

Efectos de la Aplicación de Nanozeolita en la Producción Intensiva de *Cenchrus Clandestinus*

Diego Alexander Crispin Jurado, Iván Darío Carrero Ovalle

Trabajo de Grado para Optar al Título de Zootecnista

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD. Ciencias Agrarias

Codirector

Laura Yiceth Sanabria Medina

Química

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios quien me ha dado todo y sin quien nada de esto sería posible; a mis padres Alonso Crispín Sanchez y Sandra Rocio Jurado Vargas que desde el principio me han apoyado en mi proyecto de vida y me han brindado lo necesario para poderme desarrollar como una persona con valores a punto de convertirse en profesional.

Diego Crispin

Dedico este trabajo a Dios primeramente por mantenerme con vida, además de adquirir nuevos conocimientos y poder sobresalir a diferentes adversidades para alcanzar una formación integral.

A mis padres Pastor Carrero Espinel y Olga Lucia Ovalle Romero por permitirme y brindarme el apoyo necesario para continuar con mi formación profesional y como persona.

A mi hermano Jhon Alexander Carrero Ovalle, quien es un apoyo incondicional en cada momento de la vida y que aún sigue siendo una parte fundamental en la formación, fuente de inspiración y acompañamiento durante la vida, a mis compañeros y amigos.

Iván Carrero

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos la vida y poner a las personas y recursos necesarios para poder desarrollar este trabajo.

A nuestros padres, hermanos y demás familia, porque nos han acompañado y apoyado en todo momento desde el principio de nuestra formación y desarrollo como profesionales.

Al doctor Julian Mauricio Botero Londoño y la química Laura Yiceth Sanabria Medina director y codirectora de este trabajo, quienes pusieron a disposición su tiempo y conocimientos para ayudarnos y guiarnos en el desarrollo de esta investigación.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo general.....	13
1.2 Objetivo específicos.....	13
2. Marco Teórico.....	14
2.1 Efectos de las malas prácticas de fertilización.....	14
2.2 Nanotecnología como posible solución al uso de nutrientes en los suelos.....	15
2.3 Nanozeolita como nanofertilizante	16
2.4 <i>Cerchrus Clandestinus</i>	17
2.5 Características del componente vegetal y de los suelos.....	18
2.5.1 Producción de biomasa	18
2.5.2 Análisis bromatológico	18
2.5.3 Análisis foliar.....	18
2.5.4 Gases de efecto invernadero	19
2.5.4 Captura de Carbono	19
3. Metodología	19
3.1 Ubicación del proyecto	19
3.2 Diseño experimental	19
3.3 Fertilización empleada.....	20
3.4 Recolección de muestras y estimación de la producción de biomasa.....	20
3.5 Análisis de laboratorio	21

3.6	Captura de carbono	22
3.7	Estimación de las emisiones de CO ₂	22
4.	Resultados y discusión	22
4.1	Producción de biomasa	22
4.2	Captura de carbono	24
4.3	Calidad nutricional.....	25
4.4	Eficiencia en el uso del nitrógeno.....	27
4.5	Emisiones de CO ₂	28
5.	Conclusiones.....	31
6.	Recomendaciones	31
	Referencias Bibliográficas	32

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Fertilizante balanceado empleado.....	20
Tabla 2. Producción de biomasa y capacidad de carga.....	23
Tabla 3. Contenido y captura de carbono	24
Tabla 4. Composición bromatológica	26

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Eficiencia de recuperación del nitrógeno	27
Figura 2. Dinámica del CO ₂	28

Lista de Apéndices

Apéndice A. Asignación de tratamientos.....	37
Apéndice B. Cortes de forraje de cada unidad experimental.....	38
Apéndice C. Determinación de cenizas.	39
Apéndice D. Determinación de FDN y FDA.....	40
Apéndice E. Determinación de energía bruta.	41
Apéndice F. Toma de muestras de CO ₂	42
Apéndice G. Análisis de suelo.....	43

Resumen

Título: Efectos de la Aplicación de Nanozeolita en la Producción Intensiva de *Cenchrus Clandestinus**

Autor: Diego Alexander Crispin Jurado, Ivan Dario Carrero Ovalle**

Palabras Clave: Nanopartículas, zeolita, calidad nutricional, emisiones de CO₂

Descripción: La baja eficiencia en el uso de nutrientes del suelo es un factor limitante en la producción agropecuaria, debido a las diferencias en cada tipo de suelo y a la baja eficiencia de los fertilizantes comerciales. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue evaluar los efectos de la adición de nanopartículas de zeolita junto a un fertilizante balanceado sobre un cultivo de *Cenchrus Clandestinus*. Se desarrolló un diseño de bloques completos al azar con 3 bloques y 5 tratamientos que fueron, tratamiento control; T1, aplicación de 20 g de fertilizante; T2, aplicación de 30 g de fertilizante; T4, aplicación de 20 g de fertilizante con 0,15% de nanozeolita y T4, aplicación de 30 g de fertilizante con 0,15% de nanozeolita. Las variables estudiadas fueron producción de biomasa fresca y seca, cenizas, proteína, energía bruta, captura de carbono, emisión de gases de efecto invernadero, FDN y FDA. Como resultados más notables se obtuvo que el tratamiento con 30 g de fertilizante junto a nanozeolita arrojó valores de producción de biomasa en base seca 28307 kg ha⁻¹ año⁻¹, estimación de capacidad de carga de 6,46 UGG y captura de carbono de 29561 kg ha⁻¹ año⁻¹. Además, cuando se emplearon 20 g de fertilizante balanceado junto a nanozeolita se obtuvo una eficiencia de recuperación del nitrógeno de 68,95%. Demostrando así que, el uso de nanofertilizantes mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes, incrementan la producción de biomasa y captura de carbono.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Julián Mauricio Botero Londoño. PhD en Ciencias Agrarias con énfasis en manejo de suelos y aguas. Codirector Laura Yiceth Sanabria Medina. Química.

Abstract

Title: Effects of the Application of Nanozeolite in the Intensive Production of *Cenchrus Clandestinus**

Author(s): Diego Alexander Crispin Jurado, Ivan Dario Carrero Ovalle **

Key Words: nanoparticles, zeolite, nutritional quality, CO₂ emissions

Description: The low efficiency in the use of soil nutrients is a limiting factor in agricultural production, due to the differences in each type of soil and the low efficiency of commercial fertilizers. Therefore, the objective of this project was to evaluate the effects of the addition of zeolite nanoparticles together with a balanced fertilizer on a crop of *Cenchrus clandestinus*. A randomized complete block design was developed with 3 blocks and 5 treatments: control treatment; T1, application of 20 g of fertilizer; T2, application of 30 g of fertilizer; T4, application of 20 g of fertilizer with 0.15% of nanozeolita and T4, application of 30 g of fertilizer with 0.15% of nanozeolite. The variables studied were production of fresh and dry biomass, ash, protein, gross energy, carbon sequestration, greenhouse gas emissions, NDF and FDA. The most notable results were that the treatment with 30 g of fertilizer together with nanozeolite yielded biomass production values on a dry basis of 28307 kg ha⁻¹ yr⁻¹, estimated carrying capacity of 6.46 UGG and carbon sequestration of 29561 kg ha⁻¹ yr⁻¹. In addition, when 20 g of balanced fertilizer was used together with nanozeolite, a nitrogen recovery efficiency of 68.95% was obtained. This demonstrates that the use of nanofertilizers improves nutrient use efficiency, increases biomass production and carbon sequestration.

