

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICORRIZAS (*Glomus, sp.*) EN LA ASIMILACIÓN DE FÓSFORO EN *Saccharum officinarum L.*, FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU, GUATEMALA.

KEVIN ALESANDRO FLORES TZUY

201641232

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, ABRIL DE 2023.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL



EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICORRIZAS (*Glomus, sp.*) EN LA ASIMILACIÓN DE FÓSFORO EN *Saccharum officinarum L.*, FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU, GUATEMALA.

KEVIN ALESANDRO FLORES TZUY

201641232

ING. AGR. MSc. CARLOS ARTURO ESTEBAN GARCÍA

SUPERVISOR-ASESOR

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, ABRIL DE 2023.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

REPRESENTANTE DE PROFESORES

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Edín Aníbal Ortiz Lara
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

MSc. José Norberto Thomas Villatoro
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Sergio Román Espinoza Antón
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.S. Juan Pablo Ángeles Lam
Coordinador Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por la fortaleza, fuerza y sabiduría que ha derramado en mi vida, porque de él emana todas las bendiciones y en él confío.

MIS PADRES

Rodrigo Flores y Guadalupe Tzuy por haber confiado en mí para culminar mi etapa de formación académica y el apoyo que siempre me han expresado.

ABUELOS

Juan Tzuy, Trinidad Santay y Leonardo Flores por el cariño y los conocimientos compartidos en los diferentes aspectos de la vida que me han formado como persona.

HERMANAS Y PRIMOS

Luisa Flores, Sharon Flores y primos Fidel Gonzales, Edwin Ramos por apoyarme en mis sueños y metas

FAMILIA EN GENERAL

A mis tíos, tías, primos y primas a cada uno por nombre por ser parte de mi formación académica, profesional y personal y siempre creer en mí.

PROMOCIÓN AGRONOMIA TROPICAL 2016-2020

A mis compañeros de promoción cada uno formó parte de mi vida universitaria y donde encontré buenos amigos: Giovanni Chanchavac, Elder Pérez, Werner Escalante, Ricardo Sanchez, Joel Rendon.

AGRADECIMIENTOS

MIS ASESORES

Ing. Agr. MSc. Carlos Arturo Esteban García y Ph. D. Jose Gerardo Espinoza Véliz

Por haberme guiado en la investigación inferencial realizada, y compartirme sus conocimientos, que me ayudaron para mi formación profesional.

MI SUPERVISOR

Ing. Agr. MSc Carlos Arturo Esteban García

Por la ayuda suministrada en el proceso del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), en las distintas etapas que lo componen, en la revisión y corrección de los distintos documentos realizados.

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA Y INGENIERIA AGRICOLA

Por la buena voluntad y apoyo suministrado por el personal que compone cada uno de los departamentos en el periodo de tiempo en el que se realizó el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), y de los conocimientos impartidos por cada departamento en sus respectivas ramas en el cultivo de caña de azúcar.

INGENIO TULULÁ S.A.

Por brindarme la oportunidad de desempeñarme como epesista y así contribuir significativamente a mi formación académica y profesional. Especialmente agradezco al Ing. Agr. Felipe Sandoval, quien en su momento ocupó el cargo de gerente agrícola, por su invaluable orientación y guía durante mi tiempo en la empresa. También quiero extender mi gratitud a todos los colaboradores de la empresa, quienes me brindaron su apoyo incondicional y compartieron conmigo su vasto conocimiento de campo.

CATEDRÁTICOS DE LA CARRERA AGRONOMÍA TROPICAL

A todo el selecto grupo de profesionales que conforman la carrera por sus enseñanzas y conocimiento brindados para mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
I. Introducción.....	1
II. Marco Teórico	2
1. Marco conceptual	2
1.1 Cultivo de <i>S. officinarum</i> L.	2
1.1.1 Descripción de <i>S. officinarum</i> L.....	2
1.2 Etapas fisiológicas de <i>S. officinarum</i> L.....	2
1.2.1 Germinación.	2
1.2.2. Amacollamiento o ahijamiento.....	2
1.2.3 Rápido crecimiento, formación y elongación.	2
1.2.4. Maduración.....	3
1.3 Semillero.	3
1.4 Calidad de la semilla.	3
1.5 Importancia del fósforo para <i>S. officinarum</i> L.....	4
1.6 Periodo de absorción de fósforo.....	4
1.7 Fósforo dentro de <i>S. officinarum</i> L.	6
1.8. El fósforo en agricultura orgánica.....	7
1.9. Micorrizas arbusculares.	8
1.10 Endomicorrizas en el cultivo de Caña de Azúcar <i>S. officinarum</i> L.	9
1.11 Glomus.....	9
1.10.1 Ciclo de vida.	10
1.12 Influencia de micorrizas arbusculares en absorción de fósforo	10
1.13 Niveles de producción	12
1.14 Análisis foliar	13
1.15 Evaluación biométrica.	13

