



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MEJORAMIENTO DE GANADO BOVINO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL BENI JB, TRINIDAD – BOLIVIA.

SOIL FERTILITY ASSESSMENT THROUGH MACRONUTRIENT ANALYSIS IN GRAZING AREAS OF THE CATTLE IMPROVEMENT RESEARCH CENTER OF THE AUTONOMOUS UNIVERSITY OF BENI JB, TRINIDAD – BOLIVIA.

PAULA ANDREA TAUTA ROMERO

Trabajo de grado opción Pasantía

Presentado como requisito parcial para optar al título de
ZOOTECNISTA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA

Fusagasugá, 18 de septiembre de 2024

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Agradezco a Dios y a la vida por brindarme la oportunidad de realizar mi pasantía como opción de grado en otro país, Bolivia. A mis padres, por ser mi mayor apoyo; a mi hermana, por su apoyo incondicional y constante motivación; y a mis abuelos maternos, en especial a mi abuelo, quien me acompaña desde el cielo y ha sido mi mayor motivación para convertirme en un orgullo para él. Gracias a todos por su apoyo constante a lo largo de todo mi proceso académico.

Agradezco la Universidad de Cundinamarca, por facilitar mi movilidad académica, y a la Universidad Autónoma del Beni "José Ballivián", por recibirme en su institución y brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo. Un agradecimiento especial al laboratorio de Bromatología y Suelos (NUBROMS), por enseñarme, orientarme y apoyarme tanto en esta investigación como durante mi intercambio.

A mi tutora, Vanesa Ruenes, por su orientación, dedicación y paciencia en la elaboración de este documento.

También quiero agradecer a las personas que creyeron en mí, brindándome su compañía y palabras de aliento en los momentos más desafiantes.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, como un recordatorio de que el esfuerzo y la perseverancia siempre valen la pena. A todos ellos, gracias por ser parte de este importante logro.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS SÍMBOLOS Y UNIDADES.....	6
LISTA DE ILUSTRACIONES	8
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE ANEXOS.....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	14
DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	18
ESTADO DEL ARTE	19
1. Influencia de la Topografía en la Fertilidad del Suelo y la Productividad Agropecuaria en Regiones Tropicales	19
2. Plan De Muestreo De Suelo Según Categorías Topográficas	20
3. Análisis de laboratorio del suelo	21
4. Sistemas Silvopastoriles en el Manejo Sostenible del Suelo y la Productividad Ganadera	22
METODOLOGÍA	23
1. Área de Estudio	23
2. Plan de Muestreo	23
2.1. Clasificación De Los Suelos	24
2.1.1. Suelos de Altura	24
2.1.2. Suelos de Semialtura.....	24
2.1.3. Suelos de Bajura.....	24
2.2. Muestreo	27
2.2.1. Materiales Utilizados.....	27
2.2.2. Procedimiento Para La Recolección De Suelo (Método Con Barreno).....	27
3. Análisis De Las Muestras En El Laboratorio	28
3.1. Preparación de la muestra.....	29
3.1.1. Materiales	29
3.1.2. Procedimiento Para Preparación De La Muestra En El Laboratorio	29



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

3.2.	Toma de pH y Conductividad Eléctrica	31
3.2.1.	Materiales	31
3.2.2.	Procedimiento	31
3.3.	Determinación de Materia Orgánica	32
3.3.1.	Materiales	32
3.3.2.	Procedimiento	32
3.4.	Determinación de Nitrógeno (Método de Kjeldahl).....	34
3.4.1.	Materiales	34
3.4.2.	Reactivos	34
3.4.3.	Procedimiento	35
3.5.	Determinación de Fosforo (P) y Potasio (K).....	38
3.5.1.	Materiales	38
3.5.2.	Procedimiento	38
4.	Interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio	39
4.1.1.	pH	40
4.1.2.	Conductividad	40
4.1.3.	Materia Orgánica.....	41
4.1.4.	Nitrógeno	42
4.1.5.	Macronutrientes (P, K).....	43
5.	Análisis estadístico	44
5.1.	Hipótesis	44
5.2.	Diseño Muestral	45
5.2.1.	Esquema del Muestreo	45
5.2.2.	Tamaño de la Muestra.....	45
6.	Propuesta Silvopastoril	45
6.1.1.	Especies Forrajeras Seleccionadas	46
6.1.2.	Especies Arbóreas Seleccionadas.....	47
6.1.3.	Software Shade Motion.....	49
RESULTADOS		50
1.	Diagnóstico del Área	50
2.	Recolección de Datos	51
3.	Análisis Estadísticos	52
4.	Silvopastoril.....	57



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

5

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

DISCUSIÓN	59
CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	72



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS SÍMBOLOS Y UNIDADES

ANOVA	Análisis de Varianza
C.E	Conductividad Eléctrica
CHCl (0,1)	Concentración del Ácido Clorhídrico
CIMGB	Centro de Investigación de Mejoramiento del Ganado Bovino
C.M	Cuadro Medios
CuSO₄	Sulfato de Cobre
C.V	Coefficiente de Variación
Fc	Factor calculado
Ft	Factor tabulado
F.V	Fuente de Variación
G. L	Grados de libertad
Ha	Hectárea
HCl	Ácido Clorhídrico
H₂SO₄	Ácido Bórico
H₃BO₃	Ácido Bórico
K₂SO₄	Sulfato de Potasio
L.1	Lectura uno
L.2	Lectura dos
M.O	Materia Orgánica
N (1,4007)	Constante de Nitrógeno
NaOH	Hidróxido de Sodio
NS	No Significativos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
Pm	Peso muestra
pH	Potencial de Hidrógeno
S.C	Suma de Cuadrados
T	Tratamiento
TiO₂	Dióxido de Titanio
UAB	Universidad Autónoma del Beni
U. E	Unidades Experimentales
VHCl_b	Volumen del Ácido Clorhídrico del blanco
VHCl_m	Volumen del Ácido Clorhídrico de la muestra
°C	Grados centígrados
cm	Centímetro



UDECA
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

g	gramos
Kg	Kilogramo
m	Metro
mg	Miligramo
ml	Mililitro
ppm	Partes por millón
μS	Microsiemens
%	Porcentaje
**	Significativo

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ciudad de Trinidad, Bolivia y potreros del CIMGB.....	23
Ilustración 2: Clasificación de los suelos	25
Ilustración 3: Puntos de toma de muestras.....	25
Ilustración 4: Procedimiento para la recolección de suelo	28
Ilustración 5: Preparación de la muestra en el laboratorio	30
Ilustración 6: Toma de pH y conductividad eléctrica	32
Ilustración 7: Procedimiento para determinar M.O.....	33
Ilustración 8: Preparación de la muestra para el digestor	36
Ilustración 9: Destilación y titulación para determinar %N en el suelo	37
Ilustración 10: Procedimiento de preparación muestras para análisis en el espectrofotómetro	39
Ilustración 11: Croquis área de CIMGB	48
Ilustración 12: Terreno afectado	50



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de cada punto de muestras.....	26
Tabla 2: Escala de pH para suelos	40
Tabla 3: Interpretación de la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$	40
Tabla 4: Interpretación de los resultados del % M.O por mediante el método de calcinación....	41
Tabla 5: Interpretación y clasificación del contenido de nitrógeno total determinado por el método de Kjeldahl	42
Tabla 6: Clasificación e interpretación tentativa de los análisis de P en laboratorio en base al método de Olsen modificado.....	43
Tabla 7: Clasificación e interpretación de K disponible ppm por método Bray 1.....	44
Tabla 8: Tamaño de la muestra.....	45
Tabla 9: Resultados de los análisis de laboratorio	51
Tabla 10: Contenido de Nitrógeno por tratamiento y bloque	52
Tabla 11: Análisis de Varianza (ANOVA).....	53
Tabla 12: Prueba de Duncan	53
Tabla 13: Contenido de Fosforo (P) por tratamiento y bloque	53
Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA).....	54
Tabla 15: Prueba de Duncan	55
Tabla 16: Resultados de Potasio (K) por tratamiento y bloque.....	55
Tabla 17: Análisis de varianza (ANOVA).....	55
Tabla 18: Prueba de Duncan	56
Tabla 19: Descripción de las especies seleccionadas.....	57



UDECA
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

10

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	72
Anexo 2	1

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

RESUMEN

El proyecto titulado “**Evaluación de la Fertilidad del Suelo Mediante el Análisis de los Macronutrientes en Áreas de Pastoreo del Centro de Investigación de Mejoramiento del Ganado Bovino de la Universidad Autónoma del Beni, Trinidad, Beni, Bolivia**” tuvo como objetivo evaluar los niveles de macronutrientes clave (nitrógeno, fósforo y potasio) en los suelos de las áreas de pastoreo de la Universidad Autónoma del Beni (UAB). La investigación resultó fundamental para comprender el estado de fertilidad de estos suelos y su capacidad para sostener una producción vegetal eficaz, impactando directamente en la eficiencia ganadera en el CIMGB.

En el CIMGB, donde predomina la actividad ganadera extensiva, los potreros y áreas de pastoreo son esenciales para la alimentación del ganado. Sin embargo, el manejo inadecuado de los suelos, junto con factores como la variabilidad climática y la topografía (altura, semi-altura y bajura), puede reducir los niveles de nutrientes esenciales para el crecimiento de las pasturas. Mediante análisis de laboratorio, este proyecto buscó identificar la variabilidad en la distribución de estos macronutrientes según las características topográficas de cada área.

A partir de los resultados del análisis, se diseñó un modelo de sistema silvopastoril con el objetivo de mejorar la fertilidad del suelo y optimizar el balance nutricional en estas áreas de pastoreo. Este modelo incorpora especies arbóreas leguminosas fijadoras de nitrógeno y forrajeras de alto valor nutricional, las cuales no solo aumentan los niveles de nitrógeno disponible en el suelo sino también mejoran la dieta del ganado. Para la disposición óptima de estas especies, se utilizó el software *Shade Motion*, que facilitó el modelado de la disposición espacial y la interacción entre especies, tomando en cuenta la proyección de sombras y el espaciamiento adecuado.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Las simulaciones realizadas con *Shade Motion* permitieron ajustar el diseño antes de su implementación en campo, creando un arreglo eficiente y sostenible. Los resultados de esta propuesta no solo mejoran la fertilidad del suelo y la productividad del pastoreo en el CIMGB, sino que también proporcionan una estrategia de manejo sostenible para suelos en áreas ganaderas, sentando las bases para futuras investigaciones sobre la sostenibilidad y optimización de sistemas productivos en el Beni.

ABSTRACT

The project entitled “**Evaluation of Soil Fertility through Macronutrient Analysis in Grazing Areas of the Cattle Improvement Research Center of the Autonomous University of Beni, Trinidad, Beni, Bolivia**” aimed to evaluate the levels of key macronutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) in the soils of the grazing areas of the Autonomous University of Beni (UAB). The research was essential to understand the fertility status of these soils and their capacity to sustain effective plant production, directly impacting livestock efficiency at the Beni Cattle Improvement Research Center (CIMGB).

At the CIMGB, where extensive livestock farming predominates, pastures and grazing areas are essential for feeding livestock. However, inadequate soil management, along with factors such as climate variability and topography (altitude, semi-altitude and lowland), can reduce the levels of nutrients essential for pasture growth. Through laboratory analysis, this project sought to identify the variability in the distribution of these macronutrients according to the topographic characteristics of each area.

Based on the results of the analysis, a silvopastoral system model was designed with the aim of improving soil fertility and optimizing the nutritional balance in these grazing areas. This model incorporates nitrogen-fixing leguminous tree species and forage species with high nutritional value, which not only increases the levels of available nitrogen in the soil but also improve the



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

diet of livestock. For the optimal arrangement of these species, Shade Motion software was used, which facilitated the modeling of the spatial arrangement and the interaction between species, taking into account the projection of shadows and adequate spacing.

The simulations carried out with Shade Motion allowed the design to be adjusted before its implementation in the field, creating an efficient and sustainable arrangement. The results of this proposal not only improve soil fertility and grazing productivity in the CIMGB, but also provide a sustainable management strategy for soils in livestock areas, laying the foundation for future research on the sustainability and optimization of production systems in Beni.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

INTRODUCCIÓN

En la región de Trinidad, Beni, Bolivia, la Universidad Autónoma del Beni (UAB) juega un papel fundamental en el desarrollo académico y la investigación aplicada en diversas áreas, incluyendo la agricultura y la ganadería. Dentro de su infraestructura, los potreros utilizados para el pastoreo de ganado bovino representan un recurso significativo tanto para la formación práctica de sus estudiantes como para la producción ganadera local. La eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas de pastoreo dependen en gran medida de la calidad y fertilidad del suelo, factores que influyen directamente en la productividad de los pastos (Motta-Delgado et al., 2019).

La fertilidad del suelo está íntimamente relacionada con la disponibilidad de macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos nutrientes son cruciales para el crecimiento vigoroso y saludable de los pastos, los cuales constituyen la base de la alimentación del ganado (Carlos, 1992). Sin embargo, Thompson (2024) destaca que, para garantizar una gestión eficiente de los nutrientes del suelo, es fundamental contar con un conocimiento detallado de su concentración y su disponibilidad en el mismo, un aspecto que actualmente no está suficientemente documentado en los potreros del CIMGB.