* Degree Work

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Julián Mauricio Botero Londoño. PhD in Agricultural Sciences with emphasis on soil and water management. Codirector Laura Yiceth Sanabria Medina. Chemist.

Introducción

Los suelos de la región de García Rovira evidencian alta degradación y desbalance químico, en consecuencia, de las deficientes prácticas de manejo y falta de aplicación de enmiendas con base en la interpretación de análisis de suelos. Estos suelos presentan amplia variabilidad de pH y saturación de bases que limitan la disponibilidad de nutrientes. (Nilson Marín et al., 2008)

La ganadería en Colombia y en la provincia viene desplazando los sistemas de producción agrícola por sistemas de producción ganadera, en la mayoría de los casos con deficientes sistemas de manejo ocasionando daños en la salud del suelo, el paisaje, el ambiente, las fuentes hídricas y la biodiversidad, además, de implicaciones sociales y políticas. (Alejandra Mora Marín et al, 2017.)

Las nuevas metodologías de producción promueven una agricultura intensiva y sustentable, haciendo un óptimo uso de los recursos agrícolas sin deteriorar los agroecosistemas, impulsando la producción de alimentos con insumos y tecnologías innovadoras. (Lira Saldivar et al., 2019)

Los nano fertilizantes mejoran el rendimiento y la calidad de los cultivos con una mayor eficiencia en el uso de nutrientes al tiempo que reducen el costo de producción y por lo tanto, contribuyen a la sostenibilidad agrícola. La introducción de la nanotecnología en la nutrición vegetal facilita el desarrollo de fertilizantes de liberación lenta/controlada que mejoran la eficiencia en el uso de fertilizantes y reduce las pérdidas de nutrientes al medio ambiente haciéndolos eco amigables. (Usman et al., 2020)

Con el constante crecimiento de la población mundial se hace necesaria una producción eficiente de alimentos con el propósito de garantizar seguridad alimentaria, por ello cada vez se

aumentan los esfuerzos por que estas prácticas productivas causen el menor impacto posible en el ambiente.

El aumento en el uso de fertilizantes químicos es uno de los principales contribuyentes utilizados para obtener un mayor rendimiento en los cultivos. Las variedades de cultivos sensibles a los fertilizantes han multiplicado el uso de productos químicos fertilizantes; sin embargo, el uso de estos está limitada por su baja eficiencia debido a las perdidas por volatilización y lixiviación que contamina el medio ambiente y aumenta los costos de producción (Usman et al., 2020).

Es necesario realizar investigaciones en pro de generar materiales y tecnologías más amigables con el medio ambiente dentro de las cuales se destaca la nanotecnología, que tiene el potencial de transformar las prácticas agrícolas con alentadores resultados, así, por ejemplo, las nanopartículas pueden utilizarse como una nueva forma de liberación lenta de agroquímicos, promoviendo la utilización eficiente. Con el rápido avance de la nanotecnología donde es posible realizar síntesis controlada del tamaño y morfología de los nanomateriales, los cuales permiten mejorar la absorción de macro y micronutrientes en las plantas, consiguiendo incrementar la producción de los alimentos (Méndez-Argüello et al., 2016).

El proyecto busca evaluar efectos de la aplicación de nano zeolita en la producción intensiva de *Penissetum Clandestinum* evaluando variables como la captura de carbono, emisión de gases efecto invernadero y características bromatológicas del cultivo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar efectos de la aplicación de nano zeolita en la producción intensiva de *Cenchrus Clandestinus*

1.2 Objetivo específicos

Determinar el efecto de la aplicación de nano zeolita sobre la producción de biomasa y la captura de carbono en praderas de *Cenchrus Clandestinus*.

Establecer el efecto de la aplicación de nano zeolita sobre la calidad nutricional del *Cenchrus Clandestinus*.

Identificar el efecto de la aplicación de nano zeolita sobre la eficiencia del uso del nitrógeno y emisiones de gases de efecto invernadero en praderas de *Cenchrus Clandestinus*.

2. Marco Teórico

2.1 Efectos de las malas prácticas de fertilización

Hacia la mitad del presente siglo, en la mayor parte del mundo, se inició la transición de un sistema agrícola basado en los recursos naturales hacia otro sistema que plantea una tecnología moderna de uso de fertilizantes químicos artificiales, plaguicidas, herbicidas, maquinaria agrícola pesada y semillas híbridas. Sin embargo, por desconocimiento de los aspectos técnicos referidos al cálculo de dosis y tipo de fertilizantes, por cada suelo y cultivo, se comenzó a realizar un uso indiscriminado, generando los primeros daños en los suelos agrícolas, y como consecuencia un grave deterioro de los ecosistemas. Demostrándose que el uso irracional de los agroquímicos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas y plaguicidas se ha convertido en un problema por el riesgo que entraña para los productores agropecuarios y consumidores (Chilón Camacho, 2017).

Al igual que en la agricultura, en el pastoreo la utilización de fertilizantes químicos tales como la urea, el nitrato de amonio y otros, son en esencia sales químicas que aplicados al suelo, se disuelven con el agua, y tienen como efecto inmediato el incremento de la conductividad eléctrica del suelo, que a su vez provoca el aumento de la presión osmótica, y gradualmente genera el efecto de plasmólisis (lisis= muerte) que afecta a las células vegetales de la raíz de las plantas y aniquila a los microorganismos benéficos del suelo. Esto explica porque durante los primeros años, con el uso de los fertilizantes químicos, se obtuvieron rendimientos agrícolas espectaculares, pero luego ocurrió una drástica disminución y para contrarrestar las mermas de las cosechas, se tienen que aplicar mayores dosis de fertilizantes, como resultado en pocos años, los rendimientos de los suelos descienden drásticamente por el aniquilamiento de los microorganismos y la “muerte del suelo vivo” (Chilón Camacho, 2017).

La contaminación del suelo por elementos potencialmente peligrosos puede representar amenazas directas e indirectas como impactos negativos en el crecimiento y rendimiento de las plantas, que a su vez ingresan a la cadena alimentaria humana generando efectos potencialmente negativos en la salud. La agricultura intensiva da como resultado un enriquecimiento de elementos potencialmente peligrosos en los suelos y una acumulación en los cultivos debido al uso excesivo de fertilizantes (Solgi et al., 2018).

