

Desarrollo Vegetativo de dos Variedades del Cultivo de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) bajo la Aplicación de Microorganismos Funcionales del Suelo.

Autor:

Carlos Andres Valencia Rincones

Trabajo de Grado Para optar por el título de Profesional en Agronomía

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

Proyecto Aplicado

Palmira

2024

Desarrollo Vegetativo de dos Variedades del Cultivo de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) bajo la Aplicación de Microorganismos Funcionales del Suelo.

Autor:

Carlos Andrés Valencia Rincones

Trabajo de grado presentando para optar por el título de Profesional en Agronomía

Director

Milton Ararat

Ingeniero agrónomo PhD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2024

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios por darme la vida y la sabiduría para realizar mi carrera profesional y darme la idea de realizar y culminar mi proyecto de grado. A mi esposa y mi madre que siempre me apoyaron con sus palabras de fe y aliento para cumplir este objetivo.

Agradecimientos para la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por aportar a mi aprendizaje, a mis jefes compañeros de Incauca que me ayudaron con su conocimiento y las bases para la ejecución de este trabajo.

Resumen

La producción de caña de azúcar en Colombia ha sufrido considerables afectaciones desde el punto de vista financiero y climatológico, por lo que se hace necesario establecer sistemas de producción sostenibles que promuevan la elevación de los rendimientos agrícolas y protejan al medio ambiente. Dentro de estas prácticas, la utilización de biofertilizantes microbianos constituye una alternativa para elevar las producciones actuales, con el menor daño al medioambiente. La aplicación de microorganismos en el cultivo de la caña de azúcar ha sido investigada desde hace muchos años; no obstante, no se utiliza en todo su potencial como alternativa de nutrición dentro de la agronomía del cultivo.

Este trabajo tiene como objetivo destacar la importancia de incluir la aplicación de microorganismos como biofertilizantes microbianos en la producción sostenible de caña de azúcar, mostrar los resultados más significativos y hacer un análisis de las perspectivas de su empleo en la producción de caña de azúcar, además quiere mostrar el efecto que ejercen en la nutrición de las plantas, cuando se aplican con diferentes dosis 20, 30 y 40 litros por hectárea. Con este trabajo investigativo se determinaron mediante estudios de campo y laboratorio con diferentes testigos, las características nutricionales y vegetativas del cultivo para ser utilizados en la agroindustria.

Palabras clave. Microorganismos benéficos, Suelo, Nutrición, caña de azúcar, Raíces, Producción y Agricultura.

Summary

Sugarcane production in Colombia has suffered considerable damage from a financial and climatological point of view, making it necessary to establish sustainable production systems that promote increased agricultural yields and protect the environment. Within these practices, the use of microbial biofertilizers constitutes an alternative to increase current production, with the least damage to the environment. The application of microorganisms in sugarcane cultivation has been investigated for many years; However, it is not used to its full potential as a nutrition alternative within crop agronomy.

This work aims to highlight the importance of including the application of microorganisms as microbial biofertilizers in the sustainable production of sugar cane, show the most significant results and analyze the prospects for their use in sugar cane production besides wants to show the effect they have on plant nutrition, when applied with different doses of 20, 30 and 40 liters per hectare. This investigative work aims to determine, through field and laboratory studies with different witnesses, the nutritional and vegetative characteristics of the crop to be used in Agroindustry.

Keywords. Beneficial microorganisms, Soil, Nutrition, sugar cane, Roots, Production and Agriculture.

Tabla de Contenido

Introducción.....	13
Justificación.....	14
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco Teórico.....	16
La Caña de Azúcar(<i>Saccharum Officinarum</i> spp.).....	16
Variedades.....	16
Microorganismos Funcionales del Suelo.....	17
Planteamiento del Problema.....	22
Metodología.....	23
Ubicación.....	23
Tipo de Suelo.....	23
Seguimiento y Toma de Datos para la Estimación de Variables Agronómicas.....	30
Modelo de Análisis Estadístico.....	40
Resultados.....	41
Resultados Evaluación de Germinación y Tallos Molinables de las dos Variedades de Caña de Azúcar.....	41
Resultados Evaluación de Crecimiento y Desarrollo en las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....	43

Evaluación del Porcentaje de Materia Seca en las Raíces de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....	55
Resultados de Nitrógeno Foliar de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....	57
Resultados de la Evaluación de Clorofila en las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....	59
Resultados de la Evaluación de Grados Brix y Sacarosa de las dos Variedades (CC05-430 y CC01-1940).....	63
Conclusiones.....	65
Glosario.....	67
Referencias Bibliográficas.....	68
Anexos.....	70
Anexo A.....	70
Anexo B.....	71

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Sumergimiento de Tallos en los Microorganismos Antes de Sembrar.....</i>	24
Figura 2. <i>Calculo de Área de Materas.....</i>	25
Figura 3. <i>Pesaje de la Dosis de 30gr del Fertilizante, Fraccionada en 10 gr para ser Distribuida en tres Aplicaciones.....</i>	27
Figura 4. <i>Dosificación para Aplicación de Fertilizantes en las Materas 10gramos.....</i>	28
Figura 5. <i>Aplicación Dosificada en Mililitros de los Microorganismos para Aplicar en los Tratamientos T-1,T-2 y T-3 en las dos Variedades.....</i>	30
Figura 6. <i>Semillas con Yemas Viabes Sembradas.....</i>	30
Figura 7. <i>Yemas Germinadas.....</i>	31
Figura 8. <i>Tallos Molinables Establecidos en las Materas.....</i>	31
Figura 9. <i>Mediciones de Desarrollo y Crecimiento de los Tallos.....</i>	32
Figura 10. <i>Mediciones del Diámetro de los Tallos.....</i>	32
Figura 11. <i>Muestras de Hojas de las dos Variedades Empacadas para llevar al Laboratorio...33</i>	33
Figura 12. <i>Dosificación de la Muestra para el Porcentaje de Materia Seca.....</i>	34
Figura 13. <i>Secado de las Raíces en el Horno.....</i>	35
Figura 14. <i>Desfibriladora de Tallos.....</i>	35
Figura 15. <i>Toma de Muestras de Tallos Desfibrados para Analizar.....</i>	36
Figura 16. <i>Corte de Tallo Molinables en las Materas.....</i>	38
Figura 17. <i>Peso de Muestras de Tallos Desfibrados para Analizar.....</i>	39
Figura 18. <i>Peso de los Tallos Molinables por Madera de los Tratamientos.....</i>	39

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas Variedad (CC 05-430).....</i>	41
Tabla 2. <i>Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas Variedad (CC 01-1940)...</i>	42
Tabla 3. <i>Resultados de Germinación y Tallos Molinables de las dos Variedades.....</i>	42
Tabla 4. <i>Plano de Distribución de los Tratamientos en Campo para la Variedad (CC05-430)..</i>	48
Tabla 5. <i>Tabla Delta de Crecimiento/ Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 05-430).....</i>	49
Tabla 6. <i>Comparación de Medias de Crecimiento/Tratamiento Variedad (CC 05430).....</i>	50
Tabla 7. <i>Plano de Distribución de Tratamientos en Campo para la Variedad (CC01-1940).....</i>	51
Tabla 8. <i>Delta de Crecimiento/Tratamiento a los 4.4 meses de edad Variedad (CC 01-1940)...</i>	52
Tabla 9. <i>Delta de Crecimiento/Tratamiento a los 8.2 meses de edad Variedad (CC 01-1940)...</i>	53
Tabla 10. <i>Comparación de Medias de Crecimiento/Tratamiento Variedad (CC 01-1940).....</i>	54
Tabla 11. <i>Porcentaje de Materia Seca en las Raíces de las dos variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....</i>	55
Tabla 12. <i>Promedio General Porcentaje de Materia Seca de Raíces de las dos Variedades.....</i>	56
Tabla 13. <i>Informe de Resultados Análisis de Nitrógeno Foliar en Tratamientos T-0, T-1, T-2 y T-3 de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).....</i>	57
Tabla 14. <i>Niveles Óptimos de Nutrientes en Caña de Azúcar según Cenicaña.....</i>	58
Tabla 15. <i>Resultados del Análisis de Tejido foliar (N), Niveles óptimos/ Tratamientos con la Aplicación de los Microorganismos Funcionales del Suelo.....</i>	58
Tabla 16. <i>Prueba del Rango múltiple de Duncan para Clorofila Variedad CC05-430.....</i>	60
Tabla 17. <i>Prueba del Rango múltiple de Duncan para Clorofila Variedad CC01-1940.....</i>	62
Tabla 18. <i>Resultados Grado Brix y Sacarosa de las dos Variedades.....</i>	63

Tabla 19. *Resultados del Peso de los Tallos molinables de la Variedad (CC 05-430).....63*

Tabla 20. *Resultados del Peso de los Tallos molinables de la Variedad (CC 01-1940).....64*

Lista de Gráficos

Gráfico 1. <i>Comportamiento de la Altura en los Tallos Molinables de los tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la variedad (CC05-430).....</i>	43
Gráfico 2. <i>Comportamiento Lineal del Crecimiento en los Tallos Molinables Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la variedad (CC05-430).....</i>	43
Gráfico 3. <i>Comportamiento de la Altura en los Tallos Molinables de los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la Variedad (CC01-1940).....</i>	44
Gráfico 4. <i>Comportamiento Lineal del Crecimiento en los Tallos Molinables de los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la Variedad (CC01-1940).....</i>	44
Gráfico 5. <i>Comparativa del Comportamiento de Altura en los Tallos Molinables de las dos Variedades (CC05-430 y CC01-1940).....</i>	45
Gráfico 6. <i>Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables/Meses de Evaluación Medido a los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la variedad (CC05-430)</i>	45
Gráfico 7. <i>Resumen y Comparación del Comportamiento del Diámetro de los tallos molinables en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la variedad (CC05-430).....</i>	46
Gráfico 8. <i>Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los Meses de Evaluación a los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC01-1940).....</i>	46
Gráfico 9. <i>Resumen Comparativo del Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC01-1940).....</i>	47
Gráfico 10. <i>Resumen Comparativo del Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en las Variedades (CC05-430 y CC01-1940).....</i>	47
Gráfico 11. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes Delta de Crecimiento* Tratamiento a los 4.4 meses de edad, Variedad CC 05-430.....</i>	48

Gráfico 12. <i>Diagrama de Bigotes Delta de Crecimiento por Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 05-430.)</i>	49
Gráfico 13. <i>Diagrama de Bigotes Delta de Crecimiento por Tratamiento a los 4.4 meses de edad, Variedad (CC 01-1940)</i>	51
Gráfico 14. <i>Bigotes, Delta de Crecimiento / Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 01-1940)</i>	52
Gráfico 15. <i>Promedio General del Porcentaje de Materia Seca de Raíces en los Cuatro Tratamientos de las dos Variedades Evaluadas (CC05-430 y CC01-1940)</i>	56
Gráfico 16. <i>Valores de Clorofila en la Variedad CC05-430 Procedimiento GLM</i>	59
Gráfico 17. <i>Diagrama Duncan de los Resultados de Clorofila en la Variedad (CC05-430)</i>	60
Gráfico 18. <i>Valores de Clorofila en la Variedad CC01-1940 Procedimiento GML</i>	61
Gráfico 19. <i>Diagrama Duncan de los Resultados de Clorofila en la Variedad (CC01-1940)</i>	62

Introducción

La amplia existencia de información documentada sobre la función que cumplen los microorganismos benéficos en el suelo, los efectos que ejercen sobre la nutrición de las plantas y la interacción entre ellos y la rizosfera, indican que es allí donde ocurre la simbiosis entre microorganismos y el cultivo, ya que las raíces pueden liberar carbohidratos, aminoácidos, lípidos, vitaminas y otros materiales que estimulan el desarrollo de los microorganismos en el suelo.

Este documento pretende evidenciar algunos de los efectos que ejercen los microorganismos funcionales del suelo en el desarrollo vegetativo de dos variedades del cultivo de caña azúcar al realizar cuatro tratamientos, un testigo y tres tratamientos con una aplicación de diferentes dosis por hectárea. En este texto se muestran a través de diferentes evaluaciones como pueden los microorganismos ayudar en la germinación, establecimiento de tallos molinables, crecimiento y desarrollo del cultivo, porcentaje de materia seca de la raíz, nitrógeno foliar, grados brix y porcentaje de sacarosa.

Justificación

Para Nuñez, (2019) “La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo de gran importancia económica en Colombia y representa el 3,7 % del PIB a nivel nacional, genera 286.692 empleos directos e indirectos”, siendo el motor de la economía del Valle del Cauca. La producción de azúcar, panela, compost, bioetanol y energía eléctrica, son algunos de los derivados que se obtienen en la agroindustria.

En el ingenio Incauca se están realizando aplicaciones con un producto biológico llamado Bio-Cauca, el cual está compuesto de microorganismos funcionales del suelo, hongos y bacterias que ayudan a proteger de patógenos y ejercen una función en la nutrición de las plantas. La aplicación de este producto se quiere establecer como labor de cultivo y para esto es necesario determinar su verdadero efecto en el desarrollo vegetativo de la planta, por eso es necesario conocer la dosis justa y eficiente a aplicar por hectárea, para esto se realizarán ensayos con diferentes dosis de aplicación 20, 30 y 40 litros por hectárea que nos permitan conocer la germinación, curva de crecimiento y desarrollo, porcentaje de materia seca de la raíz, Nitrógeno foliar, y la evaluación de clorofila. La evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo de caña de azúcar bajo la aplicación de microorganismos funcionales del suelo, como el hongo *Trichoderma Sp* con bacterias *Azotobacter* y *Azospirillum*, adaptadas a condiciones agroecológicas busca mejorar la productividad y sostenibilidad de la producción de caña de azúcar en la región. La aplicación de estos microorganismos contribuya a un mejor desarrollo de las plantas, promover la salud del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, lo que a su vez tiene un impacto positivo en el medio ambiente y en la rentabilidad de los agricultores lo cual se adapta a este estudio que esta fundamentalmente enfocado a la responsabilidad ambiental, social y económica.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el crecimiento y desarrollo del cultivo de caña de azúcar en las variedades identificadas con los códigos CC 01-1940 y CC 05-430 bajo la aplicación de microorganismos funcionales del suelo, el hongo *Trichoderma Sp* con bacterias; *Azotobacter* y *Azospirillum*, adaptadas a condiciones agroecológicas de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca.

Objetivos Específicos

Estimar las variables agronómicas de porcentaje de germinación, curva de crecimiento y desarrollo, porcentaje de materia seca de raíz, Nitrógeno foliar y evaluación de clorofila con la aplicación de microorganismos funcionales del suelo, en las dos variedades de caña de azúcar (CC 01-1940 y CC 05-430).

