

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables del suelo y del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.)

Nelson Enrique Rodríguez Ángel

CC. 1119668303

Josyhe Esteban Leal Parada

CC. 1094552544

Programa de Ingeniería Agronómica

Agosto, 2023

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables
del suelo y del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers)

Trabajo de grado bajo la modalidad Investigación como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

Nelson Enrique Rodríguez Ángel
Josyhe Esteban Leal Parada

Director
Ana Francisca González Pedraza
Doctora en Ciencias Mención Ecología

Programa de Ingeniería Agronómica
Agosto, 2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios el cual me permitió estar vivo para realizarlo.

A mi madre Mercedes Ángel Cruz quien fue mi apoyo incondicional en este proceso y a quien le debo este logro, a mi padre Nelson Rodríguez Gómez por guiarme en el camino del agro y enseñarme a amar el campo, a mis hermanas Fabiana Rodríguez Ángel y Vanessa Rodríguez Ángel por ser mi motivación para seguir adelante en momentos complicados.

A ti Dios, y mamita Consuelo parada que en el cielo esta que me diste la oportunidad y la fortaleza de emprender y culminar este camino y a ti padre David Esteban leal que eres la persona que me impulsa día tras día a seguir adelante eres mi árbol que me da sombra y fruto para no desfallecer en el largo camino de la vida.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer especialmente a mi directora de tesis, Ana Francisca González Pedraza, por su guía experta y su compromiso inquebrantable con mi éxito. Sus comentarios y sugerencias han sido invaluable, y estoy agradecido por su dedicación y tiempo invertido en mi proyecto.

Agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí. Sus palabras de aliento y motivación han sido un verdadero impulso para mí a lo largo de este camino.

Quiero agradecer a todos mis profesores y compañeros de clase que me han enseñado y motivado a lo largo de mi carrera. Su influencia ha sido fundamental para mi desarrollo académico y personal.

Contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	12
Abstract	14
Introducción	16
Problema	19
Planteamiento y Descripción del Problema	19
<i>Aumento de precios en los fertilizantes, un reto para los agricultores</i>	19
<i>Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes inorgánicos</i>	19
Justificación	21
Delimitación.....	23
Objetivos	24
Objetivo General	24
Objetivos Específicos.....	24
Marco Teórico.....	25
Antecedentes	25
Marco conceptual.....	28
Generalidades de la planta de sorgo.....	28
Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo del sorgo.....	28
Clasificación taxonómica del sorgo	29
Importancia del análisis de suelo	29
Marco Legal	31
Metodología	34

Diseño experimental	34
Diseño de tratamientos.....	34
Variables de estudio suelo	35
<i>Textura</i>	35
<i>Humedad gravimétrica (W)</i>	35
<i>Humedad volumétrica (θ)</i>	36
<i>Densidad aparente</i>	37
<i>Densidad real</i>	37
Porosidad total (%)	37
<i>pH</i> . 38	
<i>Conductividad eléctrica</i>	38
<i>Carbono orgánico total</i>	38
Variables de estudio de la planta.	38
<i>Número de hojas</i>	39
<i>Altura de la planta</i>	39
<i>Biomasa verde</i>	39
<i>Materia seca</i>	39
Análisis estadístico.....	39
Resultados y discusión	41
Textura	41
Humedad gravimétrica (W)	42
Humedad volumétrica (θ)	43
Densidad aparente	44
Densidad real	45
Porosidad total (%)	46

Resistencia Mecánica a la penetración	47
pH	48
Conductividad eléctrica	49
Carbono orgánico total.....	50
Biomasa verde para las diferentes variables de la planta.....	51
Materia seca	52
Conclusiones	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	57
Anexos	61
Anexo Resultados estadísticos	72

Lista de figuras.

Figura 1. Delimitación Espacial de la Investigación.	23
Figura 2. Densidad real de los suelos en cada tratamiento.	45

Lista de tablas.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del sorgo (<i>Sorghum vulgare</i> Pers.)	29
Tabla 2. Formulario para el registro de los resultados que se obtengan en la determinación de la humedad gravimétrica.	36
Tabla 3. Distribución del tamaño de partículas y clase textural de los suelos en cada tratamiento.	41
Tabla 4. Humedad gravimétrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.....	42
Tabla 5. Humedad volumétrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.	43
Tabla 6. Densidad aparente de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.	44
Tabla 7. Porosidad total de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra. ...	46
Tabla 8. Resistencia mecánica a la penetración de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.	47
Tabla 9. pH de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.	48
Tabla 10. Conductividad eléctrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.....	49
Tabla 11. Carbono orgánico total de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.....	50
Tabla 12. Variables medidas en la planta en biomasa verde para cada tratamiento al final del experimento.	52
Tabla 13. Materia seca para cada tratamiento al final del experimento	52

Lista de anexos.

Anexo 1(Adecuación del terreno).	61
Anexo 2. (Realización de drenaje).	62
Anexo 3. (Delimitación de parcelas).	62
Anexo 4. Siembra.	63
Anexo 5. Aplicación de las enmiendas día cero.	63
Anexo 6. recolección de muestras de suelos (en sus diferentes fechas).	64
Anexo 7. Recolección de muestras de plantas (en sus diferentes fechas del ensayo).	65
Anexo 8. Aplicación de abonos en los tratamientos (en sus diferentes fechas del ensayo).	66
Anexo 9. Evidencias de realización de laboratorios (en sus diferentes fechas del ensayo).	67
Anexo 10. Evidencias de realización de laboratorios (en sus diferentes fechas del ensayo).	69
Anexo 11. Recolección y pesaje del cultivo final (materia verde).	70
Anexo 12. Pesaje del cultivo final (materia seca).	71

Resumen

La producción de sorgo a nivel nacional tuvo su pico más alto en los años 1989 y 1991 con una producción entre 700.000 a 800.000 tn, en 1995 bajó drásticamente a una producción entre 100.000 a 170.000 tn, ya en 2012 tuvo una producción de 34.915 tn, en 2019 su producción fue de 6.380 tn, esta es la última cifra que se tiene conocimiento, en 2020A no se cuenta con cifras según el censo de FENALCE. Sin embargo, en el departamento de Norte de Santander no se cuenta con cifras de producción de sorgo. En Colombia, la crisis entre Rusia y Ucrania ha afectado el encarecimiento y suministro de fertilizantes debido a que Rusia era el principal proveedor de este tipo de insumos agropecuarios para Colombia, El principal problema en granja experimental Villa Marina es que no cuenta con praderas que produzcan el forraje suficiente y con la calidad adecuada para la alimentación de animales. El estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental Villa Marina que se encuentra ubicada en la fracción de Matajira, jurisdicción Municipal de Pamplonita, ubicada en el kilómetro 49 sobre la vía Pamplona- Cúcuta.

Se realizó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones con el fin de evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables del suelo y de crecimiento y rendimiento del cultivo de sorgo forrajero, Se seleccionó un área experimental de 150,33 m² que será dividido en cinco bloques de 16 m x 1,61 m y una separación de 0,26 m entre bloques. Las variables del cultivo evaluadas fueron: altura de la planta, número de hojas en tallo principal, número de nudos en tallo principal, índice de área foliar, número de tallos por macolla. Las mediciones se realizaron los días 24, 54 y 84 después de la siembra (dds) en función de las etapas de crecimiento del cultivo de sorgo, a saber, etapa vegetativa (0-35 días aproximadamente); etapa reproductiva (de los 35 a 65 días aproximadamente); etapa de maduración (desde los 65 a los 120 días aproximadamente)

Se evidenció un efecto positivo de los abonos orgánicos sobre las variables del suelo, pero solo fue significativa en la densidad aparente del suelo.

El uso de los abonos orgánicos impactó positivamente sobre la mayoría de las variables del cultivo tanto en biomasa verde como en materia seca, especialmente el uso del abono Dicomagro.

En comparación con la fertilización química los abonos orgánicos usados en este estudio pueden ser utilizados como una alternativa viable que sustituya el uso de fertilizantes químicos

El efecto de los abonos orgánicos sobre el crecimiento de las plantas depende de factores como el tipo de abono utilizado, la dosis aplicada, el clima y las condiciones del suelo. Aunque los abonos orgánicos pueden mejorar la calidad del suelo al aumentar su contenido de materia orgánica y nutrientes, resultando en un aumento en el número de hojas del cultivo de sorgo, en este estudio no se observó una respuesta significativa estadísticamente, aunque T2 y T4 presentaron mayor NH que el testigo. Evidenciando lo que algunos estudios han demostrado, que la aplicación de abonos orgánicos puede

Palabras clave: Abonos orgánicos, abonos inorgánicos, suelo, planta.

Abstract

Sorghum production at the national level had its highest peak in the years 1989 and 1991 with a production between 700,000 to 800,000 tn, in 1995 it dropped drastically to a production between 100,000 to 170,000 tn, already in 2012 it had a production of 34,915 tn, in 2019 its production was 6,380 tn, this is the latest figure that is known, in 2020A there are no figures according to the FENALCE census. However, in the department of Norte de Santander there are no sorghum production figures available. In Colombia, the crisis between Russia and Ukraine has affected the price increase and supply of fertilizers because Russia was the main supplier of this type of agricultural inputs to Colombia. The main problem at Villa Marina experimental farm is that it does not have pastures that produce enough forage of adequate quality for animal feed. The study was carried out at the Villa Marina Experimental Farm, which is located in the Matajira fraction, Pamplonita Municipal jurisdiction, located at kilometer 49 on the Pamplona-Cúcuta road.