2. Marco referencial.....	14
2.1 Descripción general del área de estudio.....	14
2.1.1 Zona de vida.....	14
2.1.2 Precipitación pluvial.....	14
2.1.3 Temperatura.....	14
2.1.4 Viento.....	15
2.2 Suelos.....	15
2.2.1 Inceptisoles.....	15
2.2.2 Vertisoles.....	15
2.3 Ubicación geográfica del experimento.....	15
2.3.1 Vías de acceso.....	16
2.4 Fertilidad.....	16
2.4 Características del material.....	18
2.4.1 MycoApply® Endomaxx.....	18
2.4.4 Variedad CG02-163.....	18
2.4.5 Fosfato Diamónico Dap (18-46-0).....	20
III. Objetivos.....	21
5.1. General.....	21
5.2 Específicos.....	21
IV. Hipótesis.....	22
V. Materiales y métodos.....	23
1. Recursos.....	23
1.1 Recursos físicos.....	23
1.2 Recursos humanos.....	23
1.3 Recursos financieros.....	23

2. Metodología.....	24
2.1 Determinar el efecto de las endomicorrizas en su desarrollo en el periodo de mayor asimilación de fosforo dentro de la planta a través de las variables biométricas.....	24
2.1.1 Descripción de los tratamientos.....	24
2.1.2 Diseño Experimental.....	25
2.1.3 Unidad Experimental	25
2.1.3.1 Parcela neta y bruta	26
2.1.4 Croquis del experimento.....	26
2.1.5 Variables Respuesta.....	27
2.1.5.1 Porcentaje de brotación.	27
2.1.5.2 Altura de tallo (m).....	27
2.1.5.3 Diámetro de tallo (cm).....	28
2.1.5.4 Peso Fresco de Raíces (g).....	29
2.1.5.4 Población de caña de azúcar. (Número de tallos/ metro lineal). .	29
2.2 Evaluar el efecto de las endomicorrizas en la asimilación de Fósforo en la planta a través de análisis foliares.	30
2.3 Determinar el tratamiento con mayor rendimiento y azúcar (TCH, TAH). 30	
2.3.1 Toneladas de caña por hectárea (TCH)	30
2.3.2 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH).....	30
2.3.3 Análisis de información.....	31
2.4 Manejo del experimento	31
2.4.1 Preparación de suelos	31
2.4.1.1 Subsulado	31
2.4.1.2 Volteo	31
2.4.1.3 Pulido	32

2.4.1.4 Surcado.....	32
2.4.2 Siembra	32
2.4.2.1 Estaquillado.....	32
2.4.2.2 Semilleros	32
2.4.2.3 Siembra comercial	32
VI. Presentación y discusión de resultados	35
1. Determinar el efecto de las endomicorrizas en su desarrollo en el periodo de mayor asimilación de fosforo dentro de la planta a través de las variables biométricas.....	35
1.1 Porcentaje de brotación de <i>S. officinarum L.</i> a los 15 dds.	35
1.2 Componentes de rendimiento.	36
1.3 Peso fresco de raíces.....	40
2. Evaluar el efecto de las endomicorrizas en la asimilación de Fósforo en la planta a través de análisis foliares.....	42
2.1. Fósforo.	42
2.2 Nitrógeno.....	44
2.3 Potasio	44
2.4 Magnesio.....	45
2.5 Calcio.	45
2.6 Cobre.	47
2.7 Hierro.	48
2.8 Manganeso.....	49
2.9 Zinc.	50
3. Determinar el tratamiento con mayor rendimiento y azúcar (TCH, TAH).....	51
VII. Conclusiones	54
VIII. Recomendaciones	56

IX. Referencias bibliográficas	57
X. Anexos	63

ÍNDICE DE CUADROS

No.	CUADRO	PÁGINA
1.	Recomendaciones de fósforo (kg de P ₂ O ₅ /ha) según P del suelo, ciclo de cultivo y tipo de suelo	5
2.	Niveles críticos y adecuados de P (%) según tejido usado edad del material... 6	6
3.	Análisis de suelos Finca Tululá sección 14 lote 01	17
4.	Productividad en TAH y TCH de la variedad CG02-163 en varios ciclos de cultivo bajo cosecha manual y mecanizada.	19
5.	Características físicas y químicas del Dap	20
6.	Descripción de los tratamientos implementados en campo en finca Tululá lote 1401.	24
7.	Porcentaje de brotación promedio de <i>S. officinarum</i> L. a los 30 dds por tratamiento.	35
8.	Ecuaciones de tendencias lineales de la población y r por tratamiento	37
9.	Ecuaciones de tendencias lineales de la altura y r ² por tratamiento	39
10.	Ecuaciones de tendencias lineales de diámetro y r ² por tratamiento	40
11.	TCH (Tm/ha). de caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. promedio por tratamientos.	51
12.	TAH de caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. promedio por tratamientos.	52
13.	Población (Tallos * m/lineal) de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.	64
14.	Población (Tallos * m/lineal) por tratamiento de <i>S. officinarum</i> L. a los 90, 105, 120, 135 dds.	65
15.	Población (Tallos * m/lineal) de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180, 316 dds.....	65
16.	Altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.	65
17.	Altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 90, 105, 110 y 135 dds	66
18.	Altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 316 dds.	66

