

Efecto de los Fertilizantes en la Calidad, la Productividad y la Recuperación de Praderas de
Trópico Alto en Concepción, Santander

Duvan Albeiro Beltrán Rojas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Zootecnista

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

Doctorado en Ciencias Agrarias

Codirector

David Julián Valencia Ramírez

Ing. Agropecuario

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

IPRED

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza, la constancia y la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por el esfuerzo que han realizado a lo largo de los años y por ser el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. A mi madre, por su amor y dedicación constante, y a mi padre, por su ejemplo y respaldo en cada decisión tomada.

A mi hermano, por su compañía y apoyo durante este proceso.

De manera muy especial, a mi novia, quien me acompañó a lo largo de toda la carrera, brindándome su apoyo, motivación y ayuda en los momentos más exigentes, siendo parte fundamental en el desarrollo de este logro.

Finalmente, a mis amigos más cercanos, quienes de una u otra forma hicieron parte de este proceso y contribuyeron a que este camino fuera más llevadero.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para culminar este proceso académico.

Expreso un especial agradecimiento a Cristian Camilo Otero, Zootecnista de la Universidad Industrial de Santander, por facilitar la finca para el desarrollo de este proyecto y por su valiosa asistencia técnica durante todo el proceso.

Asimismo, agradezco a la Universidad Industrial de Santander por la financiación de la investigación mediante el proyecto titulado: “*Producción de forrajes, nanofertilizantes y sistemas agrofotovoltaicos en la elaboración de alimentos balanceados para bovinos de leche en la provincia de García Rovira*”, cuyo apoyo fue fundamental para el desarrollo de las actividades investigativas.

Al codirector de este trabajo, por su acompañamiento, financiación y apoyo desde la empresa Nitrosoil, contribuyendo al desarrollo técnico de la investigación.

Al profesor y director Julián Mauricio Botero Londoño, por su orientación, acompañamiento constante, apoyo económico y asesoría técnica personalizada, fundamentales para la ejecución y culminación de este trabajo.

Asimismo, al Laboratorio de Reconversión Ganadera y Agroforestal, por su aporte en la realización de los análisis de suelos y el apoyo brindado durante esta etapa.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Marco Teórico.....	17
2.1 Sistemas de Explotación Ganadera.....	17
2.1.1 Explotación Extensiva	17
2.1.2 Producción de Gases de Efecto Invernadero por la Ganadería.....	17
2.1.3 Transición Tecnológica.....	17
2.1.4 Sistemas Semi-intensivos e intensivo	17
2.2 Suelos y Pasturas.....	18
2.2.1 Características del Suelo	18
2.2.2 Revitalización y Fertilidad de los Suelos Degradados.....	18
2.2.3 Relación suelo-planta-animal.....	18
2.2.4 Manejo Adaptado al Trópico	18
2.3 Especies Forrajeras de Trópico Alto.....	18
2.3.1 Pasto Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinum</i>).....	18
2.3.2 Falsa Poa (<i>Holcus lanatus</i>).....	18
2.3.3 Raigrás (<i>Lolium</i> sp.)	19
2.3.4 King Grass (<i>Pennisetum purpureum</i>).....	19
2.4 Manejo de Praderas.....	19

2.4.1 Pastoreo Regenerativo	19
2.4.2 Intensificación Sostenible	19
2.4.3 Rotación de Potreros	20
2.4.4 Rehabilitación de Praderas Degradadas.....	20
2.5 Usos de Sistemas Semi-intensivos.....	20
2.5.1 Aplicación en Colombia	20
2.5.2 Adaptaciones y Limitaciones.....	20
2.5.3 Mejoramiento en Sistemas Semi-confinados.....	20
3.1 Área de estudio	21
3.2 Análisis de Suelos	22
3.3 Método de Análisis	22
3.3.1 pH con H ₂ O y pH-metro	22
3.4 Análisis de biomasa y diversificación de especies	23
3.5 Tratamientos y datos	23
3.6 Diseño metodológico y recolección de datos.....	27
3.7 Análisis estadístico.....	27
4. Resultados y discusión.....	28
4.1 Caracterización fisicoquímica inicial del suelo	28
4.2 Biomasa y capacidad de carga	29
4.3 Evaluación del pH del Suelo.....	33
4.4 Composición botánica de las praderas	34
4.4.1 Calculo para Diversidad de Shanon.....	36
5. Conclusiones	42

6. Recomendaciones	42
Referencias Bibliográficas	44
Apéndices.....	49

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 . <i>Características Fisicoquímicas del Suelo</i>	28
Tabla 2. <i>Producción de Biomasa</i>	30
Tabla 3. <i>Producción de Biomasa/ha</i>	31
Tabla 4. <i>Materia Seca y UGG/ha</i>	32
Tabla 5. <i>pH del Suelo</i>	33
Tabla 6. <i>Composición Botánica</i>	35
Tabla 7. <i>Índice de Diversidad de Shanon (H')</i>	37
Tabla 8. <i>Proporciones Microorganismos</i>	50
Tabla 9. <i>Aumento de microorganismos</i>	50

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ubicación Reserva Natural</i>	21
Figura 2. <i>Fertilizante Nitrosoil</i>	24
Figura 3. <i>Contenido de 30-8-3-2</i>	25
Figura 4. <i>Microorganismos Aplicados</i>	25
Figura 5. <i>Aforo pre tratamiento</i>	26
Figura 6. <i>Aforo post tratamiento</i>	26
Figura 7. <i>Forraje Pre Tratamiento 1</i>	39
Figura 8. <i>Forraje Pre Tratamiento 2</i>	40
Figura 9. <i>Pastoreo post tratamiento</i>	40
Figura 10. <i>Potrero post tratamiento</i>	41

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A.	49

Glosario

Acidez del suelo: condición química del suelo caracterizada por la concentración de iones hidrógeno (H^+), la cual influye en la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento vegetal (Brady & Weil, 2017).

Biomasa: cantidad total de materia orgánica producida por los organismos vivos en un área determinada, generalmente expresada en peso por unidad de superficie (Odum & Barrett, 2005).

Capacidad de carga: número máximo de animales que un sistema puede tener de manera sostenible sin deteriorar los recursos forrajeros (Holechek et al., 2011).

Cationes intercambiables: elementos con carga positiva (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) que se encuentran adsorbidos en el complejo de intercambio del suelo y pueden ser utilizados por las plantas (Havlin et al., 2014).

Biodiversidad: variedad de especies presentes en un ecosistema y la distribución relativa de sus abundancias (Magurran, 2004).

Fertilidad del suelo: capacidad del suelo para suministrar nutrientes esenciales a las plantas en cantidades adecuadas para su crecimiento (Havlin et al., 2014).

Fermentación anaerobia: proceso metabólico realizado por microorganismos en ausencia de oxígeno, mediante el cual se descomponen compuestos orgánicos para obtener energía (Madigan et al., 2018).

Materia orgánica: fracción del suelo compuesta por residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, que contribuye a la fertilidad y estructura del suelo (Brady & Weil, 2017).

Materia seca (MS): fracción del alimento o forraje que permanece después de eliminar el contenido de agua, representando la parte nutritiva real consumida por los animales (Van Soest, 1994).

Microorganismos del suelo: conjunto de bacterias, hongos y otros organismos microscópicos que participan en procesos de descomposición, ciclado de nutrientes y formación del suelo (Sylvia et al., 2005).

pH del suelo: medida de la acidez o alcalinidad del suelo, determinada por la concentración de iones hidrógeno en la solución del suelo (Havlin et al., 2014).

