por encima del promedio produjeron 35,2 ± 5,6 litros de leche/día, mientras que aquellas con valores más bajos (<6,5 g/dL) mostraron producciones cercanas a 28,9 ± 4,8 litros/día.

Los valores de la proteína total en sangre observados en esta investigación (14,22–18,82 g/dL) fueron consistentemente superiores a los reportados en las literaturas citadas, donde se registraron concentraciones promedio entre 6,5 y 7,0 g/dL en vacas lecheras durante la lactancia. Estas discrepancias pueden atribuirse a diferencias en las condiciones fisiológicas de los animales, el tipo de dieta, así como otros factores relacionados con el ambiente, la raza o el manejo alimentario.

4.1.10. Proteínas totales en leche

Tabla 17.

Análisis de la proteína en la leche de las vacas antes de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	$2,93^{A} \pm 0,42$	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	$3,19^{A} \pm 0,67$	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T3	$3,21^{A} \pm 0,50$	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,76 **Blo:** 0,32	0,5452 0,8085
T4	$3,02^{A} \pm 0,13$	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
General	3,09 ± 0,44	7 (43,75%)	8 (50%)	1 (6,25%)	16 (100%)	0 (0%)	(0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) antes; 1,05%.

Tabla 18.

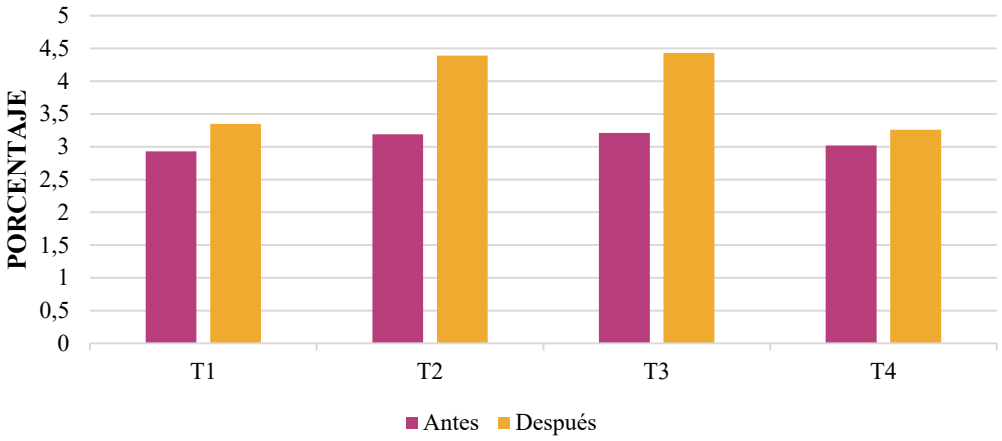
Análisis de la proteína en la leche de las vacas después de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	$3,35^{A}$ ±0,21	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	$4,39^{A}$ ± 1,15	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T3	$3,43^{A}$ ± 0,39	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 2,36 **Blo:** 0,34	0,1398 0,7960
T4	$3,26^{A}$ ± 0,21	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
General	$3,61^{A}$ ± 0,73	0 (0%)	14 (87,50%)	2 (12,50%)	16 (100%)	0 (0%)	(0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) después; 1,51%. Diferencias significativas mínimas antes vs. después; 0,31%.

Figura 10.

Promedio de la proteína total en leche de cada tratamiento en estudio



A lo largo del experimento, los valores de proteína total en leche no mostraron diferencias significativas atribuibles a los tratamientos ni a los bloques experimentales, según el análisis realizado bajo un diseño de bloques completamente al azar (P > 0,05) (DMS= 1,05% antes). En la fase inicial, el contenido promedio de proteína fue de 3,09 ± 0,44%. Tras la aplicación de los tratamientos, se registró un aumento en la concentración proteica, alcanzando un promedio de 3,61 ± 0,73%, marcando diferencias estadísticamente significativas (P: 0,0187) entre dichos eventos (DMS= 0,31%).

Previamente a la aplicación de los tratamientos, los promedios de proteína total en leche no presentaron variaciones estadísticamente significativas entre los grupos experimentales. A pesar de ello, el tratamiento T3 presentó la mayor concentración, con un promedio de 3,21 ± 0,50%. Considerando que de la totalidad de vacas de este grupo el 50% (2/4) expresaron valores de NUL dentro del rango de referencia (10-14 mg/dL) y el otro 50% (2/4) valores más bajos (<10mg/dL). Además, el tratamiento T1 reflejó la menor concentración de proteínas en leche, con una media de 2,93 ± 0,42%. Identificando además que de la totalidad de animales el 50% (2/4) de vacas expresaron valores de NUL bajos y el otro 50% (2/4) dentro del rango.

Tras la inoculación de las mezclas forrajeras con micorrizas, no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas (P > 0,05) en la concentración de proteína

total en leche entre los tratamientos evaluados. No obstante, el tratamiento T2 presentó el valor más alto, con un promedio de 4,39 ± 1,15% con un 50% (2/4) de vacas con valores de NUL en rango y un 50% de vacas con valores extralimitados (>14mg/dL). Finalmente, el tratamiento T4 registró la menor concentración de proteína total, con una media de 3,26 ± 0,21% con la totalidad de animales (4/4) expresando un NUL en rango.

Al relacionar estas concentraciones de proteína total en leche con los valores de nitrógeno ureico en sangre (NUS), se observó que la totalidad de los bovinos evaluados (16/16), tanto antes como después de la inoculación, mantuvieron niveles por debajo del límite inferior del rango referencial establecido (<10 mg/dL).

Shi *et al*, (2023) investigaron la predicción de la eficiencia del uso de nitrógeno, en un total de 86 vacas Holstein al final de la lactancia, y encontraron una concentración media de proteína en leche de 3,16 % y un valor promedio de NUL de 12,5 mg/dL en vacas Holstein alimentadas con mezclas forrajeras.

Zhao *et al*., (2025) realizaron un metaanálisis de un total 48 trabajos publicados de alta relevancia nutricional sobre la evaluación del nitrógeno ureico de la leche como indicador de la nutrición proteica en vacas lecheras, y de lo cual reportaron una producción láctea promedio de 34,8 kg/día y un contenido de proteína total en leche de aproximadamente 3,16 %, junto con los niveles de NUL en promedio de 12,5 mg/dL, y en su estudio revelaron que la concentración de NUL mostró una correlación débil pero positiva con la producción de leche y el contenido de proteína láctea.

Nuestros hallazgos son semejantes a lo reportado por Shi *et al*, quienes documentaron un promedio de 3,16% de proteína en leche y 12,5 mg/dL de NUL en vacas Holstein, ya que, en este estudio los valores por debajo de 3% de proteína en leche mostraron concentraciones bajas de NUL (< 10 mg/dL) y valor por encima del 3% presentaron concentraciones entre 10-14 mg/dL de NUL. De igual forma, coincidimos con Zhao *et al*, quienes destacaron que concentraciones adecuadas de NUL y proteínas en leche reflejan un óptimo balance nutricional, evidente en los resultados después de la aplicación de los tratamientos en está investigación.

4.1.11. Nitrógeno ureico en leche (NUL)

Tabla 19.

Análisis del nitrógeno ureico en leche (NUL) antes de la aplicación de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	10,15 ^{A} ± 1,43	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	11,03 ^{A} ± 2,30	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,31	0,8171
T3	11,09 ^{A} ± 1,72	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 0,85	0,5003
T4	10,42 ^{A} ± 0,46	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) antes; 3,65 mg/dL

Tabla 20.

Análisis del nitrógeno ureico en leche (NUL) después de la aplicación de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	11,59 ^{A} ± 0,73	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	15,17 ^{A} ± 3,99	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 2,37	0,1398
T3	11,86 ^{A} ± 1,33	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 0,34	0,7955
T4	11,25 ^{A} ± 0,74	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%. Diferencias significativas mínimas (DMS) después; 5,22 mg/dL.

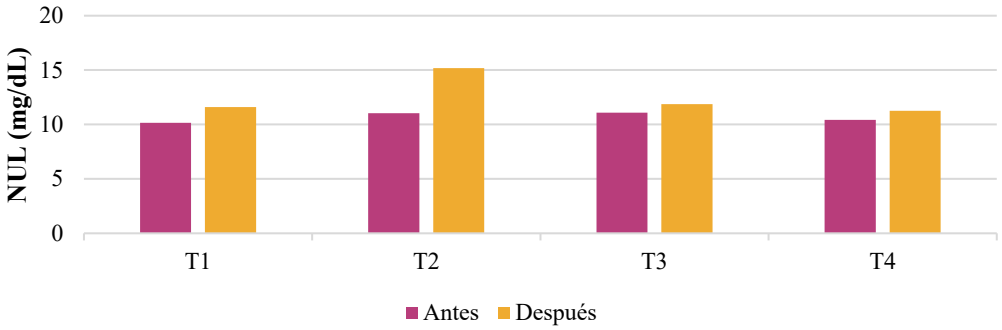
Tabla 21.

Análisis estadístico de la influencia de las micorrizas en la concentración del NUL antes y después de los tratamientos

Intervalo de estudio	Media General	Diferencias mínimas significativas	Probabilidad de Fisher	Coeficiente de variación	Correlación y regresión lineal de Pearson	
					Valor de R	Valor de R^2
Antes	10.68 ± 1,51 [B]	1,20 mg/dL	0,0036 **	12,64 %	-0,19668	0,0387 = 3,87%
Después	12,47 ± 2,53 [A]					

Figura 11.

Promedios del nitrógeno ureico en leche (NUL) de los grupos experimentales



Los análisis del NUL, expresada en mg/dL, no exhibieron diferencias significativas (P > 0,05) entre tratamientos ni entre las repeticiones, tanto antes como después a la aplicación de los tratamientos. se evidenció un incremento en los valores de NUL, pasando de un promedio inicial de 10,68 ± 1,51 mg/dL a 12,47 ± 2,53 mg/dL después de la intervención, denotando que este aumento originó diferencias estadísticas altamente significativas (P: 0,0036). No obstante, la correlación entre el efecto de las micorrizas sobre el aumento en la concentración del NUL fue negativa y nula (R= -0,19668), es decir que la inoculación con micorrizas solamente participa en un 3,87% en el incremento del NUL observado, mientras que el 96,13% restante fue por influencia de las mezclas forrajeras y otros factores no considerados en este análisis.