El presente estudio tuvo como objetivo llevar a cabo un análisis detallado de los macronutrientes del suelo en las áreas de pastoreo de los potreros de la UAB. Este análisis permitió obtener una visión clara sobre el estado nutricional del suelo y detectar el estado actual de los nutrientes que afecta el crecimiento de los pastos.

A partir de los datos obtenidos, se propuso un sistema silvopastoril en las áreas de pastoreo del centro con el fin de optimizar la fertilización y el manejo del suelo. Concebido como una estrategia sostenible, este sistema busca mejorar la fertilidad del suelo y equilibrar el aporte nutricional en el sistema productivo, lo que se traduce en una mayor productividad de los pastos y un impacto positivo en la salud y rendimiento del ganado.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

El sistema integrará especies arbóreas leguminosas fijadoras de nitrógeno junto con forrajeras de alto valor nutritivo que, al trabajar en conjunto, enriquecerán el suelo y mejorarán la calidad de la alimentación del ganado. Para maximizar la eficiencia y disposición espacial de estas especies, se empleó el software *Shade Motion*, que permitió modelar y analizar la proyección de sombras, el espaciamiento, y la interacción entre especies antes de su implementación en campo. Este diseño no solo optimiza las condiciones del suelo, sino que también contribuye a la sostenibilidad y productividad de la actividad ganadera en la región.

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El CIMGB enfrenta importantes desafíos relacionados con la sostenibilidad y productividad de sus áreas de pastoreo, las cuales son esenciales para garantizar un suministro adecuado de forraje para el ganado bovino de alto valor genético. La calidad y cantidad del forraje producido en estas áreas dependen directamente de la fertilidad del suelo, la cual está determinada por la presencia y equilibrio de macronutrientes esenciales como N, P, K.

Actualmente, el CIMGB carece de información específica y actualizada sobre los niveles de macronutrientes en los suelos de sus potreros. Esta falta de datos impide evaluar adecuadamente el estado de fertilidad del suelo, identificar deficiencias o desequilibrios de nutrientes y diseñar estrategias de manejo sostenibles y eficientes. Como resultado, el crecimiento de las plantas forrajeras se ve comprometido, afectando la disponibilidad y calidad del alimento para el ganado y poniendo en riesgo la rentabilidad del sistema productivo.

La situación se agrava por la reducción significativa de las áreas de pastoreo en el CIMGB, las cuales han disminuido en un 50% en las últimas tres décadas. Esto incrementa la presión sobre los potreros disponibles, haciendo aún más crucial garantizar su productividad mediante

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

prácticas de manejo basadas en información científica precisa. Además, las condiciones climáticas adversas, como la sequía y las quemas no controladas, han contribuido a la pérdida de especies forrajeras, agravando aún más el problema.

Ante esta problemática, surge la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de los macronutrientes del suelo en los potreros del CIMGB, considerando las variaciones en la topografía y las condiciones del terreno. Este análisis permitirá:

1. Evaluar el estado actual de fertilidad del suelo.
2. Identificar deficiencias o excesos de macronutrientes que puedan estar limitando la producción forrajera.
3. Diseñar un sistema silvopastoril para optimizar la producción de pastos y mejorar la sostenibilidad del sistema productivo.

Abordar este problema es crucial para garantizar la eficiencia alimentaria del ganado bovino, mejorar la productividad del CIMGB y promover un manejo sostenible de los recursos del suelo, asegurando la viabilidad del sistema productivo a largo plazo.

JUSTIFICACIÓN

El análisis de los macronutrientes del suelo en los potreros de Trinidad, Beni, Bolivia, es crucial para mejorar la productividad y sostenibilidad de la ganadería local. La fertilidad del suelo, que depende de la buena disponibilidad de macronutrientes como N, P y K, afecta directamente la calidad y cantidad de pasto disponible para el ganado (Carlos, 1992). Sin un análisis exhaustivo de estos nutrientes, los ganaderos no pueden tomar decisiones informadas sobre la fertilización y el manejo de sus terrenos, lo que puede resultar en una reducción de la calidad del forraje y, por ende, en una menor eficiencia del ganado (Havlin et al., 2014).



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Además, una adecuada gestión de los nutrientes del suelo no solo mejora el rendimiento forrajero, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al prevenir la degradación del suelo y la contaminación por exceso de fertilizantes (Lal, 2015). En Trinidad, la falta de datos precisos sobre la fertilidad del suelo impide la implementación de prácticas de manejo adecuadas, afectando la rentabilidad de las operaciones ganaderas y la salud del ecosistema local (Reeves, 2017).

Este proyecto de investigación proporciona una oportunidad para llenar este vacío de conocimiento mediante un análisis detallado de los macronutrientes en los suelos de los potreros. Los resultados permitirán desarrollar recomendaciones específicas para la fertilización y manejo de los suelos, mejorando la producción de pastos y la eficiencia del pastoreo, y promoviendo prácticas más sostenibles (Brady y Weil, 2017). En definitiva, el estudio contribuirá a optimizar la productividad ganadera y a preservar la salud del suelo y del medio ambiente en la región.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) en los suelos de las áreas de pastoreo del Centro de Investigación de Mejoramiento del Ganado Bovino en Trinidad, Bolivia, para establecer recomendaciones específicas de especies forrajeras adecuadas según las características de cada tipo de suelo (altura, semi-altura y bajura).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Ejecutar un plan de muestreo de suelo que cubra diferentes categorías de topografía en las áreas de pastoreo del CIMGB,
2. Determinar los niveles de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) por medio de análisis de laboratorio en las distintas categorías de suelo (altura, semi-altura y bajura) en las áreas de pastoreo del CIMGB en Trinidad, Bolivia
3. Comparar los niveles de macronutrientes N, P, K entre los diferentes tipos de suelos (altura, semi-altura y bajura) en las áreas de pastoreo del CIMGB en Trinidad, Bolivia.
4. Diseñar un sistema silvopastoril basado en los resultados de análisis de laboratorio, con el fin de mejorar la fertilidad del suelo y promover un balance nutricional adecuado en el sistema de producción ganadera en el CIMGB.

ESTADO DEL ARTE

1. Influencia de la Topografía en la Fertilidad del Suelo y la Productividad

Agropecuaria en Regiones Tropicales

La fertilidad del suelo es un factor determinante en la productividad agrícola y pecuaria, especialmente en regiones donde los sistemas extensivos de ganadería predominan, como en Trinidad, Bolivia. En estos contextos, la disponibilidad de macronutrientes esenciales como el N, P, K, condiciona el crecimiento de las pasturas y, por ende, afecta la eficiencia del sistema productivo, ya que estos dependen directamente de la calidad del suelo. Los suelos destinados al pastoreo, tienden a crear un patrón desigual en la distribución de los nutrientes, esto significa que algunas zonas tienen más fertilidad que otras (Laiton Medina, J. F. 2019). En estudios recientes destacan que los suelos tropicales presentan alta variabilidad en la distribución de estos nutrientes, influenciada por factores como la topografía, el manejo del suelo y las condiciones climáticas (Brady y Weil, 2017; Lal, 2015).

La topografía tiene un impacto directo en las propiedades químicas y físicas del suelo. En regiones tropicales como Trinidad, los suelos de altura suelen ser más erosionados, con baja retención de agua y materia orgánica, mientras que los de bajura acumulan sedimentos y nutrientes lixiviados (Sánchez, 2019). Lal y Stewart (2018) señalan que los enfoques de clasificación topográfica permiten un manejo más eficiente de los nutrientes, optimizando la productividad en suelos de diferentes categorías.

Para el CIMGB, los suelos se clasifican en tres categorías principales:

- **Suelos de Altura:** Con drenaje natural eficiente pero propensos a la pérdida de nutrientes.
- **Suelos de Semi-altura:** Intermedios en retención de agua y materia orgánica.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- **Suelos de Bajura:** Ricos en nutrientes, pero con riesgos de anegamiento y lixiviación en periodos lluviosos.

La comparación de niveles de macronutrientes entre suelos de diferentes topografías permite identificar patrones de fertilidad y posibles limitaciones. En áreas de pastoreo, la deposición de nutrientes tiende a ser desigual debido al tránsito de animales y la acumulación de excretas en áreas específicas (Conant et al. 2017).

2. Plan De Muestreo De Suelo Según Categorías Topográficas

La variabilidad topográfica en regiones tropicales, como Trinidad, Bolivia, afecta la distribución de nutrientes, el drenaje y la acumulación de materia orgánica, lo que subraya la importancia de adaptar los planes de muestreo a estas categorías (De Cary R & Hervé, 2006). Según (Brady y Weil 2017), las áreas de altura tienden a presentar suelos más erosionados y con menor retención de agua, mientras que las zonas de bajura acumulan sedimentos y nutrientes lixiviados. Otros estudios realizados en suelos tropicales han mostrado que los suelos de bajura suelen tener mayores concentraciones de materia orgánica y nutrientes disponibles debido al transporte de sedimentos desde áreas más altas Sanchez (2019). Sin embargo, la lixiviación en estas áreas puede ser un desafío, especialmente en climas húmedos. Por ende, la metodología de muestreo debe considerar patrones espaciales y temporales, empleando diseños sistemáticos o estratificados para garantizar la representatividad de las muestras (Reinhold et al., 2006)

Un estudio de Lal y Stewart (2018) menciona que la gestión adecuada de los macronutrientes puede mejorar significativamente el rendimiento de los cultivos, haciendo hincapié en la necesidad de un enfoque integral que combine análisis químicos y físicos del suelo. Además, es pertinente tener en cuenta que la variabilidad espacial del suelo dentro de una misma parcela

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

puede afectar la interpretación de los resultados del análisis de suelos (Jaramillo J, 2012). Por ello, es recomendable realizar un muestreo representativo y considerar la implementación de prácticas de agricultura de precisión para abordar estas variaciones y optimizar la fertilidad y productividad del suelo (Oliver et al., 2019).

3. Análisis De Laboratorio Del Suelo

El análisis de suelos es una herramienta indispensable para identificar problemas nutricionales en cultivos y sistemas productivos, permitiendo formular recomendaciones precisas de fertilización de manera rápida y a bajo costo. Según Gómez et al. (2020), esta técnica posibilita diagnósticos efectivos que mejoran la eficiencia de las prácticas agrícolas, identificando tanto la suficiencia como la deficiencia de nutrientes y detectando condiciones adversas que puedan impactar negativamente la producción.

En el contexto de sistemas de producción ganadera, el análisis de laboratorio para macronutrientes como N, P, K, resulta crucial para evaluar la fertilidad del suelo. El nitrógeno, como nutriente esencial, está influenciado por la mineralización de la materia orgánica; el fósforo, por su parte, depende de procesos de fijación y su disponibilidad está condicionada por factores como el pH y el tipo de mineral presente (Sparks, 2003). Esta evaluación permite una gestión más sostenible y eficiente de los recursos edáficos, optimizando el rendimiento de los sistemas productivos, entre estas condiciones destacan la acidez excesiva, la salinidad y la toxicidad de ciertos elementos. Estos análisis son fundamentales para determinar la fertilidad de cada tipo de suelo. Havlin (2014).

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

4. Sistemas Silvopastoriles en el Manejo Sostenible del Suelo y la Productividad

Ganadera

Los últimos años, los sistemas silvopastoriles han tenido relevancia como una estrategia sostenible para mejorar la productividad ganadera y la conservación del suelo en regiones tropicales (Soca-Pérez et., 2017). En este tipo de sistemas se integran árboles fijadores de nutrientes, gramíneas de alta calidad y prácticas de manejo específicas que optimizan el uso del terreno y reducen el impacto ambiental. Según Murgueitio et al. (2020), la inclusión de especies como *Leucaena Leucocephala* y *Morus alba* en suelos arcillosos favorece la disponibilidad de P, K, también mejora la estructura del suelo por la acumulación de la materia orgánica. Por otro lado, las gramíneas como *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum Schumach* y *Tangola* se destacan por la alta tolerancia a las inundaciones, lo que las hace ideales para los suelos propensos de anegamiento (López Guarín, 2009).

Los sistemas silvopastoriles ofrecen múltiples servicios ecosistémicos al integrar árboles, pastos y animales en un solo sistema productivo. Proveen madera, frutos y hábitats para la vida silvestre, además de regular el ciclo hídrico y mejorar el bienestar animal al ofrecer sombra y protección, contribuyendo a una buena producción ganadera (Coonant et al., 2017). También incrementan la fertilidad del suelo y permiten la captura de carbono, favoreciendo la mitigación del cambio climático y promoviendo la sostenibilidad ambiental. Estos sistemas están directamente alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en los objetivos 2, 13 y 15, al fomentar la seguridad alimentaria, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y proteger la biodiversidad. Además, benefician económicamente a los productores al mejorar la rentabilidad de las explotaciones ganaderas mediante un manejo más eficiente de los recursos naturales (Chará et al., 2019; Murgueitio et al., 2011).