2.2 Nanotecnología como posible solución al uso de nutrientes en los suelos

La nanotecnología es una tecnología emergente que en los últimos años ha permitido nuevas aplicaciones en diferentes áreas. En la agricultura, los nano fertilizantes son la contribución más importante, ya que tienen la ventaja de reducir la lixiviación y, a su vez, mejorar la absorción de nutrientes en las plantas (Gutiérrez-Ruelas et al., 2021).

Las aplicaciones de la nanotecnología en los sistemas agrícolas son diversas, ofreciendo el potencial para mejorar significativamente su productividad y eficiencia al reducir costos y cantidades de agroquímicos aplicados (I.Vera-Reyes et al., 2016).

Los nano fertilizantes tienen el potencial de aumentar la productividad de los cultivos al mejorar la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas, la fotosíntesis, el nitrógeno, metabolismo y síntesis de proteínas y carbohidratos, además de mejorar la tolerancia al estrés. Entre otras ventajas, los nano fertilizantes pueden aplicarse en una cantidad comparativamente menor, reduciendo en última instancia los gastos de producción y una mayor facilidad de aplicación (Zulfiqar et al., 2019).

Los nano fertilizantes pueden ser absorbidos por los cultivos a través de las raíces o las hojas. Las nano partículas pueden penetrar en la epidermis y endodermis de la raíz alcanzando los vasos de la xilema, permitiendo su transporte a la parte aérea de la planta. Además, las

nanopartículas pueden ser absorbidas por las estomas de las hojas y transportadas a otras partes de la planta a través del floema (Zulfiqar et al., 2019).

2.3 Nanozeolita como nanofertilizante

La zeolita, tal como se la utiliza en el ámbito agropecuario, forma parte de rocas que se utilizan como fertilizantes o enmiendas. Los minerales de zeolita, de los cuales hay diferentes y muy variadas especies mineralógicas, están formados por silicio en forma de silicato combinado con átomos de oxígeno y aluminio en una estructura cristalina tridimensional rígida, que deja pequeñas cavidades interconectadas llamadas microporos. Esta capacidad de retención de nutrientes y agua se debe a que el material tiene abundantes cargas negativas en la superficie y en los micro túneles internos, otorgándole una elevada capacidad de intercambio catiónico. Por ello, su aplicación, mezclada con los fertilizantes o directa al suelo, mejora de manera sustancial su capacidad de retención y el aprovechamiento de nutrientes por las plantas, además de mejorar las condiciones físicas y biológicas de la capa arable. La alta afinidad de las zeolitas por el amonio (NH_4^+) le permite retenerlo en sus canales evitando así su mineralización a amoníaco (NH_3) por bacterias nitrificantes y reduciendo al mismo tiempo las pérdidas de nitrógeno debidas a las rápidas transformaciones bioquímicas y químicas que sufren los fertilizantes nitrogenados en el suelo, principalmente en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) por lixiviación y volatilización, respectivamente, pero producidas también por desnitrificación. En los resultados experimentales obtenidos en diversos ensayos en Colombia y México, la mezcla de 25% de zeolita con urea o con los fertilizantes químicos aplicados ha mostrado ser la más efectiva para optimizar su eficiencia y el rendimiento de los cultivos (Beltran et al., 2021).

En este sentido, la zeolita presenta estructura porosa que favorece el intercambio de iones. El uso de este mineral disminuye la lixiviación y volatilización de elementos, mejora la estructura

coloidal del suelo y aumenta la eficiencia de nutrientes por incremento en la disponibilidad de elementos como el P. Mezclas de zeolita y fertilizantes han mostrado efecto positivo en la producción agrícola, por lo que este mineral podría ser una opción como complemento de la fertilización química (Apáez-Barrios et al., 2019).

Las propiedades físicas y químicas de las zeolitas hacen de las mismas un mejorador potencial del suelo, debido a su gran afinidad por el ión amonio. Su aplicación incide en la reducción de las pérdidas de N en los suelos agrícolas, lo cual incrementa el aprovechamiento de este elemento por los cultivos. Debido a estas características, las mezclas de zeolita con los fertilizantes nitrogenados, es una alternativa de solución, su síntesis tiene por objeto reunir en un solo producto las ventajas de los materiales que les dan origen; es decir, lograr una concentración nutrimental suficientemente elevada y balanceada, con una liberación lenta de nutrimentos, lo que prolonga su efecto residual y permite a la planta absorberlos a un ritmo más acorde con su requerimiento fisiológico (Salvador Osuna-Ceja et al., 2012).

2.4 *Cerchrus Clandestinus*

El *Cerchrus Clandestinus* se caracteriza por tener una alta tasa de crecimiento y sistema radicular bien desarrollado, destacando por sus altas propiedades nutritivas como pasto. Es un alimento altamente digerible, alto en proteínas, bajo en fibra y pasto apetecible. Además, esta hierba tiene buena tolerancia a la sequía, el calor y la salinidad (Muscolo et al., 2013).

Es un pasto perenne de hábito de crecimiento estolonífero y rizomatoso, que le permite expandirse fácilmente y competir con otras especies; sin embargo, su tasa de crecimiento se ve afectada por las condiciones climáticas. Se desarrolla naturalmente en suelos profundos de origen volcánico; crece muy bien en suelos fértiles con altos niveles de nitrógeno y bien drenados, aunque

tolera el encharcamiento moderado, también soporta la acidez; su nivel nutricional decrece rápidamente con la madurez de la planta (Posada-Asprilla et al., 2019).

2.5 Características del componente vegetal y de los suelos

2.5.1 Producción de biomasa

La medición de la biomasa disponible en las pasturas brinda información de gran importancia para las fincas ganaderas debido a la relación directa que existe entre el material ofrecido por día a los animales en pastoreo y su efecto sobre la carga animal (Luis Villalobos et al., 2013).

2.5.2 Análisis bromatológico

A través de los análisis bromatológicos que se conoce la calidad del alimento, lo que impacta directamente en la salud, en el rendimiento y en la eficiencia reproductiva de los animales en producción. También dentro de la industria de elaboración de alimentos para especies animales domésticas los análisis bromatológicos son indispensables para establecer programas de alimentación adecuados y así reducir costos de la unidad de producción (Laboratorio de constatación agroindustrial, S.A de C.V, s.f.).

2.5.3 Análisis foliar

El análisis foliar también conocido como análisis de tejido vegetal, determina el contenido elemental de nutrientes de una parte de la planta en particular, que comúnmente es la hoja. Dicho análisis está basado en el hecho de que la hoja es el órgano con mayor actividad metabólica. De esta forma, las variaciones en la nutrición se pueden observar con más facilidad en dicho órgano. Esta técnica es cada vez más utilizada para determinar el estado nutritivo de las plantaciones forestales al objeto de definir los programas de fertilización más adecuados (Carlos Esse et al., 2014).