En la fase previa a la aplicación de los tratamientos a pesar de que no existieron diferencias significativas (P > 0,05) entre grupos en cuanto al NUL. A nivel numérico se determinó que el tratamiento T3 registró la mayor concentración, con un promedio de 11,09 ± 1,72 mg/dL, con un 50% de vacas (2/4) con valores de NUL bajos (<10 mg/dL) y un 50% de animales (2/4) exhibieron valores dentro del rango de referencia (10-14 mg/dL), mientras que la menor concentración se observó en el tratamiento T1, con una media de 10,15 ± 1,43 mg/dL, con un 50% de vacas (2/4) con valores de NUL bajos (<10 mg/dL) y un 50% de animales (2/4) con niveles en rango.

Posterior a la aplicación de los tratamientos, se observó un incremento general en las concentraciones de NUL, siendo el tratamiento T2 el que presentó la mayor concentración, con un promedio de 15,17 ± 3,99 mg/dL, y con un con un 50% de vacas (2/4) con valores de NUL en rango (10 – 14 mg/dL) y un 50% de animales (2/4) con niveles de NUL sobre el referencial (>14 mg/dL). Mientras que en este periodo la menor concentración se registró en el tratamiento T1, con un promedio de 11,59 ± 0,73 mg/dL, con un 100% de vacas de este grupo con valores dentro del rango aceptable.

Ferreira *et al*, (2023) evaluaron el balance de nitrógeno en vacas lecheras alimentadas con dietas bajas en nitrógeno fundamentadas en diversas proporciones mezclas forrajeras, y determinaron una concentración de 7,5 mg/dL de nitrógeno ureico de la leche en las dietas con mayor inclusión de mezclas de forraje, sin embargo, en las dietas con inclusión de forraje conservado (ensilaje de maíz) el NUL fue de 9,0 con limitación en la proteína cruda de la dieta.

McCarthy *et al*, (2023) Se evaluó el efecto de tres dietas basadas en forrajes cero pastoreados sobre la utilización del nitrógeno en vacas lecheras en lactancia mediante el suministro de: 1) raigrás solo, 2) raigrás + trébol blanco y 3) una mezcla multiespecies que incluía raigrás, trébol blanco, trébol rojo, festuca, achicoria y llantén. Se midió el nitrógeno ureico en leche (NUL), observándose diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). El NUL más bajo se registró en las vacas alimentadas con la mezcla multiespecie (11,9 ± 0,9 mg/dL), en comparación con el raigrás solo (14,1 ± 1,2 mg/dL) y raigrás + trébol blanco (13,2 ± 1,1 mg/dL).

En este estudio se evidenció un incremento posterior a la inoculación con micorrizas (de 10,68 ± 1,51 mg/dL a 12,47 ± 2,53 mg/dL). Estos valores se sitúan dentro del rango reportado por McCarthy *et al*, donde la inclusión de forrajes multiespecies redujo significativamente el NUL a 11,9 ± 0,9 mg/dL, frente a 14,1 ± 1,2 mg/dL en dietas con raigrás solo. Así mismo, Ferreira *et al*. reportaron valores inferiores (7,5 a 9,0 mg/dL) en vacas alimentadas con forrajes frescos, destacando la influencia del tipo de forraje y el contenido proteico sobre el metabolismo del nitrógeno. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la respuesta del NUL puede estar modulada más por la composición y sincronización nutricional del forraje.

4.1.12. Nitrógeno ureico en sangre (NUS)

Tabla 22.

Análisis del nitrógeno ureico en sangre (NUS) antes de la aplicación de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	5,31 ^{A} ± 1,01	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	6,09 ^{A} ± 1,62	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 0,76	0,5454
T3	4,87 ^{A} ± 0,84	2 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 0,32	0,8086
T4	5,33 ^{A} ± 0,32	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%.

Tabla 23.

Análisis del nitrógeno ureico en sangre (NUS) después de la aplicación de los tratamientos

Tratamientos	Promedio	NUL (mg/dL)			NUS (mg/dL)			F-Valor	P
		< 10	10-14	>14	< 10	10-20	> 20		
T1	5,87 ^{A} ± 0,20	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		
T2	5,82 ^{A} ± 0,39	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Tra:** 1,59	0,2593
T3	6,44 ^{A} ± 0,92	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	**Blo:** 1,71	0,2342
T4	6,24 ^{A} ± 0,16	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)		

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%.

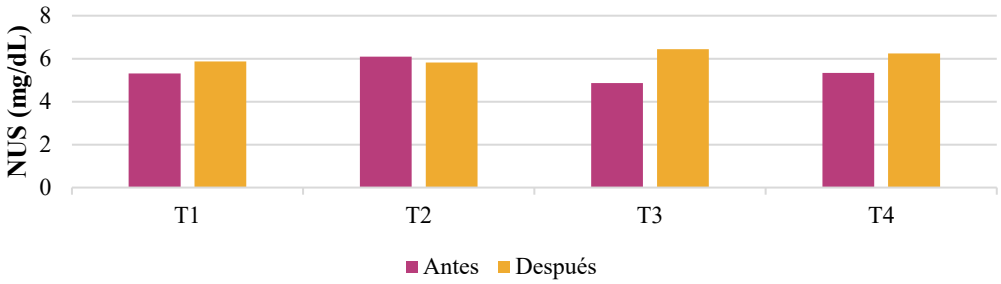
Tabla 24

Análisis estadístico de la influencia de las micorrizas en la concentración del NUS antes y después de los tratamientos

Intervalo de estudio	Media General	Diferencias mínimas significativas	Probabilidad de Fisher	Coeficiente de variación	Correlación y regresión lineal de Pearson	
					Valor de R	Valor de R^2
Antes	5,40 ± 1,05 [A]	0,76 mg/dL	0,0720 NS	17,56 %	0,3755	0,141 = 14,10%
Después	6,09 ± 0,53 [A]					

Figura 12.

Promedio del nitrógeno ureico en sangre (NUS) de los tratamientos en estudio



Los análisis de la concentración de nitrógeno ureico en sangre (NUS), expresada en mg/dL, no exhibieron diferencias significativas (P > 0,05)) entre tratamientos ni entre las repeticiones, tanto antes como después a la aplicación de los tratamientos. En términos generales, la concentración inicial promedio fue de 5,40 ± 1,05 mg/dL. Mientras que, después de la aplicación de los tratamientos, se observó un aumento en el NUS, alcanzando un promedio de 6,09 ± 0,53 mg/dL, denotando que este aumento no provocó diferencias estadísticas (P: 0,0720). Además, la correlación entre el efecto de las micorrizas y el aumento en la concentración del NUS fue moderada (R= 0,3755), es decir que la inoculación con micorrizas influye en un 14,10% en el incremento de las concentraciones del NUS, mientras que el 85,90% restante fue por influencia de las mezclas forrajeras y otros factores no considerados en este análisis.

En la etapa previa a la aplicación de los tratamientos, el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas (P > 0,05) en las concentraciones de nitrógeno ureico en sangre (NUS) entre los distintos grupos experimentales. No obstante, desde un enfoque descriptivo, el tratamiento T2 presentó la mayor concentración promedio, con 6,09 ± 1,62 mg/dL. Dentro de este grupo, se identificaron dos bovinos con valores bajos de NUL (<10 mg/dL), uno con valores dentro del rango referencial (10–14 mg/dL) y otro con un valor elevado (>14 mg/dL). Por otro lado, el tratamiento T3 registró la menor media de NUS, con 4,87 ± 0,84 mg/dL; en este grupo, el 50% (2/4) de los bovinos presentó concentraciones bajas de NUL y el otro 50% se mantuvo dentro del rango fisiológico.

Tras la aplicación de los tratamientos experimentales, las concentraciones de nitrógeno ureico en sangre (NUS) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($P > 0,05$), lo que indica una respuesta homogénea a nivel grupal. El grupo T3 presentó la mayor concentración media, con 6,44 ± 0,92 mg/dL, y el 100% (4/4) de los bovinos en este tratamiento mantuvo valores de nitrógeno ureico en leche (NUL) dentro del rango referencial (10–14 mg/dL). En contraste, el grupo T2 registró la menor concentración de NUS, con 5,82 ± 0,39 mg/dL; dentro de este grupo, el 50% (2/4) de las vacas presentó valores de NUL en el rango óptimo, mientras que las otras 2 vacas (50%) mostraron concentraciones superiores a 14 mg/dL.

Tshuma *et al*, (2023) evaluaron la concentración del nitrógeno ureico en sangres (NUS) en vacas lecheras que recibieron mezclas forrajeras, y como resultados encontraron que el rango de concentración promedio de nitrógeno ureico en leche (NUL) fue de 8,2 a 11,4 mg/dL, lo que refleja niveles equivalentes de NUS con valores entre aproximadamente 11 y 12 mg/dL considerados como típicos en vacas con buena eficiencia reproductiva bajo sistemas pastoriles.

Soder *et al*, (2020) evaluaron la ingesta y rendimiento de vacas lactantes que pastan diversas mezclas de forrajes. Como resultados encontraron que el NUS promedio registrado fue de 13,4 mg/dL, sin diferencias significativas entre tratamientos con un máximo de 14,5 mg/dL y un mínimo de 12,0 mg/dL, esto sugiere que, aunque una mezcla forrajera bien diseñada puede beneficiar otros aspectos del metabolismo

Lavery & Ferris (2021) evaluaron nuevas estrategias para estimar la eficiencia del nitrógeno en vacas lecheras, y propusieron nuevos rangos de referencia para el NUS, y valores de NUS inferiores a 10 mg/dL indican una posible deficiencia de proteína disponible en la dieta, concentraciones entre 13 y 16 mg/dL reflejan un adecuado aporte proteico y un buen equilibrio entre proteína degradable y por el contrario, niveles superiores a 19 mg/dL sugieren un exceso de proteína en la dieta.

Los valores del NUS obtenidos en este estudio (4,87–6,44 mg/dL) fueron inferiores a los rangos fisiológicamente adecuados propuestos por Lavery & Ferris y a los reportados por Soder *et al*. y Tshuma *et al*. La baja concentración de NUS podría indicar una deficiencia de nitrógeno degradable en la dieta.

4.1.13. Beneficio/costo

Tabla 25.