19. Diámetro de tallo en mm, en plantas de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 315 dds.	66
20. Resumen de andevas de altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.	67
21. Resumen de andevas de altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 90, 105, 110 y 135 dds	67
22. Resumen de andevas de Altura de plantas en m de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 316 dds.	67
23. Resumen de andevas de población (Tallos * m/lineal) de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds	68
24. Resumen de andevas de Población (Tallos * m/lineal) de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 90, 105, 120, 135 dds.	68
25. Resumen de andevas de Población (Tallos * m/lineal) de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180, 316 dds.	68
26. Resumen de andevas de diámetro de tallos en mm, en plantas de <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 315 dds.	69
27. Resumen de andevas para análisis foliares (cobre ppm).....	69
28. Resumen de andevas para análisis foliares (Hierro ppm).	69
29. Resumen de andevas para análisis foliares (Manganeso ppm).	70
30. Resumen de andevas para análisis foliares (Zinc ppm).	70
31. Resumen de andevas para análisis foliares (Nitrógeno %).	70
32. Resumen de andevas para análisis foliares (Calcio %).	71
33. Resumen de andevas para análisis foliares (Magnesio %).	71
34. Resumen de andevas para análisis foliares (Potasio %).	71
35. Resumen de andevas para análisis foliares (Fosforo %).	72
36. Prueba de medias tukey para análisis foliares (cobre ppm) por tratamientos a los 30 dds.	72
37. Prueba de medias tukey para análisis foliares (manganeso ppm) por tratamientos a los 30 dds.	72
38. Prueba de medias tukey para análisis foliares (zinc ppm) por tratamientos a los 30 dds.	73

39. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Fosforo %)	
por tratamiento a los 30 dds.	73
40. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Calcio %)	
por tratamientos a los 30 dds.	73
41. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Nitrógeno %)	
por tratamientos a los 30 dds.	74
42. Prueba de medias tukey para análisis foliares (cobre ppm)	
por tratamientos a los 60 dds.	74
43. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Hierro ppm)	
por tratamientos a los 60 dds.	74
44. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Manganeso ppm)	
por tratamientos a los 60 dds.	75
45. Toneladas de azúcar por hectárea por parcela resultados de muestreos precosecha.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	FIGURA	PÁGINA
1.	Absorción de fósforo (P) en <i>S. officinarum</i> L.	5
2.	Entradas y salidas del fósforo al agroecosistema cañero	7
3.	Modelo de la interacción de las hormonas vegetales en el desarrollo subterráneo y aéreo en una planta con asociación simbiótica con las micorrizas arbusculares.	11
4.	Climadiagrama de la zona de ubicación del ensayo en campo.	14
5.	Mapa de Ubicación Geográfica del experimento, Finca Tululá Lote 1401.	16
6.	Fósforo disponible en el área del experimento.	17
7.	Características agro-morfológicas de la variedad CG02-163.	19
8.	Unidad Experimental	25
9.	Parcela Bruta y Parcela Neta del experimento implementada en campo en finca Tululá lote 1401, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu	26
10.	Distribución de los tratamientos en finca Tululá lote 1401, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.	27
11.	Medición de altura de tallo.	28
12.	Medición de diámetro de tallo.	28
13.	Población de caña de azúcar	29
14.	Distribución de paquetes en el área de siembra.	33
15.	Distribución de esquejes de caña de azúcar	33
16.	1) Distribución de fertilizante al fondo del surco, 2) Fertilizante en el fondo del surco, 3) Aplicación de mycoapply endomax sobre esquejes, 4) mycoapply endomax sobre esqueje.	34
17.	Tapado de esquejes de caña de azúcar.	34
18.	Distribución de población (Tallos *m/lineal)	36
19.	Lecturas de Altura (m).	38
20.	Lecturas de Diámetro (mm).	39
21.	Peso fresco de raíces en gramos por tratamiento a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 dds.	41