2.5.4 Gases de efecto invernadero

Los principales gases de efecto invernadero emitidos desde el sector agropecuario son el dióxido de carbono, el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄). El suelo juega también un papel sobresaliente en las emisiones en sistemas ganaderos bajo pastoreo directo, básicamente a través de las emisiones de N₂O derivadas de las excretas (y eventualmente de la fertilización en caso de que se lleve a cabo en las pasturas), mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación (Alejandro Costantini et al., 2018).

2.5.4 Captura de Carbono

A través del proceso de fotosíntesis los bosques capturan dióxido de carbono, lo fijan a sus estructuras vivas, lo acumulan en su biomasa y lo transfieren al mantillo en descomposición, y así se constituyen en reservas de carbono. Esta importancia mundial de los ecosistemas forestales insiste en la necesidad de determinar con precisión la cantidad de carbono almacenado en los bosques (Claudia Marcela Cardona Lindo et al., 2019).

3. Metodología

3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se llevó a cabo en la finca Villa Carolina, de la vereda Pescadero del municipio de Málaga, en el departamento de Santander, Colombia. Ubicada en las coordenadas 6°44'44.0'' al norte y 72°43'20.8'' al oeste. Se encuentra a una altura de 2380 msnm donde se desarrolla un clima frío-medio (Google Earth, 2022).

3.2 Diseño experimental

Se desarrolló un diseño en bloques completos al azar con tres bloques, cinco tratamientos por bloque y cuatro replicas por tratamiento; los bloques fueron definidos en 3 potreros diferentes,

donde cada unidad experimental tuvo un área de 1m². Siendo el tratamiento control: rotación a los 31 días sin fertilización ni adición de nanozeolita, T1: rotación a los 31 días con 20 g de fertilizante, : rotación a 31 días con 30 g de fertilizante, T3: rotación a 31 días con 20 g de fertilizante y adición de 0,15% de nanozeolita y T4: rotación a 31 días con 30 g de fertilizante y adición de 0,15% de nanozeolita. La fertilización y adición de nanozeolita fue aplicada un día después del pastoreo.

3.3 Fertilización empleada

Se empleó un fertilizante balanceado con base en el análisis de suelo con el objetivo de suplir las deficiencias de nutrientes con base en los requerimientos del cultivo para explotar al máximo las cualidades nutricionales de la pradera (Tabla 1).

Tabla 1

Fertilizante balanceado empleado.

Producto	%	N	P₂O₅	K₂O	MgO	Zn	Br	S	Cu
Urea	59,61	27,42	0	0	0	0	0	0	0
DAP	16,24	2,92	7,47	0	0	0	0	0	0
KCL	12,13	0	0	7,27	0	0	0	0	0
MgSO₄	10,92	0	0	0	2,94	0	0	2,18	0
EDTA Zn	0,5	0	0	0	0	0,06	0	0	0
Br	0,5	0	0,015	0	0	0	0,05	0	0
CuSO₄	0,1	0	0	0	0	0	0	0,012	0,025
Total	100	30,34	7,485	7,27	2,94	0,06	0,05	2,192	0,025

3.4 Recolección de muestras y estimación de la producción de biomasa

La toma de muestras se desarrolló de manera aleatoria en cada unidad experimental,

realizando cortes del forraje a 10 cm del suelo. Cada muestra fue depositada en un sobre de manila y etiquetada de acuerdo con el tratamiento. Luego fueron pesadas para determinar su biomasa en peso fresco y con este valor junto al contenido de materia seca (MS) permitieron la estimación de proyecciones de producción de biomasa ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

3.5 Análisis de laboratorio

Para la estimación de cada una de las variables objeto de investigación, fue necesario deshidratar cada una de las muestras a una temperatura de 60 °C hasta obtener un valor de peso constante; posteriormente fueron sometidas a un proceso de molienda y tamizaje, para finalmente dar lugar a un proceso de empaclado y etiquetado.

Los análisis bromatológicos se realizaron con base en los protocolos ya establecidos por el Laboratorio de Reconversión Ganadera y Agroforestal de la sede. Siendo así:

- Materia seca (MS): diferencia gravimétrica empleando un horno a 105 °C durante 24 h.
- Cenizas: diferencia gravimétrica empleando una mufla a 550 °C durante 7 h.
- Proteína bruta (%): se cuantificó el porcentaje de nitrógeno empleando un analizador elemental CHNS/O, el cual fue multiplicado por un factor de 6,25 para así obtener el porcentaje de proteína en la muestra.
- Energía bruta (Kcal/kg): se determinó empleando un Calorímetro Parr 6200.
- Fibra detergente neutra – FDN: se cuantificó empleando la metodología de Van Soest mediante un extractor de fibra.
- Fibra detergente ácida – FDA: se cuantificó empleando la metodología de Van Soest mediante un extractor de fibra.

3.6 Captura de carbono

Se determinó el contenido de carbono en las muestras de forraje empleando un analizador elemental CHNS/O. Posteriormente la captura de carbono en cada una de las muestras se estimó multiplicando el porcentaje de carbono por la biomasa en base seca.

3.7 Estimación de las emisiones de CO₂

Para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se utilizaron cámaras de vidrio que contenían un orificio en la parte superior, con un volumen de 13500 cm³, un área de cobertura de 90cm² y jeringas plásticas de 50 mL con válvula de tres pasos. Un día después del pastoreo se realizó la aplicación de cada tratamiento (fertilización balanceada con o sin inclusión de nanopartículas de zeolita) en cada unidad experimental, se aplicó riego y se instalaron las cámaras. Con ayuda de las jeringas se procedió a hacer muestreo a los 0, 30 y 60 minutos posteriores a la fertilización y riego. Una vez obtenidas las muestras fueron llevadas al laboratorio para ser procesadas mediante cromatografía de gases (GC).

4. Resultados y discusión

4.1 Producción de biomasa

La producción de biomasa presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes tratamientos. El tratamiento donde se emplearon 30 g de fertilizante balanceado con inclusión de nanopartículas de zeolita presentó el mayor valor de biomasa en base fresca (1247,50 g) y en base seca (240,50 g). Por otro lado, el tratamiento donde se obtuvo la menor producción fue el tratamiento control con 727,17 g para biomasa en base fresca y 171,08 g para biomasa en base seca (Tabla 2).

Respecto a la capacidad de carga estimada se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). El tratamiento que contempla el uso de 30 g de fertilizante balanceado

junto a nanopartículas de zeolita presentó un mayor valor de 6,46 UGG y el valor más bajo fue de 4,59 UGG para el tratamiento control (Tabla 2).

Tabla 2

Producción de biomasa y capacidad de carga.