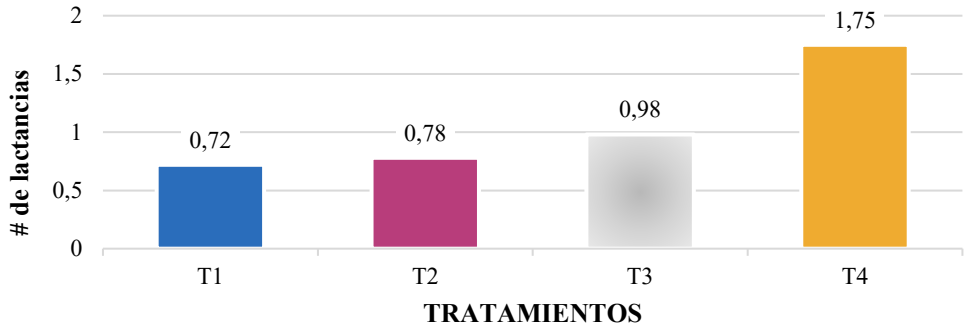
Beneficio/costo

Concepto	Unidad	T1 (testigo)			T2 (5%)			T3 (10%)			T4 (15%)		
		Cantidad	**Valor unitario**	**Total**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Total**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Total**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Total**
Cal	Saco	0,75	12,67	9,50	0,75	12,67	9,50	0,75	12,67	9,50	0,75	12,67	9,50
Abono	Kg	0,25	10	2,5	0,25	10	2,5	0,25	10	2,5	0,25	10	2,5
Mezclas forrajeras	Kg	40	20,836	833,4	40	18,335	733,2	40	14,667	586,8	40	13,002	520,0
Micorrizas	Kg	0	0	0	0,5	25	12,50	1,0	25	25,00	1,5	25	37,50
Jornales	Día	4	20	80	5	20	100	5	20	100	5	20	100
Análisis de laboratorio				44			44			44			44
Egresos Total				**969,4**			**901,7**			**767,8**			**713,5**
Producción forraje verde	Kg			7000			7000			7500			12500
Costos / Producción	Kg			0,14			0,13			0,10			0,06
Ingreso	$	7000	0,10	**700**	7000	0,10	**700**	7500	0,10	**750**	12500	0,10	1250
B/C				**0,72**			**0,78**			**0,98**			**1,75**

T1: Ray grass perenne 25% + pasto azul 25% + holco 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%. T2: Pasto azul 20% + holco 20% + Ray grass perenne 30% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 5%. T3: Ray grass perenne 20% + Ray grass anual 20% + pasto azul 25% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 10%. T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4% + micorrizas 15%.

Figura 13.

Beneficio/costo



El análisis de costos de producción por kilogramo de forraje verde reveló que el tratamiento T4 presentó el valor más bajo con $0,06/kg, seguido por T3 con $0,10/kg, T2 con $0,13/kg y T1 con $0,14/kg. Para evaluar la eficiencia económica de cada tratamiento, se aplicó el índice de relación beneficio-costo (B/C), determinándose que el T4 fue el más rentable, con un valor de 1,75, seguido por T3 con 0,98, el T2 con 0,78 y el T1 con 0,72, infiriendo que estos no alcanzaron un margen de rentabilidad aceptable. Estos resultados indican que T4 no solo optimiza el costo de producción, sino que también maximiza el retorno por unidad invertida.

Caiza (2018) evaluó del efecto de tres abonos en el rendimiento de mezcla forrajera: ray grass, alfalfa, trébol blanco y pasto azul en el Cantón de Latacunga, Cotopaxi entre los años 2017 y 2018, En el análisis económico determinó un costo de producción de 0,10 centavos de dólar en promedio por kilogramo de forraje verde y un rendimiento de 39 022,125 kg/ha de forraje.

En comparación con los datos reportados por el autor citado, quien estimó un costo promedio de $0,10/kg de forraje verde en mezclas forrajeras como ray grass, alfalfa, trébol blanco y pasto azul. Al equiparar los resultados del T4 de esta investigación fueron diferentes, ya que, el costo de producción de un kilogramo de forraje verde en la hacienda Guapungoto fue de $0,06/kg de forraje, mientras que los otros tratamientos presentaron un costo de producción igual o superior al reportado por Caiza. Estas diferencias se atribuyen a los efectos de las micorrizas y su interacción con el suelo y los forrajes.

4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Según los resultados obtenidos de los análisis de las variables investigadas, se evidenció influencia en la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) y nitrógeno ureico en sangre (NUS) entre los tratamientos evaluados. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna, la cual establece que; La utilización de micorrizas en el establecimiento de tres mezclas forrajeras y tendrá influencia en el NUS y NUL en ganado lechero.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

La inoculación con micorrizas en diferentes tipos de pastizales demostró ser una estrategia eficaz para mejorar la calidad nutricional del forraje. Se evidenció un incremento en la proteína bruta de los pastos, especialmente con aplicaciones del 10%. En conjunto, los resultados validan el uso de micorrizas como una alternativa sostenible para optimizar y la calidad forrajera en sistemas pastoriles.

La concentración inicial de nitrógeno ureico en leche (NUL) fue de 10,68 ± 1,51 mg/dl, aumentando a 12,47 ± 2,53 mg/dl tras el consumo de forrajes inoculados con micorrizas, diferencia que resultó altamente significativa (P=0,0036). Además, el análisis de correlación indicó que la aplicación de micorrizas influye en un 3,87% en el incremento del NUL (R= -0,19668). En cuanto al nitrógeno ureico en sangre (NUS), se registró un incremento de 5,40 a 6,09 mg/dl, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. En conjunto, estos resultados permiten concluir que la inoculación con micorrizas no ejerce un efecto relevante sobre el metabolismo nitrogenado en vacas lecheras en pastoreo, siendo la calidad y composición del forraje los factores determinantes en las variaciones de NUL y NUS.

La evaluación de la eficiencia económica mediante el índice beneficio-costo (B/C) mostró que el tratamiento T4 fue el más rentable, alcanzando un valor de 1,75, lo que significa que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno neto de $0,75. En contraste, los tratamientos T3 (0,98), T2 (0,78) y T1 (0,72) no lograron superar el umbral de rentabilidad, indicando que su aplicación no resulta económicamente viable bajo las condiciones evaluadas. Estos resultados evidencian que el nivel más alto de inoculación micorrízica (15%) optimiza el índice beneficio-costo, consolidándose como la alternativa económicamente más eficiente frente a los demás tratamientos

5.2. RECOMENDACIONES

Inocular un 15% de micorrizas en mezclas forrajeras (T4: Festuca alta 20% + festuca arundinacea 20% + pasto azul 20% + trébol blanco 18% + trébol rojo 3% + achicoria 4%) ya que en esta investigación se observó que logra optimizar el índice beneficio-costo, y puede ser una alternativa económicamente más eficiente frente a los demás tratamientos.

Evaluar los parámetros de digestibilidad de la fibra y agregación de carbohidratos en forrajes inoculados con micorrizas.

Monitorear periódicamente la fertilidad del suelo, dado que la respuesta a la inoculación con micorrizas depende de factores edáficos como el pH y la disponibilidad de nutrientes.

Medir los sólidos de la leche para evaluar el carácter nutricional de las mezclas forrajeras.

BIBLIOGRAFÍA

Albornoz, R., Kennedy, K., & Bradford, B. (2023). Symposium Review: Fueling Appetite: Nutrient Metabolism and The Control Of Feed Intake. *Journal Of Dairy Science*, 106(3), 2161 - 2166.

Alrhmoun, M., Zanon, T., Katzenberger, K., Holighaus, L., & Gauly, M. (2023). Exploring The Heights: Impact Of Altitude on Dairy Milk Composition. *Jds Commun*, 5(2), 139-143.

Alsharmani, A., Solaiman, Z., Leopold, M., Abbott, L., & Mickan, B. (2023). Impacts Of Rock Mineral And Traditional Phosphate Fertilizers On Mycorrhizal Communities In Pasture Plants. *Microorganisms*, 11(4), 1051.

Anzai, H., & Hirata, M. (2021). Individual Monitoring Of Behavior To Enhance Productivity And Welfare Of Animals In Small-Scale Intensive Cattle Grazing Systems. *Front. Sustain. Food Syst*., 5, 694413.

Apízar , J. (2023). La Suplementación Mineral Del Ganado: Revisión De Principios Y Tecnologías Aplicadas, Para Mejorar El Desempeño Productivo. *Yulök Revista De Innovación Académica*, 7(2), 119-129.

Argumedo, R., Gómez, M., & Mora, J. (2022). Plant Growth Promoting Filamentous Fungi And Their Application In The Fertilization Of Pastures For Animal Consumption. *Agronomy*, 12(12), 3033.

Arthington, J., & Ranches, J. (2021). Trace Mineral Nutrition Of Grazing Beef Cattle. *Animals*, 11(10), 2767.

Back, P., & Hall, J. (2023). Vitamin And Trace Element Nutrition Of Stocker Cattle On Small Grain And Winter Annual Pastures. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 39(3), 491-504.

Bales, A., & Lock, A. (2024). Effects Of Increasing Dietary Inclusion Of High Oleic Acid Soybens On Milk Production Of High-Producing Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 107(10), 7867 - 7878.

Belyea, R., Steevens, B., Garner, G., Whittier, J., & Sewell, H. (2017). Using Neutral Detergent Fiber To Predict Forage Intake In Dairy Cows. *University Of Missouri Extension Publication*, G3161.

Bennett, A., & Groten, K. (2022). The Costs And Benefits Of Plant–Arbuscular Mycorrhizal Fungal Interactions. *Annual Review Of Plant Biology*, 73(1), 649–72.

Bittante, G. (2022). Effects Of Breed, Farm Intensiveness, And Cow Productivity On Infrared Predicted Milk Urea. *Journal Of Dairy Science*, 105(6), 5084-5096.

Branco, S., Schauster, A., Liao, H., & Ruytinx, J. (2022). Mechanisms Of Stress Tolerance And Their Effects On The Ecology And Evolution Of Mycorrhizal Fungi. *New Phytologist*, 235(6), 2158-2175.

Brito, A., Tremblay, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Bélanger , G., Lafrenière, C., Berthliaume, R. (2021). Omasal Flow Of Nonstructural Carbohydrates And Nitrogenous Compouns In Lactating Dairy Cows Fed Diets Containing Timothy Cyt In The Afternoon Or Morning. *Journal Of Dairy Science*, 104(12), 12459-12471.