Pradera: ecosistema dominado por especies herbáceas, principalmente gramíneas y leguminosas, utilizado para la alimentación de animales (White et al., 2000).

Rotación de potreros: sistema de manejo en el cual los animales se trasladan entre diferentes áreas de pastoreo para permitir la recuperación del forraje (Holechek et al., 2011).

Saturación de bases: proporción de cationes básicos (Ca, Mg, K y Na) en relación con la capacidad de intercambio catiónico total del suelo (Brady & Weil, 2017).

Unidades Gran Ganado (UGG): unidad estandarizada utilizada para expresar la carga animal, equivalente generalmente a un bovino de aproximadamente 450 kg de peso vivo (FAO, 2011).

Resumen

Título: Efecto de los Fertilizantes en la Calidad, la Productividad y la Recuperación de Praderas de Trópico Alto en Concepción, Santander. *

Autor: Duvan Albeiro Beltran Rojas**

Palabras Clave: biomasa, fertilización, pH, capacidad de carga, praderas, microorganismos, trópico alto.

Descripción:

La producción de praderas en sistemas ganaderos en zonas de trópico alto a menudo se ve afectada por factores del suelo como la acidez y la escasez de nutrientes, lo que repercute en la generación de forraje y en la carga animal. En este escenario, el estudio actual analizó el impacto de aplicar fertilizantes, enclado y microorganismos en la calidad, productividad y recuperación de praderas en cinco terrenos en Concepción, Santander. Primero, se llevó a cabo un diagnóstico fisicoquímico del terreno para detectar limitaciones en relación con el pH, la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. Luego, se llevaron a cabo estrategias de manejo que incluyeron la corrección de la acidez, fertilización con nitrógeno y otros compuestos, además de un sistema de rotación de potreros. La respuesta del sistema se midió mediante evaluaciones de biomasa, cálculo de materia seca, estimación de la capacidad de carga en unidades de ganado (UGG/ha), análisis de pH y caracterización de la composición de las plantas. Los hallazgos mostraron un aumento general en la producción de biomasa y en la capacidad de carga, relacionado con la mejora en las condiciones químicas del suelo, específicamente en el aumento del pH, lo cual favoreció la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del forraje. También se notó una mayor presencia de especies forrajeras con alto rendimiento como el kikuyo y la inclusión de leguminosas, lo que enriquece la calidad nutricional del sistema; sin embargo, en ciertos lotes se observó una reducción en la diversidad de plantas, lo que sugiere una tendencia hacia la homogeneización de la pradera bajo condiciones de mayor fertilidad. Estos hallazgos demuestran que la adopción de prácticas integrales en el manejo del suelo contribuye de manera significativa a la recuperación productiva de praderas en sistemas ganaderos de trópico alto.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Julián Mauricio Botero Londoño. Doctorado en Ciencias Agrarias. Codirector: David Julián Valencia Ramírez. Ing. Agropecuario.

Abstract

Title: Effect of Fertilizers on the Quality, Productivity, and Recovery of High Tropical Grasslands in Concepción, Santander. *

Author(s): Duvan Albeiro Beltrán Rojas. **

Key Words: biomass, fertilization, pH, carrying capacity, grasslands, microorganisms, high tropics.

Description:

Grassland production in livestock systems located in high tropical regions is often affected by soil-related factors such as acidity and low nutrient availability, which directly impact forage production and animal carrying capacity. In this context, the present study evaluated the effect of fertilizer application, liming, and microorganisms on the quality, productivity, and recovery of grasslands in five plots located in Concepción, Santander. Initially, a physicochemical soil diagnosis was carried out to identify limitations related to pH, organic matter, and nutrient availability. Subsequently, management strategies were implemented, including soil acidity correction, nitrogen and compound fertilization, and a rotational grazing system. System response was assessed through biomass measurements, dry matter estimation, carrying capacity calculation expressed in livestock units (LU/ha), pH analysis, and botanical composition characterization. The results showed a general increase in biomass production and carrying capacity, associated with improvements in soil chemical conditions, particularly the increase in pH, which enhanced nutrient availability and forage growth. Additionally, a greater dominance of high-yield forage species such as kikuyu grass and the incorporation of legumes was observed, improving the nutritional quality of the system; however, a reduction in plant diversity was identified in some plots, suggesting a trend toward grassland homogenization under higher fertility conditions. These findings demonstrate that the implementation of integrated soil management practices significantly contributes to the productive recovery of grasslands in high tropical livestock systems.

* Bachelor Thesis

**Institute of Regional Projection and Distance Education (IPRED), Program of Animal Science. Advisor: Julián Mauricio Botero Londoño, PhD in Agricultural Sciences. Co-advisor: Nilson Ovidio Vargas Romero, Agricultural Engineer.

Introducción

En la región del trópico alto andino, la cría de ganado es el pilar principal de la economía rural. En estos ambientes, el pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) se establece como la fuente forrajera más importante, gracias a su rápido crecimiento y su capacidad de cobertura (Escobar et al., 2020). No obstante, la viabilidad de estos sistemas se ve amenazada por un problema serio: la degradación progresiva de las praderas. Este fenómeno, que surge de una gestión inadecuada, la explotación excesiva de los recursos y la compactación del suelo, resulta en una disminución drástica de la biomasa y de la biodiversidad (Chávez-Espinoza et al., 2021). En áreas de ladera, como las que se encuentran en el municipio de Concepción, Santander, la topografía intensifica la variabilidad de las características físico-químicas del suelo; en pendientes que superan los 45°, la pérdida y el desplazamiento de nutrientes reducen la disponibilidad de fósforo y nitrógeno, limitando la producción biológica del sistema (Múnera et al., 2024).

La mejora de la producción ganadera en la actualidad requiere un cambio de los métodos extensivos convencionales hacia sistemas que sean más eficientes técnicamente. Mientras que la ganadería extensiva se distingue por tener una calidad de forraje variable y un consumo energético por parte del ganado, las producciones semi-estabuladas brindan una mejor gestión del consumo y la regeneración de la vegetación (Cedeño y Dávila, 2019). Sin embargo, la recuperación de terrenos deteriorados necesita intervenciones químicas y biológicas específicas. El restablecimiento de la capacidad de carga no depende solamente del descanso de los pastizales, sino que requiere un plan de nutrición vegetal que logre restaurar el equilibrio mineral del suelo (Enríquez et al., 2021).

A pesar de la importancia de la fertilización, la aplicación no balanceada de fuentes de nitrógeno tradicionales, como la urea, tiende a causar desbalances en el suelo o pérdidas por volatilización, dejando un vacío informativo respecto al rendimiento de fuentes de liberación lenta en las condiciones particulares del alto trópico santandereano. El deterioro del Kikuyo está estrechamente relacionado con factores de calidad del suelo (SQI) que, muchas veces, se pasan por alto en los planes de manejo convencionales (Noreña-Grisales et al., 2024). En este contexto, es crucial evaluar el impacto real de diferentes estilos de fertilización sobre la biomasa, la composición bromatológica y la rapidez de rebrote en las praderas de la reserva "La Llanada", con el objetivo de crear una base técnica para los pequeños y medianos productores de la zona.