A randomized block design with four treatments and three replications was used to evaluate the effect of two organic amendments and an inorganic fertilizer on some soil variables and on the growth and yield of the forage sorghum crop. An experimental area of 150.33 m² was selected and divided into five blocks of 16 m x 1.61 m and a separation of 0.26 m between blocks. The crop variables evaluated were: plant height, number of leaves on the main stem, number of nodes on the main stem, leaf area index, number of stems per tillers. The measurements were made on days 24, 54 and 84 after sowing (dds) according to the growth stages of the sorghum crop, namely, vegetative stage (0-35 days approximately); reproductive stage (from 35 to 65 days approximately); maturation stage (from 65 to 120 days approximately) and maturity stage (from 65 to 120 days approximately).

There was a positive effect of organic fertilizers on soil variables, but it was only significant in soil bulk density.

The use of organic fertilizers had a positive impact on most of the crop variables both in green biomass and dry matter, especially the use of Dicomagro fertilizer.

Compared to chemical fertilization, the organic fertilizers used in this study can be used as a viable alternative to replace the use of chemical fertilizers.

The effect of organic fertilizers on plant growth depends on factors such as the type of fertilizer used, the dose applied, climate and soil conditions. Although organic fertilizers can improve soil quality by increasing its organic matter and nutrient content, resulting in an increase in the number of leaves of the sorghum crop, in this study no statistically significant response was observed, although T2 and T4 presented higher NH than the control. This shows what some studies have demonstrated, that the application of organic fertilizers can increase the number of leaves of the sorghum crop.

Key words: organic fertilizers, inorganic fertilizers, soil, plant.

Introducción

El sorgo al no contener taninos, los cuales son un factor anti nutricional que reduce la digestibilidad de nutrientes, lo posicionan como uno de los alimentos más importantes en la alimentación animal, un ejemplo en rumiantes es la complementación de forrajes y como fuente de nitrógeno, en cerdos puede establecer un aproximado de 25-30 % de la ración esto gracias a que su energía digestible es alta (Cuevas-Reyes et al., 2020)

La producción de sorgo a nivel nacional tuvo su pico más alto en los años 1989 y 1991 con una producción entre 700.000 a 800.000 toneladas (t), en 1995 bajó drásticamente a una producción entre 100.000 a 170.000 t, ya en 2012 tuvo una producción de 34.915 t, en 2019 su producción fue de 6.380 t, esta es la última cifra de la que se tiene conocimiento, en 2020 no se cuenta con cifras según el censo de FENALCE y tampoco se tienen cifras del departamento de Norte de Santander (Domínguez, 2020).

Los efectos ambientales que produce el usar fertilizantes inorgánicos son negativos, uno de estos efectos es la infertilidad en los suelos según grupo SACSА los fertilizantes inorgánicos que contienen altos niveles de nutrientes, causan una saturación en el suelo y por ende anula la eficacia de otros nutrientes vitales. Los fertilizantes inorgánicos que contienen ácido sulfúrico y clorhídrico al darse un mal manejo tendrán un impacto negativo en el pH, convirtiendo suelos ácidos. Una de las más importantes es la contaminación de aguas potables y alteraciones en el ecosistema, esto se da porque los fertilizantes inorgánicos que no es utilizado por la planta se filtran en el suelo y según la zona se desplaza con la lluvia hasta llegar a quebradas, ríos o lagos (Sacsа, 2015).

Adicionalmente al daño ambiental, en la actualidad el conflicto entre Rusia y Ucrania, dos de los principales productores de alimentos y productos agrícolas a nivel mundial ha empeorado la ya existente situación del alto costo asociado al precio de los combustibles, los precios de los alimentos, ya en alza desde el segundo semestre de 2020, alcanzaron un nivel máximo histórico en febrero de 2022 debido a la elevada demanda, los costos de los insumos y el transporte y las perturbaciones en los puertos. Rusia por su parte, es uno de los mayores productores de nutrientes de síntesis química como la potasa y los fosfatos, ingredientes clave en los fertilizantes que permiten el crecimiento de plantas y cultivos (FAO, 2022).

En Colombia, la crisis entre Rusia y Ucrania ha afectado el encarecimiento y suministro de fertilizantes debido a que Rusia era el principal proveedor de este tipo de insumos agropecuarios para Colombia, ocupando el 20 % de las importaciones durante el 2021. El 41 % de la Urea que entra al país proviene de Rusia, cuya importancia en el último año 2021 fue de 179.006 toneladas (Portafolio, marzo 31 de 2022). Por ejemplo, la urea es el fertilizante que más se encareció según el Dane, normalmente un bulto de 50 kg costaba 80.000 pesos, subió a 230.000 pesos y puede seguir aumentando. La preocupación es que el campo colombiano depende demasiado de las importaciones de fertilizantes como la urea, el fosfato diamónico, cloruro de potasio y fosfato de monoamónico, que principalmente provienen de Rusia y Ucrania (Semana, 2022)

Los abonos orgánicos están constituidos por desechos de origen vegetal, animal o mixto, cuando se incorpora material orgánico al suelo el rendimiento del cultivo tiene un incremento positivo, ya que aporta la mayoría de elementos esenciales, tiende a formar complejos orgánicos con los nutrientes para dar mayor disponibilidad a las plantas, pero no solo ayuda a la planta si no también al suelo, mejorando la estructura del suelo, porosidad, aireación y retención de agua, la materia orgánica posee una mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC), son una rica fuente de carbono orgánico para la actividad de organismos heterótrofos presentes en el suelo, reduce el escurrimiento superficial gracias al aumento de infiltración de agua, favorece la estabilidad de agregados del suelo y reduce las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Los abonos orgánicos conceden un aumento de capacidad productiva a los suelos y conservan su fertilidad en el tiempo (Intagri, 2020).

Durante la historia del desarrollo de la actividad ganadera en el mundo, el hombre se vio obligado a desarrollar procesos y alternativas que le permitieran alimentar sus animales de corral durante las épocas de escasez. Debido a esas necesidades, los ganaderos aprendieron a seleccionar diferentes estrategias de conservación en el tiempo.

Esto consiste en controlar por medio de procesos biológicos (naturales) las fuentes de alimento a disposición para que perduren en el tiempo, mientras no haya material fresco. De allí nacen alternativas, como el henolaje y el ensilaje. Con el paso del tiempo y la modernidad, aparecen opciones como la amonificación y la peletización. Toda esta variedad enriquece las posibilidades disponibles para los productores ganaderos.

Con los efectos negativos generados por la variabilidad de los fenómenos climáticos en países del trópico como Colombia; la conservación de forrajes es clave para la adaptación al cambio climático y para potenciar un mejor aprovechamiento de los forrajes frescos (Integra, 2018).

En Colombia, los sistemas de conservación de forrajes como silos y henos datan de hace más de 30 años, pero apenas se implementan desde hace 10 años, especialmente en las épocas secas y en las temporadas de lluvias que son los momentos en los que disminuye la oferta de pasto, así como la calidad y cantidad. Estos sistemas permiten disminuir los tiempos de rotación y las pérdidas en la productividad de los animales, sin importar el tipo de ganadería. Actualmente estos problemas, se intensifican y se vuelven comunes por lo que se incluye el uso de henos y silos, como herramientas de compensación (Integra, 2019).

El principal problema en granja experimental Villa Marina es que no cuenta con praderas que produzcan el forraje suficiente y con la calidad adecuada para la alimentación de animales (caprinos, ovinos, bovinos, bufalinos, porcinos, conejos). Debido a las problemáticas que se presentan en la granja, se optó por proponer un cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers) para la alimentación de los animales de la granja experimental Villa Marina.

En este contexto, el presente análisis propuso como objetivo evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables fisicoquímicas del suelo y agronómicas y productivas del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.) en las condiciones de clima y suelo de la granja experimental Villa Marina.

Problema

Planteamiento y Descripción del Problema

Aumento de precios en los fertilizantes, un reto para los agricultores

Los fertilizantes son productos químicos que se utilizan en los cultivos, con el fin de aportar los nutrientes necesarios al suelo para permitir el correcto desarrollo de las plantas; ya que como mínimo se necesitan 16 nutrientes para que las semillas germinen de manera eficaz.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, en Colombia se aplican 392,5 kilogramos de fertilizantes más en comparación con los demás países de Latinoamérica.

A pesar de que estos productos son un insumo principal del sector agropecuario, sus altos costos están afectando a los productores. Pues según el viceministro de asuntos agropecuarios del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Juan Gonzalo Botero, desde el año 2020 y en lo corrido del año 2021, han aumentado exponencialmente los precios de los agroquímicos y droga veterinaria en más del 30 %.

Otro dato que revela el aumento de precios es que, conforme con el boletín mensual de insumos agrícolas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, solo en el mes de junio del 2021 el 47,33 % de los fertilizantes, enmiendas y acondicionadores de suelo subieron su valor comercial. En ese sentido, muchos de los agricultores no pueden adquirir los fertilizantes, o no logran recuperar lo que pagaron por ellos, en la venta de sus cosechas (Medina, 2021).

Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes inorgánicos

Los fertilizantes inorgánicos han contribuido al rendimiento de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo. El consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 181,9 millones de toneladas en el periodo 2014/2015, correspondiente a 102,5 millones de t de nitrógeno; 45,9 millones de t de fósforo y 33,5 millones de t de potasio. La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos. Pero la aplicación excesiva ha producido

eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad. Los principales impactos negativos de los fertilizantes sobre el agua son: lixiviación, aguas subterráneas y superficiales. En el caso del suelo los impactos negativos son: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro microfauna (Ulibarry, 2019).