Buczkowska, H., & Sałata, A. (2020). Inoculation With Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Amf) And Plant Irrigation With Yield–Forming Factors In Organic Sweet Pepper (Capsicum Annuum L.) Cultivation. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 19, 125-138.

Bunn, R., Correa, A., Joshi, J., Kaiser, C., Lekberg, Y., Prescott, C., Karst, J. (2024). What Determines Transfer Of Carbon From Plants To Mycorrhizal Fungi? *New Phytologist*, 244(4), 1199 - 1215.

Caiza, A. (2018). Evaluación Del Efecto De Tres Abonos: Pasto Leche, Orgánico Mineral Y Compost De Cuy En El Rendimiento De La Mezcla Forrajera Establecida: Ray Grass (*Lolium perenne*), Alfalfa (*Medicago sativa*), Trébol Blanco (*Trifolium pepens*) Y Pasto Azul (*Poa pratensis*). 44-45. Toacazo, Cotopaxi, Ecuador. *Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Cotopaxi.*

Carrillo, S., Puente, J., Montes, S., & Cruz, R. (2022). Las Micorrizas Como Una Herramienta Para La Restauración Ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129(1), E1932.

Carroll, A., Vandehaar, M., & Kononoff, P. (2025). Derivation Of The Maintenance Energy Requirements In Growing Jersey Heifers. *Journal Of Dairy Science*, 108(7), 7002-7010.

Castro, M., Silva, A., Costa, L., Rotta, P., Engle, T., & Marcondes, M. (2019). Determination Of Macromineral Requirements For Preweaned Dairy Calves In Tropical Conditions. Jorunal Of Dairy Science, 102(4), 2973-2984.

Celis, M., López, F., Arriaga, C., Robles, L., & González, M. (2021). Feeding Forage Mixtures Of Ryegrass (*Lolium spp*.) With Clover (*Trifolium spp*.) Supplemented With Local Feed Diets To Reduce Enteric Methane Emission Efficiency In Small-Scale Dairy Systems: A Simulated Study. *Animals*, 11(4), 946.

Chase, L., & Fortina, R. (2023). Environmental And Economic Responses To Precision Feed Management In Dairy Cattle Diets. *Agriculture*, 13(5), 1032.

Cherney, D., Digman, M., & Cherney, H. (2021). Day-To-Day Variation In Forage And Mixed Diets In Commercial Dairy Farms In New York. *Applied Animal Science*, 37(1), 11-20.

Choudhary, R. K., Kumar, P., Yadav, A. K., & & Gupta, L. R. (2021). Importance Of Body Condition Scoring In Reproductive Performance Of Dairy Cows: A Review. *Jurnal Of Entomology And Zoology Studies*, 9(4), 1090–1093.

Clariget, M., Lema, M., Manna, A., Perez, E., Banchero, G., & Fernández, E. (2021). Estimated Beef Cattle Performance Under Intensive Grazing Systems In Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 25(1), 1-20.

Daniel, J., Sanz-Fernandez, V., Nichols, K., Doelman, J., & Martín-Tereso, J. (2022). Digestive And Metabolic Efficiency Of Energy And Nitrogen During Lactation And The Dry Period In Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 105(12), 9564-9580.

Daros, R., Weary, D., & Keyserlingk, M. (2022). Invited Review: Risk Factors For Transition Period Disease In Intensive Grazing And Housed Dairy Cattle. Journal Of Dairy Science, 105(6), 4734-4748.

Delgado, H., & Gutiérrez, L. (2022). Hongos Micorrizas Arbusculares: La Simbiosis De Los Múltiples Beneficios. *El Higo Revista Científica*, 12(2), 2-14.

Dewanckele, L., Toral, P., Vlaeminck, B., & Fievez, V. (2020). Invited Review: Role Of Rumen Biohydrogenation Intermediates And Rumen Microbes In

Diet-Induced Milk Fat Depression: An Update. *Journal Of Dairy Science*, 103(9), 7655-7681.

Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P., Fall, D., Hocher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi On Plant Growth And Performance: Importance In Biotic And Abiotic Stressed Regulation. *Diversity*, 12(370), 1/10.

Duplessis, M., & Royer, I. (2023). Mini-Review: The Importance Of An Integrated Approach To Assess Trace Mineral Feeding Practices In Dairy Cows. *Frontiers In Animal Science*, 4, 1155361.

Edwards, K., & Renaud, D. (2025). A Framework For Comprehensive Dairy Calf Health Investigatins. *Animals*, 15(2), 181.

Emmanuel, O., & Babalola, O. (2020). Productivity And Quality Of Horticultural Crops Through Co-Inoculation Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi And Plant Growth Promoting Bacteria. *Microbiol. Res.,* 239, 126569.

Erdman, R., Weiss , W., Allen , M., Armentano, L., Drackley, J., Firkins, J., Vandehaar, M. (2021). *Nutrient Requirements Of Dairy Cattle* (Octava Edición Revisada Ed.). Washington, Dc, Usa: The National Academies Press.

Fall, A., Nakabonge, G., Ssekandi, J., Founoune, H., Obeng, S., Ndiaye, A., Ngom, K. (2022). Roles Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi On Soil Fertility: Contribution In The Improvement Of Physical, Chemical, And Biological Properties Of The Soil. *Front. Fungal Bio*, 3(723892), 1-11.

Ferreira, M., Delagarde, R., & Edouard, N. (2023). Nitrogen Balance In Dairy Cows Fed Low-Nitrogen Diets Based On Various Proportions Of Fresh Grass And Maize Silage. *Animal*, 17(10), 100976.

Gathinji, P., Yousofi, Z., Akada, K., Wali, A., & Nishino, N. (2023). Monitoring The Milk Composition, Milk Microbiota, And Blood Metabolites Of Jersey Cows Throughout A Lactation Period. *Veterinary Sciences*, 10(3), 226.

Gheorghe-Irimia, R., Sonea, C., Tapaloaga, D., Gurau, M., Ilie, L.-I., & Tapaloaga, P.-R. (2023). Innovations In Dairy Cattle Management: Enhancing Productivity And Environmental Sustainability. *Annals Of'valahia'university Of Târgovişte. Agriculture*, 15(2), 18-25.

Grandin, T. (2022). Grazing Cattle, Sheep, And Goats Are Important Parts Of A Sustainable Agricultural Future. *Animals*, 12(16), 2092.

Grunberg, W. (2023). Phosphorus Metabolism During Transition. *Veteterinary Clinics: Food Animal Practice*, 39(2), 261-274.

Hall, M. (2023). Invited Review: Corrected Milk: Reconsideration Of Common Equations And Milk Energy Stimates. *Journal Of Dairy Science*, 106(4), 2230 - 2246.

Hamacher, M., Malisch, C., Reinsch, T., Taube, F., & Loges, R. (2021). Evaluation Of Yield Formation And Nutritive Value Of Forage Legumes And Herbs With Potential For Diverse Grasslands Due To Their Concentration In Plant Specialized Metabolites. *European Journal Of Agronomy*, 128(126307), 1-15.

Hanigan, M., Souza, V., Martineau, R., Daley, V., & Kononoff, P. (2021). Predicting Ruminally Undegraded And Microbial Preotein Flows From The Rumen. *Journal Of Dairy Science*, 8685-8707.

Hanlon, M., Moorby, J., Mcconochie, H., & Foskolos, A. (2020). Effects Of Addition Of Nutritionally Improved Straw In Dairy Cows Diets At 2 Starch Levels. Journal Of Dairy Science, 103(11), 10233 - 10244.

He, W.-X., Wu, Q.-S., Hashem, A., Abd Allah, E., Muthuramalingam, P., Al-Arjani, A.-B., & Zou, Y.-N. (2022). Effects Of Symbiotic Fungi On Sugars And Soil Fertility And Structure-Mediated Changes In Plant Growth Of Vicia Villosa. *Agriculture*, 12, 1523.

Hojman, D., Gips, M., & Ezra, E. (2025). Association Between Live Body Weight And Milk Urea Concentration In Holstein Cows. *Journal Of Dairy Science*, 88(2), 580-584.

Hristov, A., Melgar, A., Wasson, D., & Arndt, C. (2022). Symposium Review: Effective Nutritional Strategies To Mitigate Enteric Methane In Dairy Cattle. *J. Dairy Sci*., 105(10), 8543–8557.

Huertas, A., Baptista, B., Toro, M., Lencinas, M., Martínez, G., & Huertas, H. (2021). Changes In Vegetation Of Flooded Savannas Subject To Cattle Grazing And Fire In Plains Of Colombia. *Land*, 10(2), 108.

Igiehon, N., Babalola, O., Cheseto, X., & Torto, B. (2025). Effects Of Rhizobia And Arbuscular Mycorrhizal Fungi On Yield, Size Distribution And Fatty Acid Of Soybean Seeds Grown Under Drought Stress. *Microbiol. Res*., 242, 126640.

Jiang, X., Hao, Y., Sun, R., & Bai, Y. (2025). Investigation On Body Condition Score, Milk Yield, Reproductive Performance, And Health Of Dairy Cows In Four Intensive Dairy Farms During Lactation Cycle. *Polish Journal Of Veterinary Sciences*, 28(1), 5.

Krogstad, K., & Bradford , B. (2023). The Effects Of Feeding A-Amilase Enhanced Corn Silage With Dietary Starch Concentrations To Lactating Dairy Cows On Milk Production, Nutrient Digestibility, And Blood Metabolites. *Journal Of Dairy Science*, 106(7), 4666-4681.

Langenfeld, N., Payne, L., & Bugbee, B. (2021). Colorimetric Determination Of Urea Using Diacetyl Monoxime With Strong Acids. *Plos One*, 8(16), E0259760.

Lavery, A., & Ferris, C. (2021). Proxy Measures And Novel Strategies For Estimating Nitrogen Utilisation Efficiency In Dairy Cattle. *Animals*, 11(2), 343.

Liu, Z., Jiang, A., Lv, X., Zhou, C., & Tan, Z. (2024). Metabolic Changes In Serum And Milk Of Holstein Cows In Their First To Fourth Parity Revealed By Biochemical Analysis And Untargeted Metabolomics. *Animals*, 14(3), 407.

Loza, C., Reinsch, T., Loges, R., Taube, F., Gere, J., Klub, C., Malisch, C. (2021). Methane Emission And Milk Production From Jersey Cows Grazing Perennial Ryegrass–White Clover And Multispecies Forage Mixtures. *Agriculture*, 11(2), 175.