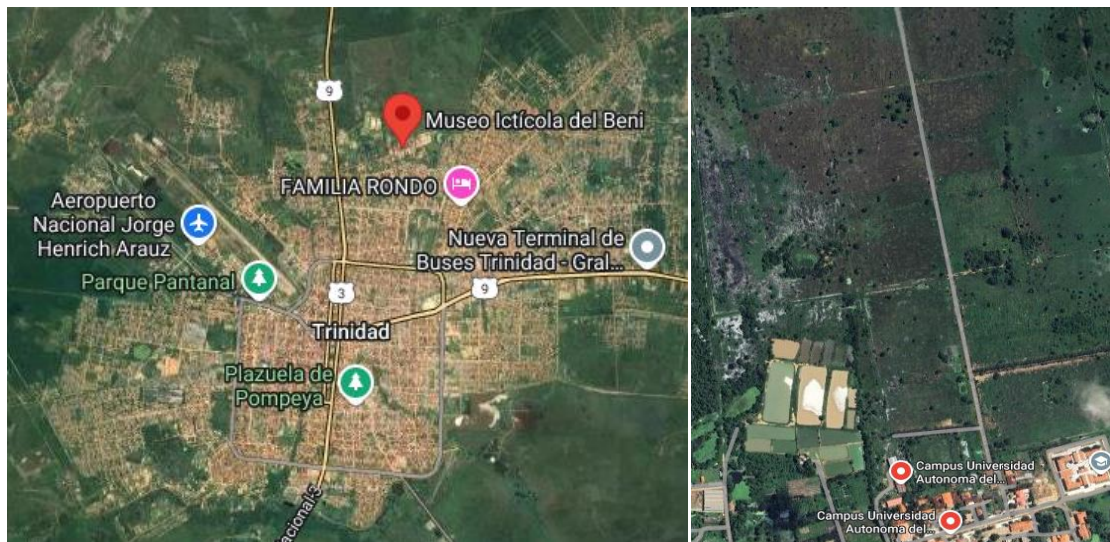
EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

METODOLOGÍA

1. Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en los potreros del CIMGB, pertenecientes a la UAB-JB, ubicados a 2.5km al norte de la ciudad de la Santísima Trinidad, Beni-Bolivia, con coordenadas geográficas $64^{\circ} 53' 39''$ de longitud oeste y $14^{\circ} 48' 39''$ de la latitud sur. La zona se encuentra a una altitud de 155 msnm, con una temperatura promedio de 27°C , humedad relativa anual media del 87% y una precipitación anual de 1800 a 1900mm. El área destinada para esta investigación abarca 80 hectáreas, dedicadas principalmente al pastoreo de ganado bovino, las cuales están divididas en 8 potreros, 7 se destinan al cultivo de pastos mientras que uno se emplea para la siembra de maíz

Ilustración 1: Ciudad de Trinidad, Bolivia y potreros del CIMGB



Nota: Tomado de *Google Maps*, 2024

2. Plan de Muestreo

Según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de USDA (2017), una prueba del suelo es esencial para determinar los niveles de fertilidad y tomar decisiones informadas sobre

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

el manejo de nutrientes, por lo que realizar un buen plan de muestreo es fundamental para los análisis en el laboratorio. Este plan permitió identificar puntos estratégicos en cada tipo del suelo del terreno a muestrear, asegurando la representatividad de las muestras y permitiéndonos tener una base sólida para realizar el análisis en el laboratorio precisos de cada macronutriente.

2.1. Clasificación De Los Suelos

La clasificación de los suelos en el CIMGB se ha llevado a cabo basándose en los conocimientos previos y la experiencia de los ingenieros especializados del centro y de los laboratorios UAB JB. Esta clasificación tomó en cuenta principalmente las características topográficas y las condiciones edafológicas de la región, dividiendo los suelos en tres categorías fundamentales: suelos de altura, semialtura y bajura.

2.1.1. Suelos de Altura

Se encuentran en áreas más elevadas, donde la pendiente puede ser más pronunciada. Los ingenieros han identificado que estos suelos presentan una mejor capacidad de drenaje natural, lo que los hace menos propensos a la acumulación de agua

2.1.2. Suelos de Semialtura

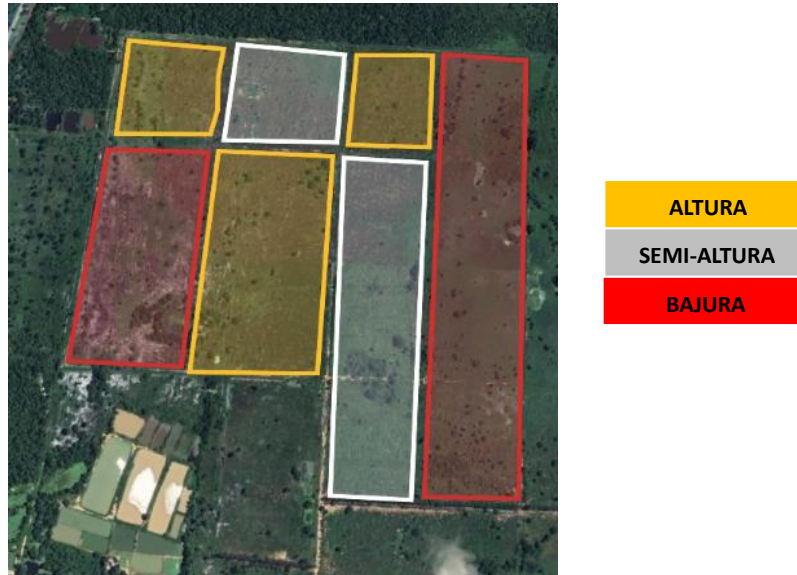
Estos suelos están ubicados en zonas intermedias entre las alturas y las bajuras, y presentan características mixtas. Son bastante versátiles para el pastoreo y agricultura de forrajes.

2.1.3. Suelos de Bajura

Son los que se encuentran en las áreas más bajas, con tendencia a la acumulación de agua durante las épocas de lluvia. Estos suelos suelen ser más pesados, con mayor contenido de arcilla.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Ilustración 2: Clasificación de los suelos



Nota: En la ilustración cada color representa un tipo de suelo de los potreros del CIMGB.

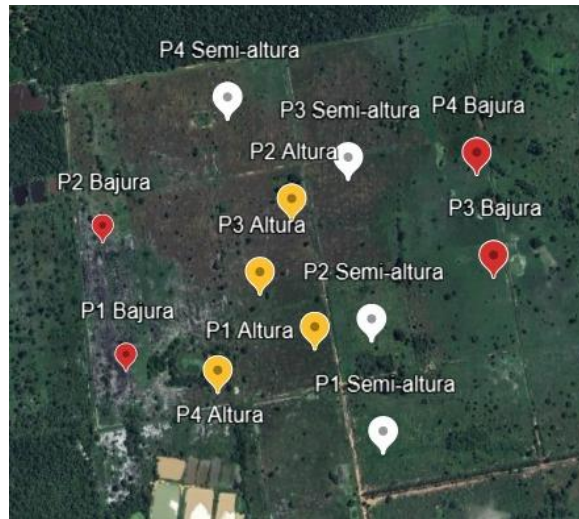
Tomada de *Google Maps*, 2024

De acuerdo con la delimitación de cada zona, se consideraron cuatro puntos de referencia correspondientes a las muestras para cada tratamiento, como se muestra en la *Ilustración 3*.

Asimismo, se registraron las coordenadas geográficas de cada punto de muestra, las cuales se presentan en la Tabla N°1, lo que nos facilitó su ubicación.

Ilustración 3: Puntos de toma de muestras

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB



Nota: La ilustración tiene cada punto de las muestras tomadas por cada tipo de suelo. Tomada y editada de *Google Earth, 2024*

Tabla 1: *Coordenadas de cada punto de muestras*

Tt	Punto	Latitud	Longitud
1	1	14°48'21"S	64°53'49"W
	2	14°48'11"S	64°53'50"W
	3	14°48'11"S	64°53'50"W
	4	14°48'24"S	64°53'56"W
2	1	14°48'28"S	64°53'43"W
	2	14°48'20"S	64°53'44"W
	3	14°48'08"S	64°53'46"W
	4	14°48'04"S	64°53'55"W
3	1	14°48'22"S	64°54'03"W
	2	14°48'13"S	64°54'05"W
	3	14°48'15"S	64°53'35"W
	4	14°48'08"S	64°53'36"W

Nota: Esta tabla presenta las coordenadas geográficas de cada punto donde se realizó la toma de muestras, correspondientes a cada tratamiento (Tt)

Para garantizar una muestra representativa de entre 300 y 500g por tratamiento, se llevó a cabo un procedimiento de muestreo que consistió en recolectar 5 submuestras alrededor de

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

cada punto de referencia, por lo que se obtuvo 12 muestras en total, a una profundidad de 20cm. Las submuestras fueron mezcladas homogéneamente, obteniendo así una muestra compuesta que cumplió con el peso requerido para el análisis.

2.2. Muestreo (Método Con Barreno)

El muestreo se llevó a cabo utilizando un método adecuado para capturar las variaciones del suelo en el área de estudio. Se implementaron técnicas como el muestreo en cuadrículas y en zigzag, con el fin de obtener una representación precisa de las condiciones del terreno. Para garantizar la representatividad de la muestra, se tomaron múltiples submuestras que fueron mezcladas para formar una muestra compuesta de cada categoría de suelo.

2.2.1. Materiales Utilizados

- Pala o Azadón (para retirar la M.O del área a muestrear)
- Barrena de suelos o calador (para extraer muestras de suelo a diferentes profundidades).
- Bolsas de plástico o papel etiquetadas (para almacenar las muestras).
- Cinta métrica
- GPS

2.2.2. Procedimiento Para La Recolección De Suelo

Antes de comenzar, es importante haber preparado el área de muestreo. Se limpio la superficie y se aseguró que haya quedado complemente libre de material orgánico, piedras o residuos que puedan contaminar la muestra.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- **Perforación:** Se introdujo el barreno en el suelo y se giró cuidadosamente para alcanzar la profundidad establecida, generalmente de 20 cm. Este movimiento permitió que el barreno funcionara como un tornillo, facilitando la extracción eficiente del suelo.
- **Extracción:** Una vez alcanzada la profundidad, se retiró el barreno con el suelo en su interior. Se procuró que la muestra permaneciera lo más intacta posible para preservar la estructura del suelo.
- **Almacenamiento:** La muestra se depositó en una bolsa ziploc, previamente identificada con la ubicación correspondiente al área de muestreo.

Ilustración 4: Procedimiento para la recolección de suelo



Nota: La ilustración muestra el paso a paso del procedimiento para la recolección de suelos mencionado anteriormente.

3. Análisis De Las Muestras En El Laboratorio

Según Brady y Weil (2017), el análisis de las muestras en el laboratorio es una etapa clave para determinar la composición fisicoquímica del suelo, enfocándose en la concentración de los macronutrientes esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Este proceso permite evaluar la fertilidad del suelo y su capacidad para sostener el crecimiento vegetal en las áreas



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

de pastoreo. Mediante técnicas analíticas precisas y estandarizadas, se obtuvieron datos fundamentales para el diagnóstico de las condiciones del suelo y para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible.

3.1. Preparación de la muestra

Cada punto de muestreo contuvo entre 300 y 500g de suelo, asegurando así la cantidad necesaria para su respectivo análisis.

3.1.1. Materiales

- Vaso de precipitación de 100ml
- Hornos de secado (para secar las muestras).
- Mortero (para la molienda)
- Tamices de 2mm de diámetro (para homogeneizar las muestras).
- Bolsas de polietileno o de papel Kraft.
- Marcadores indelebles o etiquetas
- Balanza analítica (para pesar las muestras).
- Cuaderno de registros

3.1.2. Procedimiento Para Preparación De La Muestra En El Laboratorio

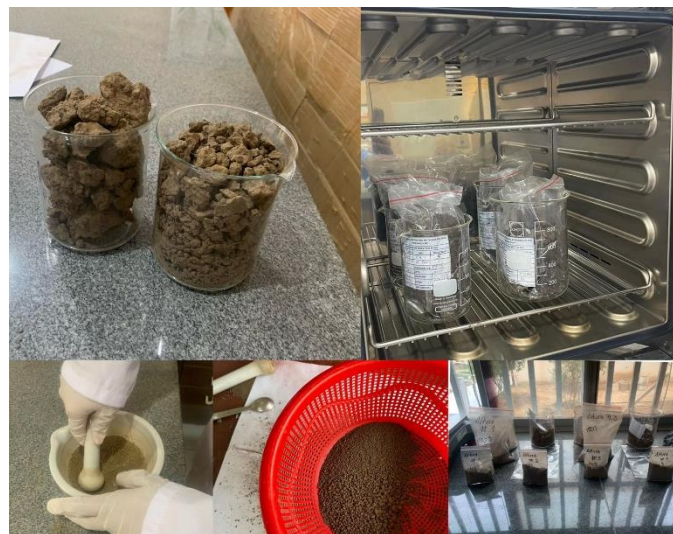
- **Secado:** El secado es a una temperatura controlada de 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) por 24 horas, lo cual es el estándar para muchos análisis. En este paso se eliminó completamente la humedad. El tiempo de secado puede variar, pero generalmente se prolonga hasta que la muestra alcance un peso constante, lo que indica que toda la humedad ha sido

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

eliminada. Esto puede durar entre 12 y 24 horas, dependiendo de las características del suelo.