Analizar los parámetros de productividad (grados Brix y sacarosa) en 2 variedades de caña de azúcar (CC 01-1940 y CC 05-430).

Marco Teórico

La Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum* spp.)

“Se cree que la caña de azúcar es originaria de la región que comprende parte de la India, China, Nueva Guinea y zonas cercanas, ya que es ahí en donde se encuentra el mayor porcentaje de especies” (Procaña, s.f). Su introducción al continente americano fue por Cristóbal Colón en 1493 en la isla de República Dominicana y Haití, y se extendió hacia Brasil, Cuba, Puerto Rico, México, Perú, entre otros .”En 1538 Llegó a Colombia por la zona caribeña (Ciudad de Cartagena de Indias) por Pedro Heredia y se introdujo en el Valle del Cauca (municipio de Yumbo) en 1541 por Sebastián de Belalcázar” (Procaña,2009).

Variedades

Variedad CC 01-1940: La variedad CC 01-1940, desarrollada para zonas húmedas, fue el resultado de la investigación liderada por el Programa de Variedades de Cenicaña, con la colaboración de otros programas y servicios del Centro de Investigación. Esta variedad llegó a ser cultivada en alrededor de 80,000 hectáreas. La productividad promedio de CC 01-1940 superó las 2 toneladas de azúcar por hectárea, superando los resultados de la variedad CC 85-92.

La información acerca de la ubicación de la variedad, su manejo agronómico, la cosecha y el proceso fabril fue crucial para lograr un equilibrio adecuado entre el contenido de sacarosa y la producción de caña, minimizando las pérdidas y garantizando la recuperación de la sacarosa. Sin embargo, debido a la extensa área sembrada con esta variedad, se volvió susceptible a plagas y enfermedades como la roya naranja, roya café y el virus de la hoja amarilla, lo que afectó su productividad.(CENICAÑA,2018).

Variedad CC 05-430: Se trata de una variedad de caña de azúcar adaptada a suelos semi-secos, con un buen tamaño, alta biomasa y un alto contenido de sacarosa, además de un rápido

cierre de hojas. Se destaca por su resistencia a plagas y enfermedades, alta productividad, porte erguido que facilita la cosecha, buena expansión de las hojas en los tallos y un buen desarrollo de brotes. Las variedades de caña son el material básico para la producción de caña de azúcar. Buscar variedades con adaptación específica a las distintas zonas agroecológicas y comprender su manejo agronómico puede resultar en beneficios económicos significativos. Esto es crucial para reducir los costos de producción y contribuir a la competitividad de la industria azucarera.(CENICAÑA,2003).

Microorganismos Funcionales del Suelo.

Las funciones de los microorganismos del suelo se refieren a los efectos que tienen en la nutrición de las plantas y en diversas interacciones con su entorno. Este texto resalta la importancia del ciclo de nutrientes y los impactos positivos de los microorganismos presentes en la rizosfera en la alimentación de las plantas.(Osorio, N. 2009)

También se abordan las condiciones ambientales de la rizosfera y la micorrizosfera, ya que es en estos lugares donde se producen las interacciones entre las plantas y los microorganismos. En términos generales, las plantas pueden liberar carbohidratos, aminoácidos, lípidos, vitaminas y otros materiales a través de sus raíces para estimular la actividad de los microorganismos en el suelo.

Para Osorio, N. (2009) el área de suelo afectada por estos exudados de la raíz abarca aproximadamente dos mm desde la superficie de la raíz, conocida como rizosfera. Los microorganismos presentes en la rizosfera participan en el ciclo geoquímico de los nutrientes y determinan su disponibilidad para las plantas y la comunidad microbiana del suelo.(Pág.45)

Trichoderma: Para Hernández,D. et al (2019) se trata de un hongo cuya importancia radica en su capacidad de adaptación y en la producción de diversos metabolitos de interés

biotecnológico y ambiental, como enzimas, compuestos promotores del crecimiento vegetal y compuestos volátiles, entre otros. Este género se utiliza como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, entre los que destacan la antibiosis, el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, y la producción de metabolitos secundarios.(Pág.100)

Y continúan explicando que, las especies de *Trichoderma* son predominantes en ecosistemas terrestres, como bosques o suelos agrícolas. Tienen bajos requerimientos nutricionales pero un amplio rango de temperatura (25-30°C) para su crecimiento. Además, muestran una alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas, pueden crecer de manera saprofítica, interactúan con animales y plantas, y se desarrollan en diversos sustratos. Todo esto facilita su producción a gran escala para su uso en la agricultura. (pág.100).

Azotobacter: Las bacterias del género *Azotobacter* spp forman un grupo especial de microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre unicelulares que pueden fijar nitrógeno atmosférico en condiciones aerobias.(Agronomía INFOAGRO.(s.f))

La fijación de nitrógeno se produce por la actividad de una enzima denominada nitrogenasa que debe actuar siempre en condiciones de ausencia de oxígeno por ser rápidamente inhibida por este elemento. La mayoría de los microorganismos fijadores de nitrógeno o bien lo hacen formando grupos de células en los que se produce una especialización que permite la generación de microambientes anaerobios (caso de las cianobacterias), o bien lo hacen en condiciones de anaerobiosis. Las bacterias del género *Azotobacter* son capaces de generar este ambiente microanerobico mediante su alta tasa de respiración que consume el O₂ en el entorno de la bacteria.

Azospirillum: Las bacterias del género *Azospirillum* spp. son bacterias Gramnegativas que forman parte del grupo de las alfa-proteobacterias. Tienen una morfología alargada y su movimiento es en forma de espiral. Son estrictamente aerobias y endófitas diazótrofes facultativas, lo que significa que pueden colonizar tanto el interior como la superficie de las raíces de las plantas. Estas bacterias pueden utilizar diversas fuentes de nitrógeno (como nitrito, nitrato, amoníaco, nitrógeno molecular o aminoácidos), así como fuentes de carbono (como piruvato, malato, fructosa o succinato) en su metabolismo. Sus células contienen cantidades significativas de poli- β -hidroxibutirato (PHB), y al observarlas al microscopio, se pueden apreciar células jóvenes con numerosos gránulos refringentes y paredes gruesas semejantes a quistes. (Agronomía INFOAGRO.(s.f))

Los fertilizantes orgánico-minerales, en comparación con los fertilizantes minerales, pueden tener una menor reactividad y, por ende, solubilizar los nutrientes de forma más gradual, lo que resulta en un efecto residual prolongado para la caña de azúcar.

En este sentido, para Quimbaya, J. (2023) la inoculación de Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) puede potenciar el rendimiento de los fertilizantes orgánicos, lo que hace que la combinación de fertilizantes orgánico-minerales y BPCV sea una estrategia atractiva para favorecer la remediación de residuos, lo que a su vez contribuye a aumentar la productividad de la caña de azúcar.

Ciertas cepas bacterianas, como *Bacillus* y *Pseudomonas*, actúan como promotores del crecimiento de las plantas a través de efectos directos que mejoran el suelo mediante la biofertilización, así como mediante la capacidad de aportar vitaminas y compuestos orgánicos al suelo. Además, estas cepas tienen la capacidad de producir fitohormonas como auxinas,

citoquininas y giberelinas, las cuales son responsables del crecimiento de las plantas.

.(Quimbaya,J.2023)

La inclusión de vitaminas y compuestos orgánicos en el suelo, junto con la capacidad de los BPCV para solubilizar nutrientes esenciales, amplía el potencial de las plantas para asimilar dichos nutrientes. Dentro de los mecanismos de biofertilización que pueden ser desplegados por estas bacterias se encuentran la fijación de nitrógeno (N), la solubilización de potasio (K), la solubilización de fósforo (P) tanto inorgánico como orgánico, así como la producción de sideróforos, entre otros.

La combinación de fertilizantes orgánico-minerales con bacterias contribuye a mejorar la calidad del suelo, dado que el compost provee la materia orgánica necesaria para estimular el desarrollo de microorganismos, lo que a su vez mejora diversos indicadores microbiológicos del suelo. Estos indicadores incluyen la respiración basal, el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, la actividad de la enzima deshidrogenasa y de la actividad extracelular, así como enzimas como la fosfatasa y la β -glucosidad.

En esta perspectiva, para maximizar los beneficios de estos microorganismos, es factible combinar BPCV con diversas características potenciales, ya que el consorcio puede ofrecer múltiples ventajas al cultivo con una sola aplicación de BPCV en comparación con las especies individuales. El proceso de compostaje seguido por la inoculación de BPCV demuestra beneficios agronómicos al optimizar la utilización de subproductos, reducir la dependencia de fertilizantes minerales, mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y aumentar la productividad del cultivo. Además, desde una perspectiva ambiental, se alinearía con los principios de una economía circular y un uso eficiente de los recursos, promoviendo la armonía entre la economía, el medio ambiente y la sociedad.(Quimbaya,J.2023)

Según Quimbaya, J. (2023), la sustitución parcial de fertilizantes minerales por fertilizantes órgano-minerales puede incrementar la disponibilidad de nutrientes y modificar la comunidad de BPCV en el suelo, especialmente al aumentar la mineralización de fosfatos y su absorción por las plantas. Asimismo, la mejora en la aplicación de nutrientes y subproductos derivados de la industria de la caña de azúcar representa un escenario prometedor en este sentido.

Planteamiento del Problema

El problema radica en la necesidad de determinar la dosis de aplicación más eficiente de microorganismos en el cultivo de caña de azúcar en el ingenio Incauca. Esta investigación se enfocará en los tratamientos T-O (testigo), T-1 20lt, 30lt, y 40lt por hectárea, aplicados a dos variedades de caña de azúcar diferentes (CC 01-1940 y CC 05-430). La incógnita sobre cuál dosis de aplicación resulta más beneficiosa para el crecimiento y desarrollo óptimo de la caña de azúcar es crucial para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo, por lo que los resultados obtenidos orientarán la toma de decisiones en cuanto a la aplicación de microorganismos en este contexto específico.

Metodología

Ubicación

Este trabajo se desarrolla en el vivero del Ingenio Incauca, ubicado en el Ortigal, departamento del Cauca, a 50 Km de Cali y 134 Km de Popayán, capital del departamento del Cauca, exactamente en el centro agrícola que corresponde a la zona central y hacienda san Fernando suerte 037A.

Tipo de suelo

El estudio se llevará a cabo bajo condiciones semi controladas; suelo de una misma zona agroecológica No. 11H3, semilla, riego, drenaje, dosis de fertilización y control de arvenses a la caña sembrada en las materas seleccionadas en el vivero del ingenio Incauca.

Suelo 11H3 Inceptisoles (3) suelos de texturas franca fina y franca fina sobre arcillosa, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados o moderadamente drenados y ubicados en el cuerpo y ápice de abanicos y en napas de desborde de la llanura aluvial. (Cenicaña 2011).

Material vegetal: Para la realización de este proyecto se va a utilizar semilla asexual, de las variedades identificadas con códigos CC 01-1940 y CC 05-430 la cual se obtuvo de un semillero comercial de la hacienda San Fernando sur del ingenio Incauca suerte 22, donde se cortaron 36 semillas para cada variedad, de las cuales se sacaron aparte nueve semillas de cada variedad que fueron utilizadas en la siembra de los testigos en los tratamientos sin ninguna aplicación de microorganismos, las 27 semillas restantes de cada variedad se sumergieron en microorganismos por una hora antes de la siembra para que desde el principio podamos verificar el efecto de estos en la semilla.

Figura 1.*Sumergimiento de Tallos en los Microorganismos Antes de Sembrar*

Fuente. Elaboración propia (2023)

Siembra: Posteriormente para realizar la siembra de la semilla se utilizan 24 materas (tinajas de 200 lt) que miden 90cm de altura por 60cm de ancho con 200 kilos de suelo de una zona agroecológica 11H3, de las cuales se utilizan 12 materas para cada variedad, ya que son tres repeticiones para cada tratamiento de 20lt, 30lt y 40 litros por hectárea y tres repeticiones para el testigo con cero aplicación de microorganismos así repite en cada variedad con el objetivo de definir cual dosis de aplicaciones de microorganismos arroja el mejor resultado.

En cada matera se siembran tres semillas asexuales cada semilla con tres yemas viables para favorecer la germinación, a una profundidad de cinco centímetros de suelo, separadas a diez centímetros cada semilla. Posterior a la siembra se deben realizar labores de acuerdo al área de las materas, como son el riego, la fertilización y la aplicación dosificada de los microorganismos. Es por eso que se debe obtener el área por matera, partiendo de que cada una es circular se realizar la siguiente operación:

Figura 2.*Calculo de Área de Materas*

Fuente. Elaboración propia (2023)

Fórmula para el área en metros cuadrados de un círculo:

Área: símbolo A

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 3.1416 * (0.30\text{m})^2$$

$$A = 3.1416 * 0.09\text{m}^2$$

$$A = 0.28\text{m}^2$$

Cálculo de los milímetros a aplicar en la siembra de la semilla en los tratamientos:

$$1\text{mm de lluvia} = 1 \text{ Lt de agua} * \text{m}^2$$

Con 15mm se riega un área sembrada de 1m², ¿cuánto es necesario para regar 0.28m²?

$$1\text{m}^2 = 15\text{mm}$$

$$0.28\text{m}^2 * 15\text{mm} = 4.2\text{mm}$$

$$4.2\text{mm} / 1\text{m}^2 = 4.2 \text{ mm}$$

R// Para poder regar el área de las materas de 0.28m² se necesita 4.2 Lt de agua.

Aplicación de fertilizante: La primera aplicación de fertilizante se realizó a los 63 días después de la siembra en las materas de manera convencional.

Para la primera aplicación de fertilizante en una hectárea equivalente a 10.000 m² se necesitan 200 kl de urea, para un 1 m² se necesitan 0.02 kl de urea, esto multiplicado por 1000gr da un total de 20 gramos por 1m².

Si en un 1m² se necesitan 20 gramos, ¿cuánto en 0.28 m² que tiene cada matera de los tratamientos sembrada?