Tratamiento	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	Biomasa fresca kg ha ⁻¹ año ⁻¹	Biomasa seca kg ha ⁻¹ año ⁻¹	Capacidad de carga UGG
Control	727,17 ^b	171,08 ^b	85588 ^b	20137 ^b	4,59 ^e
20 g	1076,92 ^a	202,83 ^{ab}	126753 ^a	23873 ^{ab}	5,45 ^d
30 g	1205,67 ^a	225,42 ^a	141907 ^a	26532 ^a	6,05 ^c
20 g Zeo	1138,58 ^a	227,17 ^a	134011 ^a	26738 ^a	6,1 ^b
30 g Zeo	1247,50 ^a	240,50 ^a	146831 ^a	28307 ^a	6,46 ^a
CV	22,672	25,563	22,672	25,563	0

Nota: Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rasgos múltiples de Duncan. CV: coeficiente de varianza.

La producción de biomasa en base fresca para los tratamientos en los cuales se aplicó fertilizante balanceado con o sin inclusión de nanozeolita no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí. Sin embargo, cuando se realiza la estimación de la capacidad de carga con base en la producción de biomasa seca (kg ha⁻¹ año⁻¹), esta si presenta diferencias entre los tratamientos, siendo así, el tratamiento donde se empleó mayor cantidad de fertilizante e inclusión de nanopartículas de zeolita el que arrojó el valor más alto.

La adición de las nanopartículas de zeolita evidenció un efecto sobre la producción de biomasa en base seca, encontrando que cuando se emplearon 30 g de fertilizante balanceado junto a la nanozeolita se obtuvo una producción de biomasa en base seca de 2,4 ton ha⁻¹ por corte. Valor similar al reportado por Fokom et al., (2021) donde emplearon una fertilización de 100 kg de N ha⁻¹ y realizaron cortes cada 30 días con producciones de biomasa en base seca de 2,42 ton ha⁻¹

y al obtenido por Jhon Ruiz et al., (2014) donde aplicaron 50 y 100 kg de N ha⁻¹ y obtuvieron 2,4 y 1,8 ton ha⁻¹ de biomasa en base seca respectivamente.

En una caracterización realizada por (Ariosto Castañeda, 2018) en el municipio de Málaga Santander (que corresponde al mismo lugar de estudio de este trabajo), se reportó una capacidad de carga de 1,083 UGG ha⁻¹, valor inferior al estimado en este estudio. Confirmando así, que la implementación de sistemas de producción de forrajes con la inclusión de nanotecnología permite una mayor rentabilidad.

4.2 Captura de carbono

El contenido de carbono no mostró diferencias significativas para los diferentes tratamientos ($p>0.05$). El tratamiento donde se emplearon 30 g de fertilizante balanceado con inclusión de nanozeolita presentó el contenido de carbono más alto (42,2%) y el valor más bajo fue presentado por el tratamiento control (40,12%).

Respecto a la captura de carbono se evidenciaron diferencias significativas ($p<0.05$), donde el tratamiento con 30 g de fertilizante junto a las nanopartículas el que presentó el mayor valor con 29561 kg ha⁻¹ año⁻¹. El tratamiento que presentó la menor captura de carbono fue el control con 15366 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3

Contenido y captura de carbono.

Tratamiento	Carbono %	Captura CO ₂ kg corte	Captura CO ₂ kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Control	40,120 ^a	68,355 ^b	15366 ^b
20 g	40,737 ^a	82,186 ^{ab}	20627 ^{ab}
30 g	41,790 ^a	94,028 ^a	26427 ^a
20 g Zeo	42,047 ^a	95,430 ^a	26976 ^a

30 g Zeo	42,200 ^a	101,416 ^a	29561 ^a
CV	5,83	4,970	25,24

Nota: Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. CV: coeficiente de varianza.

Los valores obtenidos para la captura de carbono son superiores a los encontrados por Pérez et al., (2019) quienes determinaron la captura de carbono en pasto kikuyo en un sistema de pastoreo tradicional y en un sistema silvopastoril de diferentes relieves sin mencionar ningún tipo de fertilización, obteniendo promedios de captura de carbono de $14,8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Demostrando así, que estos sistemas de producción de forrajes poseen una importante capacidad de captura de carbono en su biomasa.

4.3 Calidad nutricional

El contenido de cenizas no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). El tratamiento donde se emplearon 30 g de fertilizante con inclusión de nanopartículas mostró el mayor valor (11,88%) y el contenido de cenizas más bajo fue mostrado por el tratamiento control (9,71%).

En cuanto al porcentaje de proteína y valor de energía bruta no se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0.05$), donde los valores más altos fueron mostrados por el tratamiento con 30 g de fertilizante balanceado (13,027% de proteína) y el tratamiento con 30 g de fertilizante con inclusión de nanopartículas (3852,36 (Kcal/kg) para la energía). El menor porcentaje de proteína (10,643%) fue mostrado por el tratamiento control y la energía de menor valor se presentó en el tratamiento donde se usaron 20 g de fertilizante balanceado con 3799,88 Kcal/kg.

El contenido de FDN no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), mientras que el contenido de FDA si ($p < 0.05$). El tratamiento con 20 g de fertilizante balanceado presentó un menor contenido de FDN (51,38%) y el valor más alto fue evidenciado por el tratamiento con 30

g de fertilizante y nanopartículas (56,127%). Para el contenido de FDA el menor valor fue mostrado por el tratamiento control (29,343%) y el mayor contenido (34,853%) se dio en el tratamiento donde se emplearon 20 g de fertilizante balanceado.

Tabla 4

Composición bromatológica.

Tratamiento	Cenizas (%)	PC (%)	EB (Kcal/kg)	FDN (%)	FDA (%)
Control	9,710 ^a	10,643 ^a	3820,70 ^a	55,253 ^a	29,343 ^c
20 g	9,817 ^a	11,770 ^a	3799,88 ^a	51,377 ^a	34,853 ^a
30 g	10,347 ^a	13,027 ^a	3823,83 ^a	52,707 ^a	33,770 ^b
20 g Zeo	11,430 ^a	11,363 ^a	3841,69 ^a	52,340 ^a	34,493 ^{ab}
30 g Zeo	11,880 ^a	12,507 ^a	3852,36 ^a	56,127 ^a	33,597 ^b
CV	21,27	10,938	1,051	7,637	1,568

Nota: Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rasgos múltiples de Duncan. CV: coeficiente de varianza; MS: materia seca; CEN: cenizas totales; PB: proteína bruta; EB: energía bruta; FDN: fibra de detergente neutro; FDA: fibra de detergente ácida.

Los contenidos de ceniza obtenidos son similares a los encontrados por Jairo et al., (2008) que realizó una valoración nutricional del pasto kikuyo, obteniendo contenidos de ceniza de 10,6%.