La base de este estudio se encuentra en la necesidad de ofrecer herramientas científicas que ayuden a mejorar el uso del suelo, generando un impacto positivo tanto en la producción como en el ámbito social y ambiental. Al incrementar la eficacia en la generación de biomasa y el bienestar del ecosistema, se potencia la rentabilidad en la ganadería y se reduce la presión ejercida por el hombre sobre los paisajes (Sotomayor et al., 2018). Desde un enfoque teórico, la estabilidad del sistema depende de una gestión regenerativa que se enfoque en recuperar las reservas de materia orgánica y mantener una cantidad adecuada de forraje después de la defoliación (Troncoso, 2024).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del manejo integrado del suelo y fertilizantes, sobre la productividad de praderas de trópico alto

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar el efecto del manejo integrado del suelo sobre la producción de biomasa y la capacidad de carga en praderas de trópico alto

Analizar los cambios en la diversidad de especies presentes en las praderas bajo la implementación del manejo del suelo.

Caracterizar las variaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo asociadas a un mejor manejo de praderas.

2. Marco Teórico

2.1 Sistemas de Explotación Ganadera

2.1.1 Explotación Extensiva

La ganadería extensiva presenta serias limitaciones de eficiencia productiva y sostenibilidad, debido al sobrepastoreo y al impacto ambiental sobre suelos y praderas (Galván Martínez, et al, 2023).

2.1.2 Producción de Gases de Efecto Invernadero por la Ganadería

Los sistemas intensivos son preferibles, sin embargo, se encuentran con serios desafíos ambientales como la liberación de gases de efecto invernadero y la situación de los animales. En contraste, los sistemas sema-extensivos y extensivos también generan gases de efecto invernadero, pero se relacionan con un mejor bienestar animal y una producción más sostenible (Chávez-Espinoza et al., 2022).

2.1.3 Transición Tecnológica

La inclusión de nuevas tecnologías en los sistemas pecuarios busca transformar prácticas tradicionales en estrategias más productivas y sostenibles (Sotomayor et al., 2018).

2.1.4 Sistemas Semi-intensivos e intensivo

El sistema sema-intensivo en bovinos combina el pastoreo controlado con suplementación, mostrando mejores indicadores de eficiencia frente al extensivo, pero con menor impacto ambiental que el intensivo (Cepeda, 2022).

2.2 Suelos y Pasturas

2.2.1 Características del Suelo

El sistema sema-intensivo en bovinos combina el pastoreo controlado con suplementación, mostrando mejores indicadores de eficiencia frente al extensivo, pero con menor impacto ambiental que el intensivo” (Cepeda, 2022).

2.2.2 Revitalización y Fertilidad de los Suelos Degradados

La aplicación de fertilización y enmiendas optimizan la calidad del suelo, aumenta la cobertura vegetal y permite la recuperación de praderas degradadas” (Enríquez et al., 2021).

2.2.3 Relación suelo-planta-animál

El estado nutricional del suelo condiciona el acceso a minerales en las plantas forrajeras, afectando directamente el metabolismo y desempeño del bovino” (González, 2025).

2.2.4 Manejo Adaptado al Trópico

En condiciones tropicales, la conservación del suelo mediante rotación de potreros y fertilización controlada es fundamental para sostener la productividad” (Muñoz, 2023).

2.3 Especies Forrajeras de Trópico Alto

2.3.1 Pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinum)

El kikuyo es una gramínea perenne de origen africano, ampliamente difundida en zonas alto andinas de Colombia, Ecuador y Perú. Se caracteriza por su alta productividad de biomasa, buena cobertura del suelo y elevada proteína bruta (18% en promedio), lo que la hace ideal para la alimentación de rumiantes en climas fríos de altura (Araujo et al., 2022).

2.3.2 Falsa Poa (Holcus lanatus)

El *Holcus lanatus* es una gramínea de clima templado que se adapta a suelos ácidos y de baja fertilidad, lo que le permite establecerse en zonas alto andinas. Aunque presenta menor valor

nutritivo en comparación con especies como el raigrás o el kikuyo, su rusticidad y tolerancia a condiciones adversas le confieren un papel importante en la cobertura de praderas degradadas y en la conservación del suelo (Lee et al., 2019)

2.3.3 Raigrás (*Lolium sp.*)

En el trópico alto, se evaluaron diversos tipos de raigrás en temporadas de lluvias y sequías, dejando ver que en la primera temporada mencionada se favoreció el crecimiento, la extensión y el porcentaje de materia seca del pasto. Uno de los genotipos alcanzó 46,33 cm de altura y cobertura del 99,67 %, con rendimientos de materia seca de hasta 2,22 t/ha por corte (Cadena et al., 2019).

2.3.4 King Grass (*Pennisetum purpureum*)

En condiciones alto andinas se adapta a distintos tipos de suelo y presenta altos rendimientos de biomasa. Sus características lo convierten en un recurso forrajero clave para intensificar la producción ganadera en sistemas sema-intensivos (Prudencio et al., 2020).

2.4 Manejo de Praderas

2.4.1 Pastoreo Regenerativo

El manejo del pastoreo regenerativo (MR) se define como una forma adaptativa de manejo intensivo, cuyo objetivo es que las praderas se recuperen y regeneren para mejorar la productividad y la resiliencia del sistema ganadero (Troncoso, 2024).

2.4.2 Intensificación Sostenible

El término intensificación sostenible refleja el desafío que enfrenta la gestión agrícola para aumentar la producción sin aumentar la presión ambiental (Garnett et al., 2013, Troncoso, 2024).

2.4.3 Rotación de Potreros

La implementación de rotaciones periódicas en potreros mejora la cobertura vegetal y reduce el riesgo de sobrepastoreo (Rodríguez et al., 2025).

2.4.4 Rehabilitación de Praderas Degradadas

La rehabilitación de praderas degradadas en ambientes tropicales incrementa la disponibilidad de biomasa y el valor nutricional de los pastos (Enríquez et al., 2021).

2.5 Usos de Sistemas Semi-intensivos

2.5.1 Aplicación en Colombia

La implementación de un sistema sema-intensivo en la finca Juicio Final en el municipio de El Dovio permitió mejorar la utilización del recurso forrajero mediante la rotación de potreros y el control de carga animal, lo que se tradujo en una mayor eficiencia productiva (Arcia, 2019).

2.5.2 Adaptaciones y Limitaciones

Los ganaderos se enfrentan a dificultades para adoptar estos modelos por la falta de experiencia o limitado acceso a formalización técnica y a la persistencia de prácticas tradicionales transmitidas generacionalmente (Arcia, 2019).

2.5.3 Mejoramiento en Sistemas Semi-confinados

El mejoramiento de sistemas sema-confinados permitió incrementar la productividad del hato y optimizar el uso de recursos forrajeros” (Rodríguez, 2022).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

Se llevó a cabo el estudio en la Reserva Natural de la Sociedad Civil “La Llanada”, ubicada en la vereda Junín del municipio de Concepción-Santander, Colombia, con coordenadas $6^{\circ}43'38.22''\text{N}$ $72^{\circ}40'18.28''\text{W}$. La reserva cuenta con un gradiente altitudinal que va de los 2300 a 3260 m s. n. m., con temperatura promedio de 18°C , condiciones que permiten la presencia de forrajes presentes del trópico altoandino.

Figura 1.

Ubicación Reserva Natural



Nota. Ilustración tomada con google Earth a base de coordenadas.

3.2 Análisis de Suelos

El área de estudio se segmentó en cinco secciones representativas. En cada una, se realizaron muestreos de suelo con el fin de evaluar las condiciones iniciales del terreno y su relación con las prácticas de manejo implementadas en la pradera.