Lugo, M., Ontivero, R., Iriarte, H., Yelikbayev, B., & Pagano, M. (2023). The Diversity Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi And Their Associations In South America: A Case Study Of Argentinean And Brazilian Cattle Raising Productive Ecosystems: A Review. Diversity, 15(9), 1006.

Mahanta, S., Garcia, S., & Islam, M. (2020). Forage Based Feeding System Of Dairy Animals: Issues, Limitations And Strategies. *Range Mgmmt. & Agroforestry*, 41(2), 188-199.

Maher, P., Egan, M., Murphy, M., & Tuohy, P. (2025). Optimising Intensive Grazing: A Comprehensive Review Of Rotational Grassland Management, Innovative Grazing Strategies And Infrastructural Requirements. *The Journal Of Agricultural Science*, 163(3), 1-10.

Malafaia, P., Barbosa, J., Farias, M., De Souza, V., & Azevedo, D. (2023). Phosphorus For Cattle And Buffaloes In Brazil: Clinical Signs And Diagnosis Of Its Deficiency And Relevance, And Recommended Strategies To Alleviate Issue Observed Under Grazing Conditions. *Ruminants*, 3(1), 55-75.

Marcondes , M., Provazi, F., Silvestre, T., Silva, A., Valadares, S., Campos M, Rotta, P. (2023). Protein Requirements For Pregnant Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 106(12), 8821-8834.

Mccarthy , K., Walsh, N., Van Wylick, C., Mcdonald, M., Fahey, A., Lynch, M., Mulligan, F. (2023). The Effect Of A Zero-Grazed Perennial Ryegrass, Perennial Ryegrass And White Clover, Or Multispecies Forage On The Dry Matter Intake, Milk Production And Nitrogen Utilization Of Dairy Cows In Mid-Late Lactation. *Livestock Science*, 105234.

Medeiros, I., Fernandez, A., Astiz, S., & Simoes, J. (2021). Production And Health Management From Grazing To Confinement Systems Of Largest Dairy Bovine Farms In Azores: A Farmers' Perspective. Animals, 11(12), 3394.

Melo, H., & Soares, A. (2023). A New Protein Requirement System For Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 106(3), 1757-1772.

Miller, M., Kokko , C., Ballard, C., Dann, H., Fustini, M., Pamonari, A., . . . Grant, R. (2021). Influence Of Fiber Degradability Of Corn Silage In Diets With Lower And Higher Fiber Content On Lactational Performance, Nutrient Digestibility, And Ruminal Characteristics In Lactating Holstein Cows. *Journal Of Dairy Science*, 104(2), 1728-1743.

Montenegro, S., Calderón, L., & Parra, B. (2024). Inoculantes Biológicos: Oportunidades Y Desafíos Para La Sustentabilidad Agrícola Y Bioeconomía Colombiana. Una Revisión. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 15(2), 151-179.

Moshkina, S., Kharitonova, A., Khimicheva, S., Kolganova, Y., Smagina, T., & Lyakhova, O. (2021). Meeting The Physiological Requirements For Energy And Nutrients To Manifest The Genetic Potential Of Dairy Cattle. Iop Conf. Series: *Earth And Environmental Science*, 941(012036), 1-7.

Mulakala , B., Smith , K., Snider, M., Ayers, A., Honan, M., & Greenwood, S. (2022). Influence Of Dietary Carbohydrate Profile On The Dairy Cow Rumen Meta-Proteome. *Journa Of Dairy Science*, 105(10), 8485-8496.

Nguyen, T., Navarrete, S., Horne, D., Donaghy, D., & Kemp, P. (2025). Milk Production And Nitrogen Excretion Of Grazed Dairy Cows In Response To Plantain (Plantago Lanceolata) Content And Lactation Season. *Animal Bioscience*, 38(1), 67-76.

Nikitin, E., Pavkin, D., Izmailov, A., & Aksenov, A. (2022). Assessing The Homogeneity Of Forage Mixtures Using An Rgb Camera As Exemplified By Cattle Rations. *Applied Sciences*, 12(7), 3230.

Nikkhah, A., & Alimirzaei, M. (2023). Optimizing Calcium Metabolism In Transition Cows - A Pragamatic Review. *Biomdical Journal Of Scientific & Technical Research*, 50(2), 41539 - 41544.

Nimbalkar, V., Kumar, H., & Singh, J. (2021). Dairy Farming Innovations For Productivity Enhancement. *New Advances In The Dairy Industry*, 1(1), 1-15.

Oba, M., & Kammes-Main, K. (2023). Symposium Review: Effects Of Carbohydrate Digestion On Feed Intake And Fuel Supply. *Journal Of Dairy Science*, 2153-2160.

Oliveira, A., & Soares, S. (2024). A New System Of Phosphorus And Calcium Requirements For Lactating Dairy Cows. *Plos One*, 19(8), E0308889.

Palomares, R. (2022). Trace Minerals Supplementation With Great Impact On Beef Cattle Immunity And Health. *Animals*, 12(20), 2839.

Petigrosso, L., Commatteo, J., Fuertes, G., & Covacevich, F. (2022). Interacción Entre Hongos Endofitos Y Micorricicos En Festuca Arundinacea En Respuesta A La Fertilizacion Fosfatada. *Revista Científica De La Asociación Argentina De La Ciencia Del Suelo*, 40(2), 159-166.

Petrovski, K., Cusack, P., Malmo, J., & Cockcroft, P. (2022). The Value Of 'Cow Signs' In The Assessment Of The Quality Of Nutrition On Dairy Farms. *Animals*, 12(11), 1352.

Portnoy, M., Coon, C., & Barbano, D. (2021). Performance Evaluation Of An Enzymatic Spectrophotometric Method For Milk Urea Nitrogen. *Journal Of Dairy Science*, 104(11), 11422-11431.

Raynor, E., Gersie, S., Stephenson, M., Clark, P., Spiegal, S., Boughton, K., Augustine, D. (2021). Cattle Grazing Distribution Patterns Related To Topography Across Diverse Rangeland Ecosystems Of North America. *Rangeland Ecology & Management*, 75, 91-103.

Reinsch, T., Loza, C., Malisch, C., Vogeler, I., Klub, C., Loges, R., & Taube, F. (2021). Toward Specialized Or Integrated Systems In Northwest Europe: On-Farm Eco-Efficiency Of Dairy Farming In Germany. *Front. Sustain. Food Syst.*, 5(614348), 1-12.

Rivero, J., Campanario, P., Mullan, S., Held, S., Stokes, J., Lee, M., & Cardenas, L. (2021). Factors Affecting Site Use Preference Of Grazing Cattle Studied From 2000 To 2020 Through Gps Tracking: A Review. *Sensors*, 21(8), 2696.

Sacramento, J., Oliveira , A., Leao, A., Fonseca , A., Coelho, S., Tomich, T., . . . Pereira, L. (2024). Energy Requirements Of Primiparous Holstein X Gyr Crossbred Dairy Cows. Journal Of Dairy Science, 107(9), 6686 - 6695.

Salinas, A. (2017). Micorrizas Arbusculares Y Su Papel En La Producción De Cultivos Forrajeros. *Revista Cubana De Ciencias Agrícolas*, 51(1), 35-46.

Sheedy, D., Golder, H., Garcia, S., Reddy, P., Hemsworth, J., Vincent, D., Lean, I. (2025). Associations Among Body Condition Score, Body Weight, And Serum Biochemistry In Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 108(4), 4131-4148.

Shi, R., Lou, W., Ducro, B., Van Der Linden, A., Mulder, H., Oosting, S., Wang, Y. (2023). Predicting Nitrogen Use Efficiency, Nitrogen Loss And Dry Matter Intake Of Individual Dairy Cows In Late Lactation By Including

Mid-Infrared Spectra Of Milk Samples. *Journal Of Animal Science And Biotechnology*, 14(1), 8.

Siachos, N., Tsiamadis, V., Oikonomou, G., Panousis, N., Banos, G., Sampsonidis, I., Valergakis, G. (2024). Variation In Protein Metabolism Biomarkers During The Transition Period And Associations With Health, Colostrum Quality, Reproduction, And Milk Production Traits In Holstein Cows. Journal Dairy Science, 107(6), 4056-4074.

Silva, A., Mogollón, A., & Delgado, H. (2021). Response Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi And Soil Chemical Properties To Brachiaria Decumbes Grass Production Technologies. *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, 64, E21190323.

Soder, J., Sanderson, M., Stack, J., & Muller, L. (2020). Influence Of Energy Supplementation On Dietary Nitrogen Utilization And Milk Production In Cows Fed Foliage Of Leucaena Leucocephala. *Journal Of Dairy Dicence*, 89(6), 2158-2167.

Souza, V., Aguilar, M., Amburgh, V., Nayananjalie, W., & Hanigan, M. (2021). Milk Urea Nitrogen Variation Explained By Differences In Urea Transport Into The Gastrointestinal Tract In Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci., 104(6), 6715-6726.

Spears, J., Brandoo, V., & Heldt, P. (2022). Assessing Trace Mineral Status In Ruminants, And Factors That Affect Measurements Od Trace Mineral Status. *Apploed Animals Science*, 38(3), 252-267.

Sun, X., Guo, C., Zhang, Y., Wang, Q., Yang , Z., Wang, Z., Li, S. (2023). Effect Of Diets Enriched In N-6 Or N-3 Fatty Acids On Dry Matter Intake, Energy Balance, Oxidative Stress, And Milk Fat Profile Of Transition Cows. *Journal Of Dairy Science*, 106(8), 5416 - 5432.

Timkovičová-Lacková, P., Maskaľová, I., & Vajda, V. (2022). Effect Of Parity And Days In Milk On Milk Urea Concentration And Milk Components In Holstein Dairy Cows. *Sciendo*, 66(2), 1-8.

Tshuma, T., Fosgate, G., Webb, E., Swanepoel, C., & Holm, D. (2023). Effect Of Temperature And Humidity On Milk Urea Nitrogen Concentration. *Animals*, 13(2), 295.

Uzun, P., Masucci, F., Serrapica, F., Varricchio, M., Pacelli, C., Claps, S., & Francia, A. (2021). Use Of Mycorrhizal Inoculum Under Low Fertilizer Application: Effects On Forage Yield, Milk Production, And Energetic And Economic Efficiency. *The Journal Of Agricultural Science,* 156(1), 127-135.