Fórmula para aplicación de fertilizante en materas:

$$A = 1\text{m}^2 = 20\text{gr}$$

$$A = 0.28\text{ m}^2 * 20\text{gr} = 5.6\text{ gr}$$

$$5.6\text{ gr} * 1\text{m}^2 = 5.6\text{ gr}$$

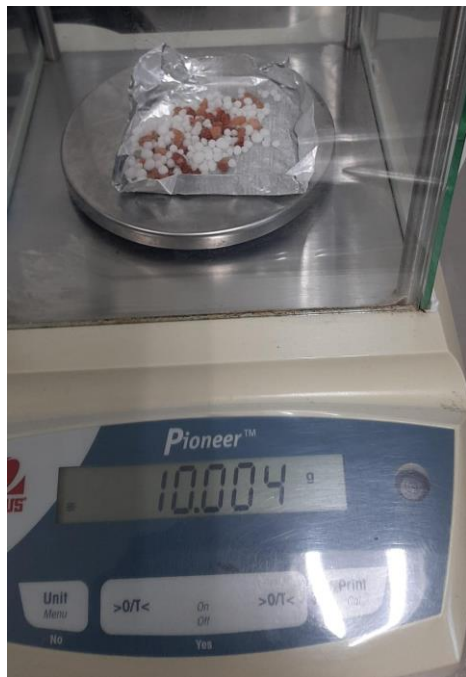
R// 5.6 gramos de fertilizante (urea) para el área de las materas 0.28m²

Segunda aplicación de fertilizante: La segunda aplicación de fertilizante se realizó a los 120 después de la siembra con mezcla de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, para esta fertilización se utilizan 300 kilos por hectárea de manera convencional.

Una hectárea de caña sembrada a una distancia de 1.65 mt de distancia entre surcos, tiene 6.060 mt lineales sembrados de caña, si en 1 hectárea se necesitan 300 kilos de fertilizante ¿Qué cantidad de fertilizante se necesita para la aplicación en un metro lineal sembrado con caña y cuánto necesito para 0,60mt lineales que miden las materas de los tratamientos?

Figura 3

Pesaje de la Dosis de 30gr del Fertilizante, Fraccionada en 10 gr para ser Distribuida en tres Aplicaciones



Fuente. Elaboración propia (2023)

Al dividir los 300 kilos de fertilizante que requiere una hectárea sembrada con caña, en 6,060 metros lineales que tiene la hectárea.

$300 \text{ kl} / 6,060 \text{ metros lineales} = 0,049 \text{ kilogramos por metro lineal.}$

$0,049 * 1000 \text{ gramos} = 49 \text{ gramos por metro lineal.}$

1mt lineal requiere 49 gramos de fertilizante, ¿Cuánto requiere los 0,60mt lineales de cada matera?

6.060mt lineales requieren 300 kilos de fertilizante.

$0.60\text{mt lineales} * 300.000 \text{ gramos} = 180.000 \text{ gramos}$

$180.000 \text{ gramos} / 6.060\text{mt lineales} = 30 \text{ gramos}$

Figura 4

Dosificación para Aplicación de Fertilizantes en las Materas 10gramos



Fuente. Elaboración propia (2023)

Aplicación de las diferentes dosis de microorganismos por hectárea: Para la aplicación de las tres diferentes dosis de microorganismos en las cantidades de 20 Litros, 30 Litros y 40 Litros por hectárea de cada tratamiento, fue necesario tener en cuenta los metros lineales de las materas que son 0.60mt lineales.

Aplicación de 20 Litros de Microorganismos por hectárea en las materas:

Para la aplicación de 20 litros de microorganismos por hectárea se requieren 20.000 mililitros del producto, ¿Si hay 0,60 mt lineales en las materas cuantos mililitros de microorganismos se deben aplicar?

Fórmula de aplicación 20Lt de microorganismos por hectárea en las materas:

$0.60\text{mt lineales} * 20.000 \text{ mL de microorganismos} = 12.000 \text{ mL de microorganismos}$

$12.000 \text{ mL de microorganismos} / 6.060\text{mt lineales} = 2 \text{ mL de microorganismos}$

R// 2 mililitros de microorganismos equivalen a aplicar la dosis de 20 litros por hectárea en las materas.

Aplicación de 30 Litros de microorganismos por hectárea en las materas. Para la aplicación de 30 litros de microorganismos por hectárea se requieren 30.000 mililitros del producto, ¿Si tenemos 0,60 mt lineales en las materas cuantos mililitros de microorganismos se deben aplicar?

-Fórmula de aplicación 30Lt de microorganismos por hectárea en las materas.

$0.60\text{mt lineales} * 30.000 \text{ mL de microorganismos} = 18.000 \text{ mL de microorganismos}$

$18.000 \text{ mL de microorganismos} / 6.060\text{mt lineales} = 3 \text{ mL de microorganismos}$

R// 3 mililitros de microorganismos equivalen a aplicar la dosis de 30 litros por hectárea en las materas.

-Aplicación de 40 Litros de Microorganismos por hectárea en las materas:

Para la aplicación de 40 Lt de microorganismos por hectárea se requieren 40.000 mililitros del producto ¿Si hay 0,60 mt lineales en las materas cuantos mililitros de microorganismos debo aplicar?

-Fórmula de Aplicación 40Lt de Microorganismos por hectárea en las materas:

$0.60\text{mt lineales} * 40.000 \text{ mL de microorganismos} = 24.000 \text{ mL de microorganismos}$

$24.000 \text{ mL de microorganismos} / 6.060\text{mt lineales} = 4 \text{ mL de microorganismos}$

R// 4 mililitros de microorganismos equivalen a aplicar la dosis de 40 litros por hectárea en las materas.

Figura 5.

Aplicación Dosificada en Mililitros de los Microorganismos para Aplicar en los Tratamientos T-1, T-2 y T-3 en las dos Variedades



Fuente. Elaboración propia (2023)

Seguimiento y Toma de Datos para la Estimación de Variables Agronómicas.

Variables de respuesta: Estimar variables agronómicas con la aplicación de microorganismos funcionales del suelo, porcentaje de germinación, curva de crecimiento y desarrollo, porcentaje de materia seca de raíz, Nitrogeno foliar y evaluación de clorofila en dos variedades de caña de azúcar (CC 01-1940 y CC 05-430).

Porcentaje de germinación: Se realiza la comparación entre el número total de yemas sembradas, la cantidad total de yemas germinadas y el total de tallos molinables establecidos.

Figura 6

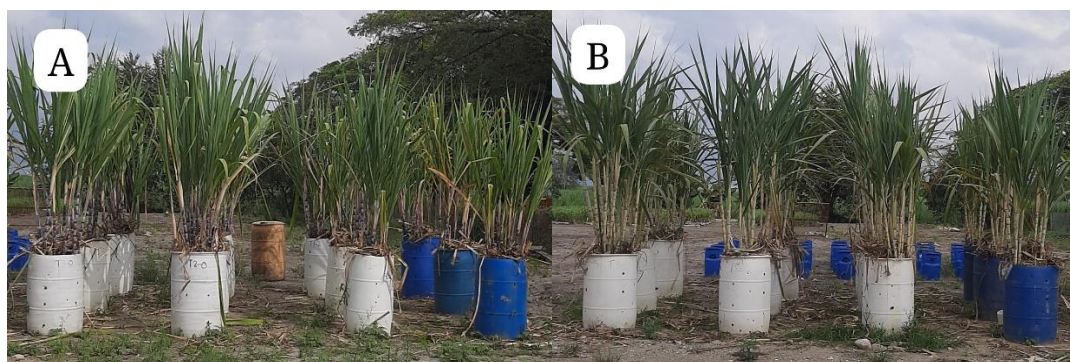
Semillas con Yemas Viables Sembradas



Fuente. Elaboración propia (2023)

Figura 7*Yemas Germinadas*

Fuente. Elaboración propia (2023)

Figura 8*Tallos Molinables Establecidos en las Materas*

Fuente. Elaboración propia (2023)

Curva de crecimiento y desarrollo: Esta variable se obtiene a través de mediciones de altura con un flexómetro a los tallos desde la base hasta la última lígula visible y midiendo el diámetro de los tallos molinables con un calibrador pie de rey cada quince días por los ochos meses del ensayo.

Figura 9

Mediciones de Desarrollo y Crecimiento de los Tallos



Fuente. Elaboración propia (2023)

Figura 10

Mediciones del Diámetro de los Tallos



Fuente. Elaboración propia (2023)

Nitrógeno foliar: Esta variable de Nitrógeno Foliar se obtiene a través de la toma de muestras que se realizan a los 6 meses de edad del cultivo y la muestra se debe tomar en las primeras horas de la mañana (antes de las 09 h).

Se recomienda evitar tomar muestras de hojas en plantas que han estado bajo largo periodo de estrés climático o nutricional, que presenten daños mecánicos o por insectos, o que estén afectadas por enfermedades; o estén cubiertas con polvo.

A continuación, se explicará el paso a paso para la toma de muestras:

- Seleccione la primera hoja con lígula visible, vista desde arriba
- Se eliminan los tercios superior e inferior y se toma únicamente el tercio medio.
- Inmediatamente se elimina la nervadura central y se toma solamente la lámina foliar
- Las muestras de hojas frescas del tercio medio deben colocarse en fundas de papel previamente perforadas
- Las muestras deben identificarse claramente fecha de muestreo, variedad, edad del cultivo.
- Las muestras de hojas deben llevarse inmediatamente al laboratorio para el análisis de tejidos vegetales Nitrógeno (N).

Figura 11

Muestras de Hojas de las dos Variedades Empacadas para llevar al Laboratorio



Fuente. Elaboración propia (2024).

Medición del porcentaje de materia seca en las raíces: La materia seca se mide en el laboratorio; para ello, se extrae una muestra dosificada de 50 gr de toda la muestra sólida, llamada materia fresca, y se calienta en la sala de secado a 105 °C para que la humedad residual “en su mayoría es agua” se evapore y finalmente sacamos la diferencia.

Ejemplo:

50 gr es el equivalente al 100% del peso en fresco de la muestra, el peso final en seco equivale a 15 gr, esto quiere decir que el porcentaje de materia seca es del 30%.

Fórmula para porcentaje de materia seca:

$15 \text{ gr peso final en seco} \times 100\% = 1,500 \text{ gr} / 50\text{gr peso fresco} = 30 \%$ de Materia seca

Figura 12

Dosificación de la Muestra para el Porcentaje de Materia Seca



Fuente. Elaboración propia (2024)

Figura 13*Secado de las Raíces en el Horno*

Fuente. Elaboración propia (2024)

Variable de Grados Brix y la Sacarosa: Estos datos se miden en el laboratorio de cosecha y para ello es necesario desfibrar los tallos cosechados en una maquina desfibradora para posterior a esto extraer una muestra de un kilo del material que se lleva al laboratorio para analizar.

Figura 14*Desfibriladora de Tallos*

Fuente. Elaboración propia (2024)

Figura 15

Toma de Muestras de Tallos Desfibrados para Analizar



Fuente. Elaboración propia (2024)

Variable de Toneladas De Caña Por Hectárea: Para obtener las toneladas de caña por hectárea, se inicia cortando la caña de cada materia que tiene un área de 0.28m², luego se pesa para saber el peso de los tallos molinables en kilogramos.

Para hacer un ejemplo real de aproximación de toneladas de caña por hectárea utilizando el peso de los tallos molinables de una materia, se hace de la siguiente manera:

Testigo T-0 sin aplicación de microorganismos: Al decir que el peso promedio de los tallos molinables que estaban en las materas del testigo T- 0 que no se aplico microorganismos en la variedad identificada con el código No. CC 05-430 fue de 3,95 kilogramos y el área es igual 0.28m² ¿Cuánto sería el peso de 10.000 m² equivalente a una hectárea?

Se hace una regla de tres simples.

$$A = 0.28\text{m}^2 = 3,95 \text{ kl tallos molinables del tratamiento T-0}$$

$$\text{Ha}=10.000 = ?$$

$$10.000 * 3.95 \text{ kl} = 39,500 \text{ kl tallos molinables}$$

$$39,500 \text{ kl} / 0.28\text{m}^2 = 141.071 \text{ kl tallos molinables}$$

$$141.071 \text{ kl} / 1000\text{kl} = 141 \text{ toneladas caña por hectárea.}$$

Tratamiento T-1 de 20 Lt por hectárea: Al decir que el peso promedio de las materas del tratamiento T-1 que le aplicamos 20 Litros de microorganismos por hectárea fue de 4,83 kilogramos, y el área es igual 0.28m^2 cuanto sería el peso en 10 mil m^2 que equivale a una hectárea?

Se hace una regla de tres simples.

$$A = 0.28\text{m}^2 = 4,83 \text{ kl}$$

$$\text{Ha} = 10.000 = ?$$

$$10.000 * 4,83 = \text{kilogramos}$$

$$48,300 \text{ kl} / 0.28\text{m}^2 = 172,500 \text{ kilogramos}$$

$$172,500 \text{ kl} / 1000 \text{ kl} = 172,5 \text{ toneladas caña por hectárea}$$

El TCH (Toneladas de caña por hectárea) se obtiene al cosechar la caña, ya que es ahí donde tenemos el peso en kilogramos y podemos relacionarlo con el área donde se cortó la caña. En este caso el peso de caña por el área de las materas aproximado al peso de caña por una hectárea, esto se hace para las dos variedades identificadas con el código No. (CC 05-430 y CC 1-1940).

Toneladas de caña por hectarea teniendo en cuenta los tallos molinables por metro.

Peso total de las tres repeticiones del testigo 11,85 kilos

Tallos promedio por metro 11

Peso por tallo 1,07 kilos

Tallos por metro del Testigo T-0: 33 tallos molinables dividido 1,8mt es igual a 18,33 tallos por metro en el testigo o T-0.

Para determinar toneladas de caña por hectarea teniendo en cuenta los tallos por metro

Se divide el peso total de los tallos en el tratamiento T-O 11,85 en tallos promedio por metro 11, esto es igual a 1,07 kilos por tallo, multiplico 1,07kilos por tallo por 18,33 tallos por metro en el tratamiento T-0 y esto es igual a 19,61 peso de los tallos en un metro. Se multiplica por 6,060 metros que equivalen a una hectarea en metros lineales, y es igual a 118,855 kilos que dividido en 1000kilos (una tonelada), el resultado es de 118,8 toneladas por hectarea.

Procedimiento:

$$11,85 / 11 = 1,07 \text{ kl}$$

$$1,07 \text{kl} * 18,33 = 19,61$$

$$19,61 * 6,060 = 118,855$$

$$118,855 / 1000 = 118,8 \text{ TCH}$$

Figura 16

Corte de Tallo Molinables en las Materas



Fuente. Elaboración propia (2024)

Figura 17

Peso de Muestras de Tallos Desfibrados para Analizar



Fuente. Elaboración propia (2024)

Figura 18

Peso de los Tallos Molinables por Matera de los Tratamientos



Fuente. Elaboración propia (2024).

Equipos y Herramientas: Para el desarrollo del ensayo son necesarios elementos como el machete, cinta métrica, pie de rey o calibrador, balanza o pesa y pipeta digital.