Se llevó a cabo un análisis fisicoquímico del suelo en laboratorio, el cual incluyó la determinación de variables como: azufre disponible (S), boro (B), calcio (Ca), cobre (Cu), fósforo (P), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn), materia orgánica (M.O), potasio (K), sodio (Na), capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, textura y zinc (Zn) (Laboratorio de Reconversión Ganadera y Agroforestal, 2025). El análisis fisicoquímico del suelo se realizó únicamente en la fase inicial del estudio, con el propósito de establecer un diagnóstico de las condiciones de fertilidad del sistema antes de la implementación del manejo.

Adicionalmente, el pH del suelo fue evaluado como indicador principal de acidez, debido a su influencia directa sobre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las especies forrajeras. Las mediciones se realizaron antes y después de la implementación del manejo, permitiendo relacionar los cambios químicos del suelo con la producción de biomasa y la composición botánica de las praderas.

3.3 Método de Análisis

3.3.1 pH con H₂O y pH-metro

El análisis de la reacción del suelo y su concentración salina se realizó de manera integrada mediante el uso de una suspensión suelo-agua en una relación 1:2,5. Para ello, se mezcló 20 g de suelo con 50 ml de agua destilada, dejando la solución en reposo hasta alcanzar el equilibrio térmico y químico. El pH se determinó midiendo la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) a

través de un electrodo de vidrio conectado a un pH-metro digital previamente calibrado con soluciones amortiguadoras (buffer) de pH 4.0 y 7.0; esta lectura en medio acuoso permitió interpretar la acidez o alcalinidad real del suelo en condiciones no tamponadas.

3.4 Análisis de biomasa y diversificación de especies

La producción de biomasa se midió mediante la técnica de aforo por el método del cuadrante. En cada lote (unidad experimental), se realizaron tres muestreos aleatorios utilizando un marco de 1 m². El forraje contenido en el cuadro fue cortado a una altura de remanente de 5 cm para simular el pastoreo real. Cada muestra fue pesada en campo con una balanza de precisión para obtener el peso en base fresca y, posteriormente, una submuestra fue deshidratada en estufa a 105 °C durante 24 horas para determinar el porcentaje de materia seca por diferencia gravimétrica. Con estos valores, se calculó el rendimiento total de biomasa y se estimó la capacidad de carga expresada en Unidades Gran Ganado por hectárea (UGG/ha).

Para el análisis de diversidad botánica, la biomasa recolectada en cada aforo fue separada manualmente por especies. Se determinó el peso individual de cada componente para calcular su participación porcentual dentro de la composición de la pradera, permitiendo observar la dominancia de cada especie presente.

3.5 Tratamientos y datos

La investigación se llevó a cabo en un sistema que incluye 30 potreros, cada uno con un tamaño aproximado de 735 m² y con un tiempo de ocupación de un día. En los cinco lotes seleccionados (6 potreros por cada lote), se implementaron cambios destinados a mejorar la fertilidad del suelo y la producción de las praderas. En primer lugar, se corrigió la acidez del suelo aplicando cal, con el fin de lograr un pH cercano a 5,7. Después de eso, se incorporaron microorganismos al suelo junto a una fertilización nitrogenada de 100 kg de urea por hectárea.

Además, en el transcurso del sistema de rotación, se aplicó fertilizante compuesto (30-8-3-2, Nitrosoil) una vez que los animales salieron, en una cantidad de 26 kg por potrero, con el objetivo de asegurar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y apoyar la recuperación de las praderas.

La recopilación de datos se realizó antes y después de llevar a cabo estas prácticas, analizando factores como la producción de biomasa, biodiversidad de especies presentes y el pH del suelo, para poder evaluar la respuesta del sistema productivo ante el manejo aplicado.

Figura 2.

Fertilizante Nitrosoil



Figura 3.

Contenido de 30-8-3-2



Figura 4.

Microorganismos Aplicados



Figura 5.

Aforo pre tratamiento



Figura 6.

Aforo post tratamiento



3.6 Diseño metodológico y recolección de datos

El estudio se llevó a cabo con un enfoque aplicado y un diseño no experimental de tipo longitudinal, donde se analizaron las condiciones del sistema antes y después de la adopción de métodos para mejorar el suelo y la pradera.

La recolección de información se llevó a cabo en dos momentos: uno inicial (antes de la implementación del manejo) y otro final, correspondiente a la tercera rotación del sistema de pastoreo, para permitir la estabilización de los resultados de la fertilización y las prácticas realizadas. Las variables que se analizaron incluyeron el pH del suelo, la producción de biomasa y la diversidad de especies encontradas en las praderas. Se realizaron mediciones representativas para cada unidad de observación, con el objetivo de obtener datos precisos que reflejaran la respuesta del sistema suelo-planta ante el manejo realizado.

3.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron organizados y tabulados en hojas de cálculo (Excel) para su posterior análisis. Se realizó un análisis descriptivo de las variables evaluadas, incluyendo medidas de tendencia central y dispersión, con el fin de comparar las condiciones iniciales y finales del sistema. Posteriormente, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad en los datos. Con base en ello, se aplicó una prueba *t de Student* para muestras relacionadas, con el propósito de comparar los valores antes y después de la implementación del manejo. Este análisis permitió evaluar los cambios en variables como el pH del suelo y la producción de biomasa, asegurando coherencia con el enfoque del estudio.

4. Resultados y discusión

4.1 Caracterización fisicoquímica inicial del suelo

Con el fin de establecer un diagnóstico del estado inicial del sistema productivo, se analizaron las propiedades fisicoquímicas del suelo en los cinco lotes evaluados. Este análisis permitió identificar las principales limitantes edáficas relacionadas con la fertilidad, disponibilidad de nutrientes y condiciones químicas que influyen directamente en el crecimiento de las praderas.

Tabla 1 .

Características Fisicoquímicas del Suelo

Lote	pH	C (%)	MO (%)	P (mg/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Al (cmol/kg)	Textura
1	4,6	2,99	5,15	12,18	3,1	0,72	0,49	6	Franco-Arenoso
2	5,7	3,67	6,33	20,13	14,3	1,75	0,36	N.A	Arenoso-Franco
3	4,8	4,94	8,52	251,93	4,38	0,54	0,21	1,2	Arenoso-Franco
4	5,4	4,18	7,21	21,58	3,39	0,66	0,49	1,4	Franco-Arenoso
5	5,5	3,61	6,22	69,57	9,21	0,92	0,36	N.A	Franco-Arenoso

Los análisis muestran que los suelos tenían características generalmente ácidas, especialmente en los lotes 1 y 3, donde los niveles de pH (4,6 y 4,8, respectivamente) indican una alta acidez activa. Esta situación promueve la disolución de aluminio (Al^{3+}), como se corroboró con el elevado contenido hallado en el lote 1 (6 cmol/kg), lo que representa una limitante significativa para el crecimiento de raíces y la absorción de nutrientes. Referente a la fertilidad química, se aprecia una gran variabilidad entre los lotes. El fósforo (P) mostró niveles muy bajos en el lote 1 (12,18 mg/kg), lo cual sugiere una posible carencia nutricional, ya que en suelos ácidos este nutriente tiende a unirse con hierro y aluminio, comprometiendo su disponibilidad para las

plantas. En contraste, el lote 3 presentó un valor notablemente alto (251,93 mg/kg), lo que podría sugerir una acumulación previa debido a fertilizaciones o una baja demanda por parte de las plantas.