Van, R. (2023). Trace Mineral Metabolism: The Maternal-Fetal Bond. *Veterinary Clinics: Food Animal Practices*, 39(3), 399-412.

Vieira-Neto, A., Lean, I., & Santos , J. (2024). Periparturient Mineral Metabolism: Implications To Health And Productivity. *Animals*, 14(8), 1232.

Wagner, J., Callaway, E., & Engle, T. (2023). Vetamins And Trace Minerals In Ruminants. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 39(3), 505-516.

Wagner, K., Gentry, T., Harmel, D., Pope, E., & Redmon, L. (2021). Grazing Effects On Bovine-Associated And Background Fecal Indicator Bacteria Levels In Edge-Of-Field Runoff. *Water*, 13(7), 928.

Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Pappula, S. (2023). Role Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Regulating Growth, Enhancing Productivity, And Potentially Influencing Ecosystems Under Abiotic And Biotic Stresses. *Plants*, 12(17), 3102.

Wahid, F., Fahad, S., Danish, S., Adnan, M., Yue, Z., Saud, S., Datta, R. (2020). Sustainable Management With Mycorrhizae And Phosphate Solubilizing Bacteria For Enhanced Phosphorus Uptake In Calcareous Soils. *Agriculture*, 10(334), 1-19.

Wang, L., George, T., & Feng, G. (2023). Conceptos Y Consecuencias Del Microbioma Del Núcleo De La Hifosfera Para La Aptitud Y Función De Los Hongos Micorrízicos Arbusculares. *New Phytologist*, 242(4), 1529-1533.

Wang, Q., Holt, C., Nylander, T., & Ma, T. (2020). Salt Partition, Ion Equilibria, And The Structure, Composition, And Solubility Of Micellar Calcium Phosphate In Bovine Milk With Added Calcium Salts. *Journal Of Dairy Science*, 9893 - 9905.

Weiss, W., & Hansen , S. (2024). Invited Review: Limitations To Current Mineral Requirement Systems For Cattle And Potential Improvements. *Journal Of Dairy Science*, 107(12), 10099-10114.

Weng, W., Yan, J., Zhou, M., Gao, A., Ma, G., Cheng, J., & Ruan, J. (2022). Roles Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi As A Biocontrol Agent In The Control Of Plant Diseases. Microorganisms, 10(7), 1266.

Whelan, S., Milligan , F., Gath, V., Flynn, B., & Pierce, K. (2014). Short Communicationñ Effect Of Dietary Manipulation Of Crude Protein Content And Nonfibrous-To-Fibrous-Carbohydrate Ratio On Energy Balance In Early Lactation Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science*, 97(11), 7220-7224.

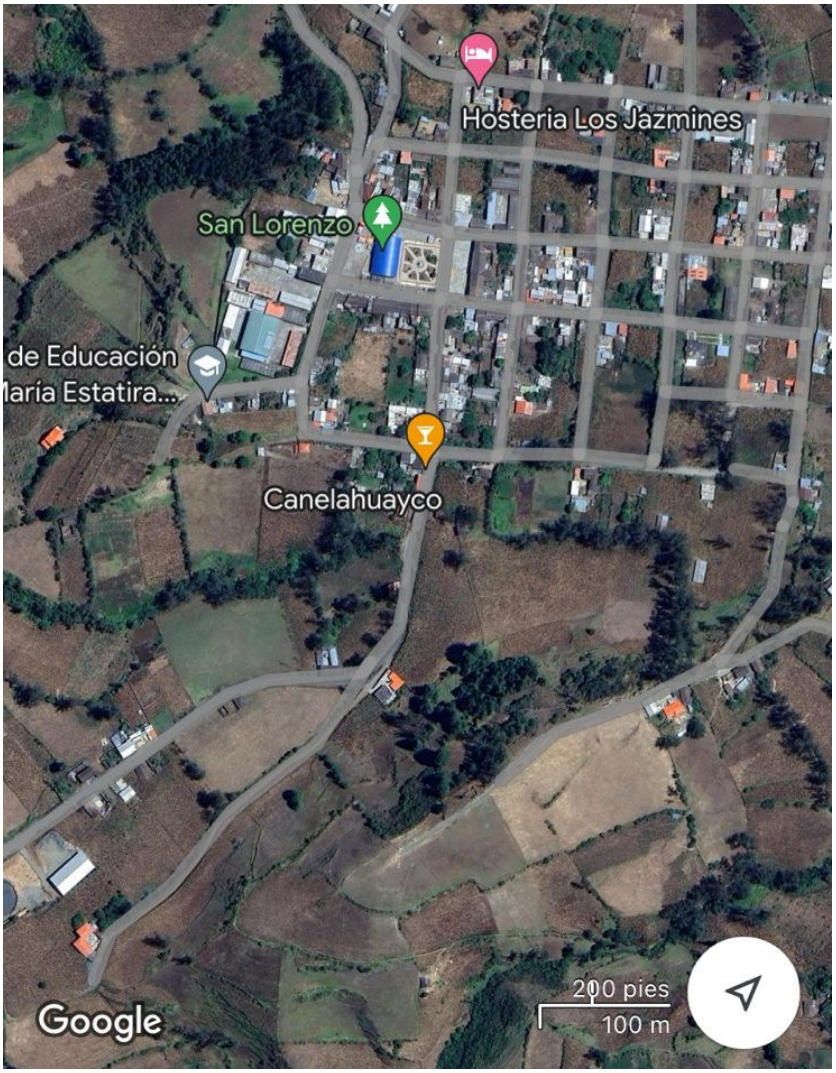
Xie, M., Chen, S., & Zou, Y. (2021). Effects Of Rhizophagus Intraradices And Rhizobium Trifolii On Growth And N Assimilation Of White Clover. *Plant Growth Regul.*, 93, 311–318.

Zhao, X., Zang, C., Zhao, S., Zheng, N., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). Assessing Milk Urea Nitrogen As An Indicator Of Protein Nutrition And Nitrogen Utilization Efficiency: A Meta-Analysis. Journal Of Dairy Science, 108(5), 4851-4862.

Zhao, X., Zheng, N., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). The Role Of Milk Urea Nitrogen In Nutritional Assessment And Its Relationship With Phenotype Of Dairy Cows: A Review. Animal Nutrition, 20, 33-41.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la investigación

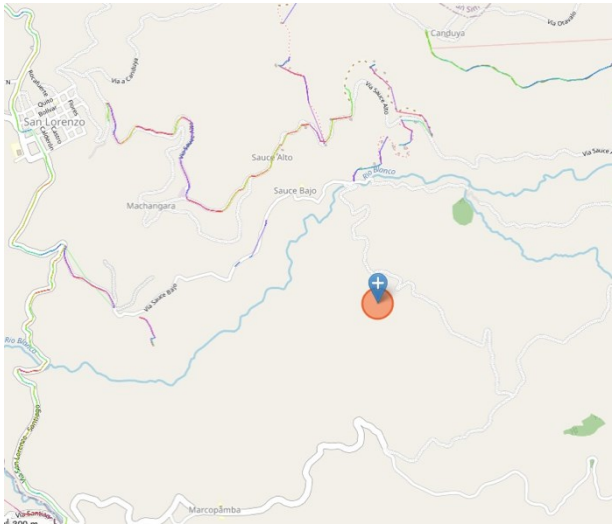


Fuente: (Google maps, 2025)

Anexo 2. Croquis del ensayo

Norte:
Comunidad Canduya, Cercanía de las comunidades Sauce alto y Sauce Bajo y límites con la parroquia San Simón
Acceso vial: proximidad a Vía a Sauce Bajo
Efluentes: Río Blanco.

Este:
Parroquia San Lorenzo
Acceso vial: Vía al Tejar, Vía a Santiago
Efluentes: Río Guaranda y río Chimbo.



Oeste:
Comunidad El Rodeo
Acceso vial: S/N
Efluentes: Bifurcación del río blanco

Sur:
Comunidad Marcopamba.
Acceso vial: Vía a Marco Pamba
Efluentes: Río San Lorenzo

Anexo 3. Resultados laboratoriales

Análisis del suelo antes de los tratamientos

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 162-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -245
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	25/11/2025
Fecha de análisis	28/11/2024 – 06/12/2024
Fecha de informe	27/05/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-245	Suelo de la parte alta de la Hacienda Guapungoto	pH	.....	Potenciométrico	6,52 6,36 6,11	6,33
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,410 0,390 0,490	0,430
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	13,00 15,00 13,00	13,66
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	4102 4371 3962	4145



Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 163-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -246
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	25/11/2025
Fecha de análisis	28/11/2024 – 06/12/2024
Fecha de informe	27/05/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-246	Suelo de la parte media de la Hacienda Guapungoto	pH	.....	Potenciométrico	6,86 6,88 7,24	6,99
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco-Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,34 0,34 0,35	0,34
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	22 25 26	24,33
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	5189 4462 4069	4573

Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 164-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -247
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	25/11/2025
Fecha de análisis	28/11/2024 – 06/12/2024
Fecha de informe	27/05/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-247	Suelo de la parte baja de la Hacienda Guapungoto	pH	.....	Potenciométrico	6,310	6,527
					6,580	
					6,690	
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco-Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,510	0,513
					0,520	
					0,510	
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	21	23,00
					22	
					26	
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	4742	4973
					5128	
					5049	



Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

Análisis del suelo después de los tratamientos

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 183-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -281
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	08/05/2025
Fecha de análisis	27/05/2025 y 11-12-13/06/2025
Fecha de informe	16/06/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-281	Suelo de la parte alta de la Hacienda Guapungoto, después del tratamiento	pH	.....	Potenciométrico	6,470 6,600 6,370	6,480
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco-Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,480 0,480 0,480	0,480
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	189 174	181,00
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	3566 3276	3421

Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 184-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -282
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	08/05/2025
Fecha de análisis	27/05/2025 y 11-12-13/06/2025
Fecha de informe	16/06/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-282	Suelo de la parte media de la Hacienda Guapungoto, después del tratamiento	pH	.....	Potenciométrico	6,380 6,440 6,430	6,417
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco-Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,490 0,500 0,470	0,487
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	228 212	220
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	6493 6594	6543

