

Impacto de diferentes fertilizantes (orgánicos, sintéticos y nano fertilizantes) en la productividad de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en Tipacoque, Boyacá.

Herlinda Joya Méndez, Jhon Jairo Hernández Cetina

Trabajo de Grado para optar al Título de Zootecnistas

Director

Erika Mayerly Celis Celis

MSc Química

Codirector

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD en ciencias agrarias con énfasis en suelos y aguas.

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Este trabajo de grado se lo dedico primeramente a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para culminar con esta etapa de mi vida.

A mi familia por el apoyo incondicional, comprensión y constante motivación, siendo para mí, el pilar fundamental durante cada una de mis etapas y logros.

A mis docentes, por cada una de las enseñanzas, orientación, compromiso, transmisión de conocimientos, los cuales fueron muy importantes para el desarrollo de este trabajo, contribuyendo de una manera significativa a mi formación profesional como zootecnista.

Finalmente, me lo dedico a mí misma por el esfuerzo durante toda la carrera, mostrando dedicación, y disciplina que me ayudaron a llegar a la meta, cumpliendo con el proceso académico, este logro no solo representa la culminación de esta etapa, sino el comienzo de muchos desafíos y retos profesionales y personales que me ayudan a crecer como persona.

Este logro no es solo un título, sino también la huella de un camino lleno de sacrificio, amor y esperanza.

Dedico esta tesis primero a Dios por haberme permitido formarme como profesional Zootecnista, en la majestuosa Universidad Industrial de Santander sede Málaga, la honra y gloria sean para el por el don de la vida, la sabiduría y el entendimiento durante cada uno de los procesos por el cual tuve que pasar para aprender grandes conocimientos.

A mis padres; Armando Hernández Sepúlveda y María Mercedes Cetina por su apoyo incondicional siendo guiado por sus consejos en esta trayectoria, a mis hermanos Wilson Armando Hernández y Fredy Hernández quienes fueron testigos de cada proceso, de igual manera a mis sobrinos Jesús Andrés y Ashly Julieth.

A mi tía Luisa López Cetina quien fue pilar fundamental y apoyo incondicional durante cada decisión apoyada en este gran proceso, también a mis primos, Juan Felipe y Angely Lorena quienes me acompañaron desde la distancia, así como otros amigos y familiares que se me quedan por nombrar.

Agradecimientos

Agradecer primeramente a Dios por acompañarnos bajo su amparo en este proceso, a la Universidad Industria de Santander, a su cuerpo docente, administrativos y estudiantado quienes nos aportaron sus grandes conocimientos en este camino formativo y educativo, a nuestros compañeros de los diferentes semestres de programa con quienes compartimos distintos puntos de vista evocando siempre sus regiones, y que son parte del fin de esta etapa donde se construye desde la zootecnia en articulación con otros programas académicos, teniendo como convicción valores y desarrollo integro en un determinado grupo y de manera individual.

Agradecemos a nuestros padres, familiares y amigos quienes siempre nos alentaron a seguir adelante sin importar los obstáculos que en el camino se presentaran, de igual manera a la química MSc Erika Mayerly Celis Celis, al PhD Julián Mauricio Botero Londoño quienes nos acompañaron en este proceso de trabajo de grado, aportando y orientándonos con sus conocimientos.

Agradecemos de antemano al señor Saul Pérez Hernández y a la señora Santos López de igual manera a sus hijos Hernán y Saul Pérez López quienes nos prestaron su finca para la realización del estudio y pusieron a nuestra disposición el terreno necesario para su ejecución.

Agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander quien financio la investigación mediante el proyecto titulado "Producción de forrajes, nanofertilizantes y sistemas agro fotovoltaicos en la elaboración de alimentos balanceados para bovinos de leche en la provincia de García Rovira", identificado con código 4242.

Tabla de contenido

Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
2. Marco teórico	17
2.1 Marco referencial	17
2.2 Problemas actuales	18
2.3 Manejo de praderas	20
2.4 Estudio de suelos	22
2.5. Parámetros	23
3. pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>)	24
3.1 Fertilizantes	26
3.1.1 fertilizantes orgánicos	28
3.1.2 Nanofertilizantes	30
4.1 Área de estudio	31
5. diseño y tratamientos experimentales	34
5.1 Tratamientos experimentales	35
5.2 formulación de fertilizantes	35
5.3 Análisis de la composición mineral de los fertilizantes orgánicos	36
5.4.1 Muestreo y aplicación de los fertilizantes	36
5.4.2 Producción de biomasa	36

5.5 Composición bromatológica del pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>)	36
5.6 Análisis estadístico.....	37
6. Resultados y discusión.....	43
6.1 Primer corte.....	43
6.2 Segundo corte.....	44
6.3 Tercer corte	44
6.4 Cuarto corte.....	44
5.7 Estimación de costos.....	45
7. Conclusiones.....	47
8. Recomendaciones	48
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices.....	54

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Palabras clave</i>	22
Tabla 2. <i>Estudio de suelos</i>	22
Tabla 3. <i>Valores nutricionales del pasto estrella (Cynodon nlemfuensis)</i>	25
Tabla 4. <i>Variables a tener en cuenta en el estudio de suelos.</i>	34
Tabla 5. <i>Formulación de fertilizantes.</i>	35
Tabla 6. <i>Composición química de los fertilizantes.</i>	36
Tabla 7. <i>Variables a evaluar del pasto estrella.</i>	36
Tabla 8. <i>Estimación de costos del estudio.</i>	45
Tabla 9. <i>Costos fertilizantes por hectárea.</i>	46

Lista de Figuras

Ilustración 1. <i>Foto satelital de ubicación de la finca en Tipacoque Boyacá.</i>	31
Ilustración 2. <i>área seleccionada para el desarrollo del estudio.</i>	32
Ilustración 3. <i>Producción de biomasa por m²</i>	37
Ilustración 4. <i>Producción de materia fresca hectárea año (Mf/Ha/año).</i>	38
Ilustración 5. <i>producción gramos de biomasa por m²</i>	40
Ilustración 6. <i>Producción de materia seca hectárea año Ms/Ha/año.</i>	41
Ilustración 7. <i>Capacidad de carga por tratamiento.</i>	42

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Selección del área a trabajar</i>	54
Apéndice B <i>Establecimiento de tratamientos</i>	54
Apéndice C <i>Recepción de fertilizantes</i>	55
Apéndice D <i>Aplicación fertilizantes</i>	55
Apéndice E <i>Determinación de producción de forraje por m²</i>	55
Apéndice F <i>Determinación materia seca</i>	55

Glosario

Bovinaza: es el estiércol del ganado bovino, se caracteriza por ser un abono orgánico que se usa principalmente como abono natural para fertilizar los suelos y pastos, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, para el mejoramiento de los suelos y los forrajes, también se conoce como fuente de nutrición de manera tradicional en diversos cultivos. (Nhamo, 2014)

Caprinaza: es un abono orgánico natural, valorado por la riqueza de los nutrientes como son, nitrógeno, fósforo y potasio, ideal para el mejoramiento de los suelos y forrajes en la producción agrícola, actúa como excelente fijador de nitrógeno mejorando las condiciones del suelo. (Quiñonez, 2022).

Cynodon nlemfuensis: es una gramínea perenne, utilizada como forraje para la alimentación animal, debido a sus valores nutricionales, es ampliamente utilizada en pastoreo, heno, se establece por estolón y semilla, tiene su origen en el África por eso su nombre común es estrella africana. (Viloria, 2019)

Fertilizante sintético: es un compuesto químico que es fabricado industrialmente, aporta nutrientes esenciales, como el nitrógeno, fósforo y potasio, para las plantas de manera concentrada y con una rápida absorción para estimular el crecimiento. En estos se habla de la incorporación individual o de diversos compuestos específicos al suelo. (Florez, 2024)

Nanofertilizantes: Los nano fertilizantes representan una innovación tecnológica significativa en el ámbito agrícola, al permitir una liberación más eficiente y controlada de nutrientes esenciales para las plantas. Estos fertilizantes se desarrollan a partir de nanomateriales

que, debido a su tamaño reducido y alta relación superficie-volumen, pueden atravesar fácilmente los poros de las raíces y hojas, facilitando así una absorción más efectiva (Zulfiqar et al., 2019).

TIO²: se considera una sustancia inorgánica clasificada como no peligrosa, poco soluble y es térmicamente estable, tiene diversidad de usos entre ellos en la agricultura. (council)

Suelos: es un conjunto de materias capaz de sostener vida vegetal de manera orgánica e inorgánica (RAE)

Pastos: es la materia prima del cual se sirven los animales para su alimentación en pastoreo o en estabulación. (RAE)

Clima: son las condiciones atmosféricas y características propias de una determinada región. (RAE)

Estolón: estructura rastrera que nace del tallo las plantas para la formación de otras en diferentes condiciones buscando colonizar con su propia raíz. (RAE)

Semilla: es la parte del fruto queda como residuo de la cosecha de un determinado cultivo pudiéndose germinar. (RAE)

Tipacoque: es un municipio ubicado al norte del departamento de Boyacá en Colombia, fue fundado el 28 de noviembre de 1968 por Elvia Sandoval de Rojas y Eduardo Caballero Calderón, es de origen indígena y su nombre deriva del vocablo zipacoque que en lengua muisca significa dependencia del zaque de Tunja. (Tipacoque)

Resumen

Título: Impacto de diferentes tipos de fertilizantes (orgánicos, sintéticos y nanofertilizantes) en la productividad de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en Tipacoque, Boyacá^{1*}

Autor: Herlinda Joya Méndez, Jhon Jairo Hernández Cetina^{2*3*}

Palabras clave: Fertilizante sintético, fertilizante orgánico, nanopartícula, calidad nutricional, suelos, producción de biomasa.