- **Molienda:** Se realizó de reducir el tamaño de las partículas grandes, como terrones, piedras pequeñas, con el fin de obtener una muestra homogénea y más manejable para análisis. El suelo se introdujo en el mortero, donde se redujo a partículas finas. Durante este proceso, se evitó el sobrecalentamiento del material, ya que podría alterar la estructura de algunos compuestos del suelo.
- **Tamizado:** Se separaron las partículas según su tamaño. Esto es especialmente importante para análisis que requieren una muestra de suelo con partículas de tamaño uniforme, como la determinación de macronutrientes. Se utilizó un tamiz de 2mm para separar las partículas más finas del suelo, se sacudió manualmente. El suelo que pasa a través del tamiz se recolectó en bolsas ziploc, etiquetados adecuadamente para evitar la contaminación antes de su análisis, las partículas más grandes (como piedras o restos de raíces) se descartaron.

Ilustración 5: Preparación de la muestra en el laboratorio





EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Nota: La ilustración muestra el paso a paso del procedimiento para la preparación de la muestra en el laboratorio, mencionado anteriormente

3.2. Toma de pH y Conductividad Eléctrica

pH: La estimación del pH nos reveló mucho más de las características del suelo que tan solo decir suelo ácido o alcalino. Ya que, el pH se relaciona mucho con la disponibilidad de los nutrientes o con la toxicidad que pueden producir otros elementos.

Conductividad Eléctrica (C.E): La C.E se relaciona con la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo.

3.2.1. *Materiales*

- Balanza de precisión de 0,0001 gr o 0,01 gr
- pH metro de mesa con electrodo.
- Conductivímetro con sensor.
- Cronómetro digital.
- Agitador vortex.
- Vaso precipitado 50 ml.
- Frasco plástico de 250ml.
- Soluciones estándar de (calibración 4, 7, 10) pH
- Soluciones estándar de (calibración 84, 1413, 23) C.E

3.2.2. *Procedimiento*

- Pesamos 1 parte de suelo (25g) de la muestra de suelo en un frasco plástico de 250 ml y añadimos 5 partes de agua (125ml) de agua destilada al mismo.
- Agitamos por 3 minutos en el agitador vortex.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- Dejamos reposar la muestra por una noche.
- Con el pHmetro y el conductímetro leemos el resultado

Ilustración 6: Toma de pH y conductividad eléctrica

3.3. Determinación de Materia Orgánica (Método de Calcinación)

La materia orgánica se determinó mediante el método de calcinación o diferencia de peso. Este análisis permitió evaluar el contenido de compuestos orgánicos presentes en el suelo, los cuales son indicadores fundamentales de su fertilidad y su capacidad para retener y suministrar nutrientes esenciales

3.3.1. Materiales

- Mufla de 1200°C.
- Crisoles o cápsulas de porcelana.
- Balanza de precisión de 0,01 gr.
- Desecador (silica gel).
- Cucharilla metálica
- Guantes de temperatura
- Pinzas metálicas

3.3.2. Procedimiento

- Los crisoles se secaron en la mufla a 600°C durante 1 hora y luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta alcanzar un peso constante.
- Se pesó cada crisol y se registró su peso. Posteriormente, se taró y se pesaron 10 g exactos de la muestra previamente secada a 105°C.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- Los crisoles con la muestra se colocaron en la mufla a una temperatura de 350°C durante un período de 4 a 6 horas.
- Al salir de la mufla, los crisoles se colocaron en el desecador durante 1 hora.
- Finalmente, se determinó el porcentaje de materia orgánica mediante la diferencia de peso con la ecuación (1).

Ecuación 1: % de M.O

$$M.O = \frac{(P.C.V + P.M) - (P.C.S.M)}{P.M} * 100$$

Donde:

M.O: Materia orgánica

P.M: Peso muestra (10g)

P.C.V: Peso Crisol Vacío

P.C.S.M: Peso Crisol Salido de la Mufla

Ilustración 7: Procedimiento para determinar M.O



Nota: la ilustración muestra el paso a paso para determinar el %M.O en el suelo

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

3.4. Determinación de Nitrógeno (Método de Kjeldahl)

La determinación del nitrógeno en las muestras de suelo se llevó a cabo mediante el método de Kjeldahl, una técnica ampliamente utilizada para cuantificar el nitrógeno total presente en compuestos orgánicos e inorgánicos. Este método consistió en la digestión de la muestra, seguida de la destilación y titulación, permitiendo obtener datos precisos sobre el contenido de nitrógeno, un macronutriente esencial para la fertilidad del suelo

3.4.1. Materiales

- Papel libre de nitrógeno.
- Tubos de digestión de (250ml).
- Gradilla.
- Digestor.
- Matraz Erlen Meyer (250ml).
- Guante de temperatura.
- Bureta graduada.
- Agitador magnético.
- Destilador.

3.4.2. Reactivos

- Tabletas catalizadoras: que contienen Sulfato de Potasio (K_2SO_4), Sulfato de Cobre ($CuSO_4$) y Dióxido de Titanio (TiO_2).
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 97%.
- Hidróxido de Sodio ($NaOH$) al 30%. Disolver 300g ($NaOH$) en 700 ml de agua destilada.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- Ácido Bórico (H_3BO_3) al 2%. Disolver 20g de (H_3BO_3) en 980 ml de agua destilada. Adicionar indicador que es una solución que contiene: 0.25g de Verde de Bromocresol y 0.16g de Rojo de Metilo, disueltos en 250ml. de etanol al 99%.
- Ácido Clorhídrico (HCl) al 0,1 N.

3.4.3. Procedimiento

- Se pesó 1.0g de muestra en un papel libre de nitrógeno, se comprimió formando un puño y se colocó en un tubo de digestión.
- Se añadieron dos tabletas catalizadoras al tubo de digestión, aplicando el mismo procedimiento para el blanco.
- Se agregaron 15ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al tubo de digestión. Luego, se encendió el equipo de digestión y se colocaron los tubos en una gradilla, para posteriormente transferirlos al digestor bajo una campana de extracción.
- La temperatura del digestor se reguló ajustándola inicialmente a 230°C y manteniéndola durante 15 a 20 minutos. Posteriormente, se incrementó en intervalos de 50°C hasta alcanzar 280°C, manteniendo el control durante el mismo intervalo. Luego, se ajustó a 330°C durante 20 minutos y, finalmente, a 420°C, donde se mantuvo durante 60 minutos. En cada etapa, se vigiló cuidadosamente para evitar la ebullición y el desbordamiento de la muestra.
- Una vez completada la digestión, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente bajo la campana de extracción. Luego, se añadieron 50ml de agua destilada a cada tubo de digestión.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- Se transfirieron las muestras a la unidad de destilación. A un matraz receptor, se añadieron 20ml de ácido bórico (H_3BO_3) junto con 0.4ml de indicador (mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol).
- Se inició el proceso de destilación agregando de 45 a 65ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 30%. En caso de que la solución no cambiara a un color azul, verde o café, se ajustó la cantidad de hidróxido de sodio. El proceso de destilación duró 3 minutos.
- Una vez completada la destilación, se retiró cuidadosamente el tubo de digestión con guantes térmicos, se eliminó el líquido restante y se llevó el matraz para la titulación.
- El matraz se colocó en la máquina de agitación magnética. Se llenó la bureta con ácido clorhídrico (HCl) al 0.1 N y se tituló gota a gota hasta observar un cambio de color de verde a rosado intenso. Se registró el volumen de ácido utilizado para realizar los cálculos correspondientes mediante la ecuación (2).

Ecuación 2. % de Nitrógeno

- **Formula (2)**

$$\%N = \frac{(VHCl_m) - (VHCl_b) * CHCl * N(1,4007)}{P.M}$$

Donde

%N: porcentaje de nitrógeno

VHCl_m = Volumen del Ácido Clorhídrico de la muestra

VHCl_b = Volumen del Ácido Clorhídrico del blanco

CHCl (0,1) = Concentración del Ácido Clorhídrico

N (1,4007) = Nitrógeno

PM= Peso muestra

Ilustración 8: Preparación de la muestra para el digestor

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA
EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB



Nota: La ilustración muestra el procedimiento para preparar la muestra antes de su colocación en el equipo de digestión

Ilustración 9: Destilación y titulación para determinar %N en el suelo



Nota: La ilustración detalla la preparación de la solución receptora, el proceso de destilación en el equipo y, finalmente, la titulación



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

3.5. Determinación de Fosforo (P) y Potasio (K)

La determinación de fósforo y potasio se realizó mediante espectrofotometría, una técnica analítica que permitió cuantificar la concentración de estos macronutrientes en las muestras de suelo. Este método se basó en la interacción de la luz con las soluciones obtenidas durante el proceso, proporcionando datos precisos sobre la disponibilidad de fósforo y potasio.

3.5.1. Materiales

- Muffla de 1200°C.
- Crisoles o cápsulas de porcelana.
- Balanza de precisión de 0,01g.
- Desecador (silica gel).
- Cucharilla metálica
- Pinzas metálicas
- Espectrofotómetro
- Ácido nítrico (reactivo)
- Embudo
- Balón aforado de 250ml
- Papel Filtro
- Agua tipo1
- Solución de Calibración (P,K)

3.5.2. Procedimiento

- Se pesaron 10g de la muestra de suelo previamente secada a 105°C.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- Se agregaron 10ml de ácido nítrico, se agitó la mezcla y se dejó reposar durante 30 minutos.
- En un balón aforado de 250ml, se colocó un embudo con doble papel filtro en forma de cono.
- El lixiviado de la muestra se vertió lentamente, permitiendo que pasara a través del papel filtro. Se añadió la mayor cantidad posible y, posteriormente, se completó el volumen a 250ml con agua tipo 1.
- De la solución obtenida en el balón aforado, se transfirieron pequeñas cantidades para la lectura de los macronutrientes en el espectrofotómetro.

Ilustración 10: Procedimiento de preparación muestras para análisis en el espectrofotómetro



Nota: La ilustración anterior detalla el procedimiento completo, desde la preparación de la muestra hasta la obtención de los resultados mediante la lectura del equipo.

4. Interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

4.1.1. pH

Los resultados del pH nos permitieron conocer la condición del suelo y su influencia en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En el laboratorio el pH se determina en suspensión suelo: agua con relación 1:5.

Tabla 2: Escala de pH para suelos

pH	Clasificación
<4.5	Muy fuertemente ácido
4.6 – 5.2	Fuertemente ácido
5.3 – 5.9	Moderadamente ácido
6.0 – 6.5	Débilmente ácido
6.6 – 7.0	Neutro
7.1 – 7.5	Débilmente alcalino
7.6 – 8.0	Moderadamente alcalino
8.1 – 9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Nota: La tabla clasifica el suelo como ácido o alcalino, indicando el nivel correspondiente según el pH de la muestra. Información basada en Almaráz (1998, p. 20)

4.1.2. Conductividad

El conductímetro mide la cantidad de iones disueltos (sales) en el suelo, que afectan la capacidad del suelo para conducir electricidad. La escala de medición en **microSiemens (μS)** es útil para medir suelos con niveles muy bajos de salinidad o agua con baja conductividad.

Tabla 3: Interpretación de la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Nivel de Salinidad	Efectos en el crecimiento de las plantas
0 – 200 $\mu\text{S/cm}$	Muy baja salinidad	Suelo no salino, crecimiento óptimo para la mayoría de los cultivos.
200 – 400 $\mu\text{S/cm}$	Baja salinidad	Sin efecto en la mayoría de los cultivos.
400 – 800 $\mu\text{S/cm}$	Salinidad leve	Puede afectar algunos cultivos sensibles.
800 – 2000 $\mu\text{S/cm}$	Salinidad moderada	Afecta cultivos sensibles; los tolerantes pueden crecer bien.
2000 – 4000 $\mu\text{S/cm}$	Salinidad moderada-alta	Afecta muchos cultivos. Solo los más tolerantes prosperan.
> 4000 $\mu\text{S/cm}$	Alta salinidad	Estrés severo para la mayoría de los cultivos. Solo cultivos

Nota: La tabla nos presenta los niveles de salinidad del suelo según el intervalo en el que se ubique el resultado del análisis de laboratorio. Información tomada de Sadeghian, S. (2020).

4.1.3. Materia Orgánica

El método de la combustión de la materia orgánica a altas temperaturas, lo que permitió calcular su porcentaje en el suelo a partir de la pérdida de peso. A continuación, se presenta la tabla N°4 con la cual se realizó la interpretación de los resultados obtenidos para M.O

Tabla 4: Interpretación de los resultados del % M.O por mediante el método de calcinación

Contenido de M.O (%peso)	Clasificación	Descripción	Efectos en el suelo
< 1	Muy bajo	Suelos con bajo contenido de nutrientes y poca actividad biológica.	Baja capacidad de retención de agua y nutrientes.
1 - 3	Bajo	Suelos con nutrientes limitados, pero con algo de actividad microbiana.	Capacidad de retención de agua y nutrientes limitada.
3 - 5	Moderado	Suelos con buena actividad biológica y	Mejoran la estructura del suelo y su fertilidad.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

		capacidad de retención de nutrientes.	
5 - 10	Alto	Suelos ricos en nutrientes y con buena actividad biológica.	Alta capacidad de retención de agua y nutrientes.
> 10	Muy alto	Suelos con excelente fertilidad, alta actividad biológica y retención de agua.	Suelos muy fértiles, óptimos para la mayoría de los cultivos.