El calcio (Ca) y el magnesio (Mg), que son elementos fundamentales para la estructura del suelo y la nutrición de las plantas, mostraron concentraciones que variaron de bajas a moderadas en la mayoría de los lotes, excepto en el lote 2, donde el calcio alcanzó un valor significativamente alto (14,3 cmol/kg), sugiriendo una mejor fertilidad y una menor acidez efectiva. Esto coincide con un pH más cercano a la neutralidad (5,7). El potasio (K) evidenció niveles relativamente bajos en todos los lotes, lo que podría ser un obstáculo para el desarrollo de las plantas, dado su papel en procesos fisiológicos como la regulación del agua y la formación de proteínas.

En términos de materia orgánica (MO), los valores variaron entre 5,15% y 8,52%, lo que señala un contenido que va de moderado a alto, típico en suelos de regiones tropicales altas. Este componente es crucial para la retención de humedad, la actividad de organismos del suelo y la disponibilidad de nutrientes, constituyendo una fortaleza del suelo. Desde una perspectiva física, las texturas observadas (franco-arenoso y arenoso-franco) revelan suelos con buen drenaje y aireación, pero con una capacidad limitada para retener nutrientes, lo que implica la necesidad de un manejo cuidadoso de la fertilización para prevenir pérdidas debidas a la lixiviación.

4.2 Biomasa y capacidad de carga

La producción de biomasa es uno de los principales indicadores de la productividad de las praderas, ya que refleja directamente la disponibilidad de forraje para el consumo animal y, por ende, la capacidad del sistema para sostener carga ganadera. A partir de los datos obtenidos en campo, se realizó la comparación entre los valores iniciales y finales de biomasa en los cinco lotes evaluados.

Tabla 2.*Producción de Biomasa*

Lote	Biomasa Inicial (kg/m²)	Biomasa Final (kg/m²)	Diferencia (kg/m²)
1	0,985	4,042	3,057
2	1,4	2,876	1,476
3	1,35	2,74	1,39
4	1,325	2,79	1,465
5	2,252	3,158	0,906

Todos los lotes mostraron aumentos en la generación de biomasa, lo que significa que las prácticas de manejo aplicadas tuvieron un impacto positivo general en la producción del sistema. El lote 1 tuvo el mayor aumento absoluto (+3,057 kg/m²), casi cuadruplicando su producción original. Este comportamiento se puede atribuir a su estado inicial de alta acidez (pH 4,6), lo cual limitaba el crecimiento de las plantas. La corrección del pH a través del encalado, junto con la fertilización, permitió una mejora notable en la disponibilidad de nutrientes, lo que favoreció el crecimiento del forraje.

Los lotes 2, 3 y 4 mostraron incrementos relativamente consistentes (entre 1,39 y 1,476 kg/m²), lo que indica una respuesta estable al manejo. Aunque estos lotes tenían condiciones iniciales menos restrictivas que el lote 1, lograron aumentar su productividad, demostrando que la mezcla de fertilización y rotación ayuda a maximizar el crecimiento de la pradera incluso en sistemas de productividad moderada. El lote 5, aunque presentó el aumento relativo más bajo (+0,906 kg/m²), mantuvo los niveles más altos de biomasa tanto en su estado inicial como en el final. Esto sugiere que era un lote con una mejor capacidad productiva desde el comienzo, por lo que su margen de mejora fue menor en comparación con los otros lotes.

Con el fin de expresar los resultados en una unidad estándar utilizada en sistemas productivos ganaderos se realizó una conversión de la producción de biomasa de kg/m² a kg/ha. Esta transformación se basa en la equivalencia de superficie, donde 1 hectárea (ha) corresponde a 10.000 m². Por lo tanto, para convertir los valores obtenidos en campo (kg/m²) a kg/ha, se multiplicó cada valor por 10.000, según la siguiente relación:

$$\text{Fórmula: } 1 \text{ kg/m}^2 = 10.000 \text{ kg/ha}$$

Tabla 3.

Producción de Biomasa/ha

Lote	Inicial (kg/ha)	Final (kg/ha)
1	9850	40420
2	14000	28760
3	13500	27400
4	13250	27900
5	22520	31580

Esta conversión permite interpretar de manera más práctica la producción de biomasa a escala de potrero o sistema, facilitando además la estimación de la capacidad de carga animal. Posteriormente, se estimó la materia seca (MS), ya que esta representa la fracción realmente consumible por el animal. Para ello, se usó un contenido promedio del 20% de MS en la biomasa fresca, mediante la relación:

$$\text{Fórmula: } MS(\text{kg/ha}) = \text{Biomasa}(\text{kg/ha}) \times 0,20$$

Una vez obtenida la producción de materia seca, se procedió a calcular la capacidad de carga. Se consideró que una UGG corresponde a un bovino de 450 kg de peso vivo, con un consumo aproximado del 3% de su peso en MS por día, equivalente a 13,5 kg MS/día o 405 kg

MS/mes. Dado que el sistema se evaluó en función de ciclos de pastoreo, la capacidad de carga se estimó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Fórmula: } UGG/ha = \frac{MS \text{ (kg/ha)}}{405}$$

Tabla 4.

Materia Seca y UGG/ha

Lote	MS Inicial (Kg/ha)	UGG Inicial (UGG/ha)	MS Final (Kg/ha)	UGG Final (UGG/ha)
1	1970	4,86	8084	19,96
2	2800	6,91	5752	14,20
3	2700	6,67	5480	13,53
4	2650	6,54	5580	13,78
5	4504	11,12	6316	15,60

Como se muestra en la tabla, se evidencia un aumento general en la producción de materia seca y en la capacidad de carga en todos los lotes analizados. El lote 1 mostró la mayor reacción, con un incremento que superó el 300% tanto en la materia seca disponible como en la capacidad de carga, indicando una fuerte respuesta del sistema productivo a las prácticas de manejo aplicadas.

Por otro lado, los lotes 2, 3 y 4 presentaron aumentos más uniformes, con incrementos entre aproximadamente el 90% y el 110%, lo que indica una respuesta constante del sistema ante la fertilización, la corrección del pH del suelo y la gestión del pastoreo. En contraste, el lote 5 tuvo el menor aumento relativo, con un incremento cercano al 40% en la producción de materia seca y en la capacidad de carga. Este comportamiento podría relacionarse con el hecho de que este lote ya tenía una productividad inicial superior, lo que restringe el margen de mejora porcentual después de la intervención.

Los resultados indican que el incremento en la capacidad de carga está vinculado directamente a la mejora en la producción de materia seca, confirmando que las prácticas llevadas a cabo favorecieron la disponibilidad de forraje útil. Esto subraya la relevancia del manejo del suelo como un factor clave en la eficiencia productiva de los sistemas ganaderos de los ecosistemas alto andinos.

4.3 Evaluación del pH del Suelo

Con el fin de evaluar el efecto del manejo implementado sobre la acidez del suelo, se compararon los valores de pH obtenidos antes y después de la aplicación de cal, fertilización y establecimiento del sistema de rotación de potreros. El pH del suelo es una de las propiedades químicas más importantes, ya que regula la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica, influyendo directamente en la productividad de las praderas (Havlin et al., 2014).