Descripción:

Este estudio se centró en la evaluación de diferentes tipos de fertilizantes en la producción de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), una especie de pasto utilizada en la alimentación animal en pastoreo, heno y henolaje. Se investigaron tres tipos de fertilizantes: orgánicos (Caprinaza, bovinaza), sintéticos y nano fertilizantes, el objetivo determino el impacto en la calidad nutricional del pasto y la producción de biomasa bajo condiciones de campo en Tipacoque, Boyacá. Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) que incluyó ocho tratamientos, cada uno con cuatro réplicas, obteniendo como resultado un total de 32 unidades experimentales. Algunos factores que pueden influir en el crecimiento del pasto como precipitaciones y radiación solar. Los resultados demostraron que los fertilizantes sintéticos ofrecieron una mayor eficiencia en la producción de biomasa en comparación con los orgánicos en el cual mostraron una diferencia en la aplicación individual y combinados. Sin embargo, los fertilizantes químicos demostraron ser cruciales para el aumento de la producción de biomasa, los fertilizantes orgánicos también mostraron un aumento un poco más lento en la producción de biomasa, contribuyendo a la sostenibilidad del ecosistema agrícola, convirtiéndose a futuro en una alternativa de agricultura ecológica altamente sostenible. En conclusión, la investigación sugiere que, aunque los fertilizantes sintéticos pueden aumentar la producción de manera rápida, la integración de fertilizantes orgánicos es esencial para mantener el equilibrio del suelo y garantizar la productividad a largo plazo mejorando sus características. Este estudio proporciona información valiosa para la gestión de cultivos en su manejo integrado en la producción ganadera sostenible y sustentable, destacando la importancia de un enfoque equilibrado en el uso de fertilizantes aumentando la productividad de biomasa.

^{1*} Trabajo de grado

^{2**} Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Erika Mayerly Celis Celis. Química MSc. Codirector: Julián Mauricio Botero Londoño. PhD en ciencias agrarias con énfasis en manejo de suelos y aguas.

Abstract

Title: Impact of Different Types of Fertilizers (Organic, Synthetic, and Nanofertilizers) on the Productivity of Star Grass (*Cynodon nlemfuensis*) in Tipacoque, Boyacá

Author(s): Herlinda Joya Mendez, Jhon Jairo Hernandez Cetina⁴

Key Words: Fertilizers, organic, synthetic, nanoparticles, nutritional quality, soils, production.

Description:

This study focuses on evaluating different types of fertilizers in the production of star grass (*Cynodon nlemfuensis*), a grass species used for animal feed in grazing, hay, and silage. Three types of fertilizers were investigated: organic (goat manure, cattle manure), synthetic, and nanofertilizers. The objective of this study is to determine their impact on soil nutritional quality and biomass production in an uncontrolled environment in Tipacoque, Boyacá. A completely randomized design (CRD) was used, including eight treatments, each with four replicates, resulting in a total of 32 experimental units. The variables considered in the study included rainfall and solar radiation, factors that can influence grass growth. The results showed that synthetic fertilizers offered greater efficiency in biomass production compared to organic fertilizers, which showed a difference when applied individually and in combination. However, organic fertilizers proved crucial for improving soil quality in the long term; they also showed a slightly slower increase in biomass production, contributing to the sustainability of the agricultural ecosystem and becoming a highly sustainable organic farming alternative in the future. In conclusion, the research suggests that, although synthetic fertilizers can rapidly increase production, the integration of organic fertilizers is essential for maintaining soil balance and ensuring long-term productivity. This study provides valuable insights for crop management in conjunction with sustainable livestock production, highlighting the importance of a balanced approach to fertilizer use.

*Undergraduate Work

** Institute of Regional Projection and Distance Education IPRED. Animal Science Program.
Director: Eryka Mayerly Celis Celis. Chemistry. Codirector Julián Mauricio Botero Londoño. PhD in agricultural sciences with emphasis on soil and water management.

Introducción

Actualmente, la baja productividad de leche y carne por hectárea es una característica común en diversas regiones del país, entre ellas el municipio de Tipacoque, Boyacá. Las unidades productivas en esta zona suelen ser minifundios, muchas veces mayores a tres hectáreas, pero fragmentados entre varios herederos, lo que limita su eficiencia productiva (Díaz, 2020; Plan de desarrollo municipal 2020-2023, s/f). En el departamento de Boyacá, así como en regiones vecinas como Santander, Antioquia y Arauca, predominan fincas de mayor extensión que, sin embargo, presentan bajos niveles de productividad. Estas fincas suelen tener un enfoque de doble propósito, es decir, que se emplean tanto para fines agrícolas como ganaderas, lo que, sumado a prácticas inadecuadas de manejo, ha derivado en una baja rentabilidad. Entre los principales factores que afectan la productividad se encuentran el sobrepastoreo, la escasa rotación de praderas, un mal manejo del recurso hídrico, la degradación de los suelos, la erosión y el uso indiscriminado de agroquímicos sin considerar las necesidades específicas del suelo y los forrajes presentes (Reyes, 2000).

Estas prácticas han reducido la capacidad de carga animal por hectárea, siendo esta una mala práctica de pastoreo al no promover un adecuado crecimiento de biomasa forrajera, lo que repercute directamente en la sostenibilidad de los sistemas productivos (Santiago et al., 2022). En particular, el sobrepastoreo ha generado compactación del suelo, dificultando el rebrote de los pastos y afectando negativamente su desarrollo, siendo muy bajos y poco rentables (López-Vigoa et al., 2017). Además, los productores suelen emplear técnicas convencionales de pastoreo, como el uso de potreros de gran extensión sin rotación adecuada, lo que favorece la proliferación de malezas y reduce aún más la productividad.

Frente a este panorama, surge la necesidad de evaluar alternativas que mejoren la producción forrajera y, por ende, la productividad ganadera. Una de estas alternativas es el uso de diferentes tipos de fertilizantes: orgánicos, sintéticos y nano fertilizantes, con el objetivo de incrementar la producción de biomasa y la capacidad de carga animal. Este estudio busca demostrar que, mediante la aplicación adecuada de fertilizantes y la implementación de prácticas como la rotación de potreros y el análisis adecuado de suelos, es posible mejorar significativamente el rendimiento productivo de las praderas, particularmente las de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), en el municipio de Tipacoque, Boyacá.

Esta especie forrajera, propia de ambientes tropicales, presenta una alta adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región de estudio. Además, se seleccionó por su valor nutricional, ya que aporta nutrientes esenciales para la alimentación animal en zonas tropicales (Villalobos & Arce, 2013).

Por lo tanto, la finalidad de esta investigación es evaluar la productividad de las praderas d pasto estrella, mediante distintos tipos de fertilizantes. Se espera que los resultados permitan reducir los costos de producción, mejorar la eficiencia del uso del suelo y brindar herramientas técnicas que contribuyan a fortalecer la rentabilidad y sostenibilidad de los pequeños y medianos productores de la región.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos, sintéticos y nano fertilizantes sobre la productividad del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y estimar los costos asociados.

1.2 Objetivos específicos

Analizar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos, sintéticos y nano fertilizantes sobre la producción de biomasa y la calidad nutricional en praderas de *Cynodon nlemfuensis*.

Evaluar la eficiencia en el uso del nitrógeno derivado de la aplicación de los diferentes fertilizantes.

Estimar y comparar los costos de producción del forraje; bajo el uso de cada tipo de fertilizante.

2. Marco teórico

2.1 Marco referencial

El uso y manejo adecuado de las praderas constituye un componente esencial en los sistemas de producción pecuaria, ya que incide directamente en la eficiencia de la producción de biomasa y en la calidad nutricional de los forrajes destinados a la alimentación animal. De acuerdo con Vistoso y Martínez (2020), “las praderas requieren de condiciones adecuadas del suelo para su crecimiento y desarrollo, entre ellas una buena aireación, lo cual implica al menos un 10% de poros llenos de aire en el suelo”.

La viabilidad de un agroecosistema depende de múltiples factores; temperaturas, humedad, cambios bruscos de temperatura, condiciones físicas y químicas del suelo, por lo tanto, los fertilizantes orgánicos interactúan en la regulación de la microflora y microfauna del suelo actuando en su sinergia y equilibrio lo cual aumenta la producción del mismo. (Alvarez, 2023)

Es fundamental evaluar los niveles de compactación del suelo en función de las características edafoclimáticas de cada zona. Para ello, se requiere un análisis técnico que permita establecer los parámetros necesarios para mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de los forrajes, lo cual repercute directamente en la calidad de la dieta animal (Botero Londoño et al., 2019).