Los contenidos de proteína presentados por los diferentes tratamientos son similares a los obtenidos por L. F Naranjo-Guerrero et al., (2022) donde se hace una comparación bromatológica de varios pastos en un clima similar al del presente estudio, obteniendo promedios de 12,84% de proteína cruda en pasto kikuyo, sin embargo, son bajos comparados con los obtenidos por Jairo et al., (2008) quienes evaluaron el valor nutricional del kikuyo obteniendo valores de proteína cruda del 20,05%.

En la energía bruta se obtuvieron valores promedio de 3827,5 Kcal/kg que son menores a

los reportados por Ana C. Mejía-Taborda et al., (2014) donde se compararon diferentes dosis de fertilización sólida y líquida en pasto kikuyo obteniendo valores promedio de 4158,1 Kcal/kg, o a lo encontrado por Alejandro Ortiz et al., (2021) donde combinaron la inoculación de hongos micorrízicos y la fertilización química en kikuyo obteniendo valores promedio de 4120 Kcal/kg.

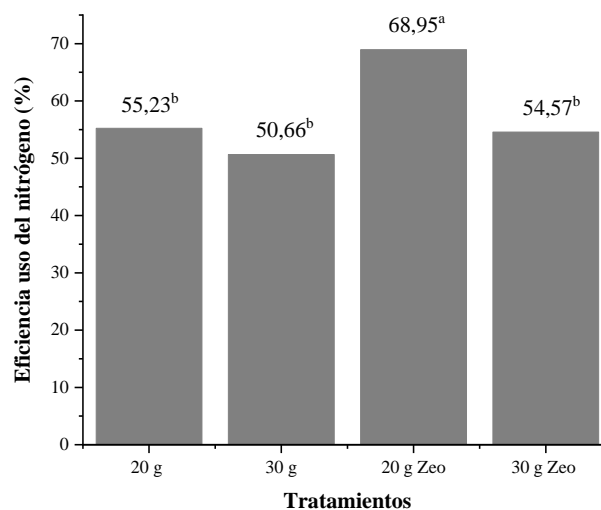
Los contenidos de fibra obtenidos en este estudio son inferiores para el caso de FDN y similares para la FDA a los reportados por Jairo et al., (2008), donde obtuvieron porcentajes de FDN del 58,1% y FDA del 30,3%.

4.4 Eficiencia en el uso del nitrógeno

La eficiencia en el uso de nitrógeno evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$). El tratamiento donde se emplearon 20 g de fertilizante balanceado con inclusión de nanopartículas de zeolita mostró el valor más alto con 68,95% y el valor más bajo fue presentado por el tratamiento con 30 g de fertilizante (50,66%) (Figura 1).

Figura 1

Eficiencia de recuperación del nitrógeno.



Nota: Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

Esta eficiencia se encuentra relacionada con la capacidad que tiene la planta para recuperar el nitrógeno que es adicionado a través de la fertilización. Las nanopartículas de zeolita tienen un efecto positivo sobre la recuperación del nitrógeno, encontrando que cuando se adicionaron 20 g de fertilizante se obtuvo una eficiencia del 55,23% y cuando se empleó la misma dosis de fertilizante con inclusión de nanozeolita se incrementó la eficiencia en un 14%.

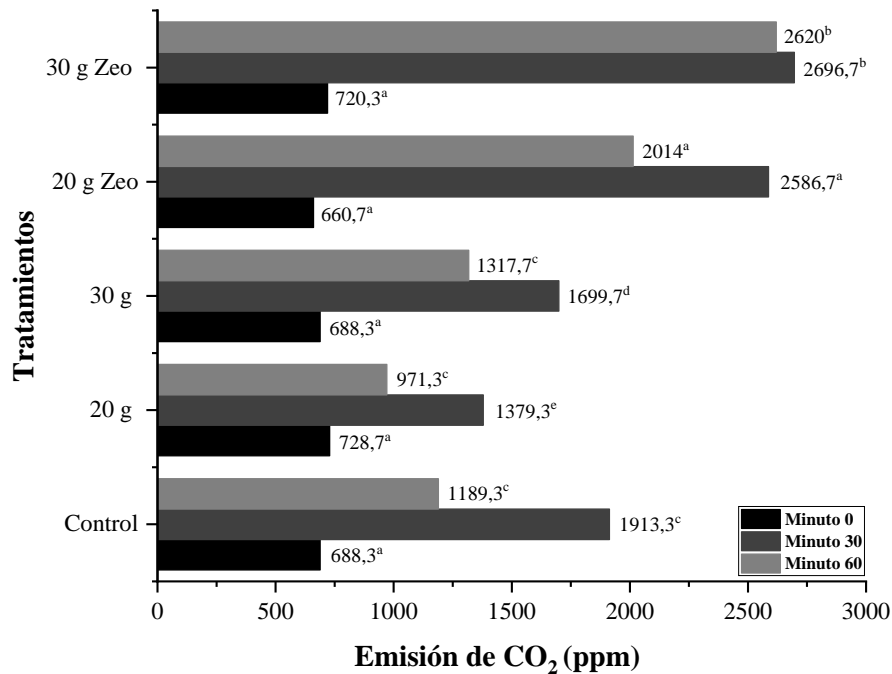
En un estudio realizado por Francisco Gutiérrez et al., (2017) se compara la eficiencia del uso de nitrógeno con diferentes dosis de aplicación de $N\ ha^{-1}\ año^{-1}$, donde se obtuvo que, a mayor aplicación de nitrógeno mayor eficiencia en la recuperación de este. En el presente estudio se obtuvieron resultados distintos, ya que el tratamiento que mejor eficiencia demostró fue aquel donde se emplearon 20 g de fertilizante con nanozeolita, resultado que evidencia el potencial que poseen las nanopartículas sobre un uso más eficiente del nitrógeno, ya que, a pesar de no ser el tratamiento con mayor cantidad de nitrógeno aplicado, demostró mejor eficiencia.

4.5 Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono en el minuto 0 no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$), donde se obtuvieron valores desde 660,67 hasta 728,67 ppm. Para el minuto 30 y 60 se evidenciaron diferencias significativas ($p<0.05$). Los tratamientos donde se emplearon 20 y 30 g de fertilizante balanceado mostraron las emisiones de CO₂ más bajas (1379,33 y 1699,67 ppm respectivamente). Para el minuto 60 el tratamiento con 20 g de fertilizante balanceado presentó un valor de 971,3 ppm indicando que se inicia a capturar parte del CO₂ emitido (Figura 2).

Figura 2

Dinámica del CO₂.