Ing. Favián Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 185-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Suelos
Código	INV -283
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Potasio, fósforo, nitrógeno, pH, textura
Fecha de recepción	08/05/2025
Fecha de análisis	27/05/2025 y 11-12-13/06/2025
Fecha de informe	16/06/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Promedio
INV-283	Suelo de la parte baja de la Hacienda Guapungoto, después del tratamiento	pH	.....	Potenciométrico	5,880	5,797
					5,710	
					5,800	
		Textura	.....	Método de los Bouyoucos	Franco-Arenoso	
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,300	0,283
					0,260	
					0,290	
		Fósforo	mg de P/kg	Espectrofotometría UV-VIS	232	230
					235	
					222	
		Potasio	mg de K/kg	Espectrofotometría Absorción atómica	1332	1503
					1697	
					1481	

Universidad Estatal de Bolívar
INVESTIGACIÓN

Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Director DIVIUEB

Bromatología de las mezclas forrajeras

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y FITOQUÍMICA Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS Nº187

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Solicitante	Andrea López – Alicia Castañeda
Muestra	Pasto parte alta, con tratamiento de micorrizas, Pasto parte media, con tratamiento de micorrizas, Pasto parte baja, con tratamiento de micorrizas
Código asignado UEB	INV284 – INV285 – INV286
Estado de la muestras	Sólido
Envase de recepción	Bolsas plásticas
Análisis requerido(s)	Fibra, grasa, humedad, ceniza
Fecha de recepción	27 de Mayo del 2025
Fecha de análisis	27 de Mayo – 18 de Junio del 2025
Fecha de informe	20 de Junio del 2025
Técnico (s) asignado	MPWF

RESULTADOS OBTENIDOS

Código laboratorio	Muestra	Parámetro	Unidad	Método	Resultado
INV284	Pasto parte alta, con tratamiento de micorrizas	Fibra (base seca)	%	WEENDE	32,30
		Grasa (base húmeda)		AOAC 2003.06	0,60
		Humedad (base húmeda)		AOAC 925.10	82,21
		Ceniza (base húmeda)		AOAC 923.03	2,62
INV285	Pasto parte media, con tratamiento de micorrizas	Fibra (base seca)	%	WEENDE	30,13
		Grasa (base húmeda)		AOAC 2003.06	0,53
		Humedad (base húmeda)		AOAC 925.10	84,00
		Ceniza (base húmeda)		AOAC 923.03	2,53
INV286	, Pasto parte baja, con tratamiento de micorrizas	Fibra (base seca)	%	WEENDE	26,69
		Grasa (base húmeda)		AOAC 2003.06	0,53
		Humedad (base húmeda)		AOAC 925.10	79,39
		Ceniza (base húmeda)		AOAC 923.03	2,67



Ing. Favián Bayas, PhD.
Director DIVIUEB

Determinación de la proteína total de las muestras de forrajes

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME Nº 186-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Andrea Macarena López Idrovo y Alicia Mishelle Castañeda Caicedo
Muestra	Pasto
Código asignado UEB	INV -284, INV -285, INV -286
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda de ziploc
Análisis requerido(s)	Porcentaje de proteína total
Fecha de recepción	26/05/2025
Fecha de análisis	26/05/2025
Fecha de informe	16/06/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	% de nitrógeno total	Resultado	Promedio
INV-284	Pasto parte alta	Proteína Total	%	Dumas	3,18	19,88	20,69
					3,44	21,50	
					3,31	20,69	
INV-285	Pasto parte media				3,62	22,63	23,02
					3,75	23,44	
					3,68	23,00	
INV-286	Pasto parte baja				2,38	14,88	14,81
					2,36	14,75	
					2,37	14,81	

El análisis se lo realizó con tres réplicas

Universidad Estatal de Bolívar
INVESTIGACIÓN

Dr. Favián Bayas Morejón
Director DIVIUEB

Resultados proteína total en leche y sangre

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Pagina	Página 1 de 2

INFORME Nº 126-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Alicia Mishelle Castañeda Caicedo y Andrea Macarena López Idrovo
Muestra	Leche de res y leche de res después del tratamiento con micorrizas en diferentes mezclas de forraje.
Código asignado UEB	INV213, INV214, INV215, INV216, INV217, INV218, INV219, INV 220, INV221, INV222, INV223, INV224, INV225, INV226, INV227, INV228. INV191, INV192, INV193, INV194, INV195, INV196, INV197, INV198, INV199, INV200, INV201, INV202, INV203, INV204, INV205, INV206
Estado de la muestra	Líquida
Envase de recepción	Frascos de plástico estériles
Análisis requerido(s)	Determinación de proteína total
Fecha de recepción	03-07/04/2025
Fecha de análisis	07-15 /04/2024
Fecha de informe	16/04/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultados
INV-213	Leche de res Nª 05, sin tratamiento.	Proteína Total	%	Dumas	3,00
INV-214	Leche de res Nª 420 sin tratamiento				2,81
INV-215	Leche de res Nª 427, sin tratamiento.				2,81
INV-216	Leche de res Nª 439, sin tratamiento.				2,74
INV-217	Leche de res Nª 457, sin tratamiento.				2,68
INV-218	Leche de res Hostin, sin tratamiento.				3,19
INV-219	Leche de res Nª 441 sin tratamiento.				3,89
INV-220	Leche de res Nª 67, sin tratamiento.				2,55
INV-221	Leche de res Nª 31, sin tratamiento.				3,13
INV-222	Leche de res Nª 37, sin tratamiento.				2,87
INV-223	Leche Sangre de res Niza sin tratamiento.				3,51
INV-224	Leche de res Cachito, sin tratamiento				3,00

INV-225	Leche de res Anaí, sin tratamiento.				4,15
INV-226	Leche de res Nª 437, sin tratamiento.				3,25
INV-227	Leche de res Nª 429, sin tratamiento.				2,93
INV-228	Leche de res Nª 11-10				2,87
INV-191	Leche de res Nª 05, con tratamiento.	Proteína Total	%	Dumas	3,57
INV-192	Leche de res Nª 420, con tratamiento.				3,45
INV-193	Leche de res Nª 427, con tratamiento.				3,96
INV-194	Leche de res Nª 439,				3,38
INV-195	Leche de res Nª 457, con tratamiento.				3,57
INV-196	Leche de res Hostin, con tratamiento.				3,13
INV-197	Leche de res Nª 441, con tratamiento.				3,25
INV-198	Leche de res Nª 67, con tratamiento.				3,19
INV-199	Leche de res Nª 31, con tratamiento.				4,59
INV-200	Leche de res Nª 37, con tratamiento.				3,06
INV-201	Leche de res Niza, con tratamiento.				3,64
INV-202	Leche de res Cachito, con tratamiento.				3,19
INV-203	Leche de res Anaí, con tratamiento.				5,93
INV-204	Leche de res Nª 437, con tratamiento.				3,45
INV-205	Leche de res Nª 429, con tratamiento.				3,19
INV-206	Leche de res Nª 11-10, con tratamiento.				3,13

Las muestras son realizadas con tres réplicas



Dr. Favian Bayas Morejón
Director DIVIUEB

INFORME Nº 125-2025

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Alicia Mishelle Castañeda Caicedo y Andrea Macarena López Idrovo
Muestra	Sangre de res y sangre de res después del tratamiento con micorrizas en diferentes mezclas de forraje.
Código asignado UEB	INV143, INV144, INV145, INV146, INV147, INV148, INV149, INV150, INV151, INV152, INV153, INV154, INV155, INV156, INV157, INV158. INV175, INV176, INV177, INV178, INV179, INV180, INV181, INV182, INV183, INV184, INV185, INV186, INV187, INV188, INV189, INV190
Estado de la muestra	Líquida
Envase de recepción	Tubos con EDTA
Análisis requerido(s)	Determinación de proteína total
Fecha de recepción	03-07/04/2025
Fecha de análisis	07/04/2024
Fecha de informe	16/04/2025
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultados
INV-143	Sangre de res Nª 05, sin tratamiento.	Proteína Total	%	Dumas	16,31
INV-144	Sangre de res Nª 420 sin tratamiento				14,00
INV-145	Sangre de res Nª 427, sin tratamiento.				15,56
INV-146	Sangre de res Nª 439, sin tratamiento.				13,69
INV-147	Sangre de res Nª 457, sin tratamiento.				14,56
INV-148	Sangre de res Hostin, sin tratamiento.				15,31
INV-149	Sangre de res Nª 441 sin tratamiento.				10,56
INV-150	Sangre de res Nª 67, sin tratamiento.				15,75
INV-151	Sangre de res Nª 31, sin tratamiento.				24,31
INV-152	Sangre de res Nª 37, sin tratamiento.				15,63
INV-153	Sangre de res Niza sin tratamiento.				19,63
INV-154	Sangre de res Cachito, sin tratamiento				16,31
INV-155	Sangre de res Anaí, sin tratamiento.				18,25

INV-156	Sangre de res Nª 437, sin tratamiento.				15,13
INV-157	Sangre de res Nª 429, sin tratamiento.				13,00
INV-158	Sangre de res Nª 11-10				14.38
INV-175	Sangre de res Nª 05, con tratamiento.	Proteína Total	%	Dumas	18,06
INV-176	Sangre de res Nª 420, con tratamiento.				16,13
INV-177	Sangre de res Nª 427, con tratamiento.				16,56
INV-178	Sangre de res Nª 439,				17,06
INV-179	Sangre de res Nª 457, con tratamiento.				18,38
INV-180	Sangre de res Hostin, con tratamiento.				18,56
INV-181	Sangre de res Nª 441, con tratamiento.				22,69
INV-182	Sangre de res Nª 67, con tratamiento.				16,94
INV-183	Sangre de res Nª 31, con tratamiento.				16,00
INV-184	Sangre de res Nª 37, con tratamiento.				18,31
INV-185	Sangre de res Niza, con tratamiento.				16,63
INV-186	Sangre de res Cachito, con tratamiento.				18,63
INV-187	Sangre de res Anaí, con tratamiento.				17,50
INV-188	Sangre de res Nª 437, con tratamiento.				17,69
INV-189	Sangre de res Nª 429, con tratamiento.				17,94
INV-190	Sangre de res Nª 11-10, con tratamiento.				17,63