En el contexto de la producción lechera, el manejo eficiente de pastos y forrajes es determinante para garantizar una alimentación balanceada, satisfacer los requerimientos nutricionales del ganado y mejorar la rentabilidad del sistema productivo. Como señalan Valencia et al. (2020), “la producción de ganado en pastoreo se relaciona directamente con el desarrollo y

crecimiento de las pasturas, procesos influenciados por factores externos como el clima, los microorganismos, el manejo agronómico y las características del suelo”.

Uno de los principales desafíos en el manejo de praderas es la limitada adopción de tecnologías innovadoras que permitan tratarlas como cultivos agrícolas, lo cual se asocia, en parte, a creencias tradicionales de los productores (Juárez-Morales et al., 2017).

2.2 Problemas actuales

En los últimos años, el manejo de praderas ha mostrado avances gracias a la asistencia técnica brindada por profesionales del sector agropecuario. Sin embargo, persisten problemáticas relacionadas con la baja calidad nutricional de los forrajes, derivadas de prácticas inadecuadas como la falta de rotación de potreros, el uso ineficiente del agua y la sobrecarga animal por unidad de superficie (Lopez-Vigoa et al., 2017).

El crecimiento demográfico de la población mundial ha hecho que se piense en la expansión de fronteras agropecuarias el cual implica una producción rápida en la cosecha de alimentos por eso la estabilidad de la producción a futuro dependerá del manejo de la tierra que se puede cultivar pensando en los procesos de aceleración en los objetivos productivos. (Bhunja, 2021)

La fertilización de pastos implica un papel rentable para la producción de carne y leche no sin antes tener presente recursos de agua y nutrientes disponibles en el suelo para su desarrollo, esto teniendo en cuenta producir alimento para el ganado a bajos costos (Alvarez, 2023)

El mal manejo de las praderas puede provocar compactación del suelo, disminución de la productividad de biomasa y degradación de la cobertura vegetal. Según León (2000), “la

degradación de tierras puede entenderse como la acción de un conjunto de factores tanto de índole biofísico como antrópico, que desencadenan procesos de alteración de cualidades y características de la tierra, entendiendo dentro de este concepto al conjunto de suelos, coberturas vegetales, fauna asociada y dotaciones de agua que existen dentro de determinados paisajes fisiográficos”.

Para la producción de ganado vacuno se requiere de grandes cantidades de recursos naturales que pueden afectar de manera significativa los ecosistemas del medio ambiente siendo esta una preocupación latente ya que se habla de una alta producción de gases de efecto invernadero. (Ruggieri, 2020)

Para la producción de pastos para la alimentación de ganado en la actualidad se habla del pastoreo y la rotación de potreros el cual ayudan a minimizar un poco el impacto negativo en la producción de gases de efecto invernadero sin embargo es de anotar que los pastos son bajos en proteínas y por ende se debe determinar su tiempo de cosecha el cual estima su nivel máximo de proteína.

Además, este autor señala que “el suelo, el agua o los bosques, al igual que el petróleo o los yacimientos minerales, se convierten en recursos y fuentes de tensión en la medida en que afectan y son afectados por intereses económicos, políticos, científicos o militares” (León, 2000). En este sentido, la degradación de tierras puede manifestarse a través de procesos físicos como la erosión, la pérdida de cobertura vegetal y la desertificación, así como por fenómenos bioquímicos que afectan la calidad del suelo, tales como la pérdida de materia orgánica, la compactación y la lixiviación de nutrientes.

En las praderas, estos problemas se evidencian visualmente mediante la pérdida de cobertura vegetal, la erosión del suelo y el uso excesivo de agroquímicos como insecticidas y herbicidas, los cuales inhiben el crecimiento de pastos y forrajes. A ello se suma el crecimiento demográfico y la intensificación del uso de los recursos naturales, factores que han generado cambios significativos en los ecosistemas (Ferrer, 2024).

2.3 Manejo de praderas

El manejo adecuado de las praderas debe estar estrechamente vinculado a las características específicas de los cultivos de pastos y forrajes presentes en cada sistema de producción. Estos cultivos presentan requerimientos particulares según la zona agroecológica y las condiciones climáticas predominantes. Por ello, es fundamental considerar dichas variables al momento de aplicar fertilizantes, ya sean orgánicos, sintéticos o nano fertilizantes, con el fin de optimizar la producción de biomasa y garantizar un rendimiento forrajero de alta calidad (López-Vigoa et al., 2017).

Uno de los principales factores que afecta negativamente la productividad de las praderas es la compactación del suelo, la cual está directamente relacionada con la sobrecarga animal. El exceso de animales por unidad de superficie impide una adecuada oxigenación del suelo, lo que limita el desarrollo radicular de los pastos y reduce su calidad nutricional. En este contexto, se hace indispensable implementar prácticas de manejo que incluyan la rotación de potreros, el uso eficiente del recurso hídrico y el ajuste de la capacidad de carga, con el objetivo de preservar la estructura del suelo y mejorar la productividad forrajera (Botero Londoño, et al., 2019).

La mejora de los pastizales también contribuye a aumentar la resiliencia de los sistemas productivos, al favorecer la calidad del suelo y la biodiversidad, lo que permite enfrentar de manera más eficaz las perturbaciones tanto naturales como antrópicas (Bardgett et al., 2021; Huang & Hou, 2024). En este sentido, Cherlinka (2025) destaca que “la importancia del manejo y control de pastos radica en que mejora la salud y la sostenibilidad del ecosistema”. Al mismo tiempo, un sistema mal organizado provoca una invasión de malas hierbas, retrasa la recuperación del pasto forrajero y reduce la calidad. La renovación de los pastos puede resolver estos problemas temporalmente, pero para un desarrollo a largo plazo de la explotación, es mucho más eficaz optimizar las prácticas de manejo de pasto en el campo”.

“Para lograr un manejo eficiente de las praderas, es necesario realizar estudios y análisis de suelos que permitan conocer su estado de fertilidad. La observación del entorno, incluyendo, la vegetación y la actividad microbiana, proporciona información valiosa sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. En algunos casos, la implementación de cultivos de cobertura o cultivos previos puede ser una estrategia útil para mejorar dichas condiciones y preparar el terreno para una producción forrajera más eficiente”

El uso e incorporación de fertilizantes orgánicos implica un aumento en la producción de biomasa sino también una mejora significativa en el manejo eficiente de los suelos con la integración de microorganismos que generan equilibrio en el ecosistema, se debe tener en cuenta su aplicación sólida o líquida ya que esto implica su rapidez y absorción del mismo donde inciden directamente en los cambios de las propiedades físicas y químicas del suelo. (Alvarez, 2023).

2.4 Estudio de suelos

Tabla 1.

Palabras clave

CLAVES	
Alto	A
Medio	M
Bajo	B
No. Detectable	N. A
No. Analizado	N. A

Tabla 2.

Estudio de suelos

Nutriente	unidad	método	Clasificación
Fosforo	41,0	Ppm	A
Potasio	0,24	Meq/100g	M
Calcio	0,75	Meq/100g	M
Magnesio	1,53	Meq/100g	M
Aluminio		Meq/100g	N. A
Azufre	4,6	Ppm	B
Hierro	10	Ppm	B

Boro	0,28	Ppm	M
Cobre	3,25	Ppm	A
Manganeso	4,92	Ppm	B
Zinc	3,11	Ppm	M
Calcio	79	% Sat	A
Magnesio	18	% Sat	M
Potasio	2,9	% Sat	M
Ca/mg	4		M
Ca/K	28		M
Mg/K	6,3		B
(Ca + Mg) k	34		M
Calcio	79	% Sat	A
Magnesio	18	% Sat	M
Potasio	2,9	% Sat	M
pH	6		
CIC	8.52	Meq/100	B
N	0.25	%	A
M.O	5,02	%	A

2.5. Parámetros

A continuación, relacionamos los parámetros o indicadores encontrados en el análisis de suelos

PH relación 1:1 potenciómetro

Fósforo – titulación, reducción, ácido ascórbico

Nitrógeno – Walkley Black

CIC – Suma de bases

Azufre: S-SO₄ – Titulación, Cloruro de Bario

Conductividad Eléctrica, - Electrométrico, extracto de saturación

Cobre y Zinc, - Colorimétrico; Bicinconinato; Zincon

Hierro y Manganeso, - Titulación, Bipyridil, Periodato

Boro, - titulación, en extracto de saturación

Textura, - al tacto o Bouyucos según solicitud

3. Pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*)

El pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) se considera una gramínea de alta calidad nutricional. Aunque sea exigente en su requerimiento de nitrógeno, se adapta muy bien a climas cálidos y medios, desde los 0 m a los 2000 m.s.n.m. Tolera las sequías prolongadas, asimismo, los suelos anegados. Su establecimiento se puede hacer por semilla sexual o por material vegetativo y los periodos de descanso no deben ser prolongados, ya que pierde su calidad nutricional. En la ganadería, actualmente se emplean en sistemas silvopastoriles asociándolo con *Leucaena leucocephala*, aportando propiedades ligadas al control de erosión, producción de heno y pasto de corte (Peters et al., 2003)

Tabla 3.