Modelo de Análisis Estadístico.

Luego de realizar la evaluación de todas las variables agronómicas se trabajó con el programa R para analizar los datos de crecimiento y desarrollo con el modelo Diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

Se hicieron análisis gráficos de la primera y la última evaluación de crecimiento y desarrollo a los 4.4 y 8.2 meses de edad del cultivo en las dos variedades de caña de azúcar.

Se calcularon supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas.

Después de tomar los datos de campo, se procederá al análisis de estadística descriptiva, análisis de varianza y análisis de comparación de promedios.

Resultados de la evaluación del desarrollo vegetativo de dos variedades del cultivo de caña de azúcar bajo la aplicación de microorganismos funcionales del suelo.

Resultados

Resultados Evaluación de Germinación y Tallos Molinables de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 Y CC01-1940)

Tabla 1

Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas Variedad (CC 05-430)

Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas						
Repetición	Tratamiento	Área M2	Variedad	Yemas germinadas	% de Germinación	Tallos Molinables Establecidos
1	T0	0,28	CC05-430	8	89	12
2	T0	0,28	CC05-430	6	67	11
3	T0	0,28	CC05-430	7	78	10
1	T1	0,28	CC05-430	4	44	9
2	T1	0,28	CC05-430	8	89	12
3	T1	0,28	CC05-430	8	89	13
1	T2	0,28	CC05-430	8	89	12
2	T2	0,28	CC05-430	6	67	11
3	T2	0,28	CC05-430	6	67	13
1	T3	0,28	CC05-430	3	33	11
2	T3	0,28	CC05-430	6	67	8
3	T3	0,28	CC05-430	7	78	13

Nota. La tabla muestra el acumulado de los datos de germinación y tallos molinables. establecidos, en porcentaje y

tallos por materia de la variedad (CC05-430). *Fuente.* Elaboración propia. (2024)

Tabla 2

Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas Variedad (CC 01-1940)

Acumulado de Datos de Germinación y Tallos Molinables en las Materas						
Repetición	Tratamiento	Área M2	Variedad	Yemas germinadas	% de Germinación	Tallos Molinables Establecidos
1	T0	0,28	CC 01-1940	6	67	13
2	T0	0,28	CC 01-1940	5	55	10
3	T0	0,28	CC 01-1940	6	67	15
1	T1	0,28	CC 01-1940	5	55	11
2	T1	0,28	CC 01-1940	5	55	15
3	T1	0,28	CC 01-1940	6	67	12
1	T2	0,28	CC 01-1940	2	22	8
2	T2	0,28	CC 01-1940	2	22	10
3	T2	0,28	CC 01-1940	6	67	10
1	T3	0,28	CC 01-1940	6	67	14
2	T3	0,28	CC 01-1940	4	44	9
3	T3	0,28	CC 01-1940	6	67	16

Nota. La tabla muestra el acumulado de los datos de germinación y tallos molinables establecidos, en porcentaje y

tallos por materia de la variedad (CC 01-1940). **Fuente.** Autoría Propia. (2024)

Tabla 3

Resultados de Germinación y Tallos Molinables de las dos Variedades

Tabla de resultados de Germinación y Tallos Molinables						
Tratamiento	CC 01-1940			CC05-430		
	Promedio de Yemas germinadas	Promedio de % de yemas	Promedio de Tallos Establecidos	Promedio de Yemas germinadas	Promedio de % de yemas	Promedio de Tallos Establecidos
T0	5,7	63,00	12,67	7,00	78,00	11,00
T1	5,3	59,00	12,67	6,67	74,00	11,33
T2	3,3	37,00	9,33	6,67	74,33	12,00
T3	5,3	59,33	13,00	5,33	59,33	10,67
Total general	4,92	54,58	11,92	6,42	71,42	11,25

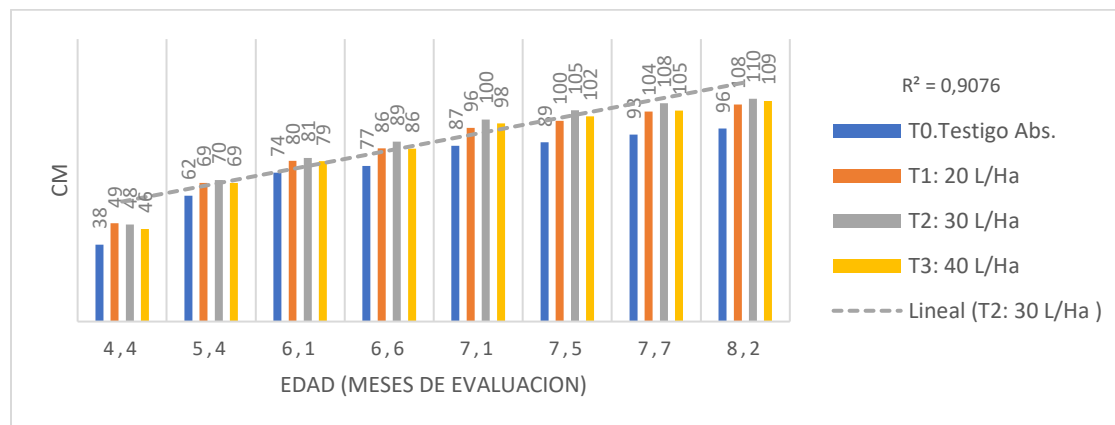
Nota. La tabla muestra los resultados de germinación de yemas y tallos molinables en promedio por tratamiento de

las dos variedades (CC 01-1940 y CC05-430). **Fuente.** Autoría Propia. (2024)

***Evaluación de Crecimiento y Desarrollo en las dos Variedades de Caña de Azúcar
(CC05-430 y CC01-1940)***

Gráfico 1

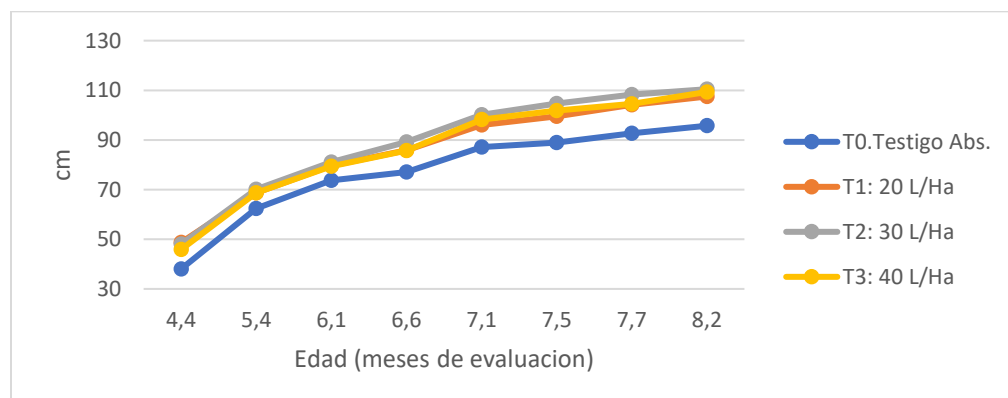
Comportamiento de la Altura de los Tallos Molinables de los Cuatro Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la variedad (CC05-430).



Nota. En la gráfica de barras se muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato de altura de los tallos en las materas. **Fuente.** Autoría Propia. (2024)

Gráfico 2

Comportamiento Lineal del Crecimiento en los Tallos Molinables de los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la variedad (CC05-430).

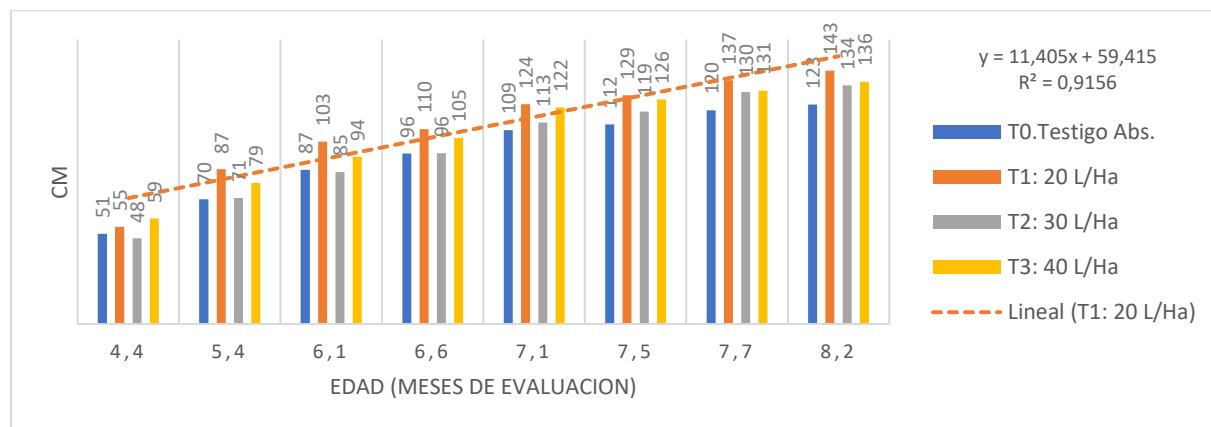


Nota. Se muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la

evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato de altura de los tallos en las materas. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 3

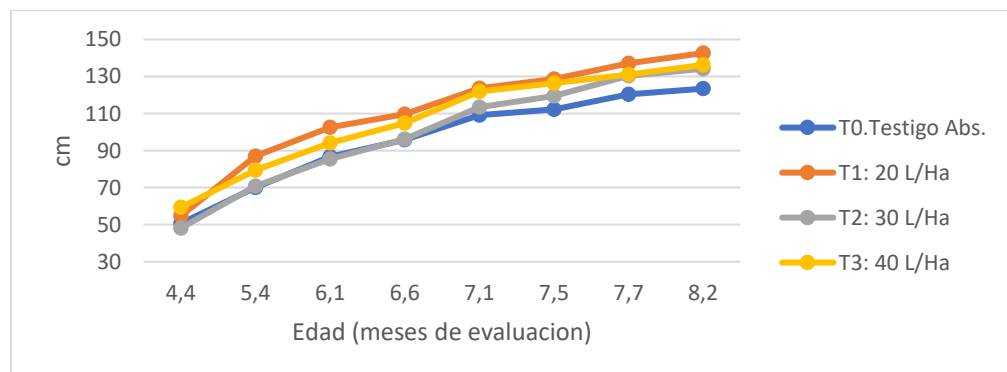
Comportamiento de la Altura en los Tallos Molinables de los Cuatro Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC01-1940).



Nota. Se muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato de altura de los tallos en las materas. Se observa también la línea de tendencia de mayores valores con una correlación de $R^2: 0,91$ para el T1. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 4

Comportamiento Lineal del Crecimiento en los Tallos Molinables de los Cuatro Tratamientos T0, T1, T2 y T3 en la Variedad (CC01-1940).



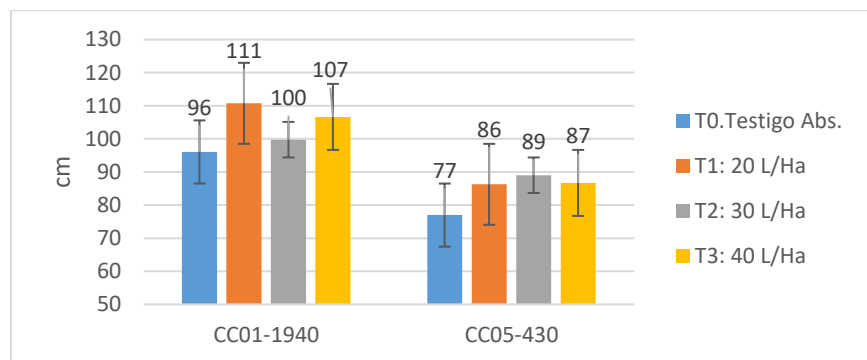
Nota. Se muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la

evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato de altura de los tallos en las materas. **Fuente.**

Autoría propia. (2024)

Gráfico 5

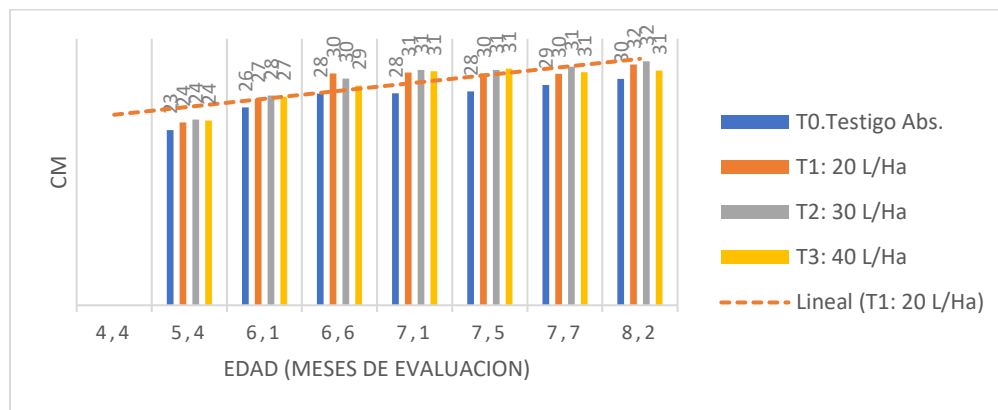
Comparativa del Comportamiento de Altura en los Tallos Molinables de las Dos Variedades (CC05-430 y CC01-1940).



Nota. Se muestra una comparación resumida del comportamiento del crecimiento de los tallos molinables en los cuatro tratamientos T0, T1, T2 y T3, entre las dos variedades evaluadas. **Fuente.** Autoría Propia. (2024)

Gráfico 6

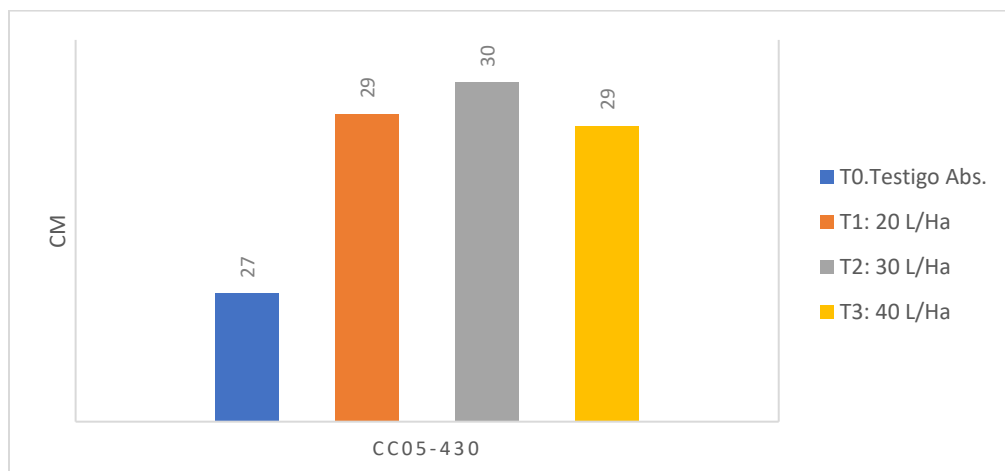
Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los Meses de Evaluación, Medido a los cuatro Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC05-430).