Tabla 5.

pH del Suelo

Lote	pH Inicial	pH Final	Δ pH	Incremento (%)
1	4,6	5,0	+ 0,40	8,70
2	5,7	6,12	+ 0,42	7,40
3	4,8	5,28	+ 0,48	10,00
4	5,4	5,48	+ 0,08	1,50
5	5,2	5,57	+ 0,37	7,10

El valor de Δ pH corresponde a la diferencia absoluta entre el pH final y el inicial, lo que permite cuantificar el cambio directo en unidades de pH. Por su parte, el incremento (%) expresa este cambio en términos relativos, facilitando la comparación entre lotes con condiciones iniciales diferentes.

Los valores de la tabla reflejan el aumento general del pH en todos los lotes, lo que indica que la acidez del suelo disminuyó gracias a la aplicación de cal. El encalado favorece la neutralización de los iones hidrógeno (H^+) y la precipitación del aluminio (Al^{3+}) en formas menos solubles, reduciendo tanto la acidez activa como la intercambiable. Este aspecto es particularmente importante en suelos de áreas tropicales altas, donde la acidez a menudo limita la disponibilidad de nutrientes y afecta el crecimiento de las raíces de las plantas (Brady & Weil, 2017).

Los lotes 1, 2 y 5 demostraron aumentos moderados (entre 7% y 9%), lo que indica una respuesta adecuada a las prácticas de manejo implementadas. En estos lotes, el ascenso del pH ayuda a optimizar la asimilación de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), creando condiciones químicas más propicias para su absorción. El lote 3 mostró el incremento más significativo (10%), sugiriendo una respuesta notable a la corrección de acidez en condiciones iniciales más desfavorables. En contraste, el lote 4 tuvo un aumento mínimo (1,5%), posiblemente debido a su menor acidez inicial. En suelos donde el pH está cerca de los valores óptimos, la capacidad de reacción al encalado tiende a ser menor, dado que el sistema se mantiene en un equilibrio químico más estable.

Los valores finales del pH (entre 5,0 y 6,12) están en un rango adecuado para praderas andinas altas, facilitando así la actividad microbiana, la mineralización de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. Estas condiciones favorecen el crecimiento del forraje y su valor nutritivo, lo que influye directamente en la capacidad de carga del sistema.

4.4 Composición botánica de las praderas

Con el propósito de evaluar el efecto del manejo implementado sobre la composición botánica de las praderas, se comparó la diversidad y participación porcentual de las especies presentes antes y después de la intervención. La diversidad de especies en sistemas forrajeros es

un indicador clave de la estabilidad ecológica, la calidad del forraje y la sostenibilidad del sistema productivo (Tilman et al., 2014).

Tabla 6.

Composición Botánica

Lote	Kikuyo Inicial (%)	Kikuyo Final (%)	Otras spp. Iniciales (%)	Otras spp. Finales (%)	Leguminosas Nuevas (%)
1	52	87,7	48,0	2,3	15,0
2	85	88,3	15,0	10,0	1,7
3	63,7	87,7	36,3	7,0	5,3
4	92	92,3	8,0	4,7	3,0
5	87	87,7	13,3	9,0	3,3

Nota. La categoría “Kikuyo” corresponde a la especie dominante (Cenchrus clandestinus), mientras que “Leguminosas” incluye especies como Trifolium repens, Trifolium hybridum y Medicago sativa y Medicago polymorpha, observadas principalmente en la fase posterior al manejo. La categoría “Otras spp.” agrupa especies iniciales como Hydrocotyle bonplandii, Anthoxanthum odoratum, Holcus lanatus, Plantago lanceolata, Desmodium incanum, Cuphea ciliata, Taraxacum officinale y Baccharis latifolia. En las finales incluye Hydrocotyle bonplandii, Cuphea ciliata, Rumex crispus, Taraxacum officinale y Baccharis latifolia.

Los resultados que se muestran en la Tabla 5 ponen de evidencia transformaciones significativas en la organización botánica de las praderas tras la adopción del manejo. En términos amplios, se observa un aumento en la presencia de la especie predominante, el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), junto con una disminución en la proporción de otras especies en la mayoría de los lotes. Al mismo tiempo, destaca la llegada y asentamiento de leguminosas, lo cual representa una

mejora desde una perspectiva nutricional y funcional del sistema, gracias a su habilidad para fijar nitrógeno biológicamente y su alto valor como forraje.

Sin embargo, aunque la introducción de leguminosas indica un avance en la calidad del forraje, la reducción de otras especies sugiere una posible inclinación hacia la homogeneización de la pradera, vinculada al apoyo a especies muy competitivas en condiciones de mayor disponibilidad de nutrientes. Este comportamiento muestra que los cambios en la composición no solo reflejan alteraciones en la presencia de distintas especies, sino también en la distribución relativa de estas dentro del sistema.

En este sentido, el estudio de la composición porcentual se vuelve insuficiente para describir de manera completa la diversidad de la pradera, debido a que no toma en cuenta simultáneamente la riqueza y la equidad de las especies. Por esta razón, se utilizó el índice de diversidad de Shannon (H'), que permite medir de manera más efectiva las variaciones en la estructura ecológica del sistema, incluyendo tanto el número de especies como su abundancia relativa antes y después del manejo. El índice de diversidad de Shannon (H') se calculó a partir de la proporción relativa de cada especie dentro de la biomasa total, utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Fórmula: } H' = -\sum (p_i * \ln p_i)$$

Siendo: H' : índice de diversidad de Shannon; p_i : proporción de cada especie i en relación con la biomasa total del lote (peso de la especie \div peso total del aforo); \ln : logaritmo natural; \sum : sumatoria de todas las especies presentes en la muestra.

4.4.1 Cálculo para Diversidad de Shannon

Se determinó la proporción de cada especie p_i dividiendo la biomasa de la especie entre la biomasa total del aforo.

Se calculó $p_i * \ln(p_i)$ para cada especie.

Se sumaron los valores de todas las especies del lote y se multiplicó por -1, obteniendo el H' del lote.

Se calcularon los valores iniciales y finales para todos los lotes.

Se determinó la diferencia $\Delta H'$ (H' final - H' inicial)

El incremento se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Fórmula: Incremento (\%)} = \frac{\Delta H'}{H' \text{ inicial}} \times 100$$

Tabla 7.

Índice de Diversidad de Shannon (H')

Lote	H' inicial	H' final	$\Delta H'$	Incremento (%)
1	0,86	0,52	-0,34	-39,5
2	0,55	0,64	0,09	16,4
3	1,2	0,63	-0,57	-47,5
4	0,35	0,34	-0,01	-2,9
5	0,62	0,52	-0,1	-16,1

Los resultados indican que la mayor parte de los lotes mostraron una disminución en el índice de diversidad de Shannon, lo que sugiere una tendencia hacia la homogeneización de la pradera debido al aumento de la especie predominante, *Cenchrus clandestinus*. Específicamente, el lote 3 evidenció la mayor reducción (-47,5%), reflejando un cambio significativo en las especies menos competitivas, mientras que los lotes 1 y 5 también experimentaron descensos del 39,5% y 16,1%, respectivamente, lo que demuestra que, a pesar del incremento en la productividad, el sistema tiende a favorecer especies altamente competitivas en condiciones de mayor fertilidad. En cambio, el lote 2 presentó un aumento en la diversidad (+16,4%), lo que indica que el manejo utilizado permitió la coexistencia equilibrada de gramíneas, leguminosas y otras especies sin que

ninguna dominara por completo, mientras que el lote 4 mostró un comportamiento bastante estable (-2,9%), lo que sugiere que sus condiciones iniciales ya respaldaban una estructura vegetal equilibrada y menos susceptible a los cambios aplicados. En resumen, esto revela que las prácticas de manejo incrementaron la disponibilidad de nutrientes y la producción de biomasa, pero al mismo tiempo favorecieron la dominancia de especies de alto rendimiento, disminuyendo la diversidad en algunos casos, un fenómeno frecuente en sistemas de pastoreo intensivo donde el aumento de fertilidad, sobre todo de nitrógeno, tiende a reducir la equidad entre las especies vegetales.