Unos de los problemas en la granja Villa Marina es la alimentación para los animales ya que en la granja solo se maneja ensilados, bloques, suplementos alimenticios (concentrados artesanales) y en el momento se están haciendo ensayos con hidropónicos, debido al relieve de la granja es bastante complejo para alimentación y la dificultad para adquisición para insumos (alimentos concentrados y fertilizantes inorgánicos) es otra problemática.

Debido a las problemáticas presentadas en la granja Villa Marina se elaboró un ensayo utilizando el cultivo sorgo forrajero con dos enmiendas orgánicas con el fin de ofrecer un plan alternativo de producción y puedan efectuar estas enmiendas a futuro para la producción de biomasa en la alimentación animal y puedan luego generar ganancias con la comercialización de estas enmiendas.

Justificación

Una de las mayores causas por la que el sorgo ha perdido competitividad en la agricultura de este país y ha disminuido las áreas cultivadas se debe a los acuerdos comerciales de Tratado de Libre Comercio (TLC), esto produjo una disminución en la producción de este cultivo en Colombia. El elevado costo de los productos necesarios para la producción de este cultivo hace elevar los costos de producción por lo cual la importación es la mejor opción para el estado que comprarles a los agricultores de este país.

En Colombia no se ha realizado una ardua investigación sobre el sorgo, se están manejando las mismas variedades, líneas, ocasionando que se incrementen los costos por el excesivo uso de agro insumos. Al contrario, el maíz y arroz ha tenido una ardua investigación y se ha tenido un incremento en sus áreas sembradas en el país, lo cual los convierte en los cultivos más competitivos del país, haciendo que el sorgo pierda gran competitividad y baje su área sembrada. En los últimos años FENALCE, ICA y demás entes investigadores gubernamentales no han realizado investigaciones en el cultivo de sorgo, por esta y otras razones el sorgo no ha tenido mayor representación en Colombia, sus áreas sembradas han disminuido ya que los agricultores buscan alternativas en donde les dejen mayor rentabilidad (Godoy, 2017).

Los trabajos realizados en algunas partes del mundo, han demostrado que la aplicación de materia orgánica provoca efectos positivos en algunas propiedades físico mecánicas de suelo, como lo pueden ser la densidad aparente y la porosidad gruesa (estructural), pero, en estos trabajos se enfocan a determinaciones que evalúan efectos a corto plazo mas no a largo plazo, ya que los cambios en las propiedades físicas del suelo al aplicar residuos orgánicos se mitigan rápidamente en el tiempo y con el manejo. Asimismo, no se consideran efectos sobre la agregación de suelos y las propiedades mecánicas. Las aplicaciones en cantidades excesivas de materiales orgánicos, o aplicaciones en suelos con un alto contenido de materia orgánica, pueden provocar hidrofobia, y aparición de sellado superficial y flujos, una tasa de infiltración mínima y escorrentía superficial mayor (Nordcliff, 1998; Zhang et al., 2002).

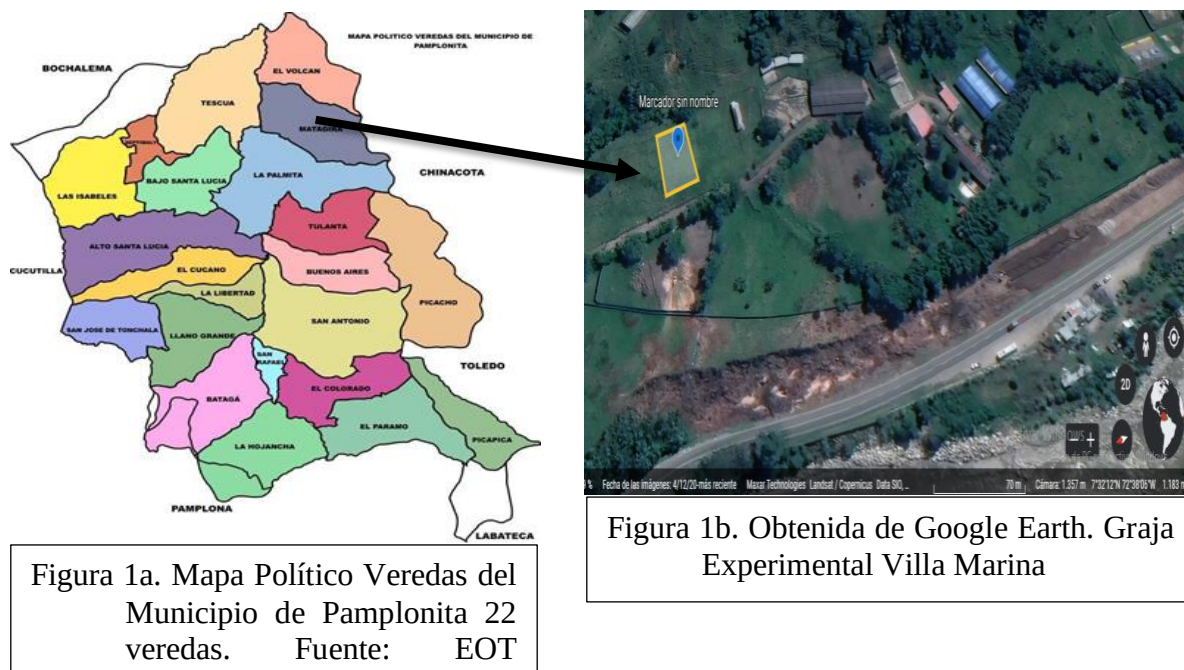
En este sentido, considerando la necesidad de mejorar la producción de alimentos para la alimentación animal de la granja Villa Marina sin generar contaminación y a su vez mejorar

la calidad los suelos se propuso evaluar el cultivo de sorgo y el efecto de los abonos orgánicos sobre el suelo.

Delimitación

El presente proyecto se llevó cabo en la granja experimental “Villa Marina” propiedad de la Universidad de Pamplona, se encuentra entre los 7° 32′ 8″ Latitud Norte y entre los 72° 38′ 8.11″ Longitud Oeste (Figura 1), se evaluó el cultivo de sorgo (*Sorghum vulgare*) sembrado como cultivo puro bajo fertilización orgánica. Se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se evaluó el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables del suelo y de crecimiento y rendimiento cultivo del sorgo.

Figura 1. Delimitación Espacial de la Investigación.



Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables fisicoquímicas del suelo y agronómicas y productivas del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.).

Objetivos Específicos

Analizar el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas propiedades fisicoquímicas del suelo cultivado con sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.).

Determinar el efecto del tipo de enmienda orgánica y fertilizante inorgánico sobre algunas variables agronómicas y productivas del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.).

Marco Teórico

Antecedentes

El efecto de enmiendas orgánicas tales como lodos urbanos sobre las propiedades físicas del suelo en el largo plazo tales como la porosidad y la formación de agregados fueron evaluados por Cuevas et al. (2006) y encontraron que la aplicación del lodo generó mayor estabilidad de los agregados, con aumentos aproximados de un 78 %, asegurando esto una potencial protección del suelo ante la erosión y también la redistribución del sistema poroso tiene un aumento en la capacidad de retención de agua.

Wingching et al. (2004) evaluaron diferentes dosis de un abono orgánico elaborado con desechos avícolas y pulpa de café como fuente de N y Nutrán (33,5 % N) como fuente química en el cultivo de sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero sobre diferentes características nutritivas y de producción. La investigación se realizó en el distrito de Río Cuarto de Grecia, Costa Rica. Los tratamientos fueron los siguientes: la parcela química (Tq) se fertilizó con 300 kg/ha/año de N, a las 3 parcelas con fertilización orgánica se le aplicó dosis equivalentes al 50% (150 kg ha⁻¹ N), 75% (225 kg ha⁻¹ N) y 100% (300 kg ha⁻¹ N) de la fertilización química, denominadas Tor1, Tor2 y Tor3, correspondiente a dosificaciones de 8,6, 12,8 y 17,1 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. A la parcela testigo (To) no se le aplicó ningún tipo de fertilizante. Los mejores rendimientos de materia verde (MV), materia seca (MS) y digestible se obtuvieron con la fertilización química (300 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N) y con la aplicación de 225 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N con base en la fertilización orgánica (12,8 t ha⁻¹ año⁻¹), sin cuantificar diferencias estadísticas entre sí. El efecto de la fuente nitrogenada (química u orgánica), presentó influencia sobre el contenido de proteína.

Carrillo et al. (2004) evaluaron diferentes materiales de sorgo y mijo forrajeros con altos rendimientos de materia seca durante el período primavera-verano bajo condiciones de riego parcial y también estudió el grado de relación entre el rendimiento biológico, variables derivadas del análisis de crecimiento y variables fenológicas. Se evaluaron seis variedades comerciales de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) y una de mijo perla (*Pennisetum americanum*), también del International Crop Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India se evaluaron seis líneas de este cultivo. En el primer corte no se observó correlación alguna entre

producción de materia seca (PMS) y los parámetros para análisis de crecimiento. En el segundo corte se observó una buena correlación ($-0,730$) entre PMS y TAN (tasas de asimilación neta). La correlación que mayor se observó ($r=0,932$) fue la de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) con el índice de área foliar (IAF). En ambos cortes, el área foliar específica y el IAF se correlacionaron de manera más directa y muy significativa con la producción de materia seca (PMS), pero con la razón de peso foliar fue diferente ($r=-0,784$) lo que quiere decir que fue negativa.