Nota. Se muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato del diámetro de los tallos en las materas. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 7.

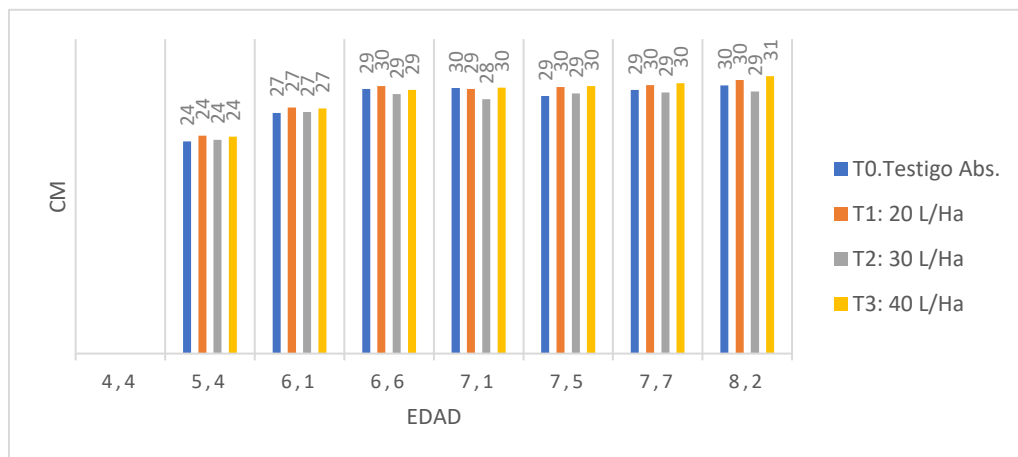
Resumen y Comparación del Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los cuatro Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC05-430).



Nota. La gráfica de barras muestra una comparación resumida del comportamiento de la medición de diámetro entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la variedad CC 05-430. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 8.

Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los Meses de Evaluación a los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC01-1940)

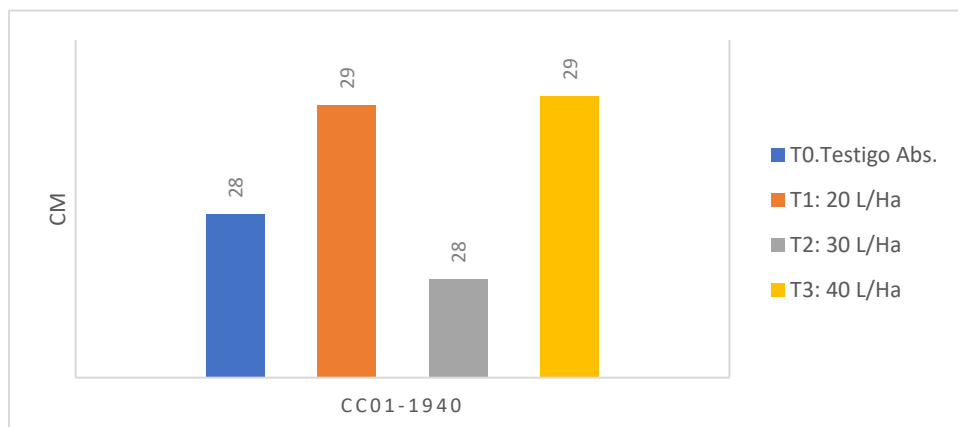


Nota. La gráfica muestra el comportamiento de los cuatro tratamientos en cada una de las edades en que se realizó la evaluación de crecimiento y desarrollo, específicamente el dato del diámetro de los tallos en las materas. **Fuente.**

Autoría propia. (2024)

Gráfico 9.

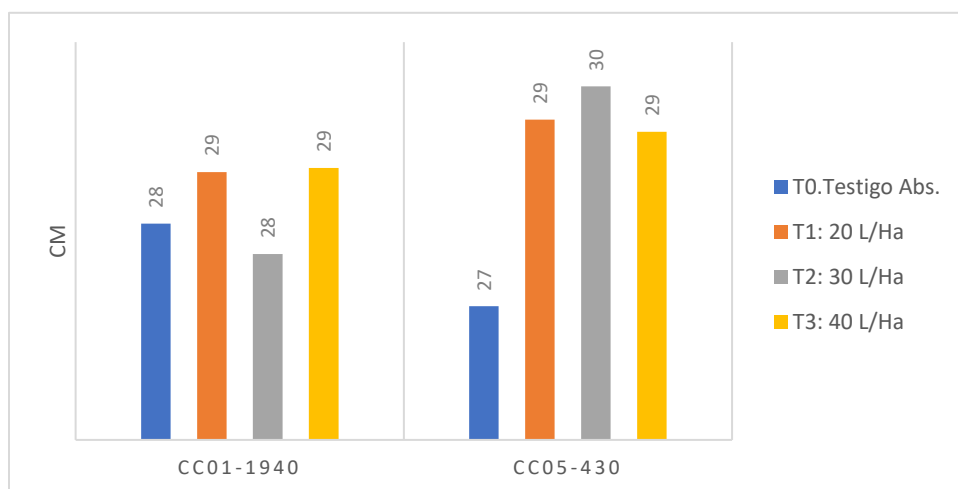
Resumen Comparativo del Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en los Tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la Variedad (CC01-1940)



Nota. Se muestra una comparación resumida del comportamiento de la medición de diámetro en centímetros entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3 de la variedad (CC 01-1940). **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 10.

Resumen Comparativo del Comportamiento del Diámetro de los Tallos Molinables en las Variedades (CC05-430 y CC01-1940)



Nota. Se muestra una comparación resumida del comportamiento del diámetro de los tratamientos entre las dos variedades evaluadas. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Análisis estadístico de crecimiento y desarrollo a los 4.4 y 8.2 meses de edad con el programa R:

Tabla 4.

Plano de Distribución de los Tratamientos en Campo para la Variedad (CC05-430)

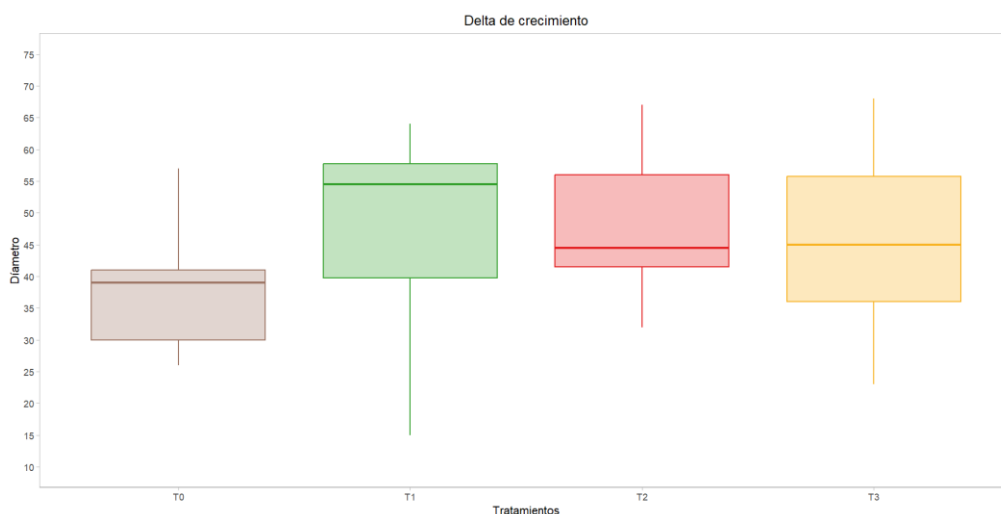
CC 05-430		Tratamientos			
Repetición	T-0 sin aplicación	T-1 20lt	T-2 30lt	T-3 40lt	
1	1	2	3	4	
2	5	6	7	8	
3	9	10	11	12	

Nota. La tabla muestra la distribución de los tratamientos y repeticiones para hacer el análisis estadístico de crecimiento y desarrollo de la variedad (CC05-430). **Fuente.** Autoría propia.

Gráfico 11

Diagrama de Cajas y Bigotes Delta de Crecimiento Tratamiento a los 4.4 meses de edad,*

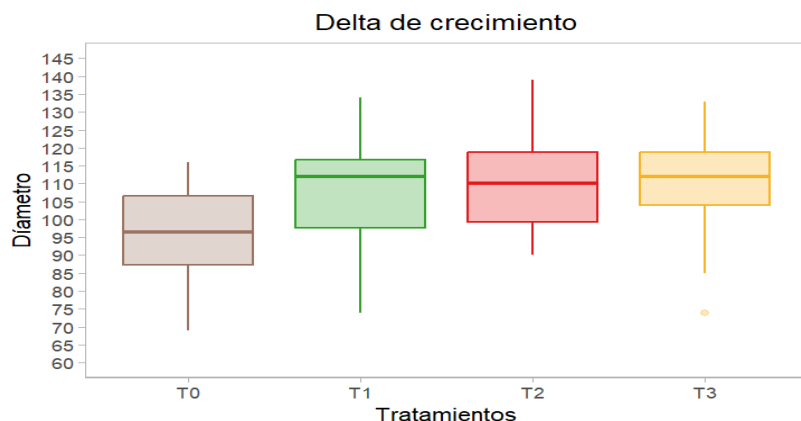
Variedad CC 05-430



Nota. El diagrama de cajas y bigotes muestra la distribución y variabilidad de los datos de crecimiento en los tratamientos, también nos ayuda a observar la media de crecimiento y valores atípicos de comportamiento a los 4,4 meses. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 12.

Diagrama de Bigotes Delta de Crecimiento por Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 05-430.)



Nota. Diagrama de cajas y bigotes muestra la distribución y variabilidad de los datos de crecimiento en los tratamientos también nos ayuda a observar la media de crecimiento y valores atípicos de comportamiento a los 8,2 meses. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Tabla 5.

Tabla Delta de Crecimiento/ Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 05-430)

Tratamientos	Cantidad datos	Media	Desviación Estándar	Min	Q1	Mediana	Q3	Max
T0	18	96	13	69	87	96	106	116
T1	18	108	16	74	98	112	117	134
T2	18	110	13	90	99	110	119	139
T3	18	109	15	74	104	112	119	133

Nota. La tabla delta muestra una estadística resumida de la variable de crecimiento medida en diferentes puntos del tiempo hasta los 8,2 meses y nos permite comparar cada grupo de los tratamientos. **Fuente.** Elaboración propia. (2024)

Prueba de normalidad Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov): El test de Lilliefors, también conocido como test de Kolmogorov-Smirnov, se utiliza para evaluar si una muestra proviene de una distribución normal. En este caso, se está realizando el test de Lilliefors sobre los residuos de un modelo lineal (lm) llamado ANOVA.

Fórmula Programa R: data: summary(lm(anova1)) \$residuals

D = 0.064356, p-value = 0.6507

En este caso, el valor p es 0.6507, lo que significa que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los residuos siguen una distribución normal. En otras palabras, los datos no proporcionan suficiente evidencia para concluir que los residuos no son normales. Esto sugiere que el supuesto de normalidad de los residuos del modelo puede ser razonablemente aceptado.

Prueba de Homogeneidad de Varianzas:

Formula Programa R: Bartlett test of homogeneity of variances

data: Alt8 by Trat

Bartlett's K-squared = 1.0121, df = 3, p-value = 0.7983

El test de Bartlett se utiliza para evaluar si las varianzas de varias muestras son iguales. En este caso, se está realizando el test de Bartlett sobre la variable 'Alt', agrupada por los diferentes niveles de la variable 'Trat'.

Comparación de Medias Tukey :

Tabla 6.

Comparación de Medias de Crecimiento/Tratamiento Variedad (CC 05430)

Altura de Grupos cm		
T-2	110.4	a
T-3	109.3	a
T-1	107.5	ab
T-0	95.7	b

Nota. La tabla muestra un análisis, donde se ha encontrado que los tratamientos T2 y T3 pertenecen al mismo grupo (grupo 'a'), lo que indica que no hay una diferencia significativa entre ellos en términos de sus valores medios de 'Alt'. El tratamiento T1 está en un grupo diferente (grupo 'ab'), lo que sugiere que es significativamente diferente de T2 y T3, pero no es significativamente diferente de T0. **Fuente.** Elaboración propia. (2024)

El tratamiento T0 está en un grupo separado (grupo 'b'), lo que indica que es significativamente diferente de los otros tratamientos en términos de su valor medio de 'Alt'.

Análisis estadístico de crecimiento y desarrollo a los 4.4 y 8.2 meses de edad con el programa r, en la variedad (cc01-1940):

Tabla 7.

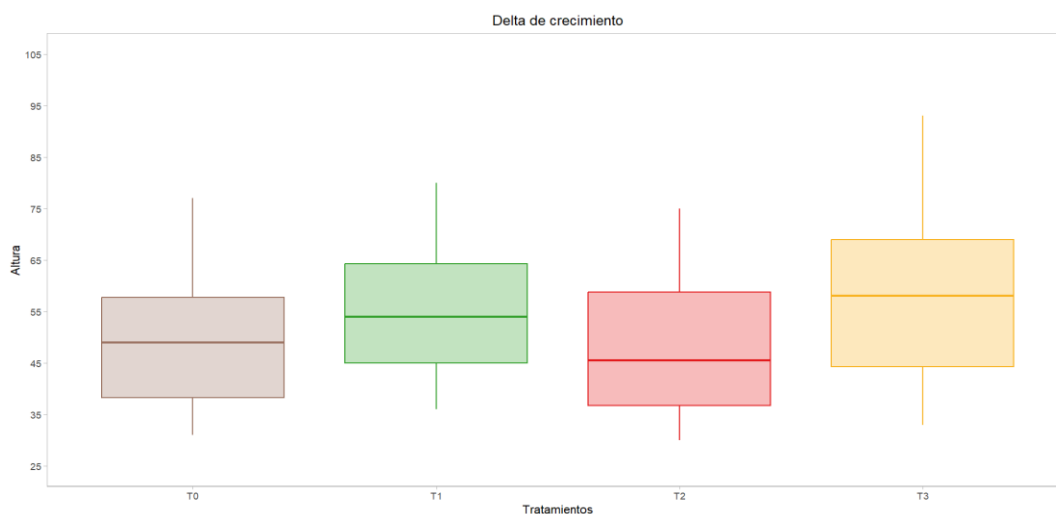
Plano de Distribución de Tratamientos en Campo para la Variedad (CC01-1940)

CC 01-1940	Tratamientos			
Repetición	T-0 sin aplicación	T-1 20lt	T-2 30lt	T-3 40lt
1	1	2	3	4
2	2	6	7	8
3	9	10	11	12

Nota. La tabla muestra la distribución de los tratamientos y repeticiones para hacer el análisis estadístico de crecimiento y desarrollo de la variedad (CC05-430). **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Gráfico 13.