Los hallazgos generales logrados en el estudio indican una conexión clara entre las condiciones fisicoquímicas del suelo al inicio, las técnicas de manejo aplicadas y la respuesta tanto productiva como ecológica del sistema. En este contexto, el análisis inicial reveló suelos con limitaciones, principalmente relacionadas con la acidez, la presencia de aluminio intercambiable y la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes, factores que afectaban el desarrollo de las praderas.

La acción de corregir la acidez a través de la aplicación de cal, sumada a la fertilización y la implementación de un sistema de rotación, produjo cambios significativos en las condiciones del suelo, evidenciados por el aumento del pH y una mejor disponibilidad de nutrientes. Estas modificaciones químicas se vincularon directamente con un incremento en la producción de biomasa y, por ende, con una mayor capacidad de carga del sistema, demostrando una mejora en la eficiencia productiva de las praderas bajo el manejo adecuado y balanceado.

Desde una perspectiva ambiental, la respuesta del suelo no solo se observó en cuanto a la cantidad de forraje, sino también en la estructura de la vegetación. El incremento en la predominancia de especies altamente productivas, como el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), junto

con la inclusión de leguminosas, sugiere una mejora en la calidad nutricional del forraje disponible. Sin embargo, estas transformaciones también se acompañaron de cambios en la diversidad de especies, reflejados en el índice de Shannon, lo que indica una dinámica de reorganización interna del sistema vegetal ante las nuevas condiciones de fertilidad.

Como fin de discusión, los resultados evidencian cómo las alteraciones en el suelo sirven como un eje fundamental que condiciona tanto la productividad como la composición botánica de las praderas, mostrando la interrelación entre los aspectos físico, químico y biológico del sistema. Esta interacción enfatiza la importancia de entender el manejo del suelo no únicamente como una estrategia para incrementar la producción, sino como un proceso que impacta integralmente el funcionamiento del ecosistema de pastoreo.

Figura 7.

Forraje Pre Tratamiento 1



Figura 8.

Forraje Pre Tratamiento 2



Figura 9.

Pastoreo post tratamiento



Figura 10.

Potrero post tratamiento



5. Conclusiones

El control aplicado al manejo de praderas ha facilitado un aumento efectivo en la productividad forrajera, lo cual se ha manifestado en el aumento de la biomasa y, por ende, en la capacidad de carga de ganado. Este fenómeno está vinculado de manera directa a la corrección de la acidez del suelo y a la disponibilidad de nutrientes, aspectos que influían en el rendimiento inicial del sistema, especialmente en parcelas con mayores limitaciones en el suelo.

El ajuste del pH del suelo y la aplicación de microorganismos fueron aspectos clave en la respuesta productiva, ya que favorecieron condiciones químicas y biológicas más apropiadas para la asimilación de nutrientes. La disminución de la acidez, sobre todo en suelos con alto contenido de aluminio, ayudó a potenciar el crecimiento del forraje y a aumentar la efectividad del sistema que integra suelo, planta y animal.

Desde una perspectiva ambiental, el manejo balanceado trajo consigo variaciones en la composición botánica de las praderas, fomentando la aparición de especies de mayor valor forrajero, como las leguminosas. Sin embargo, este fenómeno también estuvo acompañado de una tendencia hacia la dominancia de especies muy competitivas, lo que, en ciertos casos, disminuyó la diversidad vegetal, reflejando un efecto común en sistemas con aumento de fertilidad.

La intervención efectuada contribuyó a mejorar las condiciones productivas del sistema sin la necesidad de realizar modificaciones estructurales en su diseño, sino a través de la optimización del manejo del suelo y de la pradera. Esto subraya la importancia del manejo del suelo como un elemento central en la sostenibilidad y eficacia de los sistemas ganaderos en áreas de trópico alto.

6. Recomendaciones

Se recomienda continuar con la implementación de prácticas de manejo orientadas a la corrección de la acidez del suelo y la fertilización ajustada a las necesidades específicas del sistema, complementadas con el monitoreo periódico de variables como pH y disponibilidad de nutrientes. Asimismo, se sugiere profundizar en estrategias que permitan equilibrar la productividad con la conservación de la diversidad vegetal, especialmente mediante el manejo controlado del pastoreo y la incorporación planificada de especies forrajeras. Finalmente, futuros estudios podrían incluir evaluaciones a mayor plazo y el seguimiento de otros parámetros fisicoquímicos del suelo, con el fin de comprender de manera más integral la dinámica del sistema bajo condiciones de manejo sostenido.

Referencias Bibliográficas

- Baronti, S., Ungaro, F., Maienza, A., Ugolini, F., Lagomarsino, A., Agnelli, A. E., & Vaccari, F. P. (2022). Rotational pasture management to increase the sustainability of mountain livestock farms in the Alpine region. *Regional Environmental Change*, 22(2), 50. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01894-7>
- Benvenuti, M. A., Findsen, C., Savian, J. V., Mayer, D. G., & Barber, D. G. (2020). The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of kikuyu pastures. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 8(2), 141–146. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)141-146](https://doi.org/10.17138/tgft(8)141-146)
- Blackburn, W. H. (2021). Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses. *En Developing strategies for rangeland management* (pp. 927–984).
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Cadena-Guerrero, M. M., García-Dávila, M. A., Meneses-Buitrago, D. H., Morales-Montero, S. P., & Castro-Rincón, E. (2019). Adaptación de diez cultivares de *Lolium* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 165–178. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33176>
- Cepeda Alférez, D. A. (2022). Caracterización de los sistemas semiestabulados bovinos en Colombia (Trabajo de grado). Repositorio Institucional.
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la

- sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1).
<https://doi.org/10.21897/rmvz.2301>
- Dávila Suárez, V., & Cedeño, G. A. (2019). Sistemas de pastoreo y manejo de praderas. *Manual Técnico de Forrajes*.
- Enríquez Quiroz, J. F., Esqueda Esquivel, V. A., & Martínez Méndez, D. (2021). Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 243–260.
- Escobar Charry, M. A., Cárdenas Rocha, E. A., & Carulla Fornaguera, J. E. (2020). Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9121–9130.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.79344>
- FAO. (2011). *Guía para la evaluación de recursos forrajeros*. <https://www.fao.org>
- Freitas, I. C., Ribeiro, J. M., Araújo, N. C. A., Santos, M. V., Sampaio, R. A., Fernandes, L. A., Frazão, L. A., & colaboradores. (2020). Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. *Rangeland Ecology & Management*, 73(6), 776–785. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.05.005>
- Galvez-Cerón, A. L., & Erazo-Gómez, J. A. (2019). Evaluación de la producción y calidad forrajera de un sistema silvopastoril altoandino en Nariño. *Revista Investigación Pecuaria*, 6(1), 1–15.
- García Rueda, A. D. R., Castillo Rocha, A. E., & Casco Casco, M. A. (2021). Correlación del peso vivo con las medidas zoométricas de novillos cruzados con Brahman criados en sistemas intensivos vs. semi intensivo (Tesis doctoral). *Universidad Nacional Agraria*.