En una investigación realizada por Hernández et al. (2019) se evaluó la fenología, mediante análisis de crecimiento y cuantificación del rendimiento de materia seca en cuatro variedades de sorgo forrajero, con dos fechas de siembra: punta de riego (abril-octubre) y período de lluvias (junio-diciembre) en Montecillo, Estado de México. Los resultados mostraron que la variedad caña dulce presentó mayor altura de la planta (210 cm) en ambos períodos, a 145 días después de la siembra (dds); lo anterior, resultó en mayores rendimientos ($p \leq 0.05$) por metro cuadrado (15.7 y 15.5 t Ms ha⁻¹) en punta de riego y período de lluvias. La variedad Silo miel presentó mayor IAF con 5 a 125 dds y 4,6 a 120 dds y DAF de 114 días; lo anterior, para punta de riego y lluvias, respectivamente, La variedad esmeralda fue la que presento el ciclo más corto. El estudio concluye que la mejor variedad para la región fue Caña dulce, pudiéndose aprovechar de dos a tres cosechas anuales con mejor distribución de materia seca.

La aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.) fue valorado por Hernández et al. (2005). En este estudio se aplicó lodo residual, fertilizante químico y estiércol de bovino en un suelo típico del suroeste de la ciudad de Durango, México, para estimar y comparar la posible mejora en la producción de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). Se cuantificó la concentración de metales pesados en la parte aérea de la planta y en su raíz, para estimar si la planta los absorbe, ya que éstos no pueden degradarse en el suelo. El lodo residual proviene de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Durango y no es impactada por la industria ya que sólo se tratan aguas residuales domésticas. Los resultados indican que la producción de materia seca vegetal es mayor en los tratamientos que utilizan lodos residuales y estiércol bovino y que la producción vegetal es menor en los tratamientos con fertilizante químico y el testigo.

Mtz et al. (2001) pusieron a prueba abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz, el trabajo se estableció en el ejido Venecia,

municipio de Gómez Palacio, Durango-México. Se evaluaron cuatro tratamientos de abonos orgánicos a dosis de 20, 30 y 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta, y 4, 8 y 12 t ha⁻¹ para gallinaza, y un testigo con fertilización inorgánica (120-40-00 de N-P-K). Se utilizó el maíz genotipo San Lorenzo. Las variables que se evaluaron fueron: contenido de humedad, pH, materia orgánica, N, P y rendimiento de grano. Los resultados indican cambios en las características químicas del suelo (materia orgánica, N y P) antes y después de la siembra. En el caso de características físicas, no existió diferencia significativa. El rendimiento de grano con el tratamiento de fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K fue el mejor (6,05 t ha⁻¹); el abono orgánico de composta (5,66 t ha⁻¹) mostró similares resultados. Los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 t ha⁻¹, son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica.

Valdivia et al. (2019) evaluaron diferentes tipos de fertilización orgánica, química y combinada sobre el cultivo del sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cv. ABS-4600 sembrado como cultivo puro y en asocio con frijol mungo [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] en la unidad experimental “El Plantel” propiedad de la Universidad Nacional Agraria. Para la fertilización se aplicó fertilizante químico (12-30-10) a razón de 130 kg/ha, en la-1 y 65 kg/ha de urea, biogreen a razón de 6363,62 kg/ha, combinación de biogreen + químico la relación fue de 75 kg/ha y 3181,82 kg/ha. Las variables las cuales no fueron significativas estadísticamente fueron altura de la planta, número de hojas, número de granos por panoja, densidad poblacional, peso de 1000 granos, rendimiento del grano, el porcentaje de materia seca y biomasa seca. Este estudio concluye que en la variable de macros y micros nutrientes presentes en el suelo no hubo mucha diferencia en ambos factores para el calcio, al contrario que para la extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, magnesio y manganeso si hubo una diferencia significativa, el potasio fue la que mayor extracción obtuvo 36,27kg/ha-1.

González-Pedraza et al. (2021) evaluaron la respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de abonos orgánicos en el municipio Pamplona, Norte de Santander. La altura de las plantas fue afectada positivamente por el uso combinado de vermicompost a la mitad de la dosis recomendada (3915,50 kg/ha) más la mitad de la dosis de fertilizante químico triple 15 (703,50kg/ha) en comparación con el tratamiento control.

Marco conceptual

Generalidades de la planta de sorgo

El sorgo es una planta de ciclo anual, su metabolismo es "C-4", con un sistema radicular extenso y ramificado, de características fibrosas y hasta 12 cm de profundidad. Su tallo es cilíndrico, de 1 a 3 m de altura, con una inflorescencia terminal en forma de espiga compuesta por flores bisexuales. El grano es una cariósida de alrededor de 4 mm de diámetro (Zamora et al., 2006).

El sorgo es un cultivo de buena adaptabilidad a ambientes y bajo condiciones desfavorables para la mayoría de los otros cereales no se le dificulta producir grano. Debido a su resistencia a la sequía se considera como el cultivo más apto para las regiones áridas con lluvia errática (Cheesman, 1972).

Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo del sorgo

El abono orgánico no libera grandes cantidades de nutrientes para el cultivo de una sola vez, su intención es incrementar la materia orgánica para alimentar a los microorganismos para convertir a los elementos nutritivos a una forma digerible para la planta bajo aplicación de diferentes abonos orgánicos (Vásquez, 2008).

La mejoría de los abonos orgánicos se puede observar del tercer a cuarto año de producción, en este lapso sus resultados pueden ser casi o igual de buenos como el fertilizante mineral y se estabiliza la producción (Altieri, 1995).

La liberación de nutrientes por parte de los abonos orgánicos se emplea con un 30% el primer año de aplicación, 15% en el segundo año y en cada año posterior la cantidad disponible es por mitades (Widdowson, 1993).

Clasificación taxonómica del sorgo

El sorgo pertenece a la familia de las Poaceas, las especies son el *Sorghum vulgare* y el *Andropogon sorghum sudanensis*, es una planta sexual, monoica, hermafrodita, de polinización cruzada (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.)

Clasificación Científica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Monocotyledoneae
Subclase	Lilidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Género	Sorghum
Especie	Bicolor

Fuente: (Trópicos, 2023)

Importancia del análisis de suelo

El análisis químico del suelo es necesario para el manejo de suelos porque permite hacer una mejor planificación, así como calcular las dosis precisas de aplicación de nutrientes (Agolabs, 2017).

Enmiendas orgánicas sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo

Una opción para minimizar el impacto ambiental es el compostaje y gallinaza, estos tienen diversas aplicaciones de interés agrícola como lo son abonos, sustratos orgánicos y

enmiendas. Su aplicación a prácticas agrícolas es de vital importancia no solo para una buena fuente de nutrientes para la planta, sino por sus beneficios en propiedades físico, químicas y biológicas de los suelos, uno ejemplo de estos beneficios es la disminución de la erosión (Hernández et al., 2010).

Marco Legal

Acuerdo N° 186 de la Universidad de Pamplona, diciembre 02 de 2005. Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado.

ARTÍCULO 35. Definición de trabajo de grado. En el Plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina “TRABAJO DE GRADO”, por medio del cual se consolida en el estudiante su formación integral, que le permite: a. Diagnosticar problemas y necesidades, utilizando los conocimientos adquiridos en la Universidad. b. Acopiar y analizar la información para plantear soluciones a problemas y necesidades específicas. c. Desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones. d. Formular y evaluar proyectos. e. Aplicar el Método Científico a todos los procesos de estudio y decisión. PARÁGRAFO PRIMERO. El Trabajo de Grado, según sus características puede ser realizado en forma 22 individual o en grupo. Corresponde al Comité de Trabajo de Grado autorizar que dos (2) o más estudiantes se integren para realizar uno solo. En todos los casos, se presentará un sólo informe.

ARTÍCULO 36. – MODALIDADES DE TRABAJO DE GRADO, puede desarrollarse en las siguientes modalidades: Investigación: comprende diseños y ejecución de proyectos que busquen aportar soluciones nuevas a problemas teóricos o prácticos, adecuar y apropiar tecnologías y validar conocimientos producidos en otros contextos. Para los estudiantes que se acojan a esta modalidad, deberá presentar al director de departamento el anteproyecto que debe contener: propuesta para la participación en una línea de investigación reconocida por la Universidad, tutor responsable del Trabajo de Grado y cronograma, previo estudio y aprobación de la misma, del respectivo Grupo de Investigación (Unipamplona, 2022, p.1-p.2).

RESOLUCIÓN No.115708 (27/12/2021) “Por la cual se establecen los requisitos para obtener la Autorización Sanitaria y de Inocuidad en los predios productores de animales destinados a la producción de carne y/o leche para el consumo humano”

ARTÍCULO 10. Requisitos de Buenas Prácticas para la Alimentación Animal.

10.1. Los alimentos comerciales para animales (alimentos completos, suplementos alimenticios y sales mineralizadas) que se utilicen en el predio, deben contar con registro ICA.

10.2. No utilizar en la alimentación de los animales productos o subproductos de cosecha de cultivos ornamentales, leche de retiro, mortalidades, excretas ni desechos de alimentación humana (lavazas).

10.3. En las praderas y cultivos destinados a la alimentación de los animales, que emplee plaguicidas, fertilizantes y demás insumos agrícolas, estos deben contar con registro ICA de acuerdo con la normatividad vigente, respetando los periodos de carencia consignados en el rotulado del producto cuando corresponda.