Valores nutricionales del pasto estrella (Cynodon nlemfuensis).

Nutriente	Unidad de medida	Valor
Nitrógeno (N)	%	1.92
Fósforo (P)	%	0.31
Potasio (K)	%	1.61
Calcio (Ca)	%	0.58
Magnesio (Mg)	%	0.18
Azufre (S)	%	0.11
Cobre (Cu)	Ppm	13.74
Zinc (Zn)	Ppm	18.25
Magnesio (Mn)	Ppm	200.00
Hierro (Fe)	Ppm	8.46
Boro (B)	Ppm	8.46
Cloro (Cl)	%	0.48
Sodio (Na)	%	0.04

Cobalto (Co)	Ppm	38.25
<hr/>		
Yodo (I)	Ppm	38.25
<hr/>		
Selenio (Se)	Ppm	5.00

3.1 Fertilizantes

Los fertilizantes son sustancias utilizadas para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya sea aplicándolos al suelo o directamente sobre las hojas. Su función principal es aportar los nutrientes esenciales que las plantas requieren para aumentar su productividad (Corradini et al., 2010).

El uso indiscriminado de los fertilizantes químicos aumenta los riesgos de infertilidad y daños en el equilibrio ecosistémico de un determinado entorno ya que prevalecen microorganismos de crecimiento rápido siendo su principal hábitat la materia orgánica el cual esta rica en carbono. (Bhunja, 2021) los fertilizantes inorgánicos son de difícil degradación el cual implica la contaminación de fuentes de agua de escorrentía y subterráneas haciendo más difícil su degradación por parte de los microorganismos naturales, por lo cual afecta la calidad de los productos que se producen. (Bhunja, 2021)

Según su origen, los fertilizantes se clasifican en orgánicos, sintéticos e incluso nano fertilizantes. Los fertilizantes orgánicos provienen de materiales naturales como residuos vegetales o animales, mientras que los fertilizantes sintéticos son productos elaborados industrialmente con compuestos químicos de rápida disponibilidad para las plantas (Domínguez, 1997; Miranda, 2017).

Los fertilizantes Nitrogenados son los más usados por su alto rendimiento económico en la recuperación de pastos en periodos cortos de manera intensiva, el aumento de los costos de los fertilizantes que tienen esta base hace pensar sobre su sostenibilidad esto debido a sus impactos asociados y preocupaciones ambientales. (Langworthy, 2022)

El uso de la cantidad de nitrógeno en las plantas está directamente relacionado con su requerimiento haciéndolo de esta manera más eficiente evitando perdidas y problemas ambientales asociados a ello. (Adekiya, 2020) El uso de enmiendas orgánicas está relacionado a los cuidados y salud de los suelos al minimizar el uso de nitrógeno, debido a que ayudan a minimizar las perdidas ambientales aportando de esta manera a la agricultura orgánica. (Adekiya, 2020)

Las enmiendas orgánicas están relacionadas con orígenes que salen las producciones agrícolas o pecuarias siendo estas conocidas como vióles solidos o líquidos, compostajes, abonos verdes, residuos de cultivos o cosechas, siendo estos una fuente que portan no solo nitrógeno si no también otros minerales minimizando costos a corto, mediano y largo plazo. (Adekiya, 2020)

La aplicación de enmiendas y abonos implica que haya una activación de los microorganismos en el suelo ya que incorporan o fijan nitrógeno, carbono, potasio además de otros minerales que mejoran y aumentan la productividad. (Bhunja, 2021)

Los fertilizantes inorgánicos o sintéticos dan una solución de aumento de producción a corto plazo ya que estos vienen en específico con uno o varios compuestos químicos que sirven para corregir dicha deficiencia en el suelo al aplicarlos de forma individual o mezclada. (Adekiya, 2020)

La elección del tipo de fertilizante debe considerar su composición química, ya que esta determina tanto la dosis como la forma de aplicación más adecuada.

Cuando se habla de comparar fertilizantes orgánicos con fertilizantes inorgánicos los costos de producción se elevan en el uso de los inorgánicos o sintéticos lo cual a la larga representa que los suelos se vuelvan dependientes para el sostenimiento de la producción de biomasa siendo estos eficientes a corto plazo. (Adekiya, 2020) El uso de fertilizantes orgánicos en los próximos años será una práctica que se fomentará en las buenas prácticas de agricultura sostenible ya que su incorporación en los suelos brindará una mayor cantidad de ventajas en las mejoras de las características del suelo a largo plazo siendo este un factor clave desde lo económico y lo ambiental. (Adekiya, 2020)

3.1.1 fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos son productos derivados de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal, comúnmente utilizados por los productores agropecuarios como una alternativa económica para mejorar la calidad de las praderas. Su aplicación debe estar relacionada en un análisis previo del suelo, ya que la composición de estos abonos varía considerablemente y, por tanto, influye en la cantidad y tipo de abono requerido para optimizar la eficiencia de los cultivos forrajeros y garantizar la rentabilidad del sistema productivo.

Según Ramos y Terry (2014), “los abonos orgánicos constituyen un elemento crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola; son bien conocidas sus principales funciones, como sustrato o medio de cultivo, cobertura o mulch, mantenimiento de los niveles originales de materia orgánica del suelo y complemento o reemplazo de los fertilizantes

de síntesis”. Este último aspecto reviste gran importancia, debido al auge de su implementación en sistemas de producción limpia y ecológica”.

Asimismo, los autores definen el abono orgánico como “el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales transforman los residuos en compuestos beneficiosos que aportan nutrientes al suelo y, por ende, a las plantas”. Este proceso, que puede ser aeróbico o anaeróbico, es controlado y acelerado para obtener un producto estable de alto valor como mejorador del suelo” (Ramos & Terry, 2014).

Estos fertilizantes, tanto líquidos como sólidos, se caracterizan por su alto contenido de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales macro y micronutrientes. La cantidad aplicada influye directamente en la calidad nutricional del forraje, así como en las propiedades físicas y químicas del suelo. Entre estas se incluyen el pH, la capacidad de retención de agua, la estructura del suelo, la conductividad hidráulica y la disponibilidad de minerales para las plantas.

La sostenibilidad de un sistema de producción forrajera está estrechamente relacionada con el manejo adecuado de los fertilizantes, independiente del tipo. Su aplicación puede mejorar parámetros clave del suelo como el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de aluminio y la disponibilidad de nutrientes. No obstante, es fundamental considerar la relación suelo-planta-animal y realizar un análisis costo-beneficio que garantice la viabilidad económica del sistema (Murillo, 2020).

3.1.2 Nanofertilizantes

Los nano fertilizantes representan una innovación tecnológica significativa en el ámbito agrícola, al permitir una liberación más eficiente y controlada de nutrientes esenciales para las plantas. Estos fertilizantes se desarrollan a partir de nanomateriales que, debido a su tamaño reducido y alta relación superficie-volumen, pueden atravesar fácilmente los poros de las raíces y hojas, facilitando así una absorción más efectiva (Zulfiqar et al., 2019).

Una de las principales ventajas de los nano fertilizantes es su capacidad para liberar nutrientes de manera lenta y sostenida, lo que mejora su aprovechamiento por parte de las plantas y reduce las pérdidas por lixiviación o volatilización. Esta característica contribuye a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, promoviendo un crecimiento vegetal más vigoroso y sostenible (Raliya et al, 2018).

Los nano fertilizantes se clasifican en diversas categorías, entre ellas: suplementos a nano escala (nanopartículas con nutrientes), aditivos a nano escala y fertilizantes recubiertos con nanopartículas. En su formulación se han empleado distintos tipos de nanomateriales, como nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2), nanotubos de carbono (CNTs) y zeolitas, entre otros. Estas combinaciones han dado lugar a nanocompuestos con propiedades mejoradas para la agricultura (Dhir, 2021).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de nanopartículas como TiO_2 , SiO_2 y CNTs favorece el crecimiento vegetal. Por ejemplo, las semillas tratadas con TiO_2 presentan un aumento en el contenido de clorofila, lo que se traduce en una mayor capacidad fotosintética y, por ende, en una mayor producción de biomasa. Esta mejora en la eficiencia fotosintética se refleja

en un rendimiento superior en órganos vegetales como hojas, granos, tubérculos, bulbos, tallos y fibras (Dhir, 2021).

Además, el incremento en la disponibilidad de nutrientes mediante el uso de nanopartículas ha mostrado efectos positivos en parámetros de calidad agrícola, como lo evidencian los resultados obtenidos con tratamientos basados en TiO_2 (Negi et al., 2021).

En la actualidad, la Universidad Industrial de Santander participa activamente en proyectos de investigación enfocados en el uso de tecnologías emergentes como los nano fertilizantes y su influencia en la recuperación de suelos y praderas. Estas investigaciones evalúan, además, el impacto ambiental de estas tecnologías. Dichos estudios se desarrollan en el municipio de Málaga, en el departamento de Santander, Colombia.