Diagrama de Bigotes Delta de Crecimiento por Tratamiento a los 4.4 meses de edad, Variedad (CC 01-1940)



Nota. El diagrama de cajas y bigotes muestra la distribución y variabilidad de los datos de crecimiento en los tratamientos, también nos ayuda a observar la media de crecimiento y valores atípicos de comportamiento a los 4,4 meses. **Fuente.** Autoría propia. (2024)

Tabla 8.

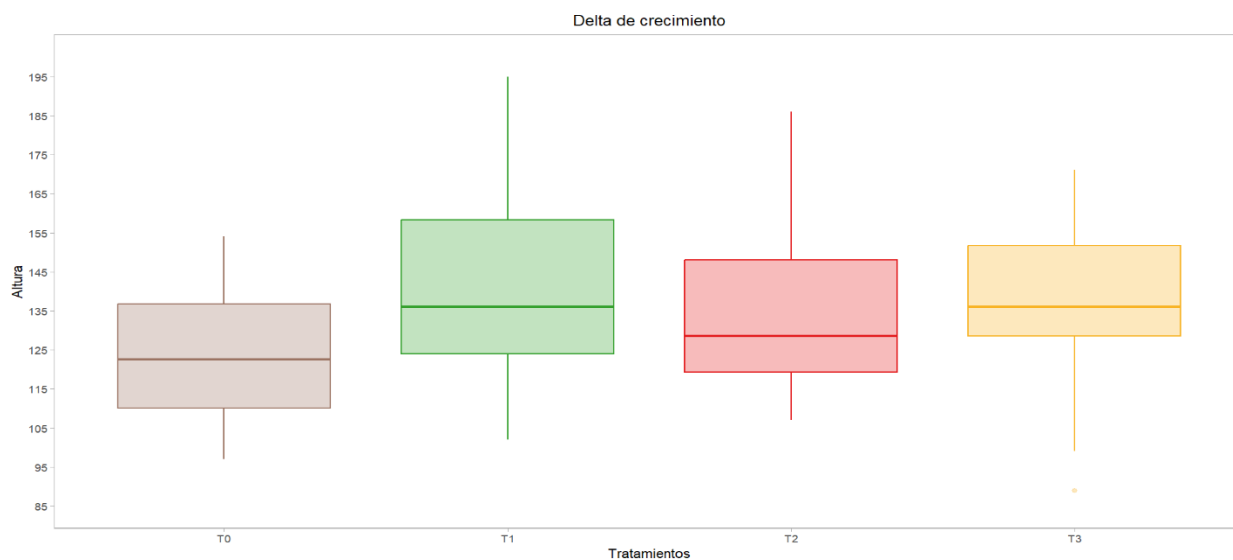
Tabla Delta de crecimiento por Tratamiento a los 4.4 meses de edad, Variedad (CC 01-1940).

Tratamiento	No. de datos	Media	Desviacion estandar	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Maximo
T0	18	51	15	31	38	49	58	77
T1	18	55	12	36	45	54	64	80
T2	18	48	13	30	37	46	59	75
T3	18	59	18	33	44	58	69	93

Nota. La tabla Delta muestra una estadística resumida de la variable de crecimiento medida a los 4,4 meses y nos permite comparar cada grupo de los tratamientos. **Fuente.** Elaboración propia.(2024)

Gráfico 14.

Diagrama de Bigotes, Delta de Crecimiento / Tratamiento a los 8.2 meses de edad, Variedad (CC 01-1940)



Nota. El gráfico de cajas y bigotes muestra la distribución y variabilidad de los datos de crecimiento en los tratamientos también nos ayuda a observar la media de crecimiento cuartiles y valores atípicos de comportamiento a los 8,2 meses. **Fuente.** Elaboración propia.

Tabla 9.

Tabla Delta de Crecimiento por Tratamiento a los 8.2 meses de edad Variedad (CC 01-1940).

Tratamientos	Cantidad datos	Media	Desviación Estándar	Min	Q1	Mediana	Q3	Max
T0	18	123	17	97	110	122	137	154
T1	18	143	25	102	124	136	158	195
T2	18	134	22	107	119	128	148	186
T3	18	136	20	89	128	136	152	171

Nota. La tabla delta muestra una estadística resumida de la variable de crecimiento medida en diferentes puntos del tiempo hasta los 8,2 meses y nos permite comparar cada grupo de los tratamientos. *Fuente.* Elboración propia.

Prueba de normalidad Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) Variedad CC 01-1940.

Formulación programa R: Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: summary(lm(anova1)) \$residual

D = 0.053627, p-value = 0.8756

El test de Lilliefors (también conocido como Kolmogorov-Smirnov) se utiliza para evaluar si una muestra proviene de una distribución normal. Aquí están los resultados de tu prueba:

En este caso, el valor p es 0.8756, lo que significa que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los residuos siguen una distribución normal. En otras palabras, los datos no proporcionan suficiente evidencia para concluir que los residuos no son normales. Esto sugiere que el supuesto de normalidad de los residuos del modelo puede ser razonablemente aceptado.

Formulación programa R: Prueba de Homogeneidad de Varianza

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Alt8 by Trat

Bartlett's K-squared = 2.4895, df = 3, p-value = 0.4772

El test de Bartlett se utiliza para evaluar si las varianzas de varias muestras son iguales.

Aquí están los resultados de tu prueba:

En este caso, el valor p es 0.4772, lo que significa que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que las varianzas son iguales entre los diferentes niveles de 'Trat'.

Por lo tanto, no hay evidencia significativa de heterocedasticidad entre los grupos.

Comparación de Medias Tukey

Tabla 10.

Comparación de Medias de Crecimiento por Tratamiento Variedad (CC 01-1940)

Altura de Grupos cm		
T-1	142.6	a
T-3	136.2	ab
T-2	134.1	ab
T-0	123.4	b

Nota. La tabla muestra los resultados de un análisis de comparación de medias entre diferentes tratamientos (T0, T1, T2, T3) para la variable 'Alt'. Cada tratamiento tiene asignada una letra en la columna 'groups', indicando grupos que no son significativamente diferentes entre sí. **Fuente.** Elaboración propia. (2024)

Por lo tanto, en este análisis se ha encontrado que los tratamientos T3 y T2 pertenecen al mismo grupo (grupo 'ab'), lo que indica que no hay una diferencia significativa entre ellos en términos de sus valores medios de 'Alt'. El tratamiento T1 está en un grupo diferente (grupo 'a'), lo que sugiere que es significativamente diferente de T3 y T2, pero no es significativamente diferente de T0. El tratamiento T0 está en un grupo separado (grupo 'b'), lo que indica que es significativamente diferente de los otros tratamientos en términos de su valor medio de 'Alt'.

Evaluación del Porcentaje de Materia Seca en las Raíces de las Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).

Tabla 11.

Porcentaje de Materia Seca en las Raíces de las dos variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940)

Repetición	Tratamiento	Variedad	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Humedad (%)	Materia seca (%)
1	T0	CC 05-430	50,5	15,1	70,10	29,90
2	T0	CC 05-430	49,8	13,8	72,29	27,71
3	T0	CC 05-430	50,3	15,3	69,58	30,42
1	T1	CC 05-430	49,9	13,7	72,55	27,45
2	T1	CC 05-430	50,7	15,5	69,43	30,57
3	T1	CC 05-430	49,6	16	67,74	32,26
1	T2	CC 05-430	50,1	13,2	73,65	26,35
2	T2	CC 05-430	50,7	12,9	74,56	25,44
3	T2	CC 05-430	50,1	13,2	73,65	26,35
1	T3	CC 05-430	50,1	13,4	73,25	26,75
2	T3	CC 05-430	50,4	15	70,24	29,76
3	T3	CC 05-430	49,8	14,3	71,29	28,71
1	T0	CC 01 1940	50,2	12	76,10	23,90
2	T0	CC 01 1940	49,5	11,3	77,17	22,83
3	T0	CC 01 1940	49,9	14,8	70,34	29,66
1	T1	CC 01 1940	50,3	12,5	75,15	24,85
2	T1	CC 01 1940	50,6	17,2	66,01	33,99
3	T1	CC 01 1940	49,8	14,5	70,88	29,12
1	T2	CC 01 1940	50,3	18,9	62,43	37,57
2	T2	CC 01 1940	50	16,45	67,10	32,90
3	T2	CC 01 1940	51	18,1	64,51	35,49
1	T3	CC 01 1940	50,1	13,5	73,05	26,95
2	T3	CC 01 1940	50,5	12,4	75,45	24,55
3	T3	CC 01 1940	50,9	10,25	79,86	20,14

Nota. Se muestran los resultados del análisis del porcentaje de materia seca en las raíces por repetición, tratamiento y variedades evaluadas. *Fuente.* Elaboración propia.

Tabla 12.

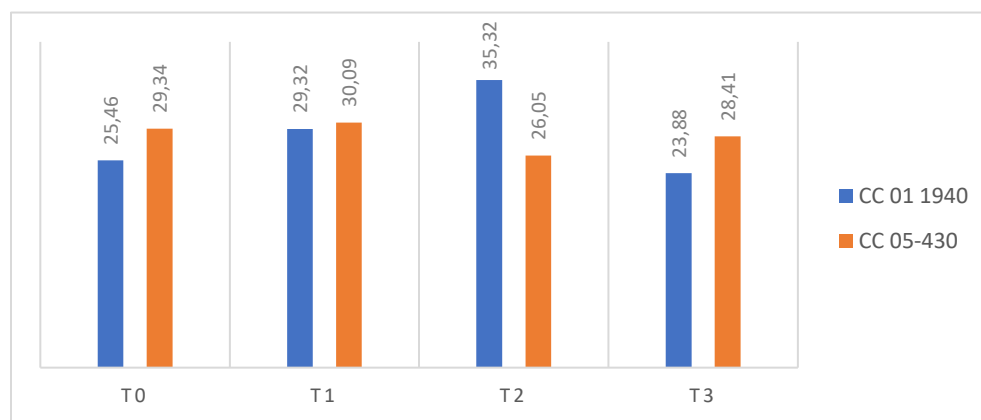
Promedio General Porcentaje de Materia Seca de Raíces de las dos Variedades

Resultado Promedio de Materia Seca (%)		
Tratamientos	CC 01 1940	CC 05-430
T0	25,46	29,34
T1	29,32	30,09
T2	35,32	26,05
T3	23,88	28,41
Total general	28,49	28,47

Nota. La tabla muestra los resultados promedio resumido del porcentaje de materia seca por tratamiento en cada variedad evaluada. *Fuente.* Elaboración propia.

Gráfico 15.

Promedio General del Porcentaje de Materia Seca de Raíces en los Cuatro Tratamientos de las dos Variedades Evaluadas (CC05-430 y CC01-1940).



Nota. La gráfica muestra un resumen del promedio de materia seca en cada tratamiento por variedad. *Fuente.* Autoría propia.

Resultados de Nitrógeno Foliar de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940).

Tabla 13.

Informe de Resultados Análisis de Nitrógeno Foliar en Tratamientos T-0, T-1, T-2 y T-3 de las dos Variedades de Caña de Azúcar (CC05-430 y CC01-1940)

		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS DE NUTRIENTES DE TEJIDO FOLIAR Programa de Proceso de Fábrica					
N° Registro	2024-004AF						
Fecha de entrega de resultados	13/02/2024	Solicitante - Razón social	Incauca SAS				
Responsable	Luis Eduardo Cuervo						
Análisis	N						
Muestra							Elementos Mayores
N°	HACIENDA	SUERTE	TRATAMIENTO	Edad	Corte	Variedad	N
							%
1	San Fernando sur	Vivero	T-0	7,0	0,0	CC 01-1940	1,58
2	San Fernando sur	Vivero	T-1	7,0	0,0	CC 01-1940	2,07
3	San Fernando sur	Vivero	T-2	7,0	0,0	CC 01-1940	2,33
4	San Fernando sur	Vivero	T-3	7,0	0,0	CC 01-1940	2,31
5	San Fernando sur	Vivero	T-0	7,0	0,0	CC 05-430	1,36
6	San Fernando sur	Vivero	T-1	7,0	0,0	CC 05-430	1,43
7	San Fernando sur	Vivero	T-2	7,0	0,0	CC 05-430	1,53
8	San Fernando sur	Vivero	T-3	7,0	0,0	CC 05-430	1,57

Nota. Se muestra el informe de los resultados del análisis de Nitrógeno en tejido foliar en cada uno de los tratamientos . **Fuente.** CENICAÑA.(2024)

Tabla 14.

Niveles Óptimos de Nutrientes en Caña de Azúcar según Cenicaña

Niveles óptimos de nutrientes en tejido

Variedad	Porcentaje					Mg/kg o PMM			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	B
CC 01-1940	1.71	0.17	1.84	0.36	0.10	248.75	29.10	6.66	12.43
CC 01-678	1.73	0.16	1.68	0.24	0.15	298.19	14.87	5.72	9.42
CC 03-469	1.53	0.08	1.28	0.21	0.09	128.15	108.29	4.20	14.11
CC 05-430	1.33	0.18	1.99	0.15	0.11	245.84	13.99	3.09	7.18
CC 06-791	1.67	0.19	1.59	0.25	0.07	193.78	26.28	5.56	13.09
CC 10-450	2.14	0.16	1.47	0.49	0.23	152.05	81.68	11.61	14.62
CC 11-595	2.01	0.15	1.29	0.67	0.19	464.91	54.60	6.39	14.86
CC 11-600	2.09	0.18	1.41	0.51	0.20	267.40	71.75	9.77	15.60
CC 12-2120	1.83	0.18	1.12	0.63	0.22	138.95	36.21	8.02	20.80
CC 14-3296	1.90	0.15	1.28	0.54	0.19	136.26	56.56	3.12	18.48
CC 85-92	1.51	0.17	1.83	0.27	0.12	220.35	30.48	5.38	13.53
CC 93-4418	1.70	0.19	1.92	0.43	0.13	241.47	31.33	6.88	15.48
CC 98-72	2.11	0.23	3.29	0.45	0.40	233.24	49.42	11.09	49.06

Datos de referencia para 6 meses de edad

Nota. La tabla muestra los niveles óptimos de los nutrientes requeridos en el análisis de tejido foliar dados por Cenicaña. **Fuente:** CENICAÑA (2023)

Tabla 15.