10.4. Las formas de aplicación, uso y manejo de estiércol y efluentes (aguas servidas con desechos sólidos y líquidos) utilizados como abonos en pastizales y cultivos destinados a la alimentación de los animales deben evitar la contaminación ambiental y el riesgo biológico.

10.5. Contar con áreas, contenedores y/o instalaciones para el almacenamiento de alimentos para animales, suplementos nutricionales, sales mineralizadas, de tal forma que se mantenga su calidad y se evite el riesgo de contaminación cruzada, prevengan su deterioro, contaminación y la proliferación de plagas.

10.6. En caso de disponer de bebederos estos deben ser funcionales, que aseguren y permitan el acceso a voluntad de los animales de forma permanente, acordes con el sistema productivo, especie y cantidad de animales; deben estar elaborados con materiales que faciliten su limpieza y desinfección cuando se requiera, así como permanecer limpios y en buen estado (ICA, 2021, p.8).

RESOLUCIÓN ICA No. 00375 (27 de febrero de 2004) Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia.

ARTÍCULO 1o. Es objeto de la presente Resolución: a) Orientar la producción, importación, exportación, comercialización, uso y manejo adecuado y racional de los

Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola para prevenir y minimizar daños a la salud humana, la sanidad agropecuaria y el ambiente bajo las condiciones autorizadas y para facilitar el comercio nacional e internacional. b) Establecer requisitos y procedimientos unificados y armonizados con reglamentaciones internacionales vigentes, para el registro y el control legal y técnico de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola, especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, rotulado y parámetros para verificación de la conformidad (ICA, 2004, p.1-p.2).

Metodología

El estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental Villa Marina que se encuentra ubicada en la fracción de Matajira, jurisdicción Municipal de Pamplonita, ubicada en el kilómetro 49 sobre la vía Pamplona- Cúcuta.

El terreno se preparó empezando con la tala del anterior cultivo (maíz), seguidamente con la ayuda de un motocultor se preparó el suelo para la siembra, se sembró en surcos con 1kg de semilla.

Diseño experimental

Se realizó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones con el fin de evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas y un fertilizante inorgánico sobre algunas variables del suelo y de crecimiento y rendimiento del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*),

Se seleccionó un área experimental de 150,33 m² que se dividió en cinco bloques de 16 m x 1,61 m (25,76 m² cada bloque) y una separación de 0,26 m entre bloques. Cada bloque se dividió en cuatro parcelas de 4 m x 1,61 m (6,44 m²/parcela) para la distribución de los respectivos tratamientos con una separación de 26 cm entre parcelas.

Diseño de tratamientos

Se evaluaron dos enmiendas (lombricomposta y Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha) y un fertilizante inorgánico (15-15-15) con diseños de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, los tratamientos constaron de:

T1 = Sin fertilización

T2 = Enmienda 1, Abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha

T3 = Enmienda 2, Abono orgánico lombricompost producido en la granja Villa Marina

T4 = Fertilizante inorgánico 15-15-15

Las enmiendas orgánicas fueron aplicadas de forma fraccionada a lo largo del desarrollo del cultivo los días cero, 40, y 70 después de la siembra (dds). Las dosis dependieron del análisis de suelos del lote donde se realizó el estudio. El análisis de suelo se realizó obteniendo 1 muestra representativa compuesta por 8 submuestras tomadas en zigzag. Las propiedades fisicoquímicas del suelo que se midieron fueron el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración en un suelo.

Variables de estudio suelo

Las variables de suelo evaluadas fueron: textura, humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, resistencia a la penetración, pH, conductividad eléctrica y carbono orgánico total.

Textura.

La textura del suelo se determinó siguiendo el método del hidrómetro de Gee y Bauder (1986). El procedimiento para la determinación de la textura consistió en pesar 40 gramos (g) de suelo seco y tamizado menor a 2 mm a los que se le adicionaron 100 mL de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio, se agito en una licuadora durante cinco (5) minutos y luego se transfirió a un cilindro graduado de un (1) litro, se adiciono agua destilada hasta completar el volumen y se agito con una varilla de metal durante un (1) minuto para homogenizar la mezcla lo más posible. Después de terminada la agitación se introdujo el hidrómetro realizando la primera medida a los cuarenta (40) segundos. Con este valor se determinó la cantidad de arena que contiene la muestra de suelo. Esta misma operación se repitió exactamente a las dos horas para determinar el porcentaje de arcilla y limo del suelo. Por diferencia entre ambas medidas se obtuvo el porcentaje de limo.

Humedad gravimétrica (W).

La humedad gravimétrica (W) se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Gardner (1986). Sobre las mismas muestras de suelo tomadas para la determinación de la densidad aparente se determinó el porcentaje de humedad del suelo. Para ello se secaron las muestras de suelo contenidas en el cilindro en un horno de secado a 105 °C con un tiempo de 24 a 36 horas; al cabo de este tiempo, se retiraron las muestras y se pesaron. Se calculó el porcentaje de humedad con la ecuación 1, con el apoyo de las ecuaciones 2 y 3. En un formato como muestra en la siguiente formula se registraron los resultados que se obtuvieron (Tabla 2).

$$W = \frac{(\text{Peso de suelo humedo} - \text{Peso de suelo seco})}{\text{Peso de suelo seco}} * 100 \quad [1]$$

$$P_{sh} = P_{sch} - P_{sc} \quad [2]$$

$$P_{ss} = P_{css} - P_c \quad [3]$$

Tabla 2. Formulario para el registro de los resultados que se obtengan en la determinación de la humedad gravimétrica.

Muestra	Pc (g)	Pcsh (g)	Pcss (g)	Psh (g)	W (%)
---------	--------	----------	----------	---------	-------

Fuente: Jaramillo (2002).

Humedad volumétrica (θ).

La humedad volumétrica se determinó mediante la siguiente formula:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} * 100$$

Dónde: θ : humedad volumétrica (%)

V_w : volumen del agua (cm³)

Vt: volumen total del suelo (cm³)

Densidad aparente.

La densidad aparente se determinó siguiendo la metodología propuesta por Blake y Hartge (1986). Se tomaron muestras de suelos en los primeros 10 cm de profundidad con el uso de los cilindros de metal de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura, los cuales fueron introducidos en el suelo con la ayuda de un martillo de goma. Una vez tomadas las muestras sin perturbar, se taparon con papel aluminio y se trasladaron al laboratorio, donde se pesaron y se secaron en una estufa a 105 °C por 24 horas, se dejó enfriar y se volvieron a pesar. La densidad aparente se calculó de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{Psh}{V(1 + W)}$$

Dónde:

δa: Da: Densidad aparente (g*cm⁻³).

Psh: Peso del cilindro de suelo traído de campo (g)

V: Volumen del cilindro metálico (cm³).

W: Humedad obtenida de la muestra secada en estufa (fracción adimensional).

Densidad real.

Para la determinación de la densidad real se utilizó el método del picnómetro de Blake y Hartge (1986) para lo cual se utilizó muestras de suelo seco y tamizado por la malla de diámetro de hueco menor de 2 mm.

Porosidad total (%).

La determinación del porcentaje de porosidad total se determinó mediante la división de los datos de la densidad aparente sobre la densidad real multiplicada por cien. Se utilizó la fórmula $P (\%) = 100 - ((Da/Dr) * 100)$. El resultado se expresó en porcentaje.

pH.

Se determinó usando el método electrométrico. Este método consistió en el uso de un par de electrodos de vidrio, uno de estos sensible a los iones hidrógeno (H^+) y el otro electrodo usado como referencia. Se preparo una solución acuosa con 10 g de suelo y 20 mL de agua desmineralizada (relación 1:2 de suelo y agua), esta solución se agito manualmente, se dejó en reposo por 30 minutos y se midió el pH en el sobrenadante (Mclean, 1982).

Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica se determinó en los mismos extractos de agua: suelos obtenidos para la determinación del pH (Mclean, 1982).

Carbono orgánico total.

La determinación del carbono orgánico total se realizó por el método de pérdidas de peso por ignición o calcinación. El método de calcinación o pérdida de peso por ignición (PMOI), cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, luego de ser sometida la muestra a temperaturas elevadas durante un determinado tiempo (David, 1988). Las muestras de suelo previamente secadas a la estufa a 105°C se introdujeron en una mufla a 450 °C por 6 horas. El cálculo del porcentaje de materia orgánica se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\%PMOI = \frac{(Peso\ a\ 105\ ^\circ C) - (Peso\ a\ 450\ ^\circ C)}{(Peso\ a\ 105\ ^\circ C)} * 100$$

Variables de estudio de la planta.

Las variables del cultivo evaluadas fueron: altura de la planta, número de hojas en tallo principal, número de nudos en tallo principal, índice de área foliar, número de tallos por macolla. Las mediciones se realizaron los días 24, 54 y 84 después de la siembra (dds) en función de las etapas de crecimiento del cultivo de sorgo, a saber, etapa vegetativa (0-35 días

aproximadamente); etapa reproductiva (de los 35 a 65 días aproximadamente); etapa de maduración (desde los 65 a los 120 días aproximadamente).

Número de hojas.

Se hizo el conteo de las hojas en 10 plantas seleccionadas al azar contando solo las hojas verdaderas.

Altura de la planta.

La altura de la planta se midió tomando 10 plantas al azar por unidad experimental y se halló la altura en los días antes señalados, para ello se utilizó una cinta métrica.

Biomasa verde.