Las muestras son realizadas con tres réplicas

Universidad Estatal de Bolívar

Dr. Favian Bayas Morejón
Director DIVIUEB

Anexo 4. Bases de datos

Tra	Raza	Peso	CC	# Lact.	DEL	Prod. Antes	Prod. Después
Testigo	Pardo Suizo	750	4	3	290	8	8
Testigo	Cruces	380	3,5	4	145	14	16
Testigo	Jersey	360	3,25	2	118	18	18
Testigo	Cruces	350	2,5	1	45	25	27
5%	Jersey	320	2,75	1	65	24	27
5%	Jersey	390	3,5	2	180	16	19
5%	Jersey	380	3,75	4	225	12	15
5%	Cruces	480	3,75	4	200	12	16
10%	Cruces	550	4	1	290	6	10
10%	Holstein	550	3,5	2	90	18	25
10%	Jersey	310	2,25	1	45	15	22
10%	Holstein	450	2,5	1	60	25	30
15%	Pardo Suizo	800	4	3	210	13	15
15%	Holstein	580	3,5	2	160	18	25
15%	Pardo Suizo	680	2,5	1	60	20	26,5
15%	Holstein	600	3,75	1	280	7	10

Tra	Arete	PT en sangre A	PT en sangre D	PT en leche A	PT en leche D
Tesitgo	67	15,75	16,94	2,55	3,19
Tesitgo	Nisa	19,63	16,63	3,51	3,64
Testigo	429	13	17,94	2,93	3,19
Tesitgo	432	13,69	17,06	2,74	3,38
5%	420	14	16,13	2,81	3,45
5%	457	14,56	18,38	2,68	3,57
5%	31	24,31	16	3,13	4,59
5%	Anai	18,25	17,5	4,15	5,93
10%	427	15,56	16,56	2,81	3,96
10%	441	10,56	22,69	3,89	3,25
10%	437	15,13	17,69	3,25	3,45
10%	1127	15,63	18,31	2,87	3,06
15%	cero cinco	16,31	18,06	3	3,57
15%	Holstin	15,31	18,56	3,19	3,13
15%	Cachito	16,31	18,63	3	3,19
15%	11-10.	14,38	17,01	2,87	3,13

Tra	Arete	NUL-A	NUL-D	NUS-A	NUL-D
Tesitgo	67	8,83	11,03	5,39	5,80
Tesitgo	Nisa	12,14	12,58	6,72	5,69
Testigo	429	10,15	11,03	4,45	6,14
Tesitgo	432	9,49	11,70	4,69	5,84
5%	420	9,71	11,92	4,79	5,52
5%	457	9,27	12,36	4,99	6,29
5%	31	10,81	15,89	8,32	5,48
5%	Anai	14,35	20,52	6,25	5,99
10%	427	9,71	13,68	5,33	5,67
10%	441	13,46	11,26	3,62	7,77
10%	437	11,26	11,92	5,18	6,06
10%	1127	9,93	10,59	5,35	6,27
15%	cero cinco	10,37	12,36	5,59	6,18
15%	Holstin	11,03	10,81	5,24	6,36
15%	Cachito	10,37	11,03	5,59	6,38
15%	11-10.	9,93	10,81	4,92	6,03

Suelos / Antes de los tratamientos						
Parte	**Tra**	**pH**	**N**	**Fósforo**	**Potasio**	**Textura**
baja	5%	6,31	0,51	21	4742	Franco Arenoso
	10%	6,58	0,52	22	5128	
	15%	6,69	0,51	26	5049	
	Testigo	6,29	0,488	19	4740	
Media	5%	6,68	0,34	22	5189	Franco Arenoso
	10%	6,88	0,34	25	4462	
	15%	7,24	0,35	26	4069	
	Testigo	6	0,25	14	4000	
Alta	5%	6,52	0,41	13	4102	Franco arenoso
	10%	6,36	0,39	15	4371	
	15%	6,11	0,49	13	3962	
	Testigo	5,99	0,33	13	3291	

Suelos / Después de los tratamientos						
Parte	**Tra**	**pH**	**N**	**Fósforo**	**Potasio**	**Textura**
baja	5%	5,88	0,3	232	1332	Franco Arenoso
	10%	5,71	0,36	235	1697	
	15%	5,8	0,29	222	1481	
	Testigo	6,32	0,25	220	1290	
Media	5%	6,38	0,49	228	6493	Franco Arenoso
	10%	6,44	0,5	212	6594	
	15%	6,43	0,47	220	6589	
	Testigo	6,2	0,3	200	4587	
Alta	5%	6,47	0,48	189	3566	Franco arenoso
	10%	6,6	0,48	174	3276	
	15%	6,37	0,48	188	3500	
	Testigo	6,01	0,41	180	3170	

Tra	**Arete**	**NT en leche-A**	**NT en leche-D**	**NT en sangre-A**	**NT en sangre-D**
Tesitgo	67	0,4	0,5	2,52	2,71
Tesitgo	Nisa	0,55	0,57	3,14	2,66
Testigo	429	0,46	0,5	2,08	2,87
Tesitgo	432	0,43	0,53	2,19	2,73
5%	420	0,44	0,54	2,24	2,58
5%	457	0,42	0,56	2,33	2,94
5%	31	0,49	0,72	3,89	2,56
5%	Anai	0,65	0,93	2,92	2,8
10%	427	0,44	0,62	2,49	2,65
10%	441	0,61	0,51	1,69	3,63
10%	437	0,51	0,54	2,42	2,83
10%	1127	0,45	0,48	2,5	2,93
15%	cero cinco	0,47	0,56	2,61	2,89
15%	Holstin	0,5	0,49	2,45	2,97
15%	Cachito	0,47	0,5	2,61	2,98
15%	11-10.	0,45	0,49	2,3	2,82

Anexo 5. Fotografías de la investigación



Foto 1: Toma de muestra del suelo



Foto 2: Toma de la muestra del suelo



Foto 3: Muestra de suelo para análisis



Foto 4: Muestra de suelo para análisis

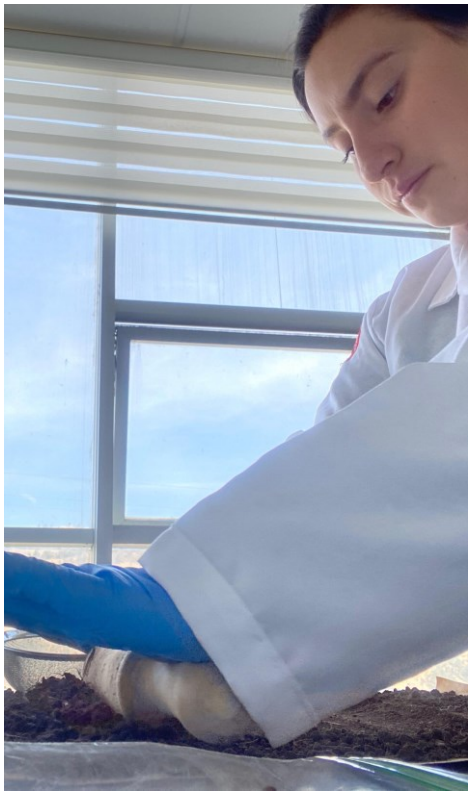


Foto 5: Análisis del suelo



Foto 6: Procesamiento del suelo



Foto 7: Análisis del suelo



Foto 8: Análisis del suelo



Foto 9: Preparación de la siembra



Foto 10: Encalado del suelo



Foto 11: siembra de las semillas



Foto 12: colocación de las micorrizas



Foto 13: Rotulación de las parcelas



Foto 14: Rotulación de las parcelas



Foto 15: Micorrizas



Foto 16: Aplicación de las micorrizas



Foto 17: Estimación del aforo



Foto 18: Aforo de 1 m^2



Foto 19: Análisis bromatológico de los forrajes



Foto 20: Análisis bromatológico de los forrajes



Foto 21: Consumo del ganado las mezclas forrajeras



Foto 22: Toma de muestra de sangre de las vacas en estudio



Foto 23: visita del tutor



Foto 24: Visita de campo

Anexo 6. Glosario de términos técnicos

Absorción radicular: Capacidad de las raíces para captar nutrientes y agua, modulada por las micorrizas.

Bioensayo forrajero: Evaluación experimental de la respuesta de cultivos forrajeros a tratamientos como la micorrización.

Bioestimulación edáfica: Activación de la actividad microbiana del suelo mediante agentes biológicos (como micorrizas).

Briofita: Término botánico que puede aparecer en estudios de forraje; plantas no vasculares en sistemas diversos.

Colonización radicular: Proceso por el cual el hongo micorrízico invade y habita las raíces del pasto.

Concentración subóptima: Nivel por debajo del ideal esperado en variables como nitrógeno ureico.

Dinamismo proteico: Variabilidad de síntesis y degradación de proteínas en el organismo.

Disponibilidad nitrogenada: Proporción de nitrógeno útil que puede ser metabolizado sin excreción excesiva.

Ecofisiología animal: Estudio de las respuestas fisiológicas del animal a condiciones ambientales o nutricionales.

Eficiencia bioquímica: Capacidad del organismo para mantener equilibrio metabólico sin sobrecargas proteicas.

Equilibrio proteico-energético: Relación adecuada entre proteína y energía para evitar desbalances metabólicos.

Forraje multiespecie: Mezcla de varias plantas forrajeras con fines de diversidad nutricional.

Hifas extramatricales: Estructuras filamentosas de los hongos micorrízicos que extienden la absorción fuera de la raíz.

Homeostasis ruminal: Estado de equilibrio fisiológico dentro del rumen, esencial para la eficiencia proteica.

Interacción simbiótica: Relación estrecha y mutuamente beneficiosa entre especies distintas (como hongo-planta).

Metabolitos secundarios: Compuestos no esenciales para la vida vegetal, pero claves en defensas y relaciones simbióticas.

Micorrización: Proceso simbiótico entre hongos y raíces, que mejora la eficiencia de absorción mineral.

Nitrificación del suelo: Transformación de compuestos nitrogenados en formas absorbibles por las plantas.

Propágulo: Unidad reproductiva del hongo micorrízico utilizada para inocular el suelo.

Rango referencial bioquímico: Intervalo de valores normales para variables como NUL o proteínas plasmáticas.

Sinergismo microbiológico: Interacción benéfica entre microorganismos del suelo (como micorrizas y rizobacterias).

Solubilización mineral: Proceso de conversión de minerales no disponibles a formas asimilables por las plantas.

Variabilidad fisiológica: Diferencias individuales en las respuestas metabólicas entre animales bajo el mismo tratamiento.

Zeropastoreo: Sistema de alimentación en el que el animal no pastorea directamente, sino que recibe el forraje cortado en un comedero en una proporción limitada.