Nota: Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

Para las emisiones de CO_2 se encontraron valores notablemente más altos en los tratamientos con adición de nanozeolita comparados con el tratamiento control y los tratamientos donde solo se empleó fertilizante balanceado. Realizando una analogía con los datos encontrados por Amanda Silva Parra et al., (2019) quienes compararon las emisiones de CO_2 en tres sistemas diferentes: sistema tradicional de *Pennisetum Clandestinum* en rotación con papa, praderas mejoradas de *Lolium multiflorum* y *Pennisetum Candestinum* con asociación de *Acacia decurrens* y *Trifolium repens*. Para estos tres sistemas se comparó la producción de vacas lecheras durante la permanencia en los diferentes sistemas, obteniendo resultados directamente proporcionales entre las emisionos de CO_2 de las praderas y la producción de leche del lote de vacas durante la estadía en el sistema. En el sistema tradicional de kikuyo con papa se presentaron menores

emisiones $3684 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ pero a la vez hubo menos producción de leche, seguido por el sistema de *Lolium multiflorum* con $4778 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y con una mayor emisión y producción de leche; en el sistema de *Pennisetum Candestinum* con asociación de *Acacia decurrens* y *Trifolium repens* se presentaron emisiones de $7711 \text{ kg de CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, concluyendo que, a mayor eficiencia productiva del sistema, mayor emisión de CO_2 . Estos datos concuerdan con lo obtenido en el presente estudio en el cual los tratamientos con adición de nanozeolita presentaron mayores emisiones de CO_2 y mayor producción de biomasa en base seca, por ende, mayor captura de carbono en su biomasa.

5. Conclusiones

El uso de nanofertilizantes como la nanozeolita en un cultivo de *Cenchrus Clandestinus* representan una alternativa con potencial para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, incrementando la producción de biomasa, capacidad de carga y captura de carbono. Lo que lo convertiría en un sistema de producción de forrajes para alimentación animal sostenible y con impacto positivo hacia el medio ambiente.

La calidad nutricional del cultivo no se vio influenciada por ninguno de los tratamientos establecidos debido a que el suelo en el cual se desarrolló el trabajo experimental presentaba inactividad microbiana ocasionada por las malas prácticas de manejo a las que este fue sometido.

Los datos obtenidos para las emisiones de CO₂ permiten deducir que el uso de las nanopartículas junto a una fertilización balanceada favoreció la activación del suelo y por lo tanto mayor actividad microbiana que conduce a mayores emisiones. Sin embargo, sólo la aplicación de un fertilizante balanceado también aporta significativamente en la captura del CO₂ emitido.

6. Recomendaciones

Se recomienda realizar correcciones y enmiendas del suelo antes de realizar el establecimiento del cultivo.

Se recomienda desarrollar sistemas de producción de este forraje incrementando la dosis de las nanopartículas de zeolita empleada, ya que existen reportes en la literatura que indican que usando un 25% de zeolita junto a un 75% de fertilizante se obtienen resultados significativos.

Se recomienda emplear otros nanofertilizantes como el ZnO y el TiO₂ y evaluar los diferentes parámetros que fueron estudiados en esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- Alejandra Mora Marín, M., Ríos Pescador, L., Ríos Ramos, L., & Luis Almario Charry, J. (2017). *Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia Livestock impact on the ground in Colombia*. <https://doi.org/10.25054/issn.2216-1325>
- Alejandro Costantini, M. Gabriela Perez, Mercedes Busto, Franco González, Vanina Cosentino, Romina Romaniuk, & Miguel A. Taboada. (2018). *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción Ganadera*.
- Alejandro Ortiz, A., Elkin Arboleda, Z., & Marisol Medina, S. (2021). Bromatological quality of kikuyu grass in response to inoculation with mycorrhizal fungi and chemical fertilization. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 32(3). <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V32I3.17645>
- Amanda Silva Parra, Eduardo Barretto de Figueiredo, Ricardo Oliveira de Bordonal, Mara Regina Moitinho, Daniel De Bortoli Teixeira, & Newton La Scala Jr. (2019). *Emisiones de gases de efecto invernadero en la conversión de pastos extensivos a otros sistemas agrícolas en la región andina de Colombia*.
- Ana C. Mejía-Taborda, R. Ochoa-Ochoa, & Marisol Medina-Sierra. (2014). *Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo*.
- Apáez-Barrios, P., Blanca Nieves Lara-Chávez, M., Apáez-Barrios, M., Atenea Raya-Montaña, Y., Jiménez, M., & El Varillero, C. (2019). *Producción y rentabilidad de calabacita con aplicación de zeolita y fertilizante químico*.
- Beltran, M., Herrmann, C., Romaniuk, R. I., Fernandez, A., Jecke, F., & Mousegne, F. (2021). *Rendimiento del maíz ante el agregado de zeolita y yeso a la fertilización nitrogenada en un Argiudol típico de San Antonio de Areco*.

- Carlos Esse, Víctor Gerding, & María José Sanhueza. (2014). *Métodos de análisis foliar aplicados bosques naturales y exóticos de interés comercial: características, ventajas y desventajas*.
- Chilón Camacho, E. (n.d.). “Revolución Verde” Agricultura y suelos, aportes y controversias I “Green Revolution” Agriculture and land, contributions and controversies AUTOR.
- Claudia Marcela Cardona Lindo, Julian Garzon Borrero, & Gonzalo Jimenez Cleves. (2019). *Estimacion de la captura de carbono en un relicto de bosque urbano mediante tecnicas de teledeteccion*.
- de Brito, E. C. P., dos Madalena, L. S., Lima, R. H., Bernardes, G. S., da Silva, L. A., & Alves, V. A. (2021). Quantification of silver nanoparticles in a pharmaceutical product by spectrophotometry and potentiometry: A proposal for practical classes in analytical chemistry. *Quimica Nova*, 44(1), 105–111. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170622>
- Fokom, W. D., Tendonkeng, F., Azangue, G. J., Miégoué, E., Djoumessi, F.-G. T., Kwayep, N. C., & Mouchili, M. (2021). Effects of Different Levels of Fertilization with Hen Droppings on the Production and Chemical Composition of <i>Pennisetum clandestinum</i> (Poaceae). *Open Journal of Animal Sciences*, 11(04), 543–558. <https://doi.org/10.4236/ojas.2021.114037>
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.5>
- Gutiérrez-Ruelas, N. J., Palacio-Márquez, A., Sánchez, E., Muñoz-Márquez, E., Chávez-Mendoza, C., Ojeda-Barrios, D. L., & Flores-Córdova, M. A. (2021). Impact of the foliar application of nanoparticles, sulfate and iron chelate on the growth, yield and nitrogen assimilation in green beans. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(3), 1–13. <https://doi.org/10.15835/nbha49312437>