Para la determinación de la biomasa verde se realizó un muestreo destructivo tomando dos plantas por cada unidad experimental, cuya altura de corte se realizó de 10-15 cm desde el nivel del suelo y se realizó sobre la línea de siembra; de acuerdo con la distancia entre líneas (0,70 o 0,35 m), se multiplico el valor obtenido de la unidad de muestreo por 10.000, para expresar la biomasa en kg por hectárea. Para la realización del corte se utilizó un cuchillo. Una vez cortada la unidad de muestreo, se pesó inmediatamente y luego se extrajo una porción de dicho material como submuestra que posteriormente se mezcló con todas las del resto de las unidades evaluadas, conformándose una de no menos de 2 a 3 plantas (para especies de alto porte) obteniendo el contenido de materia seca (Bruno et al., 1995).

Materia seca.

Se eligieron tres plantas por unidad experimental, se tomó su peso inicial, seguidamente se secó en el horno, se tomó su peso después de sacarlo y ya con los resultados se aplicó la fórmula: $\%MS = [(peso\ inicial - peso\ seco) / peso\ inicial]$

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza de una vía para evaluar el efecto de las enmiendas sobre el suelo y el cultivo cuando este fue significativo ($p < 0,05$) se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey. Se utilizó el paquete estadístico SPSS de Windows.

Resultados y discusión

Efecto de dos enmiendas orgánicas y fertilización química sobre algunas variables fisicoquímicas de suelos cultivados con sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.)

Textura

La distribución del tamaño de partículas fue similar en las diferentes parcelas donde se ubicaron los tratamientos. La clase textural de los suelos donde se desarrolló el estudio corresponde a Franco arenoso principalmente (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución del tamaño de partículas y clase textural de los suelos en cada tratamiento.

Tratamientos	Arcilla	Limo	Arena	Clase textural
Porcentaje				
T1	19,2±3,35A	29,31±3,50A	51,49±1,27A	Franco arenoso
T2	21,52±2,92A	26,15±5,81A	52,33±3,67A	Franco arcilloso arenoso
T3	18,02±2,82A	28,06±5,74A	53,92±4,26A	Franco arenoso
T4	19,11±2,61A	25,65±4,35A	55,24±3,90A	Franco arenoso

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio ± desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

La textura es una variable del suelo que no se ve afectada por el manejo que se les dé a los suelos, sin embargo, es muy importante porque determina la dinámica del agua, la aireación y la retención de nutrientes en los suelos. Los con altos porcentajes de arena tienden a ser porosos y bien drenados, sin embargo, la retención de nutrientes es baja (FAO, 2023).

La textura de los suelos es apropiada para el desarrollo del cultivo de sorgo, además al ser grupos texturales similares permite efectivamente comparar y determinar que las diferencias que se encuentre en las variables evaluadas se deben al efecto de los tratamientos y no porque los suelos presenten textura diferente.

Humedad gravimétrica (W)

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 4, no se encontraron diferencias estadísticas en la humedad gravimétrica del suelo. A lo largo del ensayo, el tratamiento sin ningún tipo de fertilización presentó ligeramente un menor grado de humedad con respecto al resto de los tratamientos.

Tabla 4. Humedad gravimétrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Humedad volumétrica (%)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	35,07±4,25A	34,95±4,69A	30,49±2,98A
T2	35,62±2,52A	33,55±1,68A	32,49±4,04A
T3	36,08±3,32A	36,31±5,76A	34,54±4,12A
T4	36,99±3,45A	36,72±1,71A	32,23±1,96A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalita (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio ± desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Los abonos orgánicos pueden tener un efecto positivo sobre la humedad gravimétrica del suelo debido a que mejoran la estructura y agregación del suelo y aumentan la cantidad de poros grandes y pequeños, lo que facilita la entrada de agua y la retención de humedad, permite

una mejor infiltración de agua en el suelo y reduce la escorrentía superficial. Los abonos orgánicos contienen materia orgánica que, cuando se descompone, mejora la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. El efecto de los abonos orgánicos sobre la humedad gravimétrica del suelo depende de factores como el tipo y la cantidad de abono utilizado, el tipo de suelo y las condiciones climáticas locales. Por lo tanto, se recomienda realizar pruebas de campo y monitorear regularmente el contenido de humedad del suelo para evaluar el efecto de los abonos orgánicos sobre la humedad gravimétrica del suelo en una determinada zona (Macías et al., 2020).

Humedad volumétrica (θ)

Al igual que la humedad gravimétrica, la humedad volumétrica no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 5). A los 24 días de siembra del cultivo tanto T1 como T4 presentaron los porcentajes ligeramente más bajos, mientras que T3 presentó una humedad mayor a los 84 dds.

Tabla 5. Humedad volumétrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Humedad volumétrica (%)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	34,51±6,87A	36,48±4,02A	33,31±8,50A
T2	35,55±5,55A	34,77±5,10A	31,66±4,87A
T3	36,87±4,95A	34,88±6,01A	35,56±4,05A
T4	34,02±6,62A	38,41±4,79A	34,79±4,50A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras

mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

En suelos franco arenosos los abonos orgánicos pueden tener efectos positivos en la humedad volumétrica. Estos suelos tienen una textura gruesa que les permite un mejor drenaje, pero también significa que tienen una baja capacidad de retener agua. Los abonos orgánicos pueden mejorar la capacidad de retención de agua de estos suelos al aumentar la materia orgánica, lo que a su vez mejora la capacidad de los suelos para retener agua. La materia orgánica actúa como una esponja, absorbiendo y reteniendo agua en el suelo. A medida que los abonos orgánicos se descomponen, también mejoran la estructura del suelo (Macías et al., 2020).

Densidad aparente

La densidad aparente de los suelos (Da) presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre T1 (sin fertilización) con el resto de los tratamientos, mientras que entre los tratamientos T2, T3 y T4 no hubo diferencias ($p > 0,05$) en los diferentes tiempos evaluados a lo largo del estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Densidad aparente de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Densidad aparente		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	1,22±0,03A	1,23±0,11A	1,28±0,08A
T2	1,05±0,03B	1,07±0,06B	1,08±0,05B
T3	1,10±0,06B	1,09±0,08B	1,10±0,07B
T4	1,01±0,07B	1,04±0,09B	1,09±0,08B

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalita (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja

Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Los abonos orgánicos pueden tener un efecto positivo en la densidad aparente del suelo. La densidad aparente está determinada por varios factores, incluyendo la composición y estructura del suelo, así como las prácticas de manejo del suelo. Cuando se aplican abonos orgánicos al suelo, se puede mejorar la estructura del suelo y aumentar la cantidad de materia orgánica presente. Esto puede resultar en una disminución de la densidad aparente, ya que la materia orgánica ayuda a mejorar la porosidad del suelo y aumenta su capacidad para retener agua y nutrientes. Adicionalmente, los abonos orgánicos pueden aumentar la actividad microbiana en el suelo, lo que a su vez puede contribuir a la formación de agregados estables y disminuir la compactación del suelo. Los abonos orgánicos pueden tener un efecto positivo en la estructura y calidad del suelo, lo que puede mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Trinidad-Santos y Velasco-Velasco, 2016).

Densidad real

La densidad real de los suelos no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos. Los valores estuvieron en el rango 1,80 a 2,29 g/cm³ (Figura 2).

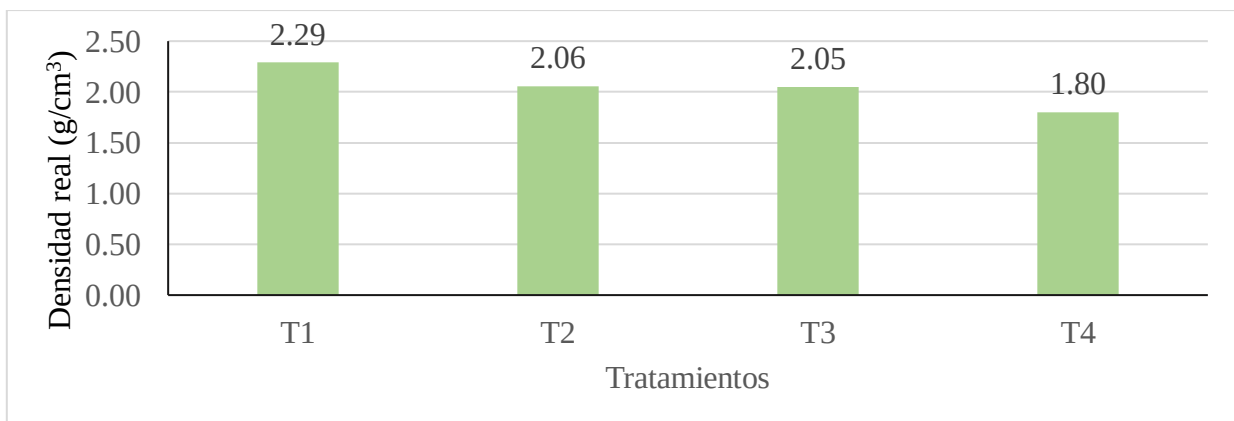


Figura 2. Densidad real de los suelos en cada tratamiento.

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Al igual que la textura, la densidad real es un parámetro que no cambia con el manejo que se dé a los suelos. Sin embargo, permite conocer el tipo de minerales que están presente en los suelos. Los valores de densidad real encontrados corresponden a los típicos de suelos tropicales compuestos por aluminosilicatos y sílices (Rucks et al, 2004). Adicionalmente, es un valor necesario para el cálculo de la porosidad total de los suelos.