4. Metodología

4.1 Área de estudio

Los estudios fueron realizados en la vereda El Palmar, ubicada en el municipio de Tipacoque, Boyacá; en la finca El Molino del sector El Perico. Esta finca cuenta con; una extensión de 12 hectáreas y está localizada en las coordenadas $6^{\circ}24'55.05''\text{N}$, $72^{\circ}50'40''\text{W}$, a 1928 msnm (Google Earth). Su topografía es semiplana, con pendientes que oscilan entre el 3 % y el 5 %, aunque en algunas zonas es completamente plana. Esta característica es notable, considerando que la región se caracteriza por su geografía predominantemente montañosa.

Ilustración 1.

Foto satelital de ubicación de la finca en Tipacoque Boyacá.



Nota. Tomado de Google Earth.

Ilustración 2.

Área seleccionada para el desarrollo del estudio.



Nota. Tomada de Google Earth.

Actualmente, la finca tiene un enfoque de producción doble: por un lado, el cultivo de durazno de la variedad Gran Jarillo Rojo, y por otro, la actividad ganadera. El durazno se encuentra sembrado en las áreas de mayor pendiente, con inclinaciones de hasta un 40 %. Antes de establecer los cultivos actuales, en la finca se desarrollaron otros sistemas agrícolas, incluyendo cultivos de tabaco, maíz, frijol y tomate bajo invernadero, entre otros.

La aplicación del estudio comenzó con la selección y definición del área a trabajar, la cual se realizó en agosto del año 2025, donde días atrás se habló con el propietario, el cual nos dio de primera mano un estudio de suelos que fue hecho con anterioridad ya que se planeaba hacer siembra de durazno en el 100% de la finca, idea de la cual desistieron de trabajar con ganadería. En esta finca ya se encuentra establecido el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) junto con algunas brachiarias, el suelo descrito en el estudio realizado fue de pH 6, el área a manejar está descubierta, por lo que hay una alta radiación solar.

Durante la selección del terreno se pudo observar que el pasto se encontraba asemillado y en el lugar ya pastoreaban animales con una rotación de potreros que ellos tenían estipulada sin ningún tipo de fertilización lo que lleva a tener una recuperación más lenta para la producción de forrajes, después de la selección se realizó el encerramiento demarcación de los tratamientos con el área respectiva de 4m² por tratamiento, teniendo las áreas se realizó la aplicación del diseño experimental en campo identificando la ubicación de los diferentes tratamientos y sus réplicas donde se aplicarían los fertilizantes sintéticos, nanopartículas y fertilizantes orgánicos. Cabe mencionar que este estudio se desarrolla en un ambiente no controlado, donde se tienen en cuenta variables como precipitaciones y radiación solar.

4.2 Análisis de suelos

Tabla 4.

Variables a tener en cuenta en el estudio de suelos.

Análisis de suelos			
Análisis	unidad	Valor	Clasificación
pH	pH	6.2	Ligeramente ácido
Materia orgánica	%	5.11	Ligeramente alto
Potasio	Meq/100g	0.14	Bajo
Fosforo	ppm	12	Bajo
Magnesio	Meq/100g	0.82	Bajo
Azufre	ppm	4.2	Bajo
Calcio	Meq/100g	6.4	Alto
CIC	Meq/100g	7.4	Bajo

5. diseño y tratamientos experimentales

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con 8 tratamientos, 4 réplicas por tratamiento y 4 cortes experimentales, para un total de 32 unidades experimentales. Cada unidad experimental tendrá un área de 1 m².

La elección del DCA se justifica por la homogeneidad del área experimental. El terreno tiene la misma vegetación, no presenta pendiente, ni gradientes evidentes de humedad u otros factores que se puedan introducir variabilidad adicional. En consecuencia, no se identifican fuentes de variación conocidas que deban ser controladas mediante bloques u otros diseños más complejos. Adicionalmente, para minimizar el efecto borde, no se tomarán datos de las unidades experimentales ubicadas en los márgenes del área de estudio. Por otro lado, se verificará que los tratamientos, además de estar completamente aleatorizados, queden intercalados espacialmente.

5.1 Tratamientos experimentales

- Tratamiento control: sin uso de fertilizantes
- Tratamiento con bovinaza
- Tratamiento con caprinaza
- Tratamiento con fertilizante sintético
- Tratamiento control: sin uso de fertilizantes + nanopartículas
- Tratamiento con bovinaza + nanopartículas
- Tratamiento con caprinaza + nanopartículas
- Tratamiento con fertilizante sintético + nanopartículas

5.2 formulación de fertilizantes

La formulación del fertilizante se realizó con base en el análisis de suelos y en el requerimiento nutricional del forraje. En el caso de los tratamientos con fertilizantes orgánicos, se consideró especialmente el aporte de nitrógeno. El área destinada para este análisis es de 128 m².

Tabla 5.

Formulación de fertilizantes.

Fertilizante	Nutrientes aplicados					
	N	P	K	Mg	S	
	gr aplicados					
Sintético	25	7.50	0.87	1.66	0.30	0.75
Bovinaza	577	7.50	1.85	9.40	1.21	1.04

Caprinaza	500	7.50	2.05	8.55	1.10	1.05
-----------	-----	------	------	------	------	------

5.3 Análisis de la composición mineral de los fertilizantes orgánicos

Tabla 6.

Composición química de los fertilizantes.

Fertilizante	Composición química					
	N	P	K	Mg	S	
Sintético	30	3.49	6.64	1.21	3	
Bovinaza	1.3	0.32	1.63	0.21	0.18	
Caprinaza	1.5	0.41	1.71	0.22	0.21	

Nota: tomado del laboratorio de reconversión ganadera, de la sede UIS Málaga.

5.4.1 Muestreo y aplicación de los fertilizantes

La fertilización se realizó en función de los requerimientos nutricionales del cultivo mediante el análisis de los suelos. Inicialmente se efectuó un corte de homogeneidad a 20 cm del suelo. Posteriormente, se aplicaron los tratamientos y se llevaron a cabo 4 cortes experimentales con intervalos de 20 días.

5.4.2 Producción de biomasa

La producción de biomasa se determinó cuantificando el peso en base fresca obtenido por unidad experimental en cada cosecha, y a partir de este, se calculó la biomasa seca usando el método de porcentaje de materia seca (MS). Los resultados se extrapolan para reportar la producción por m², por hectárea (ha) y por ha-año.

5.5 Composición bromatológica del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*)

Tabla 7.

Variables a evaluar del pasto estrella.

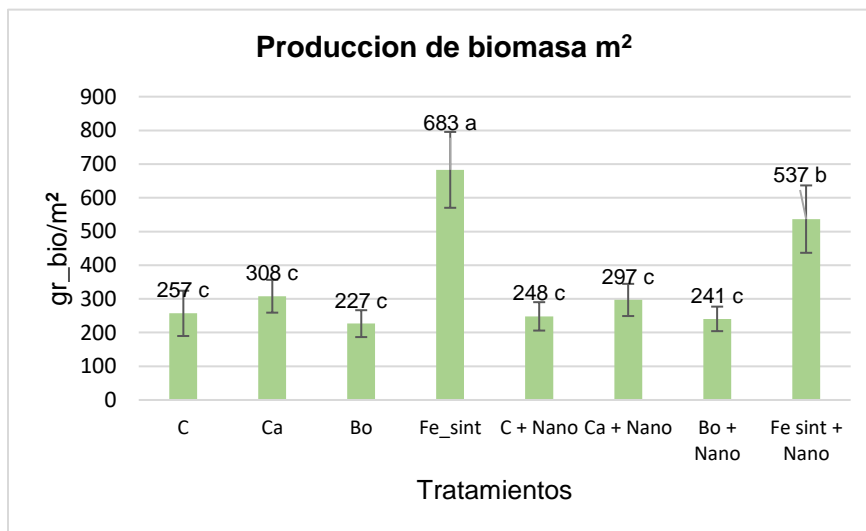
Estrella	Contenidos foliares	Biomasa Kg/MS/ha/año	Absorción
N %	1.92	26280	504.58
P %	0.33	26280	86.72
K %	1.82	26280	478.30
Ca %	0.38	26280	99.86
Mg %	0.46	26280	120.89
S %	0.12	26280	31.54
Cu ppm	17.22	26280	0.45
Zn ppm	36.24	26280	0.95
Mn ppm	369.25	26280	9.70
Fe ppm	82.33	26280	2.16
B ppm	11.23	26280	0.30

5.6 Análisis estadístico

Las variables experimentales fueron sometidas a un análisis de varianza ANOVA y siempre que haya diferencias ($p < 0.05$) se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey para la separación de medias incluida en el programa estadístico R-Project.

Ilustración 3.