- González Pozo, D. S. (2025). Relación suelo, planta, animal en la ganadería bovina del centro de apoyo Manglaralto-UPSE (Trabajo de grado). *Universidad Estatal Península de Santa Elena*.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson.
- Holechek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (2011). *Range management: Principles and practices* (6th ed.). Pearson.
- Horn, J., & Isselstein, J. (2022). How do we feed grazing livestock in the future? A case for knowledge-driven grazing systems. *Grass and Forage Science*, 77(3), 153–166.
<https://doi.org/10.1111/gfs.12590>
- Ingtý, T. (2021). Pastoralism in the highest peaks: Role of traditional grazing systems in maintaining biodiversity. *PLOS ONE*, 16(1).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245221>
- Klein, N., Theux, C., Arlettaz, R., Jacot, A., & Pradervand, J. N. (2020). Modeling the effects of grassland management intensity on biodiversity. *Ecology and Evolution*, 10(23).
<https://doi.org/10.1002/ece3.6922>
- Krebs, C. J. (2014). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (7th ed.). Pearson.
- López, P. A. P., Buitrago, D. H. M., Burbano, E. L., Nisivoccia, M. E. D., & Rincón, E. C. (2021). Adaptación de mezclas forrajeras en Nariño. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2).
<https://doi.org/10.15517/am.v32i2.41947>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2018). *Brock biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.

- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *Blackwell Publishing*.
- Menezes, R. A., Côrtes, I. H. G., Lopes, L. T., Ananias, J. V. A., Borges, A. L. C. C., Camargos, G. H. S., & Magalhães, F. A. (2022). *Cenchrus clandestinum*. *FEPE*.
- Morales Montero, S. P., Meneses Buitrago, D. H., Zapata Molina, J. J., Castro Rincón, E., & Cardona Iglesias, J. L. (2022). Pasto brasileiro (*Phalaris* sp.). *Manual Técnico de Forrajes*.
- Muñoz Solórzano, J. A. (2023). Comportamiento productivo de la ganadería bovina con tres métodos de pastoreo (Tesis doctoral). *Universidad de Guayaquil*.
- Noreña-Grisales, J. M., Ramírez Pisco, R., & Osorio Vega, N. W. (2024). Soil quality indicators related to kikuyu grass deterioration. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(3).
- Obregón, E. S., Romero, A. S. V., Ramírez, E. R. B., López, J. M. M., Saldarriaga, J. Y., Meléndez, I. P., & Cárdenas, J. A. L. (2018). Cambio tecnológico en sistemas ganaderos. *Big Bang Faustiniiano*, 7(4).
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Thomson.
- Posada, C. H., Muñoz, M. F. C., Vasco, L. F. G., & Sierra, M. M. (2024). Suelos y pastos. *Manual de Producción Agropecuaria*.
- Prudencio Velásquez, D. M., Hidalgo Vásquez, Y. N., Chagraj Ameri, N. H., Airahuacho Bautista, F. E., & Maguiña Maza, R. M. (2020). Producción forrajera en el valle alto andino. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 7(1), 21–29.
- Raiesi, F. (2021). Soil organic matter and pasture restoration. *Catena*.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105605>
- Rodríguez Barrera, F. F. (2022). Mejoramiento en sistema bovino semi-confinado (Trabajo de grado). *Universidad Cooperativa de Colombia*.

- Rodríguez-Vargas, A., Barrón-López, J., Meza-Rojas, E., Mendoza-Ordoñez, G., Tantauillca-Landeo, F., & Vargas-Gonzales, F. (2025). Parámetros productivos en sistemas bovinos. *Revista Científica de la Facultad de Veterinaria*, 35(1).
- Samaei, F., Emami, H., & Lakzian, A. (2022). Assessing soil quality. *Ecological Indicators*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108927>
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press
- Silveira, M. L., & Kohmann, M. M. (2020). *Soil fertility for sustainable pastures*. En Management strategies for sustainable cattle production.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). Principles and applications of soil microbiology (2nd ed.). Pearson.
- Tali, K., Melts, I., & Heinsoo, K. (2025). Rotational grazing and biomass. *Journal of Central European Agriculture*, 26(1), 207–219.
- Troncoso Cortez, S. I. (2024). Manejo regenerativo del pastoreo y sus efectos sobre la productividad de las praderas, *Doctoral dissertation, Universidad de Concepción*.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Wang, S., van Dijk, J., & Wassen, M. J. (2019). Response of grass species to nutrients. *Environmental and Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103879>
- Wang, Y., Lv, W., Xue, K., Wang, S., Zhang, L., Hu, R., & Niu, H. (2022). Grassland changes and management. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(10), 668–683. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00338-4>
- White, R., Murray, S., & Rohweder, M. (2000). Grassland ecosystems. *World Resources Institute*.

Apéndices

Apéndice A.

Preparación y multiplicación de microorganismos

Objetivo

Preparar y multiplicar una solución de microorganismos mediante fermentación anaerobia, con el fin de mejorar las condiciones biológicas del suelo y favorecer la productividad de las praderas

Materiales

- Caneca plástica hermética de 100 litros (para activación inicial)
- Caneca plástica hermética de 1000 litros (para multiplicación final)
- Melaza
- Levadura
- Maíz molido
- Urea
- Microorganismos Eficientes (EM)
- Agua limpia (preferiblemente sin cloro)
- Recipientes de medición
- Elementos de agitación (palo o mezclador)
- Tapas herméticas o sistema de sellado

Activación Inicial**Tabla 8.** *Proporciones Microorganismos*

Insumo	Cantidad	Observación
EM	4 kg	Fuente biológica inicial
Levadura	1 kg	Activador biológico
Maíz molido	4 kg	Fuente energética
Melaza	10 L	Fuente de carbono
Urea	2 kg	Fuente de nitrógeno
Agua	Completar hasta 100 L	Medio de fermentación

Multiplicación de microorganismos**Tabla 9.** *Aumento de microorganismos*

Insumo	Cantidad
Melaza	30 L
Urea	20 kg
Solución inicial (100 L fermentados)	100 L
Agua	Completar hasta 1000 L

Procedimiento

Preparación de la fase inicial (activación)

1. En una caneca plástica de 100 litros, adicionar los microorganismos de EM
2. Incorporar la levadura, el maíz molido, la melaza y la urea.
3. Agregar agua hasta completar el volumen total de 100 litros.
4. Mezclar de manera homogénea hasta lograr una solución uniforme.

Fermentación anaerobia

1. Sellar completamente la caneca para evitar la entrada de oxígeno.
2. Mantener la mezcla en condiciones anaerobias durante un periodo de 4 días.
3. Ubicar la caneca en un lugar sombreado y a temperatura ambiente.

Multiplicación de microorganismos

1. Transcurridos los 4 días, transferir la solución inicial a una caneca de 1000 litros.
2. Adicionar la melaza y la urea según la fórmula establecida.
3. Completar con agua hasta alcanzar los 1000 litros.
4. Mezclar completamente hasta lograr una distribución homogénea de los componentes

Aplicación en campo

La solución final obtenida (1000 litros) se aplica directamente sobre una hectárea de pradera, procurando una distribución uniforme para favorecer la actividad microbiológica del suelo.