Porosidad total (%)

La porosidad total no presentó diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$). Sin embargo, los valores más bajos se observaron en T2 (Tabla 7).

Tabla 7. Porosidad total de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Porosidad total (%)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	44,49 $\pm$ 11,92A	43,78 $\pm$ 13,49A	41,21 $\pm$ 13,84A
T2	37,32 $\pm$ 24,97A	35,61 $\pm$ 27,10A	35,69 $\pm$ 24,94A
T3	42,21 $\pm$ 18,39A	42,68 $\pm$ 17,71A	41,96 $\pm$ 18,91A
T4	39,46 $\pm$ 19,07A	37,80 $\pm$ 17,96A	35,21 $\pm$ 15,94A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja

Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Es interesante observar que T2 haya presentado menor porosidad, sin embargo, este valor es consistente con el hecho de que en ese tratamiento se encontró un porcentaje más alto de arcilla, lo cual podría explicar la menor porosidad.

Resistencia Mecánica a la penetración

No se encontró diferencias estadísticas en la resistencia mecánica a la penetración (RMP) entre los diferentes tratamientos evaluados en cada uno de los diferentes tiempos de medición (Tabla 8). Aunque no se presentaron diferencias estadísticas, numéricamente se puede apreciar una mayor RMP especialmente en con el tiempo de medición, siendo T1 el que presentó el valor más alto.

Tabla 8. Resistencia mecánica a la penetración de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Resistencia mecánica a la penetración Días después de la siembra kg/cm ² (dds)		
	24	54	84
T1	0,4 $\pm$ 0,18A	0,56 $\pm$ 0,0A	0,96 $\pm$ 0,32A
T2	0,41 $\pm$ 0,14A	0,62 $\pm$ 0,19 ^a	0,79 $\pm$ 0,27A
T3	0,49 $\pm$ 0,18A	0,60 $\pm$ 0,23 ^a	0,89 $\pm$ 0,39A
T4	0,47 $\pm$ 0,16A	0,65 $\pm$ 0,15A	0,77 $\pm$ 0,24A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa

Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

La RMP es un parámetro que permite identificar el grado de compactación de los suelos. Los datos aquí presentados no superaron los máximos permitidos para esta variable (2,5 Mpa) lo que permite interpretar que los suelos no se encuentran compactados. De igual forma, se aprecia que la RMP aumentó a los 84 dds lo cual pudiera ser atribuido a la preparación inicial del suelo donde el suelo se encontraba suelto debido a las labores de preparación, mientras que al final ya el suelo se encontraba más compacto.

pH

El pH de los suelos no presentó diferencias entre los tratamientos con excepción de T2 a los 24 dds el cual resultó significativamente más alto. Por otro lado, los valores obtenidos corresponden a suelos neutros (Tabla 9).

Tabla 9. pH de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	pH (1:2)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	6,47 $\pm$ 0,46A	7,04 $\pm$ 0,14A	7,06 $\pm$ 0,32A
T2	7,03 $\pm$ 0,22B	7,10 $\pm$ 0,12A	7,13 $\pm$ 0,32A
T3	6,83 $\pm$ 0,28A	7,13 $\pm$ 0,13A	7,05 $\pm$ 0,22A
T4	6,98 $\pm$ 0,22A	7,12 $\pm$ 0,12A	7,01 $\pm$ 0,41A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalita (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja

Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Desde el punto de vista químico, se aprecia que estos suelos no tienen problemas de acidez dado su pH neutro. Los abonos orgánicos pueden tener diferentes efectos sobre el pH de los suelos, dependiendo de varios factores, como el tipo de abono, la cantidad aplicada, el tipo de suelo y las condiciones ambientales. En general, los abonos orgánicos suelen tener un efecto acidificante sobre el pH del suelo, ya que muchos de ellos contienen ácidos orgánicos, como el ácido acético o el ácido láctico. Sin embargo, este efecto acidificante puede ser temporal y reversible, ya que los microorganismos del suelo pueden metabolizar estos ácidos y liberar iones hidróxido (OH⁻ que neutralizan el ácido y elevan el pH) (González-Mancilla et al., 2013).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de los suelos fue baja, aunque presentó un aumento al final del ensayo, sin embargo, esto no representa un problema de sales en los suelos (Tabla 10).

Tabla 10. Conductividad eléctrica de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Conductividad eléctrica (μ S/cm)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	1,00 $\pm$ 0,46A	0,94 $\pm$ 0,49A	2,56 $\pm$ 1,04A
T2	1,90 $\pm$ 2,70A	2,10 $\pm$ 0,84A	2,20 $\pm$ 1,06A
T3	1,50 $\pm$ 1,10A	1,66 $\pm$ 0,90A	2,48 $\pm$ 0,61A
T4	1,10 $\pm$ 0,64A	1,62 $\pm$ 1,29A	2,58 $\pm$ 1,39A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (dosis completa); T3: Enmienda 2

compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (Dosis completa); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (Dosis completa). Valores promedio $\pm$ desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Los abonos orgánicos pueden aumentar la conductividad eléctrica debido a la presencia de iones en su composición, como el nitrato o el fosfato, que son altamente conductores. Sin embargo, este aumento en la CE puede ser beneficioso para algunas plantas y cultivos, ya que indica una mayor disponibilidad de nutrientes. Es importante tener en cuenta que la aplicación excesiva de abonos orgánicos puede tener efectos negativos sobre el pH y la CE del suelo, así como sobre la salud de las plantas y el medio ambiente en general. Por lo tanto, se recomienda aplicar los abonos orgánicos en cantidades y frecuencias adecuadas, y monitorear regularmente los niveles de pH y CE del suelo para asegurar su equilibrio y salud. Salinas et al. (2012) encontraron un aumento de la CE en los suelos debido a la aplicación de guano de isla y señalan que esto significa probablemente esa respuesta se deba a la presencia de un mayor contenido de sales debido a los orines y restos de heces.

Carbono orgánico total

El carbono orgánico total del suelo fue un parámetro que tampoco presentó diferencias entre los tratamientos. Los valores encontrados corresponden a niveles medios a altos en esas condiciones de clima medio (Tabla 11).

Tabla 11. Carbono orgánico total de los suelos en cada tratamiento a diferentes días después de la siembra.

Tratamientos	Carbono orgánico total (%)		
	Días después de la siembra (dds)		
	24	54	84
T1	5,13 $\pm$ 0,38A	5,04 $\pm$ 0,31A	5,64 $\pm$ 1,65A
T2	5,01 $\pm$ 0,36A	4,88 $\pm$ 0,44A	4,50 $\pm$ 0,38A

T3	5,40±0,35A	5,22±0,44A	4,97±0,21A
T4	5,13±0,29A	5,09±0,14A	4,97±0,52A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio ± desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Los abonos orgánicos pueden tener un efecto positivo en el carbono orgánico de los suelos. El carbono orgánico es un componente clave de la materia orgánica del suelo, que ayuda a mantener la estructura y la fertilidad del suelo. Los abonos orgánicos aportan altas cantidades de carbono orgánico y otros nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Cuando se agregan al suelo, los microorganismos del suelo comienzan a descomponerlos y liberan nutrientes y carbono orgánico (Ramos y Terry, 2014).

Biomasa verde para las diferentes variables de la planta

La altura de la planta (AP) se evaluó a los 84 dds, de acuerdo con el análisis de la varianza se encontró diferencias estadísticas en T4 con respecto a T1 y T3, mientras que fue similar a T2. Entre T1, T2 y T3 no se observaron diferencias. El número de hojas por planta (NHP) no varió entre tratamientos ni al comienzo ni al final del ensayo. Sin embargo, T2 y T4 presentaron un NH ligeramente mayor a los otros tratamientos (Tabla 12).

El número de nudos por planta (NNP) no presentó diferencias estadísticas entre los distintos tratamientos. Al igual que AP, el peso de las hojas (PH) y el peso de la planta (PP) en el T4 fue estadísticamente mayor con respecto a T1 y T3, mientras que fue similar a T2. Entre T1, T2 y T3 no se observaron diferencias. El peso del tallo (PT) fue mayor ($p < 0,05$) en T4 con respecto al resto de los tratamientos mientras que el peso de la parcela (PPA) no presentó diferencias entre tratamientos.

Tabla 12. Variables medidas en la planta en biomasa verde para cada tratamiento al final del experimento.

Variables	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
AP (cm)	92,07±14,91A	101,87±15,81AB	94,07±8,48A	113,07±8,72B
NHP	4,93±0,70A	5,20±0,77A	4,80±0,68A	5,40±0,83A
NNP	5,13±0,74A	5,07±0,88A	5,20±0,77A	5,27±0,70A
PH (g)	6,38±2,65A	8,27±3,94AB	5,89±2,24A	11,37±4,17B
PT (g)	20,52±8,61A	20,52±15,37A	20,59±8,04A	47,54±18,52B
PP (g)	26,90±10,87A	39,24±18,65AB	26,49±9,87A	58,91±21,30B
PPA (g)	4240,00±2719,01A	7300,00±4415,31A	4200,00±777,82A	5120,00±4480,18A

AP: Altura de la planta; NHP: Número de hojas por planta; PH: Peso de las hojas; PT: Peso del tallo; PP: Peso por planta; PPA: Peso por parcela; T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio ± desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

Materia seca

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 13 la materia seca de las hojas y la total de la parcela no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p>0,05$) mientras que la materia seca del tallo y la planta fue estadísticamente mayor en T4 con respecto a T1, pero similar a T2 y T3. Entre T1, T2 y T3 no se observaron diferencias entre estas dos variables.