Producción de biomasa por m²

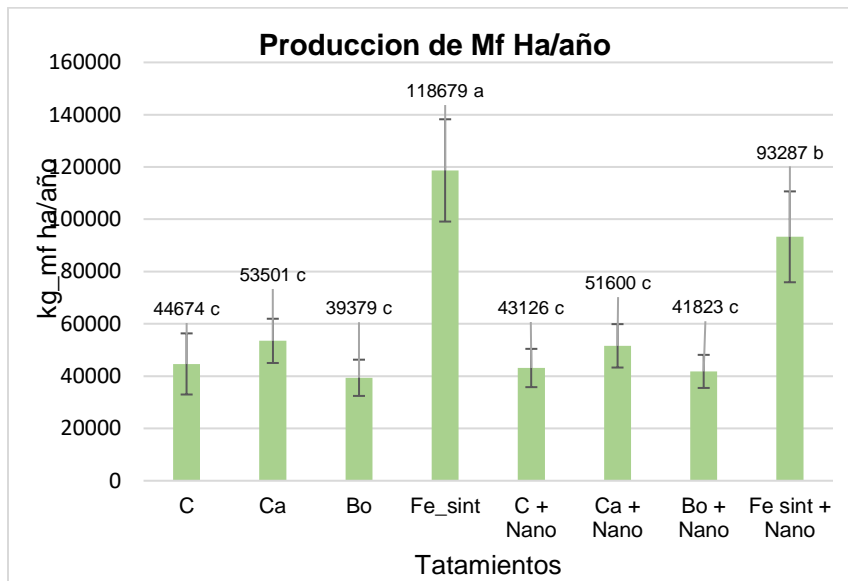


En la gráfica 1 encontramos resultados donde se destaca el rendimiento producción de biomasa por m² siendo más eficiente la producción de forraje con la aplicación del fertilizante sintético y fertilizante sintético más nanopartículas, esto se debe a la recuperación rápida que se dan en periodos cortos. Donde hay una desviación estándar de 146 gr entre los tratamientos mencionados encontrando una disminución del 21.4%, aunque prevalece su alta producción. En los demás tratamientos se observa un aumento en su producción, aunque esta es más lenta por el manejo al ser incorporada la materia orgánica. En la gráfica encontramos una mayor producción en el tratamiento con caprinaza en relación a la aplicación del tratamiento de caprinaza más nanopartícula, siendo una disminución de 11 gr en el tratamiento que lleva las nanopartículas, teniendo una disminución del 4%. Encontramos un aumento en el tratamiento de la bovinaza más nano partículas a diferencia de la bovinaza individual siendo esta un aumento de 14 gramos siendo el equivalente un porcentaje del 6%.

Al comparar la aplicación entre fertilizantes destacamos una mayor producción de biomasa por m² con el fertilizante sintético siendo de 375 gr por m² (55. %) en comparación con la caprinaza y 456 gr por m² (77%) más que la bovinaza, en la ponderación de los otros tratamientos encontramos que hay un aumento destacándose mucho más el fertilizante químico en su aplicación individual o combinada

Ilustración 4.

Producción de materia fresca hectárea año (Mf/Ha/año)



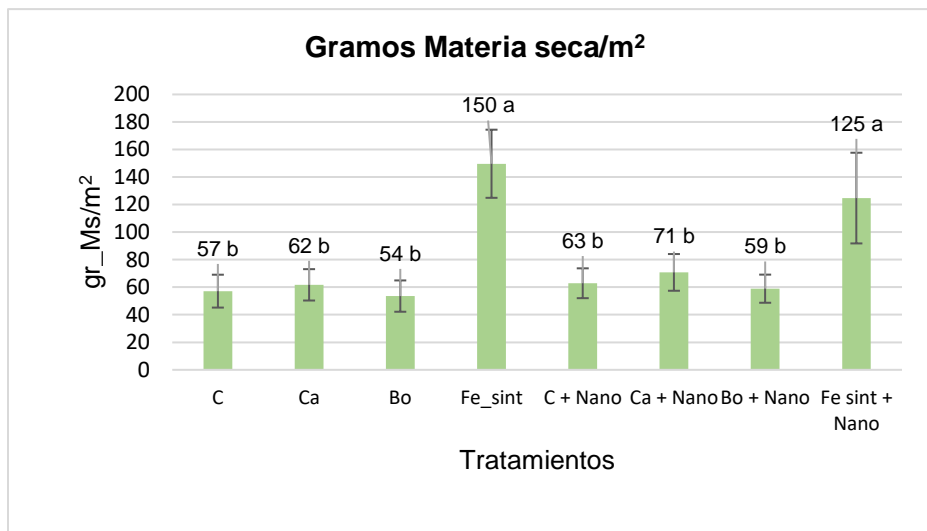
En esta grafica de producción de Materia fresca hectárea año (Mf/ha/año) se encontró una desviación en los tratamientos de fertilizante sintético y fertilizante sintético más nanopartícula siendo altamente productivos los dos tratamientos, teniendo en cuenta que el tratamiento de fertilizantes sintético fue el de mayor producción en relación al segundo tratamiento mencionado la disminución en la producción Mf/ha/año fue de 25.392 kg siendo una disminución del 21.4%. En los demás tratamientos observamos una leve disminución entre ellos siendo un poco menor la producción Mf/ha/año. En el caso de la caprinaza se observa una disminución de 1901 kg de Mf/ha/año en comparación con el tratamiento de caprinaza más nanopartícula. Siendo un equivalente del 5.6% su disminución. En los tratamientos con bovinaza hubo un aumento en el tratamiento de bovinaza más nano partícula en comparación a la sola bovinaza siendo esta de 2444 Mf/ha/año estando en un 5.9% su diferencia.

En la producción de Mf/ha/año encontramos que el fertilizante sintético produce 65178 kg (55%) más que con la aplicación de la caprinaza y 79300 kg (77%) más que con la aplicación

de la bovinaza. Al revisar en comparación con las nanopartículas este aumenta de manera gradual lo que implica una mayor producción.

Ilustración 5.

producción gramos de biomasa por m²



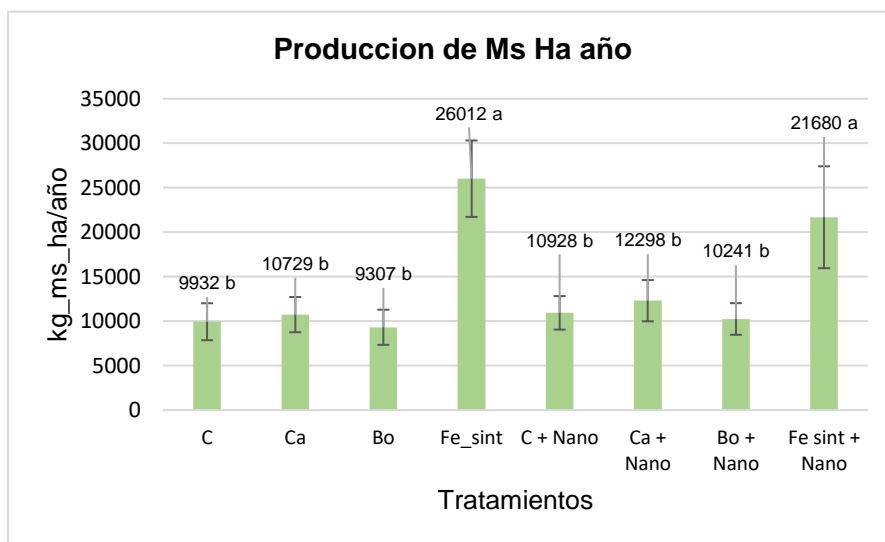
La producción de materia seca por m² se muestra en la siguiente grafica siendo más productivo la aplicación de fertilizante sintético en comparación con el de fertilizante sintético más nanopartículas con una diferencia o desviación de 25 gr por m² siendo un 16,7% su disminución. En los fertilizantes de caprinaza aumento 9 gr en la aplicación de caprinaza más nanopartículas considerando su porcentaje de 12.5% entre dichos tratamientos. En los tratamientos de bovinaza encontramos un aumento de 5 gr siendo superior el de bovinaza más nano partículas con un equivalente de 8.5% de diferencia en comparación a la bovinaza sola.

En la comparación de los fertilizantes encontramos que el fertilizante sintético produce 88 gr ms por m² (48,7%) en comparación con la caprinaza, al evaluar el mismo fertilizante

encontramos que produce 96 gr más por m² (64%) en comparación con la bovinaza, al evaluar el comportamiento en la aplicación de nanopartículas esta cantidad aumenta de manera gradual a su aplicación.

Ilustración 6.

Producción de materia seca hectárea año Ms/Ha/año.



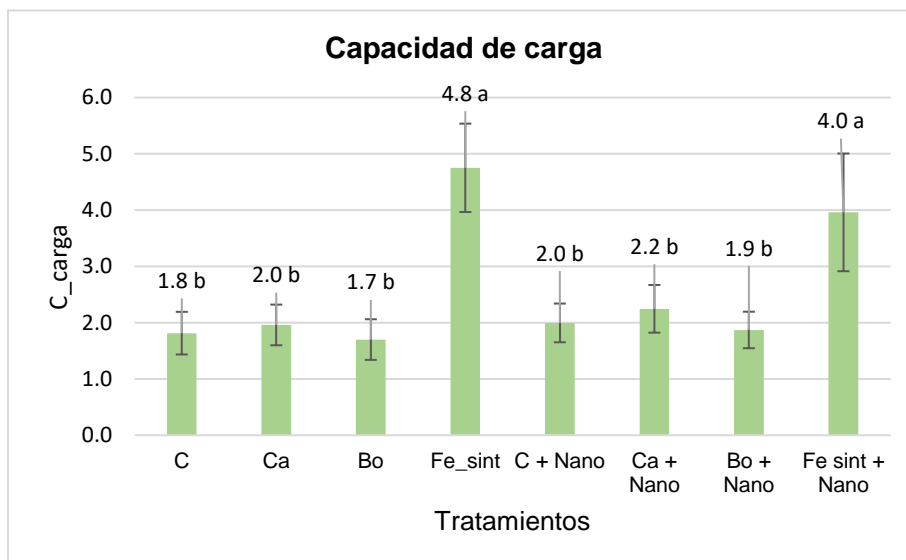
La producción de materia seca por hectárea año se (ms/ha/año) muestra en la siguiente gráfica, obteniendo resultados significativos entre tratamientos observando un aumento en materia seca en la aplicación de fertilizante sintético en comparación del mismo fertilizante más nano partículas, su disminución fue de 4332 ms/ha/año encontrando un 16.7% de desviación. En los tratamientos de caprinaza hubo un aumento en el tratamiento de caprinaza más nano partículas teniendo los siguientes datos 1569 kg ms/ha/año teniendo un porcentaje del 12.8% entre dichos tratamientos. En los tratamientos con bovinaza hubo un aumento de 934 kg ms/ha/año en el de bovinaza más nano partículas encontrando un porcentaje de 9.2% de diferencia. Cabe mencionar

que los tratamientos control en todos hubo una diferencia significativa cuando se aplicó la nanopartícula.