Resultados del Análisis de Tejido foliar (N), Niveles óptimos/ Tratamientos con la Aplicación de los Microorganismos Funcionales del Suelo

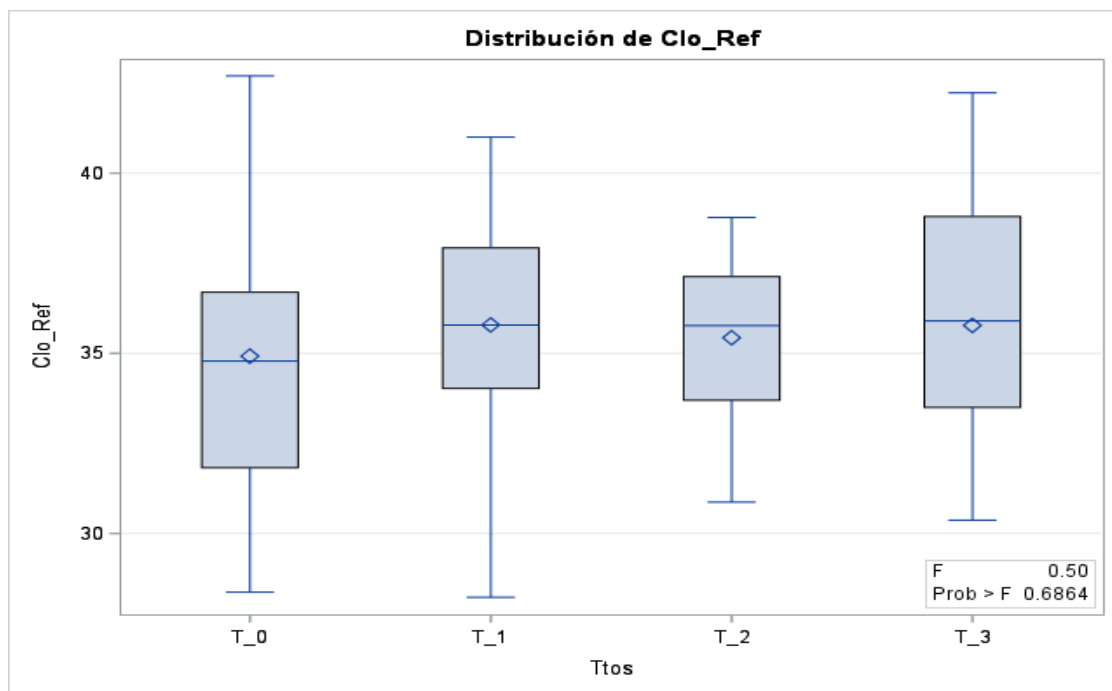
Variedad	Dosis de Microorganismos (lt/ha)	Tejido Foliar (N)	Valores óptimos Según CENICAÑA
CC 01 1940	T-0	1,58	1,71
CC 01 1940	T-1 20lt	2,07	
CC 01 1940	T-2 30lt	2,33	
CC 01 1940	T-3 40lt	2,31	
CC 05 430	T-0	1,36	1,33
CC 05 430	T-1 20lt	1,43	
CC 05 430	T-2 30lt	1,53	
CC 05 430	T-3 40lt	1,57	

Nota. Se muestran los resultados de Nitrógeno en tejido foliar de los tratamientos de cada variedad, comparados con los niveles óptimos entregados por Cenicaña. **Fuente.** Elaboración propia.(2023)

Resultados de la Evaluación de Clorofila en las dos Variedades de Caña de Azúcar (cc05-430 y cc01-1940).

Gráfico 16.

Valores de Clorofila en la Variedad CC05-430 Procedimiento GLM



Nota. El gráfico de cajas y bigotes muestra una representación visual de la dispersión y forma de los datos de clorofila ($\mu\text{mol por m}^2$) variedad CC05-430, lo que nos permite identificar una media por encima de $35 \mu\text{mol/m}^2$ a excepción del T0 (Testigo); además, se ilustran los valores atípicos y la variabilidad de los datos de esta variable con respecto al promedio. **Fuente.** Elaboración propia.

Para analizar de los valores de la clorofila en la variedades CC01-1940 y CC05-430 se usó la prueba de rango múltiple de Duncan utilizada en agronomía para comparar las medias de las variedades de plantas. Esta prueba ayudó a determinar las diferencias significativas entre las variedades de las plantas y su salud arrojando los siguientes resultados:

Tabla 16

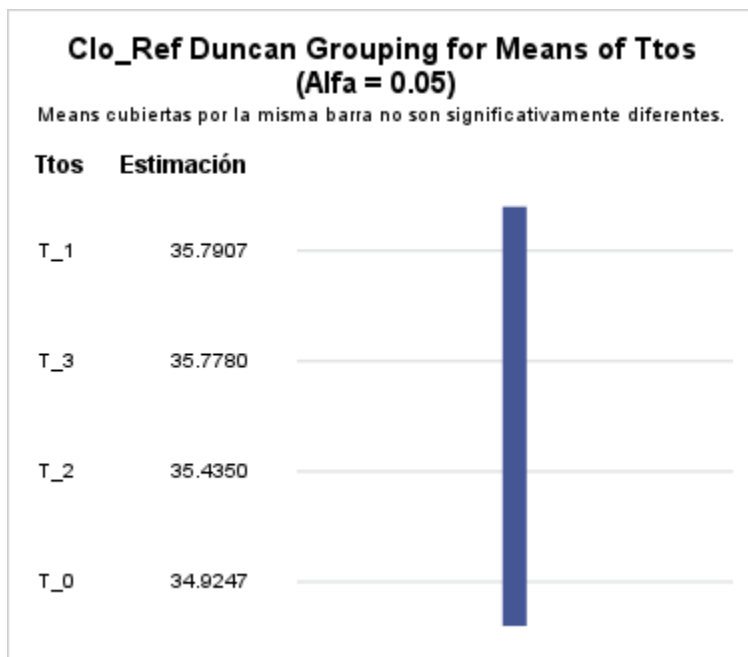
Prueba del Rango múltiple de Duncan para Clorofila variedad CC05-430

Prueba del rango múltiple de Duncan para Clorofila variedad CC05-430				
Alpha				0.05
Grados de error de libertad				116
Error de cuadrado medio				10.01412
Número de medias	2	3	4	
Rango crítico	1.618	1.703	1.760	

Fuente. Elaboración propia.

Gráfico 17.

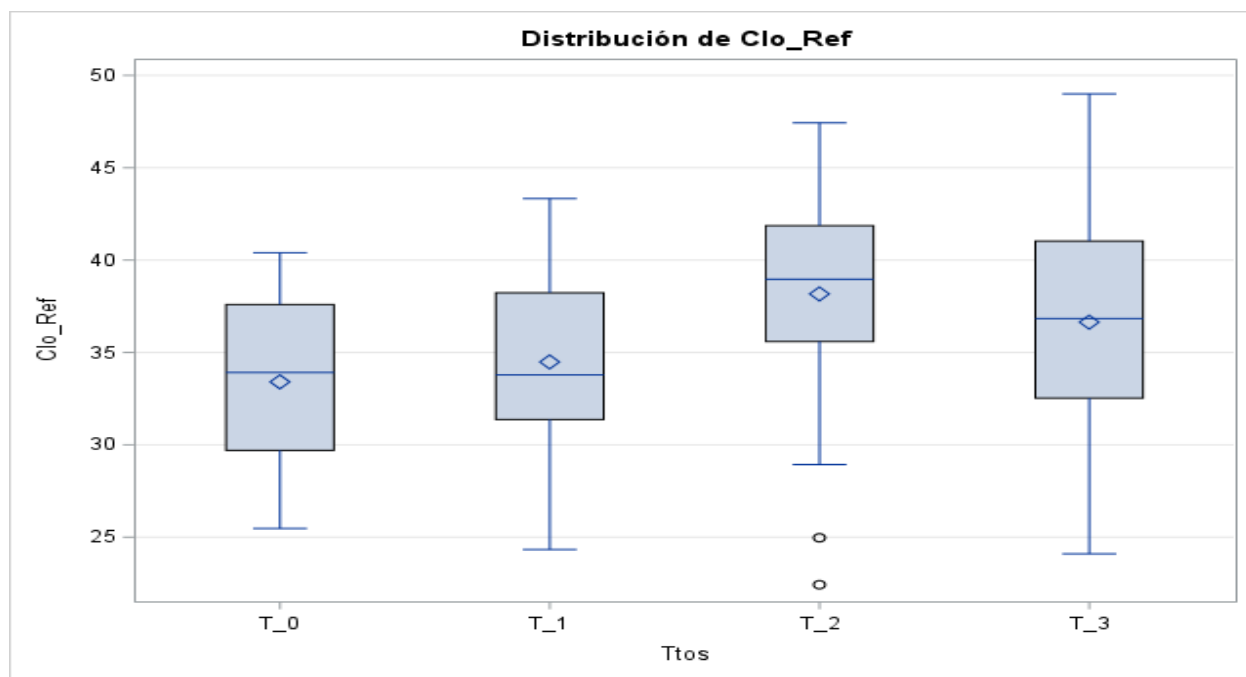
Diagrama Duncan de los Resultados de Clorofila en la Variedad (CC05-430)



Nota. El gráfico muestra que no hay una diferencia significativa entre los resultados de clorofila ($\mu\text{mol por m}^2$) de los diferentes tratamientos. *Fuente.* Duncan (2024).

Gráfico 18

Valores de Clorofila en la variedad CC01-1940 Procedimiento GLM.

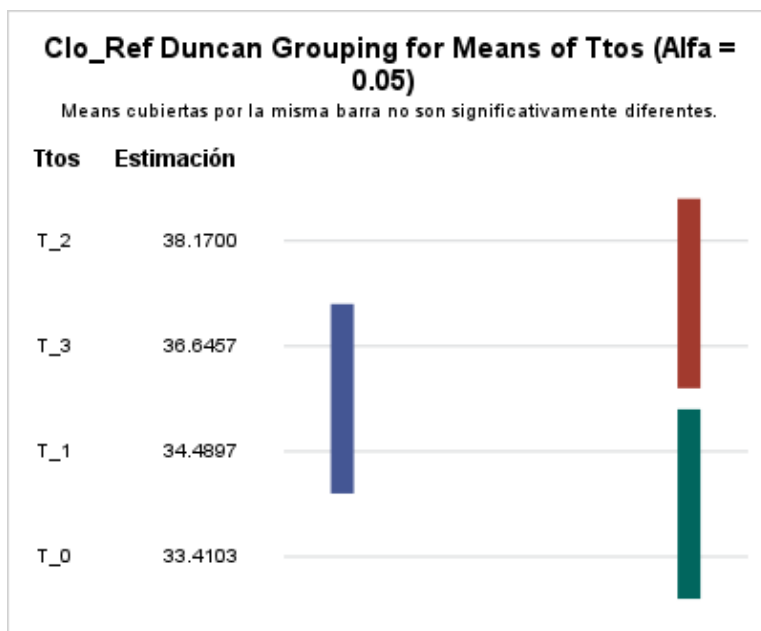


Nota. El gráfico de cajas y bigotes muestra una representación visual de la dispersión y forma de los datos de clorofila ($\mu\text{mol por m}^2$) variedad CC01-1940, lo que nos permite identificar una media por encima de $35 \mu\text{mol/m}^2$ a excepción del T0 (Testigo); además, se ilustran los valores atípicos y la variabilidad de los datos de esta variable con respecto al promedio. **Fuente.** Autoría Propia.

Tabla 17*Prueba del Rango Múltiple de Duncan para Clorofila Variedad CC01-1940*

Prueba del rango múltiple de Duncan para Clorofila			
Alpha	0.05		
Grados de error de libertad	116		
Error de cuadrado medio	29.62776		
Número de medias	2	3	4
Rango crítico	2.784	2.930	3.027

Nota. Al realizar esta prueba, se identificó que la variedad CC01-1940 presenta niveles significativamente altos de clorofila con relación a la variedad CC05-430 lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones en la producción agrícola y el manejo de cultivos. *Fuente.* Autoría propia. (2024)

Gráfico 19.*Diagrama Duncan de los Resultados de Clorofila en la Variedad (CC01-1940)*

Nota. El gráfico muestra que hay una diferencia significativa entre los resultados de clorofila ($\mu\text{mol por m}^2$) de los diferentes tratamientos, en este caso el tratamiento T2 por encima de los demás. *Fuente.* Duncan (2024).

Resultados de la Evaluación de Grados Brix y Sacarosa de las dos Variedades (CC05-430 y CC01-1940).

Tabla 18

Resultados Grado Brix y Sacarosa de las dos Variedades.

Hacienda	Variedad	Ensayo	J u g o		Rendimiento	% sac caña
			% brix	% sacar		
Vivero	CC05-430	T-0 0 litros	16,94	13,741	9,67	11,60
Vivero	CC05-430	T-1 20 litros	17,80	14,521	10,47	12,46
Vivero	CC05-430	T-2 30 litros	16,74	13,479	9,62	11,53
Vivero	CC05-430	T-3 40 litros	18,08	15,225	11,43	13,28
Vivero	CC01-1940	T-0 0 litros	17,96	15,044	11,10	12,99
Vivero	CC01-1940	T-1 20 litros	18,56	15,864	12,16	13,98
Vivero	CC01-1940	T-2 30 litros	18,81	16,270	12,68	14,44
Vivero	CC01-1940	T-3 40 litros	17,86	15,242	11,40	13,19

Nota. La tabla muestra los resultados de grados brix y sacarosa en cada variedad evaluadas con sus respectivos tratamientos. **Fuente.** Autoría Propia.

Evaluación del peso de los tallos molinables de las dos variedades de caña de azúcar:

Tabla 19

Resultados del Peso de los Tallos Molinables de la Variedad (CC 05-430).