Nota: La tabla muestra la clasificación del suelo, desde muy bajo hasta muy alto, según el intervalo correspondiente al resultado del análisis de laboratorio. Además, describe las características del suelo y el efecto potencial en las plantas. Información basada de Aguilar, A., & Valenzuela, E. (2002).

4.1.4. Nitrógeno

Para determinar el Nitrógeno en las muestras de suelo se implementó el método de Kjeldahl el cual convierte el nitrógeno orgánico y nitratos en sulfato de amonio y este se destila en ácido bórico y se titula con ácido sulfúrico standard, utilizando un indicador adecuado. Para la interpretación de los resultados del % de Nitrógeno, se utilizó la (Tabla N°5).

Tabla 5: Interpretación y clasificación del contenido de nitrógeno total determinado por el método de Kjeldahl

Clasificación	Contenido Total%	Respuesta Del Cultivo
MUY BAJO	< 0.075	Fuerte respuesta del cultivo al % aplicado
BAJO	0.08-0.15	Ligera respuesta del cultivo al % aplicado
MODERADO	0.16 – 0.20	Aplicar N para mantenimiento
ALTO	0.21 – 0.30	No se requiere de N
MUY ALTO	> 0.30	No se requiere de N

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

Nota: La tabla clasifica el suelo, desde muy bajo hasta muy alto, según el intervalo correspondiente al resultado del análisis de laboratorio y nos muestra la posible respuesta que puede tener el cultivo. Información tomada de Almaráz (1998, p. 44)

4.1.5. Macronutrientes (P, K)

El P y K, se consideran nutrientes esenciales, aunque su concentración en el suelo es menor a comparación con el N. El P en el suelo se encuentra mayormente en forma de compuestos poco solubles, formando fosfatos de difícil disponibilidad para las plantas (Almaráz, 1998, p.45). Para la interpretación de los resultados de P se debe considerar que sus formas más solubles o disponibles se encuentran en suelos con un pH entre 5.5 – 7.0. Por otro lado, en suelos ácidos en las regiones tropicales, los niveles de K total y disponible tienden a ser bajos, lo que limitan su disponibilidad para las plantas. (Almaráz, 1998, p.55).

Tabla 6: Clasificación e interpretación tentativa de los análisis de P en laboratorio en base al método de Olsen modificado

Clasificación	Contenido Fósforo soluble		Respuesta del cultivo
	ppm	Kg/Ha	
Muy bajo	0.0 – 3.0	0 - 13	Repuesta al P aplicado
Bajo	3 – 6	14 - 33.8	Ligera a moderada respuesta del P aplicado
Moderado	7 – 15	33.8 - 49.4	Aplicar P para mantenimiento
Alto	16 – 25	49.4 - 72.8	No se requiere aplicar P
Muy alto	>25	> 72.8	No se requiere aplicar P

Nota: La tabla clasifica el suelo, desde muy bajo hasta muy alto, según el resultado y se ubique en el intervalo del contenido de P soluble ppm o Kg/Ha, también nos muestra la posible respuesta que puede tener el cultivo. Información tomada de Almaráz (1998, p. 53)

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Tabla 7: Clasificación e interpretación de K disponible ppm por método Bray 1

Clasificación	Contenido de K ppm
Muy bajo	Menor o igual a 50
Bajo	50.1 – 100
Moderado	100.1 – 180
Alto	180.1 – 250
Muy alto	Igual o mayor a 250

Nota: La tabla clasifica el suelo, desde muy bajo hasta muy alto, según el resultado de la lectura en el espectrofotómetro y se ubique en el intervalo del contenido de K ppm. Tomado de Brito et al. (2015)

5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio de: Nitrógeno, Fosforo y Potasio fueron sometidos al análisis de varianza, a la prueba de Fisher al nivel de 5% de probabilidad de error y la comparación de medias entre tratamientos con DMS (Diferencia Máxima Significativa), los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico GenStat Release versión 9.1.

5.1. Hipótesis

El desarrollo de la presente investigación tuvo como base la siguiente hipótesis de nulidad:

No existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la calidad entre los tratamientos, al nivel de 5% de probabilidad de error.

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

5.2. Diseño Muestral

5.2.1. Esquema del Muestreo

El diseño experimental utilizado en la presente investigación será el de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones.

5.2.2. Tamaño de la Muestra

El diseño experimental utilizado en el estudio conto con 3 tratamientos (T) principales, que corresponde a cada tipo de suelo: T1 (altura), T2 (semialtura), T3 (Bajura) siendo el tratamiento testigo. Cada tratamiento fue evaluado en 4 repeticiones, lo que implica que se tomaron cuatro puntos estratégicos por cada tratamiento (tipo de suelo). En total se llevó a cabo con 12 unidades experimentales (U.E), que representan la suma de todas las muestras tomadas por los tres tratamientos. Este diseño aseguro una evaluación representativa sistemática de las condiciones de cada tipo de suelo. En la Tabla N°7 se encuentra el tamaño de la muestra más detallada.

Tabla 8: *Tamaño de la muestra*

T	3
Repeticiones por T	4
U.E	12

6. Propuesta Silvopastoril

Con base en los resultados obtenidos a partir del análisis de laboratorio, se planteó un modelo de sistema silvopastoril que integró especies arbóreas y forrajeras para mejorar la fertilidad del suelo y el balance nutricional en las áreas de pastoreo. Para ello, se seleccionaron especies leguminosas fijadoras de nitrógeno, fosforo y potasio, adaptadas a las condiciones locales, promoviendo una mayor fertilidad en el área de pastoreo. También se incluyeron especies

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

forrajeras de alto valor nutricional que, al ser consumidas por el ganado, contribuirán a equilibrar los nutrientes en el sistema productivo, mejorando la eficiencia del pastoreo.

6.1.1. Especies Forrajeras Seleccionadas

Para la selección de las especies se tuvo en cuenta las características específicas de cada tipo de suelo en el área de estudio, asegurando su adaptabilidad y contribución al mejoramiento de la fertilidad y productividad del terreno.

- **Altura:** La *Brachiaria Brizantha* es una gramínea forrajera. Se caracteriza por ser una planta de porte alto, alcanzando 1.5m de altura aproximadamente, lo que le permite producir una considerable cantidad de biomasa en un corto período de tiempo. Este forraje muestra una buena adaptabilidad a suelos arcillosos bien drenados, tolerando condiciones de acidez y niveles moderados de fertilidad (E. Vásquez Vargas, 2014), también es común utilizarla en los sistemas silvopastoriles debido a su versatilidad y alto rendimiento, lo que permite implementarla en Trinidad, Bolivia.

Las *Brachiaria Brizantha* cumple múltiples funciones esenciales en un sistema silvopastoril, puede actuar como cobertura eficaz del suelo, reduce la erosión y lo protege contra la compactación al mantenerlo cubierto. Su sistema radicular profundo puede mejorar la filtración de agua, así ayudando a mitigar el impacto de las lluvias intensas (Laiton Medina, 2019). Su alta capacidad de rebrotar después del pastoreo asegura un suministro constante de alimento, su resistencia al pisoteo la hace ideal para sistemas de manejo intensivo (López-Vigoa et al., 2017). Estas características hacen que la *Brachiaria Brizantha* sea clave para la sostenibilidad y la eficiencia de los sistemas ganaderos tropicales.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

- **Semialtura:** Son suelos con un drenaje moderado, por esto la *Brachiaria Humidicola* es una gramínea ideal para los sistemas silvopastoriles. Es una planta rastrera con alta tolerancia a encharcamiento moderado y unan sombra parcial, lo que la hace adecuada para áreas con niveles de humedad fluctuantes (Canchila, E.R et al., 2008). Este forraje desempeña un papel fundamental en la estabilización del suelo en áreas intermedias (semialtura), proporcionando una cobertura densa que reduce la erosión y favorece la retención de humedad en el suelo, tiene la capacidad de establecerse en suelos ácidos, contribuye a la mejora de la calidad del suelo y la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios en zonas tropicales (Jiménez et al., 2010).
- **Bajura:** Son suelos propensos de inundaciones, la *Tangola* (Híbrido entre *Brachiaria arrecta* y *Pennisetum purpureum Schumach*) emerge como la gramínea principal debido a su alta tolerancia a las inundaciones y su capacidad para colonizar suelos arcillosos compactos. Esta especie presenta un crecimiento macizo en áreas con exceso de agua, lo que le permite mantener una producción de forraje durante la época de lluvia, incluso cuando se presenta anegamiento (Arraquy, 2015). La *Tangola* es capaz de proporcionar fuente continua de forraje para el ganado, por lo que es valiosa para los sistemas silvopastoriles en suelos con características de bajura, por la resistencia a las inundaciones y su habilidad para estabilizar los suelos compactados, permiten una producción sostenible y rentable en áreas de pastoreo en zonas de anegamiento (Nenning et al., 2022).

6.1.2. **Especies Arbóreas Seleccionadas**

- **Leucaena Leucocehala:** Es una leguminosa perenne perteneciente a la familia Fabaceae, ampliamente distribuida en regiones tropicales. Murgueitio et al., (2011)



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

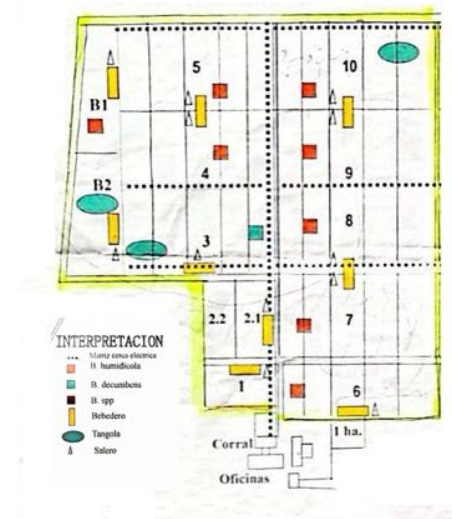
destacada que por su rápido crecimiento y su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico mediante asociaciones simbióticas con bacterias del género *Rhizobium*, mejora la fertilidad del suelo, especialmente en áreas en suelos degradados. La *Leucaena leucocephala* muestra una alta tolerancia a suelos arcillosos y marginales, incluidos los suelos ácidos y compactados.

Entre sus beneficios ambientales, esta especie contribuye a la restauración de suelos erosionados, mejora la estructura del suelo mediante su sistema radicular profundo y regula el microclima al proporcionar sombra en sistemas silvopastoriles, lo que reduce estrés térmico en los animales. También aporta en la captura del carbono, ayudando a mitigar el cambio climático. Su alto contenido proteico convierte sus hojas en un forraje valioso para el ganado (Hernández-Melchor et al., 2023; Murgueitio et al., 2011).

- **Morus alba (Morera):** Es un árbol caducifolio, este es ampliamente cultivado por regiones tropicales y subtropicales, puede alcanzar hasta 18m de altura, se adapta con facilidad a la variedad de condiciones climáticas y edáficas, incluidos suelos arcillosos secos y con niveles moderados de acidez o alcalinidad (Medina et al., 2011). La *Morera* tiene múltiples usos, desde la producción de frutos comestibles hasta la utilización como forraje de alto valor nutricional, gracias a su elevado contenido proteico y retención foliar durante épocas secas. Por ende es un recurso muy utilizado para los sistemas agroforestales y silvopastoriles, el cultivo de esta especie mejora la sostenibilidad de los sistemas agrícolas al ofrecer un recurso alimenticio resiliente frente a variaciones climáticas. (Medina et al., 2009)

Ilustración 11: Croquis área de CIMGB

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB



Nota: El croquis muestra la división de los potreros y la interpretación correspondiente a cada figura representada en él.

6.1.3. *Software Shade Motion*

El diseño de este sistema silvopastoril se realizó utilizando el software Shade Motion, el cual facilitó la modelación de la disposición espacial y las interacciones entre las especies arbóreas y forrajeras en el área de estudio. Con el apoyo de Shade Motion, se optimizó la distribución de las especies de acuerdo con criterios de espaciamiento, orientación y proyección de sombra, maximizando los beneficios de las especies fijadoras de nitrógeno y promoviendo un balance nutricional adecuado para el ganado. Las simulaciones en el software permitieron validar y ajustar el diseño antes de su implementación en campo, garantizando así un arreglo eficiente que contribuyó a mejorar la fertilidad y la sostenibilidad del sistema de pastoreo.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

RESULTADOS

1. Diagnóstico del Área

Previamente a la toma de muestras para el análisis de laboratorio se inspecciono el área, donde se encontró que anteriormente, los potreros albergaban una diversidad de especies de pastos mejorados como *Tangola*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha* y otras especies del género *Brachiaria spp.*. Además, en la zona coexistían pastos nativos como *Centrosema* y *Desmodium*, que en conjunto formaban una base forrajera esencial para la producción ganadera.

Durante el período en que se llevó a cabo la investigación, la zona se encontraba afectada por condiciones propias de la época seca. Debido a estas condiciones y al impacto de quemas no controladas, se reportaron pérdidas significativas de cobertura de pastos en los potreros, lo que dejó las áreas dedicadas al pastoreo prácticamente sin forraje.