En la comparación entre fertilizantes encontramos que el fertilizante sintético produce 15283 kg (48.8%) por hectárea más que la caprinaza, en comparación del fertilizante químico encontramos que produce 16705 kg (64.3%) más que la bovinaza respectivamente y que a manera general cuando se aplica la nanopartícula hay un aumento gradual el cual se explica en la gráfica.

Ilustración 7.

Capacidad de carga por tratamiento.



En la capacidad de carga encontramos los siguientes datos donde al aplicar los fertilizantes sintéticos individuales o con nanopartículas aumenta la cc animal por ha año en comparación con los otros tratamientos de caprinaza y bovinaza que tiene un aumento un poco menor si se hace una comparación general de todos los tratamientos siendo 4.8 unidades gran ganado en el tratamiento con fertilizante y de 1.8 en el tratamiento control, 1,7 unidades gran ganado con bovinaza, 2

unidades gran ganado con caprinaza, cuando se le aplica la nanopartícula aumentan de una unidad por tratamiento.

En el anterior análisis se puede observar que hay diferencia significativa en los tratamientos de fertilización química y fertilización química más nanopartículas, lo que quiere decir que su valor está por debajo de 0,05 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. En los tratamientos con fertilización orgánica no se presenta diferencia significativa por lo que esta es mayor a 0,05 aceptando su hipótesis, cabe mencionar que en los tratamientos de fertilización orgánica no se observa una diferencia significativa porque su recuperación por el fertilizante es un poco más lenta y en estos cuatro cortes no se pudo observar

6. Resultados y discusión

6.1 Primer corte

Se realizó un corte de forraje general del área con el fin de determinar su altura para la aplicación del estudio. Al aplicar los fertilizantes en el primer corte, durante el proceso se observó la recuperación del forraje en la cual mostró un aumento en la producción de hojas, cambio de color, aumento en la producción de semilla, y disminución del estolón, no se realizó riego durante los primeros 20 días ya que se presentaron lluvias al corte inicial, en la cual se determinó una regulación de fertilizante en el suelo, aunque este haya sido formulado en base al requerimiento

nutricional del forraje y el estudio de suelos. Se destaca una alta producción de biomasa en el los tratamientos con fertilizante orgánico y fertilizante sintético más TIO₂, en los tratamientos con materia orgánica hubo menos producción de biomasa. (Valle Lopez, 2019)

6.2 Segundo corte

En este corte se logró apreciar un aumento en la producción de biomasa en todos los tratamientos, aunque siempre fue superior la producción en el de fertilizante sintético, disminución de semilla, aumento en la coloración de los pastos en los tratamientos, disminución del estolón, también se presentaron algunas precipitaciones de lluvia durante los 20 días previos al realizar el corte, es notable la diferencia en la producción de biomasa según los tratamientos. (Valle Lopez, 2019)

6.3 Tercer corte

En este corte se evidenció la disminución en la producción de biomasa en algunos tratamientos, ya que algunos días fueron bastante soleados, se aplicaron riegos, pero aun así se disminuye, la coloración se mantuvo, se observó un gran remanente de hojas nuevas en el forraje en la cual se evidenció la disminución de semilla. (Valle Lopez, 2019)

6.4 Cuarto corte

En este corte se evidenció el aumento en la producción de biomasa significativamente, se sigue manteniendo la coloración, se mantuvo la producción de semillas, aunque se presentaron mayores precipitaciones. Cabe mencionar que se realizaron aforos con el fin de conocer el peso en la recolección de cada los datos de cada tratamiento ya que se tomaba por m² el peso en gramos

obtenidos en cada tratamiento para realizar las comparaciones respectivas. El aumento es considerable al igual que en los anteriores cortes sobre todo en los tratamientos de fertilizante sintético. (Valle Lopez, 2019)

Se tomaron los datos de materia seca esto con el fin de determinar la producción por m², por hectárea de igual manera para determinar su rendimiento, humedad y calidad nutricional, dicha materia se tomaron datos por cada corte, en lo cual indica diferencias encontradas en los intervalos en los cuales se determinaron cada 20 días entre cada corte, esto asumiendo una rotación de esos días en la finca.

Cabe mencionar que después de cada corte se realizó la aplicación de los fertilizantes mencionados (bovinaza, caprinaza, nanopartículas, y abono químico para pastos) esto con el fin de medir la eficiencia de estos durante la recuperación en los 20 días de intervalo.

5.7 Estimación de costos

Los costos asociados en la recuperación de la pradera se asociaron y analizaron de acuerdo con todos los insumos y gastos operativos implicados durante el proceso de la aplicación, como lo son, costos de fertilizantes (orgánicos, químicos y nano fertilizantes), transporte, mano de obra y uso de herramientas. Se utilizaron datos de los valores disponibles en el mercado, realizando un análisis de costo-beneficio por tratamiento, relacionándolos con la producción de biomasa obtenida. Los resultados se expresaron en términos de costo por hectárea y unidad de producción de biomasa.

Tabla 8.

Estimación de costos del estudio.

Ítem	Cantidad/kg	Precio unitario	Precio total
Hoz	2	\$ 27,000	\$ 54,000
Caprinaza	12	\$ 750	\$ 9,000
Bovinaza	13.8	\$ 500	\$ 6,900
Fertilizante sintético	0.6	\$ 3,500	\$ 2,100
Nano partículas (Tio ²)	0.064	\$ 20,000	\$ 1280
Bolsas	128	\$ 200	\$ 25,600
Malla	100	\$ 900	\$ 90,000
Mano de obra	8	\$ 40,000	\$ 320,000
Varios	1	\$ 50,000	\$ 50,000
			\$ 558,560

Tabla 9.

Costos fertilizantes por hectárea.

	Kg/M2	Costo m2	Costo kg	Kg/ha	Costo Ha
Caprinaza	0.5	\$ 375	\$ 750	5.000	\$ 3,750,000
Bovinaza	0.57	\$ 289	\$ 500	5.700	\$ 2,850,000
Fertilizante sintético	0.025	\$ 88	\$ 3.500	250	\$ 875,000
Nanopartículas (tio ²)	0.001	\$ 20	\$ 20.000	10	\$ 200,000

Al revisar el análisis de costos encontramos que es más eficiente y económico el uso de fertilizantes químicos por su rápida recuperación y por la baja cantidad de fertilizante que se requiere por metro cuadrado en comparación con los fertilizantes orgánicos el cual implica un aumento significativo en los costos y su aplicación en la cantidad por hectárea, en la tabla anterior podemos apreciar la estimación de los costos por m² y por hectárea.

Cabe destacar que la aplicación de fertilizantes químicos y/o orgánicos deben ser sujetos a los requerimientos nutricionales de los pastos y al estudio de suelos con el fin de evitar un exceso en su uso haciendo que estos se degraden más rápido.

7. Conclusiones.

Podemos decir que el uso de fertilizantes químicos formulados en base al requerimiento nutricional de los pastos y el estudio de suelos muestra una gran eficiencia en la recuperación de las praderas en periodos cortos marcando una diferencia significativa en la producción de biomasa a corto tiempo, siendo sus costos menores, por eso se debe manejar recuperaciones a periodos cortos en las rotaciones.

La recuperación de los pastos es más lenta con la aplicación de fertilizantes orgánicos ya que estos tienen un efecto en un tiempo prolongado, estos cuentan con otros minerales que dan aportes en la nutrición de los suelos.

El uso de fertilizantes orgánicos a futuro promete ser una práctica de recuperación de praderas y cultivos ya que aporta diferentes nutrientes en la recuperación de los suelos sin embargo se debe tener en cuenta que se deben alternar con los fertilizantes químicos para una mayor eficiencia, así como la conservación de diversos microorganismos que habitan estos micro ecosistemas a largo plazo.

En el uso de los nano fertilizantes TiO_2

muestran mayor eficiencia cuando se aplican en combinación con los fertilizantes sintéticos en comparación que son más demorados en su eficiencia al aplicarlos en combinación con fertilizantes orgánicos.