Tabla 13. Materia seca para cada tratamiento al final del experimento

Tratamientos	Materia seca (g)
--------------	------------------

	Hojas	Tallo	Planta	Parcela
T1	2,41±1,01A	9,46±4,02A	11,87±4,43A	1400,00±992,47A
T2	2,67±0,87A	13,73±6,66AB	16,27±7,21AB	2960,00±1610,28A
T3	2,37±0,81A	11,18±8,11AB	13,55±8,63AB	1440,00±320,94A
T4	2,69±1,00A	18,47±8,69B	20,90±9,49B	1440,00±680,44A

T1: Sin fertilización; T2: Enmienda 1 compuesta por el abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha (2523 kg/ha o 6,5 kg/25,76 m²); T3: Enmienda 2 compuesta por el abono orgánico lombricompost producido en la Granja Experimental Villa Marina (1940 kg/ha o 5 kg/25,76 m²); T4: Fertilizante inorgánico 15-15-15 (295 kg/ha o 0,760 kg/25,76 m²). Valores promedio ± desviación estándar seguido por letras mayúsculas iguales dentro de las columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Fuente: Autores.

El efecto de los abonos orgánicos sobre el crecimiento de las plantas depende de factores como el tipo de abono utilizado, la dosis aplicada, el clima y las condiciones del suelo. Aunque los abonos orgánicos pueden mejorar la calidad del suelo al aumentar su contenido de materia orgánica y nutrientes, resultando en un aumento en el número de hojas del cultivo de sorgo, en este estudio no se observó una respuesta significativa estadísticamente, aunque T2 y T4 presentaron mayor NH que el testigo (T1).

Por otro lado, en este estudio se evidencia que la utilización del abono orgánico Dicomagro a base de gallinaza, caprinaza, roca fosfórica y polihalitha tuvo un efecto importante sobre AP, PH Y PP el cual fue similar al Fertilizante inorgánico. Evidenciando lo que algunos estudios han demostrado, que la aplicación de abonos orgánicos puede aumentar significativamente la altura de las plantas en comparación con los cultivos que no reciben ningún tipo de abono o incluso la fertilización química (González-Pedraza et al., 2021). Los abonos orgánicos pueden afectar positivamente el crecimiento de las plantas debido a que proporcionan nutrientes y materia orgánica que mejoran la calidad del suelo y favorecen el desarrollo de las raíces.

Se llevó a cabo una comparación entre los resultados de esta investigación y otros estudios similares, lo que permitió observar similitudes en los resultados obtenidos. Como resultado del análisis, se concluyó que las enmiendas orgánicas son más importantes que las

enmiendas químicas, ya que, aunque las primeras requieren más tiempo para mostrar efectos, al final del ensayo de investigación se pudo observar un mayor rendimiento en el crecimiento de las plantas y en la producción. Además, al comparar los resultados de la materia seca con otras investigaciones, se encontró que las enmiendas orgánicas son más efectivas que las químicas.

Conclusiones

Se evidenció un efecto positivo de los abonos orgánicos sobre las variables del suelo, pero solo fue significativa en la densidad aparente del suelo.

El uso de los abonos orgánicos impactó positivamente sobre la mayoría de las variables del cultivo tanto en biomasa verde como en materia seca, especialmente el uso del abono Dicomagro.

En comparación con la fertilización química los abonos orgánicos usados en este estudio pueden ser utilizados como una alternativa viable que sustituya el uso de fertilizantes inorgánicos.

Recomendaciones

- Usar los abonos orgánicos como una alternativa viable a la fertilización química.
- Ampliar las dosis a utilizar y evaluar la combinación de ambas fuentes de fertilización.
- Continuar este ensayo en otros trabajos del programa de Ingeniería Agronómica.
- Evaluar la calidad nutricional del sorgo.
- Continuar monitoreando las variables de los suelos con el fin de poder evaluar su impacto a largo plazo.

Bibliografía

- AGOLabs. (2017). LA IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SUELOS AGRÍCOLAS. Obtenido de El análisis de suelos agrícolas es una herramienta fundamental para un correcto programa de fertilización.
- Altieri, M. A. (1995). Agroecología: creando sinergias para una agricultura sostenible. Cuadernos de Trabajo-Grupo Interamericano para el Desarrollo Sostenible de la Agricultura y los Recursos Naturales (EUA)(no. 1) 63 p.
- Blake, G. H., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 5, 363-375.88
- Bruno, O. A., Castro, H., Comerón, E., Diaz, M., Guaita, S., Gaggiotti, M., & Romero, L. (1995). Técnicas de muestreo y parámetros de calidad de los recursos forrajeros. Centro Regional Santa Fe Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Publicacion tecnica N°56.
- Carrillo, J. C., & Ruiz, J. (2004). Producción de forraje en sorgo y mijo: variables de crecimiento. Agronomía mesoamericana, 15(1), 69-76.
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies Sch, A., & Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 6(2), 1-12.
- Cuevas-Reyes, V., Sánchez Toledano, B. I., Servín Juárez, R., Reyes Jiménez, J. E., Loaiza Meza, A., & Moreno Gallegos, T. (2020). Factores determinantes del uso de sorgo para alimentación de ganado bovino en el noroeste de México. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 11(4), 1113-1125.
- David, M. B. (1988). Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 19(14), 1593-1599.
- FAO. (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Propiedades Físicas del Suelo.
- Godoy Rodríguez, J. C. (2017). Identificación de las causas de pérdida de competitividad del cultivo de sorgo (sorghum) en Colombia revisión.

- González-Mancilla, A., Rivera-Cruz, M. D. C., Ortiz-García, C. F., Almaraz-Suárez, J. J., Trujillo-Narcía, A., & Cruz-Navarro, G. (2013). Uso de fertilizantes orgánicos para la mejora de propiedades químicas y microbiológicas del suelo y del crecimiento del cítrico Citrange troyer. *Universidad y ciencia*, 29(2), 123-139.
- González-Pedraza, A., Méndez Ortega, A. y Quesada Vergara, V. (2023). Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de abonos orgánicos en el municipio Pamplona, Norte de Santander. *La Granja*, 37(1), 86-101.
- Hernández-Herrera, J. M., Olivares-Sáenz, E., Villanueva-Fierro, I., Rodríguez-Fuentes, H., Vázquez-Alvarado, R., & Pissani-Zúñiga, J. F. (2005). Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 21(1), 31-36.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 1-6.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2004, 27 de febrero). *RESOLUCIÓN No. 00375*. Ministerio de agricultura y desarrollo rural.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2021, 27 de diciembre). *RESOLUCIÓN No.115708*. Minagricultura.
- Macías Duarte, R., Grijalva Contreras, R. L., Robles Contreras, F., López Carvajal, A., & Núñez Ramírez, F. (2020). Compost response on fertility, soil moisture, nutritional content in leaves and productivity in olive trees. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1879-1890.
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and Lime Requirement. In A. L. Page (Ed.), «Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties» (Second Edi, pp. 199–224). Agronomy monograph number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America.
- Medina, J.C. (2021, July 27). Aumento de precios en los fertilizantes, un reto para los agricultores. Periódico El Campesino – La Voz Del Campo Colombiano.
- Mtz, J. D. L., Estrada, A. D., Rubin, E. M., & Cepeda, R. D. V. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra latinoamericana*, 19(4), 293-299.

- Pérez Hernández, A., Quero Carrillo, A. R., Garduño Velázquez, S., Escalante Estrada, J. A. S., Rodríguez González, M. T., & Miranda Jiménez, L. (2019). Análisis de crecimiento en sorgo forrajero en dos períodos de siembra. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1083-1095.
- Purseglove, J. (1972). *Tropical crops: monocotyledons* Longman Group.
- Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. *Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay*.
- Salinas, S.J., Vizcarra A., Ulloa, W., Laureano, W. (2012). Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas y químicas en suelos degradados con maíz amiláceo (*Zea mays* L.) *Investigación Valdizana*, 6(1): 43-50
- Semana. (2022, February 25). Cultivos, damnificados por crisis de Rusia y Ucrania, productores de fertilizantes. *Semana.com Últimas Noticias de Colombia Y El Mundo; Revista Semana*.
- Trinidad-Santos, A. y Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad*, 9(8): 52-58.
- Trópicos. (2023). *Sorghum vulgare Pers.* Tropicos.org.
- Ulibarry, P. G. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria*1.
- Universidad de Pamplona. (2022, 29 de junio). *REGLAMENTO ACADÉMICO PARA TRABAJO DE GRADO*. Unipamplona.
- Vásquez Blandon, A. (2008). Comportamiento agronómico del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) bajo aplicación de diferentes abonos orgánicos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).
- Widdowson, R. W. (1993). *Hacia una agricultura holística: un enfoque científico*. Hemisferio Sur.
- WingChing, R., Rojas, A., & Quan, A. (2005). Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. I. Características nutritivas y de producción. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 29-39.

Zamora, M., Gutierrez Gaitan, Y., & Gutierrez, C. (2006). Manejo de insectos y enfermedades en sorgo. INTA. INTSORMIL. UNA.



Anexo 5. Siembra.



Anexo 4. Aplicación de las enmiendas día cero.



Anexo 6. recolección de muestras de suelos (en sus diferentes fechas).



Anexo 8. Aplicación de abonos en los tratamientos (en sus diferentes fechas del ensayo).





Anexo 11. Recolección y pesaje del cultivo final (materia verde).



Anexo 12. Pesaje del cultivo final (materia seca).