Ilustración 12: Terreno afectado



Nota: En la ilustración se puede observar el estado del terreno en el momento en que se realizaron las tomas de muestras.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

2. Recolección de Datos

Durante el proceso de recolección de datos en el laboratorio, se aplicó un procedimiento sistemático y estructurado, garantizando un control riguroso de las muestras. Cada registro incluyó información básica como la fecha de ingreso, el código de laboratorio asignado y el nombre de la muestra, evitando confusiones durante el análisis. El formato utilizado para estos registros puede consultarse en el **Anexo 1**. A continuación, se presenta la Tabla 9: Resultados de los análisis de laboratorio donde se presentan los resultados finales consolidados de todos los análisis realizados, los cuales fueron organizados y registrados en hojas de cálculo de Excel para facilitar su interpretación.

Por otro lado, los cuadros de resultados específicos para cada análisis individual (materia orgánica, pH, textura, entre otros) se encuentran detallados el **Anexo 2** clasificados según las categorías de suelo evaluadas: altura, semialtura y bajura. Estos datos individuales sirvieron como base para consolidar los resultados finales y comprender las diferencias químicas entre los tipos de suelo estudiados.

Tabla 9: Resultados de los análisis de laboratorio

NOMBRE DE LA MUESTRA	pH	C.E (microS/cm)	M.O	N	P	K
			%		mg/kg	
Bajura (P-B1)	4,94	116,3	6,32	0,17	9,95	69,39
Bajura (P-B2)	5,18	112,9	5,98	0,16	10,51	63,96
Bajura (P-8)	4,72	114,8	8,95	0,35	8,97	89,06
Bajura (P-9)	4,92	144,58	5,81	0,39	11,13	58,75
Semi-altura #1	5,05	183,3	4,78	0,13	3,11	83,54
Semi-altura #2	5,36	73,632	3,45	0,10	8,74	60,05
Semi-altura #3	5,43	105,17	4,60	0,10	8,80	82,18
Semi-altura #4	5,49	75,89	4,07	0,09	9,63	46,24
Altura #1	5,51	93,66	3,56	0,11	3,66	49,49
Altura #2	5,52	116,82	3,45	0,10	3,08	39,90
Altura #3	5,48	104,39	4,18	0,13	5,67	45,83



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Altura #4	5,54	123,58	4,19	0,11	6,95	38,11
-----------	------	--------	------	------	------	-------

3. Análisis Estadísticos

Las tablas 10, 13, y 16 presenta los valores de N, P, K, en kilogramos por hectárea (kg/ha) para tres tratamientos (T1, T2 y T3) evaluados en cuatro bloques (I, II, III y IV). Los resultados totales y promedios se calcularon para cada tratamiento y bloque. El ANOVA evaluó las diferencias entre tratamientos y bloques, cuyos resultados se muestran en las tablas 11, 14 y 17 para cada macronutriente. Finalmente, la prueba de Duncan se utilizó para la comparación de medias, clasifica los tratamientos en grupos según sus diferencias como se observa en las tablas 12, 15 y 18.

Tabla 10: Contenido de Nitrógeno por tratamiento y bloque

CONTENIDO DE NITRÓGENO (Kg/ha)						
TRATAMIENTOS	Bloques				Total	Promedio
	I	II	III	IV		
T1	101,03	86,25	138,02	115,23	440,53	110,13
T2	164,04	81,42	104,88	86,45	436,79	109,20
T3	236,37	216,24	410,22	484,90	1347,73	336,93
Total	501,44	383,91	653,12	686,58	2225,05	
Promedio	167,15	127,97	217,71	228,86	741,68	185,42

- **T1:** El contenido promedio es de 110,13 kg/ha, con valores que oscilan entre 86,25 kg/ha y 138,02 kg/ha.
- **T2:** El promedio es de 109,20 kg/ha, con valores de 81,42 kg/ha a 164,04 kg/ha.
- **T3:** Tiene un contenido significativamente mayor, con un promedio de 336,93 kg/ha, alcanzando un máximo de 484,90 kg/ha.

El contenido total de nitrógeno en todos los bloques y tratamientos es de 2225,05 kg/ha, con un promedio general de 185,42 kg/ha.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Tabla 11: Análisis de Varianza (ANOVA)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 5 %	signifi.
Bloques	3	19691,639	6563,8797	1,0357	4,76	NS
Tratamientos	2	137736,459	68868,2296	10,8666	5,14	**
Error	6	38025,6011	6337,6002			
Total	11	195453,699				
C.V	42,93	%				

- **Factor Bloques:** El valor de Fc (1,0357) es menor que Ft (4,76 para 5% y 9,78 para 1%), indicando que no hay diferencias significativas entre bloques.
- **Factor Tratamientos:** El valor de Fc (10,8666) es mayor que Ft (5,14 para 5%); por tanto, hay diferencias significativas entre tratamientos al nivel del 5%. Sin embargo, al nivel del 1% (Ft = 10,92), la diferencia no es significativa.
- **Coefficiente de Variación (C.V.):** El valor del 42,93% sugiere una variabilidad alta en los datos

Tabla 12: Prueba de Duncan

Tratamientos	Medias	Grupos
T1	110,13	a
T2	109,2	a
T3	336,93	b

- **T1** (110,13 kg/ha) y **T2** (109,20 kg/ha) pertenecen al mismo grupo (a), indicando que no hay diferencias significativas entre ellos.
- **T3** (336,93 kg/ha) pertenece a un grupo diferente (b), mostrando una diferencia significativa con respecto a T1 y T2.

Tabla 13: Contenido de Fosforo (P) por tratamiento y bloque

CONTENIDO DE FOSFORO (Kg/ha)						
TRATAMIENTOS	Bloques				Total	Promedio
	I	II	III	IV		



TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
 ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
 DEL CIMGB

T1	9,44	7,70	14,40	17,37	48,91	12,23
T2	8,21	20,63	20,06	22,73	71,63	17,91
T3	21,89	23,86	17,58	23,82	87,15	21,79
Total	39,54	52,19	52,04	63,92	207,69	
Promedio	13,18	17,40	17,35	21,31	69,23	17,31

- **T1:** El contenido total es de 48,91 kg/ha, con un promedio de 12,23 kg/ha. Los valores varían de 7,70 kg/ha a 17,37 kg/ha.
- **T2:** Presenta un total de 71,63 kg/ha y un promedio de 17,91 kg/ha. Los valores fluctúan entre 8,21 kg/ha y 22,73 kg/ha.
- **T3:** Este tratamiento tiene el mayor contenido de fósforo, con un total de 87,15 kg/ha y un promedio de 21,79 kg/ha.

El contenido total para todos los tratamientos es de 207,69 kg/ha, con un promedio general de 17,31 kg/ha

Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 5 %	signifi.
Bloques	3	99,1172	33,0391	1,7119	4,76	NS
Tratamientos	2	184,9472	92,4736	4,7914	5,14	NS
Error	6	115,7994	19,2999			
Total	11	399,8638				
C.V	25,38	%				

- **Bloques:** El valor de Fc (1,7119) es menor que Ft (4,76 al 5% y 9,78 al 1%), lo que indica que no hay diferencias significativas entre los bloques.
- **Tratamientos:** El valor de Fc (4,7914) es ligeramente inferior a Ft (5,14 al 5%), lo que significa que las diferencias entre tratamientos no son estadísticamente significativas al nivel del 5%.
- **C.V.:** Es de 25,38%, lo que indica una dispersión moderada de los datos



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Tabla 15: Prueba de Duncan

Tratamientos	Medias	Grupos
T1	12,23	a
T2	17,91	a b
T3	21,79	b

- T2 (17,91 kg/ha) se encuentra en los grupos "a" y "b", indicando que no difiere significativamente de T1 pero tampoco de T3.
- T3 (21,79 kg/ha) pertenece al grupo "b", mostrando diferencias con T1.

Tabla 16: Resultados de Potasio (K) por tratamiento y bloque

CONTENIDO DE POTASIO (Kg/ha)						
TRATAMIENTOS	Bloques				Total	Promedio
	I	II	III	IV		
T1	127,68	99,75	116,40	95,27	439,10	109,78
T2	220,54	141,72	187,37	109,13	658,76	164,69
T3	152,66	144,54	235,11	174,55	706,86	176,72
Total	500,88	386,01	538,88	378,95	1804,72	
Promedio	166,96	128,67	179,63	126,32	601,57	150,39

- T1: Tiene un total de 439,10 kg/ha y un promedio de 109,78 kg/ha, con valores que oscilan entre 95,27 kg/ha y 127,68 kg/ha.
- T2: Presenta un total de 658,76 kg/ha y un promedio de 164,69 kg/ha, con valores desde 109,13 kg/ha hasta 220,54 kg/ha.
- T3: Registra el mayor contenido total de potasio, con 706,86 kg/ha, y un promedio de 176,72 kg/ha.

Tabla 17: Análisis de varianza (ANOVA)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 5 %	signifi.
Bloques	3	6541,8939	2180,6313	2,0411	4,76	NS
Tratamientos	2	10188,2953	5094,1476	4,7682	5,14	NS
Error	6	6410,1577	1068,3596			



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

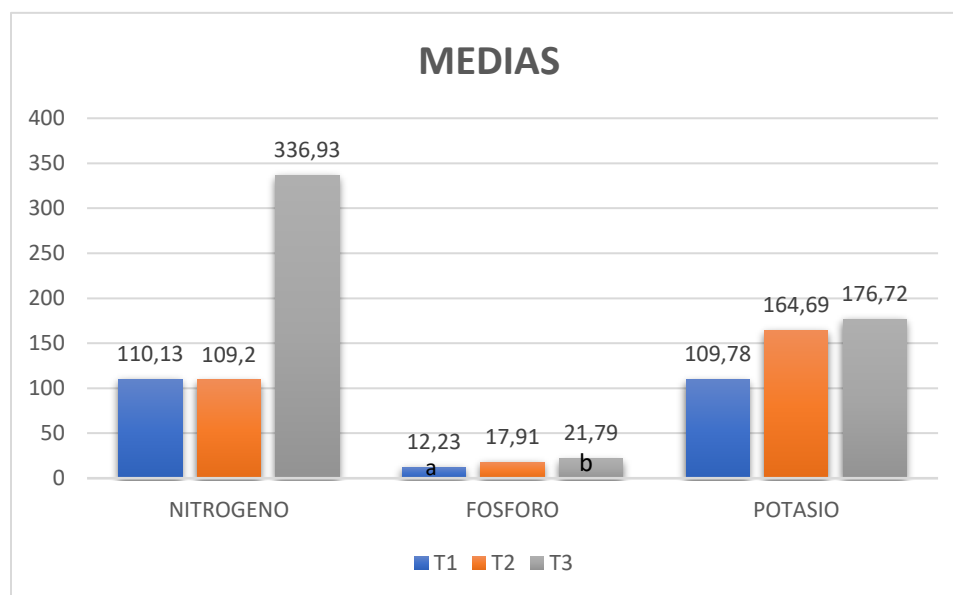
Total	11	23140,3469				
C.V	21,73	%				

- **Bloques:** El valor de Fc (2,0411) es menor que Ft (4,76 al 5% y 9,78 al 1%), indicando que no hay diferencias significativas entre los bloques.
- **Tratamientos:** El valor de Fc (4,7682) es menor que Ft (5,14 al 5%), lo que significa que las diferencias entre tratamientos no son estadísticamente significativas.
- **C.V.:** El valor de 21,73% indica una variabilidad moderada.

Tabla 18: Prueba de Duncan

Tratamientos	Medias	Grupos
T1	109,78	a
T2	164,69	a b
T3	176,72	b

- **T1** (109,78 kg/ha) pertenece al grupo "a".
- **T2** (164,69 kg/ha) pertenece a ambos grupos "a" y "b", lo que sugiere que no difiere significativamente de T1 ni de T3.
- **T3** (176,72 kg/ha) pertenece al grupo "b", mostrando una diferencia con T1.



EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

4. Silvopastoril

Tabla 19: Descripción de las especies seleccionadas

CERCA VIVA					
ESPECIE	DESCRIPCIÓN	ALTURA (m)	DENSIDAD DE SIEMBRA	DISTRIBUCIÓN DE SOMBRA	TASA DE CRECIMIENTO (m/año)
<i>Leucaena Leucocephala</i>	Leguminosa perenne de rápido crecimiento, fijadora de nitrógeno en el suelo mediante simbiosis con bacterias Rhizobium	4-5	400-600 plantas/ha (2m entre plantas para cerca viva)	15-20m ² por planta, 20-25% al suelo (depende de la distribución), la estacionalidad e la sombra es mayor en las épocas secas por la densidad de su follaje	1-1.5
	Follaje con alto contenido de proteína cruda (20-30%), suplemento de alta calidad				
<i>Morus alba (Morera)</i>	Arbusto de rápido crecimiento, con alto contenido nutricional alto (25% PC) y buena digestibilidad. Tolera condiciones de suelos arcillosos y una humedad moderada.	5-6	300-400/ha Intercalada con la <i>Leucaena</i> en las cercas vivas (1.5-2m entre plantas)	20-25m ² por planta, 25-30% al suelo. La estacionalidad es persistente, con su follaje denso durante todo el año	1-2
FORRAJE					
ESPECIE	DESCRIPCIÓN	ALTURA PROMEDIO (m)	ÍNDICE DE COBERTURA DEL SUELO (%)	REQUERIMIENTO DE LUZ Y SOMBRA TOLERADA	TASA DE CRECIMIENTO (cm/día)
<i>Briachiaria Brizantha</i>	Gramínea perenne con alta producción de forraje. Buena tolerancia a la sequía, prefiere los suelos con buen drenaje y buena resistencia al pisoteo	1.2-1.5	85-90	Luz Alta >60% de luz solar directa), Sombra del 10-20%	6-8 en condiciones óptimas.
<i>Briachiaria Humidícola</i>	Gramínea rastrera con una cobertura densa, tolerante a suelos ácidos, compactados y en condiciones de encharcamiento moderado. Tiene buena tolerancia a la sombra y favorece a la retención de humedad	0.6-0.8	90-95	Luz Media >40-50% de luz solar directa), Sombra del 30-40%	5-7



UDECA
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO DEL CIMGB

<i>Tangola</i>	Híbrida, tolerante a inundaciones y suelos compactados. Su crecimiento es vigoroso, produce forraje de buena calidad especialmente en zonas tropicales.	1.0-1.2	95-98	Luz Media >50-60% de luz solar directa), Sombra del 20-30%	7-10 cm/día en condiciones húmedas.
----------------	---	---------	-------	--	-------------------------------------

Nota: La tabla nos describe cada especie del sistema silvopastoril propuesto, los datos utilizados en el software *Shade Motion* para la simulación en el terreno.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

DISCUSIÓN

El estudio de los macronutrientes en los terrenos del CIMGB facilitó la evaluación de su fertilidad y determinó diferencias importantes entre las variedades de suelo (altura, semi-altura y bajura). Los hallazgos demuestran la relevancia de tener en cuenta las particularidades topográficas en la administración del suelo, en concordancia con el propósito principal del estudio de elaborar sugerencias concretas para mejorar la fertilidad y la sostenibilidad en zonas de pastoreo.

Los resultados muestran que los suelos de bajura (T3) presentan mayores concentraciones de nitrógeno (336,93 kg/ha), fósforo (21,79 kg/ha) y potasio (176,72 kg/ha), mientras que los suelos de altura (T1) y semi-altura (T2) tienen valores significativamente menores. Este patrón está en línea con estudios previos realizados en sistemas tropicales, como el de Zambrano-Yepes et al. (2020), que reportaron una mayor acumulación de nutrientes en suelos de bajura debido al transporte de sedimentos y materia orgánica desde áreas más altas. Sin embargo, las diferencias en disponibilidad de nutrientes entre tratamientos, aunque significativas, pueden estar influenciadas por factores como la variabilidad en el uso del suelo y las prácticas de manejo histórico en cada zona.

La mayor concentración de nitrógeno en T3 refleja una mayor retención de materia orgánica en suelos de bajura, donde las condiciones de drenaje son más limitadas y favorecen la acumulación de residuos orgánicos. Por otro lado, los suelos de altura (T1) mostraron menor contenido de nitrógeno, lo que puede atribuirse a una mayor lixiviación y a menores aportes de residuos vegetales. Este hallazgo coincide con el trabajo de Lal (2015), quien destacó que los suelos erosionados y bien drenados tienden a perder nitrógeno más rápidamente.

El fósforo mostró una distribución desigual entre los tratamientos, con valores

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

significativamente mayores en T3. Esto podría deberse a una menor fijación de fósforo en compuestos insolubles en suelos de bajura, posiblemente relacionados con un pH más favorable. En T1 y T2, el bajo contenido de fósforo podría estar relacionado con la acidez del suelo, que reduce su disponibilidad para las plantas. Según Havlin et al. (2014), el manejo del pH es crucial para optimizar la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos.

El contenido de potasio siguió un patrón similar al de los otros macronutrientes, con T3 superando a T1 y T2. Este resultado puede explicarse por la capacidad de intercambio catiónico más alta en suelos de bajura, donde los coloides del suelo retienen mejor este nutriente. Sparks (2003) subrayó que el potasio, aunque menos móvil que el nitrógeno, depende en gran medida de la estructura y composición del suelo.

En el desarrollo de la investigación, diversos factores podrían haber influido en los resultados obtenidos. Uno de ellos está relacionado con el proceso de recolección de las muestras de suelo, es posible que no se haya realizado una limpieza superficial adecuada en las áreas muestreadas, lo que pudo haber introducido restos de materia orgánica en las muestras. Este detalle es relevante, ya que el análisis del suelo, particularmente en lo que respecta al contenido de nitrógeno, puede haberse visto afectado. Esto se debe a que el procedimiento para el análisis del nitrógeno está estrechamente vinculado al proceso de mineralización de la materia orgánica presente en el suelo.

Otro factor que merece consideración es la natural variabilidad de los suelos estudiados. La heterogeneidad intrínseca de los suelos dentro de los potreros es alta, lo que puede dar lugar a diferencias significativas en las propiedades químicas, incluso entre puntos de muestreo relativamente cercanos. Esta variabilidad es una característica común en suelos tropicales, pero puede representar un desafío al momento de interpretar los resultados, ya que introduce una fuente de variación adicional en los análisis.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

CONCLUSIONES

- Los resultados mostraron que los suelos de bajura (T3) tienen niveles más altos de los macronutrientes evaluados (N,P,K), particularmente el fósforo (21.76 kg/ha) y potasio (176.72 kg/ha), en comparación con los suelos de altura (T1) y semialtura (T2). Esto se explica por la mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la retención de materia orgánica en los suelos arcillosos de bajura, que facilitan la acumulación de estos nutrientes esenciales.
- El contenido de nitrógeno (N) presentó diferencias significativas entre los tipos de suelo. Los suelos de bajura (T3) mostraron un promedio de 336.93 kg/ha, mientras que en los suelos de altura y semialtura los valores fueron significativamente menores, con promedios de 110.73 kg/ha y 109.20 kg/ha, respectivamente. Este resultado también se relaciona con la mayor acumulación de materia orgánica, pero menos lixiviación en los suelos de bajura que favorecen una mayor disponibilidad de nitrógeno.
- Los resultados de fósforo en los suelos ácidos de altura tuvieron un promedio de 12.23 kg/ha, lo que indica que fue particularmente limitado. Esto quiere decir que existe la necesidad de implementar especies fijadoras de fósforo, fertilización fosfatada en el suelo, para evitar deficiencias nutricionales que limiten el crecimiento de las pasturas.
- Basado en los hallazgos, se diseñó un sistema silvopastoril que integro especies como *Leucaena leucocephala* y *Morus alba*, acompañadas por gramíneas adaptadas a cada topografía (*Brachiaria brizantha* en altura, *Brachiaria humidicola* en semialtura y pasto *Tangola* en bajura). Este sistema optimiza la fertilidad del suelo al incorporar especies



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA
EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

fijadoras de nitrógeno y forrajeras de alto valor nutricional, contribuyendo a la sostenibilidad del sistema productivo.

- El trabajo de investigación nos muestra la importancia de tener una gestión integral del suelo y la importancia de usar estrategias agroecológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad en las áreas de pastoreo en el CIMGB.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

BIBLIOGRAFÍA

Agroempresario.com. (2020). *FAO: Manejo inadecuado de los suelos es una de las causas principales de su degradación* | Agroempresario.com.

<https://agroempresario.com/publicacion/29364/fao-manejo-inadecuado-de-los-suelos-es-una-de-las-causas-principales-de-su-degradacion/?cat=134>

Aguilar, A., & Valenzuela, E. (2002). *Determinación de la materia orgánica en suelos mediante el método de calcinación*.

https://www.researchgate.net/publication/233822343_Biting_in_the_triumph_display_of_the_Canada_Goose

Alarcón, G., & Quiroga, R. (2018). *Caracterización de los suelos y su impacto en la producción ganadera en el Beni, Bolivia*. *Revista Boliviana de Agroecología*, 3(2), 45-58.

Almaráz, J. V. (1998). *Manual para la interpretación de análisis de suelos*. SANTA CRUZ, BOLIVIA.

Altamirano Guerra, E. C. (2019). *Parámetros Físicos Y Químicos Para La Determinación De La Calidad De Los Suelos En La Microcuenca Jun-Jun* [Documento Final, Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ciencias Agropecuarias].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20641.pdf>

Arraqui, J. (2015, 18 septiembre). *Valor nutritivo y aprovechamiento de pasturas tropicales*. *European Journal Of Management*. Recuperado 28 de diciembre de 2024, de

<https://doi.org/10.18374/ejm-14-1.10>

Calvo, A. (2022, 26 mayo). *Análisis de suelos agrícolas: guía práctica*. Agroptima.

<https://blog.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/>

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Canchila, E.R, Ojeda, F., Machado, R, & Soca, Mildrey. (2008). *Evaluación agronómica de accesiones de Brachiaria spp. en condiciones agroecológicas de Barrancabermeja, Santander, Colombia*. I. Primer año de evaluación. Estación Experimental de Pastos y Forrajes «Indio Hatuey», 31(2). <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119699003.pdf>

Chará J., Reyes E., Peri P., Otte J., Arce E., Schneider F. 2020. *Sistemas silvopastoriles y su contribución al uso eficiente de los recursos y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Evidencia desde América Latina*. CIPAV, FAO & Agri Benchmark, Editorial CIPAV, Cali, 60 pp. http://www.agribenchmark.org/fileadmin/Dateiablage/B-Beef-and-Sheep/Misc/Other-Articles-Papers/FAO_CA2792ES-web.pdf

Cherlinka, V. (2024, 12 abril). *Fertilidad del suelo: cómo medirla y mejorarla*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/>

Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2017). "Grassland management impacts on soil carbon stocks. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eap.1473>

De Brito, J. G., Arrieche Luna, I. E., Rodríguez, M. L., & López de Rojas, I. (2015). *Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad: Manual de Métodos y Procedimientos de referencia*. INIA. <http://www.sian.inia.gob.ve/pdfpnp/Manual%20 analisis%20de%20suelos.pdf>

De Cary R, S., & Hervé, D. (2006). *Efecto de leguminosas nativas en terrenos en descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa (Altiplano central boliviano)*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282006001200011

FAO. (2017). *Soil organic carbon and land use in the Plurinational State of Bolivia*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i7379e/i7379e.pdf>

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

FAO. (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<https://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>

FAO. (2020). *Soil Organic Carbon: the hidden potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca8597en/ca8597en.pdf>

FAO. (2021). *Global assessment of soil pollution*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb4894en/cb4894en.pdf>

Fertilizar Asociación Civil [Fertilizar Asociación Civil] (Director). (2020). *MANUAL DE BUENAS PRACTICAS DE MANEJO DE FERTILIZACIÓN* (A. Grasso [Andrés Grasso] & M. Díaz Zorita [Martín Díaz Zorita], Eds.; 2.a ed.) [Digital]. Andres Grasso y Martin Díaz-Zorita. https://www.fertilizar.org.ar/subida/BMPN/BPMN_Fertilizar102018.pdf

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (s. f.). *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942012000200001&script=sci_arttext

Goulding, K. W. (2016). *Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom*. *Soil Use and Management*, 32(3), 390-399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>

Gruhn, P., Goletti, F., & Yudelman, M. (2020). *MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES, FERTILIDAD DEL SUELO y AGRICULTURA SOSTENIBLE: problemas actuales y futuros retos*. <https://ebrary.ifpri.org/digital/api/collection/p15738coll2/id/47828/download>

Havlin, JL, Beaton, JD, Tisdale, SL y Nelson, WL (2014) *Fertilidad del suelo y fertilizantes: una introducción a la gestión de nutrientes*. Sexta edición, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2613443>

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Hernández-Melchor, G. I., Hernández-Hernández, M., Sol-Sánchez, A., Rosales-Martínez, F., Hernández-Salinas, G., & Toruño, P. J. (2023). *Importancia forrajera y nutricional de Leucaena leucocephala en sistemas silvopastoriles.*

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943882012/html/>

Hillel, D. (2018). *Soil and water: Physical principles and processes.* Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/C2013-0-02183-6>

Jiménez, O., Granados, L., Oliva, J., Quiroz, J., & Barrón, M. (2010b, diciembre).