Los costos en la aplicación de los fertilizantes son elevados cuando no se manejan estudios de suelos y se desconocen el estudio de suelos.

8. Recomendaciones

Realizar la planificación de praderas teniendo en cuenta el pasto establecido ya que de este depende los días de rotación y la cantidad de fertilizante a utilizar, de igual manera se reducen costos ya que se aplica los gramos en con el mineral específico en su deficiencia.

Tener en cuenta la planificación del recurso hídrico ya que los fertilizantes tienen una mayor eficiencia con la cantidad de agua aplicada o si es temporada seca o lluviosa.

Referencias Bibliográficas

- Botero Londoño, Julián Mauricio, Gómez Carabalí, Arnulfo, & Botero Londoño, Mónica Andrea. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(3), 789-800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>
- Cherlinka, V. (2025). *Prácticas agrícolas*. EOS data analytics. Retrieved 03 20, 2025, from <https://eos.com/es/blog/manejo-de-pastos/>
- Díaz Pérez, C. N. (2020, 05 31). *Carlos Nelson Díaz Perez*. Tipacoque Avanza 2020-2023. Retrieved 03 20, 2025, from https://ccduitama.org.co/wp-content/uploads/2020/12/16387_plan-de-desarrollo-tipacoque-avanza-2020-2023-ok.pdf
- Dhir, B. (2021). Nanofertilizers and Their Applications. In *New Frontiers of Nanomaterials in Environmental Science* (pp. 229–241). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9239-3_10
- Ferrer, J. L. (2024). Las praderas y pastizales del mundo, amenazados: el 50% ya están degradados. *INFORMACIÓN*. <https://www.informacion.es/medio-ambiente/2024/06/07/praderas-pastizales-mundo-amenazados-50-103467956.html>
- Huang, X., & Hou, F. (2024). Principle, technique and application of grassland improvement. *Journal of Environmental Management*, 369, 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724022503>
- Juarez-Morales, M., Arriaga-Jordán, C. M., Sanchez- Vera, E., Garcia-Vilegas, J. d. D., Rayas-Amor, A. A., Reman, T., Dorward, P., & Martinez-Garcia, C. G. (2017). Factores que influyen en el uso de praderas cultivadas para producción de leche en pequeña escala en el altiplano central mexicano. *Scielo Revista mexicana de ciencias pecuarias*, vol 3.

- Miranda, E. (2017). Síntesis y evaluación de la eficiencia de nano fertilizantes fuente de fósforo. *Montecillo, Texcoco, edo. de México.*, 1. Retrieved 03 20, 2025, from file:///C:/Users/usuario/Downloads/Miranda_Villagomez_E_DC_Edafologia_2017.pdf
- Murillo, O. G. (2020). *Fertilizantes minerales orgánicos: Una estrategia sostenible para mejorar las pasturas en el trópico*. Abonamos. Retrieved 03 22, 2025, from <https://www.abonamos.com/blog/2020/11/9/fertilizantes-mineral-orgnicos-una-estrategia-sostenible-para-mejorar-las-pasturas-en-el-trpico>
- Producción y Consumo Sostenible. (2016). *Producción y Consumo Sostenible*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved 03 20, 2025, from <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/produccion-y-consumo-sostenible/>
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n4/ctr07414.pdf>
- Valencia, N., Elejalde, J. C., Giraldo, A., Mejia, S., & Lopera, F. (n.d.). Evaluación de la producción de biomasa y recuperación del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), en una lechería intensiva bajo diferentes estrategias de fertilización.
- Vistoso, & Martínez. (2020). Importancia del subsolado como práctica de manejo de praderas. *SIDALAC*, 1. N° 260
- Y., O. R. (n.d.). *Establecimiento y manejo de praderas*. Biblioteca Digital INIA. Retrieved 03 22, 2025, from <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/b384149a-5f7c-4052-bda7-cf20116dcb4d/contenthttps://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/b384149a-5f7c-4052-bda7-cf20116dcb4d/content>

- León, T. (2000). Relaciones agricultura – ambiente en la degradación de tierras en Colombia. *Revista Dinero*, 1.
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2003). Especies Forrajeras Multipropósito Opciones para Productores del Trópico Americano. *semillano*, 24.
- Villalobos, L., & Arce, J. (2013). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. *Scielo*, 1.
- Buitrón, Y., Romero, C., Pardo, C., Mendoza, M., Cobos, C., & Niño, M. (2023). *Reflexiones-de-los-Proyectos-de-Jovenes-Investigadores-e-Innovador*.
- Negi, S., Singh, K., & Batoye, S. (2021). *Environmental Pollution, Its Causes and Impact on Ecosystem*.
- Reyes, M. L. (2000). Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *scielo*, *volumen 13* (Numero 22).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-39252001000200003&script=sci_arttext
- Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C., & Biswas, P. (2018). Nanofertilizer for Precision and Sustainable Agriculture: Current State and Future Perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26), 6487–6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>
- Santiago, A. D., Maya, V., Bordón, J., & Murillo, M. (2022). Efecto del manejo de los pastos y el ganado sobre indicadores de calidad del suelo en una dehesa extremeña. *Sociedad de ciencias agrarias de Portugal*, 458-462. https://www.researchgate.net/profile/Ana-De-Santiago-2/publication/366987337_Efecto_del_manejo_de_los_pastos_y_el_ganado_sobre_indica

[dores_de_calidad_del_suelo_en_una_dehesa_extremena/links/640f082092cfd54f84f8aba
b/Efecto-del-manejo-de-los-pastos-y-el-gana](https://doi.org/10.1016/j.sci.2017.02.001)

Lopez-Vigoa, O., Sanchez- Santana, T., Iglesias- Gomez, J. M., Lamela- Lopez, L., Soca- Pérez, M., Arece- Garcia, J., & Milera- Rodrigues, M. D. L. C. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *scielo*, vol. 40 núm. 2 (Matanzas).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000200001&script=sci_arttext&tl

Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270.

<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270>

Adekiya, E. O. (2020). Diferentes fuentes de abono orgánico y fertilizante NPK influyen en las propiedades químicas del suelo, el crecimiento, el rendimiento y la calidad del quimbombó. *scientific reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-73291-x>

Alvarez, R. S. (2023). Efectos de la fertilización orgánica en la producción de biomasa en pastizales de *Urochloa* spp. y en las propiedades biológicas y físicas del suelo en la región amazónica colombiana. *Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.3390/su152115217>

Bhunja, B. M. (2021). Eficiencia agronómica de los fertilizantes orgánicos derivados de animales y sus efectos sobre la biología y la fertilidad del suelo: una revisión. *Agronomia*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>

Langworthy, C. R. (2022). Valor de fertilización nitrogenada del compost y del estiércol seco en suelos con historiales contrastantes de fertilización nitrogenada sintética. *Grass and forage science*. <https://doi.org/10.1111/gfs.12593>

- Ruggieri, C. O. (2020). Impacto de la intensidad del pastoreo en la masa vegetal, la estructura del pastizal, las emisiones de gases de efecto invernadero y el rendimiento animal: análisis de *Brachiaria Pastureland*. *Agronomia*. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>
- Adekiya, E. O. (2020). Diferentes fuentes de abono orgánico y fertilizante NPK influyen en las propiedades químicas del suelo, el crecimiento, el rendimiento y la calidad del quimbombó. *scientific reports*.
- Alvarez, R. S. (2023). Efectos de la fertilización orgánica en la producción de biomasa en pastizales de *Urochloa* spp. y en las propiedades biológicas y físicas del suelo en la región amazónica colombiana. *Sostenibilidad*.
- Bhunia, B. M. (2021). Eficiencia agronómica de los fertilizantes orgánicos derivados de animales y sus efectos sobre la biología y la fertilidad del suelo: una revisión. *Agronomia*.
- council, T. d. (s.f.). Titanium Dioxide Manufacturers association .
- Langworthy, C. R. (2022). Valor de fertilización nitrogenada del compost y del estiércol seco en suelos con historiales contrastantes de fertilización nitrogenada sintética. *Grass and forage science*.
- RAE. (s.f.). *Diccionario de la lengua española*.
- Ruggieri, C. O. (2020). Impacto de la intensidad del pastoreo en la masa vegetal, la estructura del pastizal, las emisiones de gases de efecto invernadero y el rendimiento animal: análisis de *Brachiaria Pastureland*. *Agronomia*.
- Tipacoque, A. m. (s.f.). Alcaldía Tipacoque.
- Valle Lopez, V. (2019). Evaluación de fertilizantes sintético y orgánica del (zea maiz l.) variedad NB-6 bajo riego por microaspersión en la finca el plantel, 2017-2018. *UNIVERSIDAD*

NACIONAL AGRARIA, FACULTAD DE AGRONOMIA.

<https://repositorio.una.edu.ni/3833/1/tnf04v181f.pdf>

web, C. t. (s.f.). *Colombia turismo web*.

Apéndices

Apéndice A Selección del área a trabajar



Apéndice B Establecimiento de tratamientos



Apéndice C *Recepción de fertilizantes*



Apéndice D *Aplicación fertilizantes*



Apéndice E *Determinación de producción de forraje por m2*



Apéndice F *Determinación materia seca*