- I.Vera-Reyes, Méndez Argüello, E. Mendoza-Mendoza, L.A. García-Cerda, B.A. Puente-Urbina, & R.H. Lira-Saldívar. (2016). *Promoción del crecimiento en plantas de Capsicum annuum por nanopartículas de óxido de zinc.*
- Izaguirre, O. M., Quester, K., Petranovski, V., Dávalos, L. G., Garza, E. P., Miyasaka, A. S., & Vazquez-Duhalt, R. (2018). Effect of nanostructured zeolite with lipoic acid on performance and carcass yield in broiler. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 9(2), 185–202. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4315>
- Jairo, H., Cardona, C., Carulla, J. E., & Pabón, M. L. (2008). *Valor nutricional del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hoechst Ex Chiov.).* <https://www.researchgate.net/publication/266317145>
- Jhon Ruiz, David Villar A, Héctor J Correa, Jorge M Noreña G, Manuela Roldán, & Juan Ríos. (2014). *Levels_of_nitrates_in_a_urea_f.*
- L. F Naranjo-Guerrero, N. Rodríguez-Colorado, & C. A Uron-Castr. (2022). *Caracterización bromatológica de pastos en seis municipios del Departamento de Norte de Santander; Colombia.*
- Lira Saldívar, Méndez-Argüello, Bulmaro, & Ricardo Hugo. (2019). Uso potencial de la zeolita en la agricultura sustentable de la nueva revolución verde. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 191–193. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1810>
- Luis Villalobos, Jose Arce, & Rodolfo WingChing. (2013). *producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (Cynodon nlemfuensis), kikuyo (Kikuyuocloa clandestina) y ryegrass perenne (Lolium perenne) en lecherías de costa rica.*
- Maritza Pérez Atehortúa, Maria Fernanda Medina Aguirre, Alejandro Hurtado Granada, Elkin Mauricio Arboleda Zapata, & Marisol Medina Sierra. (2019). *Reservas de carbono del pasto Cenchrus clandestinus (Poaceae) en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril en direfentes relieves.*

- Méndez-Argüello, B., Lira-Saldivar, R. H., & Vera-Reyes, I. (n.d.). *Respuestas Fisiológicas de Plantas Cultivadas en Bioespacios por Efecto de Nanofertilizantes y Zeolita*.
- Muscolo, A., Panuccio, M. R., & Eshel, A. (2013). Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: A valuable salt tolerant grass. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.009>
- Nilson Marín, Guido Plaza, & Jesús Rojas. (2008). *Evaluación técnica y económica de alternativas de fertilización y enmiendas en tabaco Virginia (Nicotiana tabacum) en la región García Rovira, Santander (Colombia)*.
- Posada-Asprilla, W., Medina-Sierra, M., & Cerón-Muñoz, M. (2019). Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) usando imágenes multiespectrales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195>
- Salvador Osuna-Ceja, E., María-Ramírez, A., Paredes-Melesio, R., Saúl Padilla Ramírez, J., & Delia Báez-González, A. (2012). *Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrizica en el cultivo de trigo* Efficiency of zeolite as urea additive and mycorrhizal inoculation on wheat crop*.
- Solgi, E., Sheikhzadeh, H., & Solgi, M. (2018). Role of irrigation water, inorganic and organic fertilizers in soil and crop contamination by potentially hazardous elements in intensive farming systems: Case study from Moghan agro-industry, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 185, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.008>
- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Rehman, H. ur, Ashraf, I., & Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. In

Science of the Total Environment (Vol. 721). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>

Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. In *Plant Science* (Vol. 289). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270>

Ariosto Castañeda Merchán, & Luis David Gualteros Moreno. (2018). *Caracterización de la Producción y Mejoramiento de Praderas en la*.

Francisco Gutiérrez, René Alcoser, Gabriel Macías, Arnulfo Portilla, & José Espinosa. (2017). *Omisión de nutrientes y dosis de nitrógeno en la acumulación de biomasa, composición bromatológica y eficiencia de uso de nitrógeno de raigrás diploide perenne (Lolium perenne)*.

Guillermo, C., Petruzzi, H. J., Stritzler, N. P., Ferri, C. M., Pagella, & Rabotnikof, C. M. (2005). *EEA INTA, Anguil «Ing DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA POR MÉTODOS INDIRECTOS: UTILIZACIÓN DEL HORNO A MICROONDAS 08*.

Roza-Delgado, L. A., Fernández, A. M., & Gutiérrez, Y. A. A. (2002). DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA EN PASTOS Y FORRAJES A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE SECADO PARA ANÁLISIS. In *PASTOS 2002 PASTOS, XXXII* (Issue 1).

Apéndices

Apéndice A. Asignación de tratamientos.



Apéndice B. Cortes de forraje de cada unidad experimental.



Apéndice C. Determinación de cenizas.



Apéndice D. Determinación de FDN y FDA.






Apéndice E. Determinación de energía bruta.



Apéndice F. Toma de muestras de CO₂.



Apéndice G. Análisis de suelo.

INFORMACIÓN DEL CLIENTE				
Nombre y apellido	Diego Alexander Crispin			
Identificación	1007337624			
Departamento	Santander			
Municipio	Málaga			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
Identificación	MS0144	Altura	2380 m. s. n. m.	
Matriz	Suelo	Cultivo	Kikuyo	
Vereda	El Pescadero	Estado	Establecido	
Finca	Villa Carolina	Topografía del terreno	Semiondulado	
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR*	INTERPRETACIÓN*
pH (1:1)	Unidades de pH	pH con H ₂ O.	5,9	Moderadamente ácido.
Materia orgánica	%	Calcinación y cuantificación gravimétrica.	16,6	Alto.
Textura	%	Bouyoucos.	Arena 77,0% Limo 12,7 % Arcilla 10,3%	Franco Arenoso
Densidad aparente	g/cm ³	Cilindro.	1,16	
Fósforo disponible	mg/kg	Bray – II modificado.	9,26	Bajo.
Acidez intercambiable	meq/100 g	KCl	ND	Sin restricción.
Aluminio intercambiable	meq/100 g	KCl	ND	Sin restricción.
Calcio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	4,62	Bajo.
Magnesio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	0,59	Bajo.
Potasio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	0,11	Medio.
Sodio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	ND	Normal.
Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	meq/100 g	Suma de cationes.	5,32	Bajo.
Hierro intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	226	Alto.
Manganeso intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	9,82	Medio.
Zinc intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	1,95	Medio.
Cobre intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	1,14	Medio.
Saturación de Calcio	%	Cálculo	87	Alto.
Saturación de Magnesio	%	Cálculo	11	Bajo.
Saturación de Potasio	%	Cálculo	2	Medio.
Saturación de Sodio	%	Cálculo	0	Normal.
Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Óptimo.
OBSERVACIONES: * Interpretación basada en: ICA,1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia N 25. NR: No Realizado, ND: No Detectado; Se hace corrección por pW (factor de corrección por humedad) para los análisis de Materia orgánica (M.O), Acidez intercambiable (AI+H), Aluminio intercambiable (Al), Calcio intercambiable (Ca), Magnesio Intercambiable, Potasio intercambiable (K), Sodio intercambiable (Na), Hierro disponible (Fe) Olsen, Manganeso disponible (Mn) Olsen, Zinc disponible (Zn) Olsen, Cobre disponible (Cu) Olsen y Boro disponible (B).				
Más información:				
	lab.reconvganadera@uis.edu.co			
	3213346062 – 3113891538			
	Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga.			