Calidad nutritiva de Brachiaria humidicola con fertilización orgánica e inorgánica en suelos ácidos. Recuperado 28 de diciembre de 2024, de

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922010000400009

Laiton Medina, J. F. (2019). *EVALUACIÓN DE TRES ESPECIES DE Brachiaria spp, BAJO METODOS DE PASTOREO ROTACIONAL, EN SABANAS DEL PIEDEMONTE DEL MUNICIPIO DE TAME – ARAUCA [TESIS, UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS].*

<https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/6ad7614b-cc56-49c9-89f3-67bcf6d79a3d/content>

Lal, R. (2015). *Restoring soil quality to mitigate soil degradation.* Sustainability, 7(5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

Leguizamón, L., Pérez, C., y Roa Vega, M. L. (2010). *Utilización de Leucaena leucocephala en el levante de ovinos africanos en el Piedemonte Llanero, Colombia.* Revista Sistemas de Producción Agroecológicos, 1(1), 14-31. <https://doi.org/10.22579/22484817.559>

Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). *The contentious nature of soil organic matter.* Nature, 528(7580), 60-68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>

Leu, R. C. A. A. (2021, 7 abril). *Pastoreo regenerativo: aumento de la producción, resiliencia de la biodiversidad, ingresos y una solución al cambio climático.* Regeneration

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

International. <https://regenerationinternational.org/2021/04/07/pastoreo-regenerativo-aumento-de-la-produccion-resiliencia-de-la-biodiversidad-ingresos-y-una-solucion-al-cambio-climatico/>

López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., & De la Caridad Milera-Rodríguez, M. (2017). *Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical*. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269158172001/html/>

Medina, M. G., García, D. E., Moratinos, P., & Cova, L. J. (2009). *La morera (Morus spp.) como recurso forrajero: Avances y consideraciones de investigación*. SCielo. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692009000400001

Milagros, A. M. D. (2023, 27 noviembre). *Influencia del uso del suelo en la disponibilidad de macronutrientes de los suelos del caserío la Palma, Chota 2020*. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/456?show=full>

Motta-Delgado, P. A., Martínez, H. E. O., Rojas-Vargas, E. P., & Yzquierdo, G. A. R. (2019). *Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión*. AGROSAVIA. <https://www.redalyc.org/journal/4499/449960477013/html/>

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C. A., & Naranjo, J. F. (2011). *Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 119-121. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>

Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C. H., Molina, E. J., & Galindo, W. F. (2020). *Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con Leucaena*. [Editorial CIPAV]. <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/establecimiento-manejo-sistemas-silvopastoriles-intensivos-con-leucaena.pdf>

Nenning, F., Pueyo, D., & Cavallero, M. I. (2022). *Forrajeras megatérmicas para ambientes de Chaco y Formosa*. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az5989.pdf>

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Ordnance Survey. (2016). *A Guide to Coordinate Systems in Great Britain*.

Ordnance Survey. <https://www.ordnancesurvey.co.uk/documents/resources/guide-coordinate-systems-great-britain.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].

(2018). *Guía DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN y USO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS EN ÁREAS RURALES* (1.a ed.) [Google academico].

https://r.search.yahoo.com/_ylt=Awril3vRbfdmXRMCCv2rcgx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzlEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1727520337/RO=10/RU=https%3a%2f%2fopenknowledge.fao.org%2fserver%2fapi%2fcore%2fbitstreams%2f158f38e2-86ef-47a9-aa3e-21be6fe6bd28%2fcontent/RK=2/RS=bckYaqNjTxa1Ap27qruWAD_ZQlc-

Pomelo. (2023, 13 octubre). *A Guide To Soil Electrical Conductivity (EC)*:

Description, Importance & Soil EC Maps | Atlas Scientific. Atlas Scientific. <https://atlas-scientific.com/blog/soil-electrical-conductivity/>

Reeves, D. W. (2017). Cover crops and soil quality. In J. L. *Hatfield* & K. A. Stewart (Eds.), *Soil quality and soil health* (pp. 131-154). CRC Press.

Reinhold, J., Asio, V. B., & Spaargaren, O. (2006). *FAO Guidelines for Soil*

Description. ResearchGate.

<https://www.researchgate.net/publication/40106751> *FAO Guidelines for Soil Description*

Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Bergmann, J., Verbruggen, E., Veresoglou, S.

D., & Lehmann, A. (2017). *Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation*. *New Phytologist*, 216(4), 1086-1098. <https://doi.org/10.1111/nph.14759>

Roma. (2009). *Guía para la descripción de suelos FAO 2009.pdf* (R. Vargas Rojas &

FAO, Trads.). Google Docs.

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

<https://drive.google.com/file/d/0B6UCI2SwptvPNmM2Nzq0NjgtZmEwZS00ZmQwLTkyNWItYzE0OGY2YWFKNGM4/view?pli=1&resourcekey=0-UTbPTZgT7VZVhEzaJn7Ddg>

Sadeghian, S. (2020). *Interpretación de los resultados de análisis de suelos*.

Memorias Seminario Científico Cenicafé, 71(1), e71142. <https://doi.org/10.38141/10795/71142>

Sadeghian, S., Alarcón, V., Díaz, V., Lince, L., & Rey, J. (2019). “*APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA*”. *Fertilidad del Suelo y Manejo de la Nutrición*, 4.

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4224/1/Cap4.pdf>

Sanchez, P. A. (2019). *Properties and Management of Soils in the Tropics*.

<https://doi.org/10.1017/9781316809785>

Seguridad alimentaria. (s. f.). *AnimalHealth*. [https://www.fao.org/animal-](https://www.fao.org/animal-health/areas-of-work/food-safety/es)

[health/areas-of-work/food-safety/es](https://www.fao.org/animal-health/areas-of-work/food-safety/es)

Sela, G. (2024, 8 septiembre). *Materia orgánica del suelo: agricultura sostenible | Cropaia*. Cropaia. <https://cropaia.com/es/blog/la-materia-organica-del-suelo/>

Sierra B., Carlos (1992). *Fertilidad del suelo y praderas permanentes [en línea]*.

Osorno, Chile: Serie Remehue. no. 31 (p. 57-86). Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.14001/34654>

Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2018). *Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils*. *Plant and Soil*, 241(2), 155-176.

<https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>

Souza, E. S., Belei, R. A., De Maio Carrilho, C. M. D., Matsuo, T., Yamada-Ogatta, S. F., Andrade, G., Perugini, M. R. E., Pieri, F. M., Dessunti, E. M., & Kerbauy, G. (2015).

Mortality and risks related to healthcare-associated infection. Texto & Contexto - Enfermagem, 24(1), 220-228. <https://doi.org/10.1590/0104-07072015002940013>

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Sparks, Donald L. Environmental Soil Chemistry, Elsevier Science & Technology, 2003. *ProQuest Ebook Central*,

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/ucundinamarca/detail.action?docID=4952555>

Thompson, A. (2024, 13 diciembre). 13 *Nutrients in the Soil That Empower Plant Growth* | Southern Scientific Ireland. Southern Scientific Ireland.

<https://southernscientificireland.com/2023/09/25/nutrients-in-the-soil/>

Vásquez Vargas, E. (2014). "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL PASTO BRIZANTA (*Brachiaria brizantha*) EN CINCO FUNDOS GANADEROS DEL EJE CARRETERO YURIMAGUAS – PAMPA [Monografía, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA].

https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/3849/Eliana_Tesis_Titulo_2014.pdf?sequence=1&utm_source

Virgen G, & Molina E. (2013). *Los Biofertilizantes en la Agricultura*. Intagri.

<https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura?p=registro>

Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. 15th edition. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Wolski, K., Czarniecki, J., Brennenstul, M., & Ptak, W. (2020). *Color assessment of selected lawn grass mixtures*. *Grassland Science*, 67(3), 198-206.

<https://doi.org/10.1111/grs.12305>

Zambrano-Yepes, J., Herrera-Valencia, W., & Motta-Delgado, P. A. (2020). *Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de*



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO OPCIÓN PASANTÍA

71

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES EN ÁREAS DE PASTOREO
DEL CIMGB

Caquetá, *Amazonia colombiana*. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 21(3), 1-12.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1673

Anexo 2

Registro de Datos por cada análisis del Laboratorio

Las tablas anexadas a continuación presentan los datos obtenidos en cada análisis de laboratorio, los cuales fueron fundamentales para calcular y consolidar los resultados finales.

pH y C.E						
FECHA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	PESO MUESTRA (gr)	PESO AGUA (ml)	RESULTADO pH	RESULTADO C.E (microS/cm)
2/09/2024	BROMS 012/24	Bajura (P-B1)	25	125	4,94	116,3
2/09/2024	BROMS 013/24	Bajura (P-B2)	25	125	5,18	112,9
2/09/2024	BROMS 014/24	Bajura (P-8)	25	125	4,72	114,8
2/09/2024	BROMS 015/24	Bajura (P-9)	25	125	4,92	144,58
16/09/2024	BROMS 016/24	Semi-altura #1	25	125	5,05	183,3
16/09/2024	BROMS 017/24	Semi-altura #2	25	125	5,36	73,632
16/09/2024	BROMS 018/24	Semi-altura #3	25	125	5,43	105,17
16/09/2024	BROMS 019/24	Semi-altura #4	25	125	5,49	75,89
16/09/2024	BROMS 020/24	Altura #1	25	125	5,51	93,66
16/09/2024	BROMS 021/24	Altura #2	25	125	5,52	116,82
16/09/2024	BROMS 022/24	Altura #3	25	125	5,48	104,39
16/09/2024	BROMS 023/24	Altura #4	25	125	5,54	123,58

M.O método de calcinación							
FECHA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	PESO CRISOL (g)	#CRISOL	PESO MUESTRA (g)	PESO SALIDO DE LA MUFLA (g)	RESULTADO (%)
3/09/2024	BROMS 012/24	Bajura (P-B1)	40,8028	26	15,0003	54,8553	6,32
3/09/2024	BROMS 013/24	Bajura (P-B2)	41,601	20	15,0004	55,7037	5,98
3/09/2024	BROMS 014/24	Bajura (P-8)	41,5738	32	15,0004	55,2319	8,95
3/09/2024	BROMS 015/24	Bajura (P-9)	46,1184	24	15,0003	60,2475	5,81
19/09/2024	BROMS 016/24	Semi-altura #1	38,2849	23	10,0001	47,8073	4,78
19/09/2024	BROMS 017/24	Semi-altura #2	46,1164	24	10,0002	55,7712	3,45
19/09/2024	BROMS 018/24	Semi-altura #3	44,2386	33	10,0003	53,779	4,60
19/09/2024	BROMS 019/24	Semi-altura #4	38,7028	31	10,0001	48,2957	4,07
19/09/2024	BROMS 020/24	Altura #1	41,7172	36	10,0001	51,3614	3,56
19/09/2024	BROMS 021/24	Altura #2	42,8937	27	10,0001	52,5491	3,45
19/09/2024	BROMS 022/24	Altura #3	41,5723	32	10,0003	51,1542	4,18
19/09/2024	BROMS 023/24	Altura #4	40,7934	26	10,0000	50,3747	4,19

Nitrógeno, método de Khjadal						
FECHA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	PESO MUESTRA (gr)	HCl BLANCO (ml)	HCl MUESTRA (ml)	RESULTADO (%)
17/09/2024	BROMS 012/24	Bajura (P-B1)	1,0013	0,4	1,6	0,17
17/09/2024	BROMS 013/24	Bajura (P-B2)	1,0012	0,4	1,55	0,16
19/09/2024	BROMS 014/24	Bajura (P-8)	1,0002	0,3	2,8	0,35
11/09/2024	BROMS 015/24	Bajura (P-9)	1,0008	0,2	3,0	0,39
11/09/2024	BROMS 016/24	Semi-altura #1	1,0017	0,2	1,1	0,13
17/09/2024	BROMS 017/24	Semi-altura #2	1,0038	0,4	1,1	0,10
17/09/2024	BROMS 018/24	Semi-altura #3	1,0013	0,4	1,1	0,10
17/09/2024	BROMS 019/24	Semi-altura #4	1,0094	0,4	1,05	0,09
19/09/2024	BROMS 020/24	Altura #1	1,000	0,3	1,1	0,11
19/09/2024	BROMS 021/24	Altura #2	1,000	0,3	1,0	0,10
19/09/2024	BROMS 022/24	Altura #3	1,000	0,3	1,2	0,13
19/09/2024	BROMS 023/24	Altura #4	1,000	0,3	1,1	0,11

Lecturas del Espectrofotómetro								
FECHA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA MUESTRA	P(mg/kg)			K (mg/kg)		
			L.1	L.2	X	L.1	L.2	X
3/09/2024	BROMS 012/24	Bajura (P-B1)	9,81	10,10	9,95	69,40	69,38	69,39
3/09/2024	BROMS 013/24	Bajura (P-B2)	10,46	10,56	10,51	63,85	64,07	63,96
3/09/2024	BROMS 014/24	Bajura (P-8)	8,84	9,09	8,97	88,97	89,15	89,06
3/09/2024	BROMS 015/24	Bajura (P-9)	11,08	11,19	11,13	58,82	58,68	58,75
19/09/2024	BROMS 016/24	Semi-altura #1	2,74	3,48	3,11	83,30	83,78	83,54
19/09/2024	BROMS 017/24	Semi-altura #2	8,56	8,92	8,74	60,05	60,05	60,05
19/09/2024	BROMS 018/24	Semi-altura #3	8,52	9,08	8,80	82,08	82,27	82,18
19/09/2024	BROMS 019/24	Semi-altura #4	9,40	9,87	9,63	46,22	46,27	46,24
19/09/2024	BROMS 020/24	Altura #1	3,28	4,05	3,66	51,75	47,23	49,49
19/09/2024	BROMS 021/24	Altura #2	3,16	2,99	3,08	40,80	39,00	39,90
19/09/2024	BROMS 022/24	Altura #3	5,17	6,16	5,67	46,02	45,65	45,83
19/09/2024	BROMS 023/24	Altura #4	6,41	7,50	6,95	37,92	38,30	38,11