Variedad	Peso de tallos molinables			
	T-0 testigo	T-1 20 LT	T-2 30 LT	T-3 40 LT
cc 05-430	2,95	3,25	5,35	5,65
cc 05-430	4,85	4,85	5,65	3,55
cc 05-430	4,05	6,4	5,9	5,95
Peso total kl	11,85	14,5	16,9	15,15
Promedio kl	3,95	4,83	5,63	5,05
TCH	141,1	172,6	201,2	180,4
TCH MTL	119,7	146,5	170,7	153,0

Nota. La tabla muestra los resultados del peso de los tallos molinables en kilos y también toneladas de caña aproximadas por hectárea teniendo en cuenta el peso promedio de los tallos en kilos en el área de las materas por tratamiento, y también el peso aproximado de toneladas de caña por hectárea teniendo en cuenta el peso de los tallos molinables por metro lineal para la variedad (CC05-430). **Fuente.** Autoría Propia.

Tabla 20

Resultados del Peso de los Tallos Molinables de la Variedad (CC 01-1940).

Peso de Tallos Molinables				
Variedad	T-0 testigo	T-1 20 LT	T-2 30 LT	T-3 40 LT
CC01-1940	4,7	4,9	4,8	9,85
CC01-1940	5,6	10	6,65	4,55
CC01-1940	5,9	6,45	4,25	7,05
Peso total	16,2	21,35	15,7	21,45
Promedio	5,4	7,12	5,23	7,15
TCH	192,9	254,2	186,9	255,4
TCH MTL	163,6	215,6	158,7	216,7

Nota. La tabla muestra los resultados del peso de los tallos molinables en kilos y también toneladas de caña aproximadas por hectárea teniendo en cuenta el peso promedio de los tallos en kilos en el área de las materas por tratamiento, y también el peso aproximado de toneladas de caña por hectárea teniendo en cuenta el peso de los tallos molinables por metro lineal para la variedad (CC01-1940). **Fuente.** Autoría Propia.

Conclusiones

Después de realizar este estudio, se puede concluir de acuerdo a los objetivos planteados, en la evaluación del desarrollo vegetativo de dos variedades del cultivo de caña de azúcar bajo la aplicación de microorganismos funcionales del suelo, donde se realizaron evaluaciones en campo de las diferentes variables agronómicas y parámetros de productividad que pudieran arrojar datos que permitieran analizar si hay un efecto positivo cuando hacemos esta aplicación y cuál de las dosis de microorganismos aplicadas en los tratamientos tubo mejor efecto en cada una de las dos variedades CC 05-430 y CC 01-1940.

Al medir el porcentaje de germinación y el número de tallos molinables establecidos de cada una de las dos variedades sembradas, donde se observa como el efecto de los microorganismos se ve reflejado en los tratamientos con la aplicacion, no con gran porcentaje en la germinación, pero si luego en los tallos que se establecen por metro y al final son los quedan la producción y van a parar al molino de fábrica.

Al realizar las mediciones de crecimiento y desarrollo del cultivo en condiciones semicontroladas muestran como los tratamientos con la aplicación de microorganismos tienen un mayor crecimiento y desarrollo en el cultivo, superando en las dos variedades al testigo que no se le aplico microorganismos. Basado en los resultados y datos que arrojó esta evaluación, dice que si hay un efecto positivo de crecimiento y desarrollo cuando se aplican microorganismos funcionales en el suelo.

Al estimar el porcentaje de materia seca en las raíces se observa como las plantas de los tratamientos con mayor aplicación de microorganismos mostraron mejor estado fisiológico, mayor almacenamiento y disponibilidad de los nutrientes ya que se vio reflejado en el

crecimiento y desarrollo de los tallos y por ultimo mayor peso en el porcentaje de materia seca de las raíces.

De acuerdo al análisis de Nitrógeno foliar se observa de manera clara como los tratamientos que tienen la aplicación de microorganismos en las dos variedades de caña de azúcar, superan al testigo y los parámetros de niveles óptimos de Nitrógeno en tejido foliar dados por Cenicaña, lo que concluye, que si hay un aporte por parte de los microorganismos de la rizosfera en la absorción de nutrientes a las plantas.

En la evaluación de clorofila se observa claramente como los tratamientos T-1, T2 y T-3 con aplicación de microorganismos superan el valor que arrojó el testigo sin aplicación, confirmando así el efecto positivo que ejercen los microorganismos aplicados en el suelo.

De acuerdo a los resultados y datos estadísticos de las evaluaciones a las variables agronómicas y de los parámetros de productividad se puede concluir, que la aplicación de microorganismos funcionales en el suelo aporta de manera positiva en la producción de las dos variedades de caña de azúcar CC 05-430 y CC 01-1940. Ya que cuando en una investigación los tratamientos dan mejores resultados que los testigos o grupos de control, esto sugiere que hubo un efecto positivo en la variable de interés en este caso la aplicación de microorganismos funcionales en el suelo.

Glosario

Macollamiento: Etapa fisiológica o de desarrollo de un cultivo, en la que se obtienen de una misma cepa o planta varios tallos, los cuales con un adecuado manejo logran alcanzar la madurez fisiológica.(Universidad de Pamplona, s.f).

Tallo Molinable: Tallos de caña que llegan al molino.

TCH: Toneladas de caña por hectárea.

TCH mt: Toneladas de caña por hectárea metros lineales.

Referencias Bibliográficas

- Cenicaña (2018). *Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 01-1940*. <https://www.cenicana.org/caracteristicas-agronomicas-y-de-productividad-de-la-variedad-cenicana-colombia-cc-01-1940/>.
- Cenicaña (2003). *Catálogo de variedades*.
https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_31/st_31.pdf
- Cenicaña. (2016) *Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia*. https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_39/st_39.pdf
- Departamento de Agronomía INFOAGRO.(s.f)"*Azotobacter*" y su aplicación en agricultura,
https://www.infoagro.com/documentos/_azotobacter__y_su_aplicacion_agricultura.asp
- Departamento de Agronomía INFOAGRO.(s.f)"*Azospirillum*" como fijador de nitrógeno del suelo.
https://www.infoagro.com/documentos/_azospirillum_como_fijador_nitrogeno_del_suelo.asp
- Hernández, D., Ferreira,R., Alarcón, A. (2019)*Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial*.<https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/993>.
- Osorio, N. (2009) *Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas*.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4203/1/cap3.pdf>
- Procaña.(s.f) *Historia de la Caña*.<https://procana.org/site/historia-de-la-cana/>

Portal Noticias Caracol. (2017) *Caña de azúcar, el gran motor de la economía en el Valle del Cauca*. <https://www.noticiascaracol.com/valle/cana-de-azucar-el-gran-motor-de-la-economia-en-el-valle-del-cauca>.

Quimbaya, J. (2023) *¿Cómo potenciar los microorganismos para aprovechar los residuos de cultivos y los nutrientes que estos aportan?* . <https://procana.org/site/como-potenciar-los-microorganismos-para-aprovechar-los-residuos-de-cultivos-y-los-nutrientes-que-estos-aportan/>

Universidad de Pamplona(s.f) *Modulo 1. Establecimiento y levante de socas. Glosario*.

https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_4/mod_virtuales/modulo1/glosario1.html#:~:text=Macollamiento%3A%20Etapa%20fisiol%C3%B3gica%20o%20de,logran%20alcanzar%20la%20madurez%20fisiol%C3%B3gica.

Anexos

Anexo A.

Datos de la evaluación de crecimiento y desarrollo de la variedad (CC05-430).

CC 05-430		Dias Meses																																																			
		EDAD TENTATIVA DE COSECHA 245 8,2																																																			
		T0														T1																																					
N° EVALUACIONES	POBLACION								ALTURA								DIAMETRO								POBLACION								ALTURA								DIAMETRO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8					
Repeticion # Cañas	4	5	6	7	7	8	8	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	4	5	6	6,6	7	8	8	8	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	4	5	6	6,6	7	8	8	8
1	1							29	38	52	60	64	65	69	69	27	31	29	29	25	23	25									57	75	90	92	102	107	116	119	25	28	27	28	29	28	31								
	2							29	54	65	70	75	75	78	80	20	23	25	25	24	26	27									34	59	70	72	80	86	95	97	19	22	26	26	29	30	30								
	3	12	12	13	13	12	12	40	59	67	74	78	78	82	83	21	24	26	26	27	28	27	8	8	9	9	9	9	9	9	53	62	81	85	93	99	108	114	23	26	28	29	29	29	31								
	4							39	53	63	63	84	85	85	88	20	23	21	21	20	32	33									39	35	43	46	56	61	66	80	18	20	30	31	30	28	36								
	5							41	54	67	74	79	82	86	87	21	24	26	26	26	26	26									30	45	65	78	92	95	105	114	22	25	32	32	34	33	34								
	6							26	51	68	74	85	85	88	93	26	29	30	31	33	34	34									15	52	59	66	77	81	87	92	20	23	25	25	24	23	25								
2	7							51	78	91	94	101	106	108	108	26	29	29	29	28	29	29									42	55	61	62	67	70	74	74	19	22	25	25	25	25	24								
	8							34	57	62	68	81	82	87	90	15	17	29	29	32	30	31									32	68	76	94	110	113	115	117	20	23	36	36	36	36	34								
	9	10	10	11	11	11	11	40	68	78	78	84	84	89	89	19	22	25	25	26	25	26	11	11	11	12	12	12	12	12	62	90	95	106	120	124	125	126	29	33	36	36	32	33	35								
	10							28	68	83	88	101	101	103	105	28	32	33	33	32	33	33									54	75	81	83	88	89	93	95	20	23	25	25	24	27	25								
	11							39	78	93	96	110	112	114	116	29	33	34	34	32	34	34									63	82	87	89	92	100	104	105	20	23	27	27	26	27	28								
	12							57	83	96	96	105	107	110	110	26	29	30	28	29	29	29									58	78	89	95	109	109	109	116	31	35	39	39	37	36	37								
3	13							50	72	82	84	97	103	103	103	21	24	26	26	26	27									55	80	97	108	114	118	122	122	32	36	34	32	34	33	36									
	14							44	65	70	74	87	90	98	100	27	30	29	29	30	30	32									56	82	87	91	100	106	109	110	23	26	27	27	28	26	27								
	15	10	10	11	11	10	10	36	61	71	75	84	88	96	100	20	23	26	26	26	27	28	14	14	14	13	13	13	13	13	64	77	83	87	100	101	104	105	22	25	30	30	29	31	34								
	16							33	57	65	65	79	79	86	19	22	29	29	35	34	36									62	87	105	112	129	130	132	134	33	37	39	39	39	39	38									
	17							41	65	80	80	93	93	97	107	22	25	25	27	27	28									56	78	90	99	111	112	115	115	27	31	34	34	34	34	32									
	18							28	61	75	75	82	85	96	109	25	28	28	28	28	28	30									45	57	74	81	89	90	95	100	27	30	28	29	29	29	32								

Nota. Se muestra la base de datos se recogió toda la información de campo durante las evaluaciones realizadas de crecimiento y desarrollo de los tratamientos y durante el ciclo del cultivo de la variedad (CC 05-430). **Fuente.** Autoría Propia.

Anexo B.

Datos de la evaluación de crecimiento y desarrollo de la variedad (CC 01-1940).

CC 01-1940										T2																T3																																							
POBLACION										ALTURA								DIAMETRO								POBLACION								ALTURA								DIAMETRO																							
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8																
4	5	6	7	7	8	8	8	8	8	4,4	5,4	6,1	6,6	7,0	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7,0	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7,0	7,5	7,7	8,2	4,4	5,4	6,1	6,6	7	7,5	7,7	8,2
11	11	11	11	8	8	8	8	8	8	63	86	93	109	127	133	144	148	28	32	32	29	34	32	30	20	20	20	14	14	14	14	14	69	92	105	123	133	139	140	140	26	29	29	29	28	29	30	69	94	110	122	139	144	152	155	29	33	32	32	32	34	34			
										61	86	104	111	129	140	150	155	21	24	28	29	28	31	30									69	94	110	122	139	144	152	155	29	33	32	32	32	34	34	93	110	114	129	142	145	150	153	25	28	30	30	28	28	28			
										46	69	80	80	101	108	114	119	22	25	28	28	28	28	28									75	98	115	137	157	164	168	171	27	31	30	31	34	34	34	91	107	120	130	147	152	159	160	27	31	28	29	28	30	30			
										36	65	81	100	120	127	142	149	27	31	33	34	33	33	35									57	82	110	120	136	142	155	155	24	27	30	30	35	36	36	91	107	120	130	147	152	159	160	27	31	28	29	28	30	30			
										39	52	60	70	87	89	102	108	21	24	30	26	26	28	27									57	82	110	120	136	142	155	155	24	27	30	30	35	36	36	30	48	61	76	97	103	117	122	29	33	33	33	36	33	36			
										36	54	71	88	102	111	124	126	30	34	34	31	32	32	32									69	87	93	97	116	119	123	125	26	29	30	30	30	30	31	70	88	97	104	122	127	131	133	22	25	29	30	29	30	30			
										58	75	92	105	120	129	142	148	22	25	30	26	28	28	29									39	50	66	72	90	94	97	99	19	22	30	31	31	30	31	40	58	77	95	114	122	130	135	29	33	35	35	35	35	35			
										75	107	123	135	152	159	172	175	27	31	31	31	31	32	31									52	80	101	111	132	138	144	148	27	30	31	31	33	32	32	67	88	95	99	110	117	130	131	22	25	27	27	27	29	29			
										44	65	81	95	107	107	130	133	26	29	27	27	27	28	28									33	54	64	70	83	85	87	89	20	23	24	24	24	25	25																		
										36	62	79	88	99	102	104	107	22	25	26	26	25	26	26									41	69	92	104	118	122	128	128	27	31	32	34	31	33	34	45	63	82	94	115	117	128	130	27	30	33	31	32	32	32			
										45	63	82	94	115	117	128	130	27	30	33	31	32	32	32									69	92	101	102	126	131	134	139	20	23	29	28	28	28	29	50	73	91	99	108	115	122	127	23	26	26	26	25	25	25			
										50	73	91	99	108	115	122	127	23	26	26	26	25	25	25									54	62	82	85	95	96	98	135	20	23	26	28	27	26	29	45	68	87	92	106	109	112	113	20	23	25	25	29	26	26			
										45	68	87	92	106	109	112	113	20	23	25	25	29	26	26									45	68	86	100	117	121	128	137	21	24	29	28	30	31	33	46	70	90	95	108	109	114	118	20	23	26	27	26	26	26			
										46	70	90	95	108	109	114	118	20	23	26	27	26	26	26									59	74	80	90	116	119	119	120	22	25	25	25	25	23	25	31	56	75	84	104	107	117	120	21	24	26	27	26	26	26			

Nota. Se muestra la base de datos donde se recogió toda la información de campo, durante todas las evaluaciones realizadas de crecimiento y desarrollo de los tratamientos durante todo el ciclo del cultivo de la variedad (CC 01-1940). **Fuente.** Autoría Propia.