22. Grafica comparativa del % fosforo foliar medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	42
23. Grafica comparativa del % fosforo foliar medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	44
24. Grafica comparativa del % de calcio foliar medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	45
25. Grafica comparativa de cobre foliar en ppm medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	47
26. Grafica comparativa de hierro foliar en ppm medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	48
27. Grafica comparativa de Manganeso foliar en ppm medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	49
28. Grafica comparativa de zinc foliar en ppm medio en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. por tratamiento.	50
29. Mapa de ubicación de finca Tululá	63
30. Resumen Andeva de porcentaje de brotación de yemas.	63
31. Análisis de varianza de rendimiento de caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. TCH (Tm/ha).	64
32. Análisis de varianza de rendimiento de azúcar en caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L. TAH (Tm de azucar/ha)	64

SUMMARY

This evaluation was carried out on the Tululá farm, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu, owned by the Tululá S.A. sugar mill. with the objective of evaluating the use of endomycorrhizae of the genus *glomus* sp. together with doses of Dap phosphorous fertilizer, in sugar cane *Saccharum officinarum* L. and the effect on plant height, population up to 180 das and production in tons of cane per hectare (TCH) and tons of sugar per hectare (TAH). In addition, foliar samples were taken for laboratory analysis of the concentration of elements in the *S. officinarum* plant.

In the establishment of the crop, the sugarcane variety *S. officinarum*, CG 02-163, was used. The type of phosphorous fertilizer used was DAP (18-46-0), and the experimental design used was completely randomized blocks with seven treatments and four repetitions, with four doses of phosphorous fertilizer and a single dose of endomycorrhizae.

It was confirmed that the treatments composed of endomycorrhizae present a greater growth of the plants, in the initial stage of the crop, despite this, the analysis of variance carried out on the evaluated variables indicated that there is no statistical difference between the evaluated treatments, in the variables of production, population, plant height and diameter, which indicated that the treatments that presented mycorrhizae developed in a similar way to the treatment in which the usual dose of fertilizer was used.

The foliar analyzes presented statistical significance at 30 and 60 days, for which reason Tukey's means tests were carried out, which indicated that the T4 Dap 120 kg/ha + Endomycorrhizae (*glomus* sp.) treatment presented greater availability of copper elements, calcium and phosphorus at 30 das, in the case of the treatment T5 Dap 160 kg/ha + Endomycorrhizae (*glomus* sp.), I present greater availability of the elements zinc, nitrogen, calcium and phosphorus at 30 das, and copper at 60 dds.

RESUMEN

La presente evaluación se realizó en la finca Tululá, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu propiedad del ingenio Tululá S.A. con el objetivo de evaluar el uso de endomicorrizas del género *glomus sp.* conjuntamente con dosis de fertilizante fosforado Dap, en caña de azúcar *Saccharum officinarum L.* y el efecto sobre la altura de planta, población hasta los 180 dds y producción en toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de azúcar por hectárea (TAH) además se tomaron muestras foliares para análisis en laboratorio de la concentración de elementos en la planta de *S.officinarum*.

En el establecimiento del cultivo se empleó la variedad de caña de azúcar *S. officinarum*, CG 02-163 el tipo de fertilizante fosforado empleado fue DAP (18-46-0), y el diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, con cuatro dosis de fertilizante fosforado y una única dosis de endomicorrizas.

Se confirmó que los tratamientos compuestos por endomicorrizas presentan un mayor crecimiento de las plantas, en la etapa inicial del cultivo, pese a esto los análisis de varianza realizados a las variables evaluadas indicó que no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, en las variables de producción, población, altura de plantas y diámetro, lo que indicó que los tratamientos que presentaron micorrizas se desarrollaron de forma similar al tratamiento en el que se empleó la dosis habitual de fertilizante.

Los análisis foliares presentaron significancia estadística a los 30 y 60 dds por lo cual se procedió a realizar pruebas de medías de tukey que indicó que el tratamiento T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*) presentó mayor disponibilidad de los elementos cobre, calcio y fósforo a los 30 dds, en el caso el tratamiento T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*), presentó mayor disponibilidad de los elementos zinc, nitrógeno, calcio y fósforo a los 30 dds, y cobre a los 60 dds.

I. Introducción

Los hongos micorrizas arbusculares comúnmente infectan las raíces de las plantas, incluidas las de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), formando relaciones simbióticas cuyo beneficio para la planta es una mejor adquisición de agua, fósforo y otros minerales.

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), para su desarrollo y crecimiento necesita macro y micronutrientes provenientes del suelo o adicionados como fertilizantes. Sin embargo, el uso constante y continuo de los suelos con el mismo cultivo (monocultivo) han dado lugar a que esa disponibilidad de nutrientes sea limitada cada año, principalmente de fósforo, en suelos como inceptisoles y vertisoles que se caracterizan por ser suelos arcillosos, donde las eficiencias de utilización del fósforo generalmente son muy bajas, debido a los problemas de fijación ocasionada por las arcillas “alófanas”.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de las endomicorrizas *glomus sp.*, que se encuentran en el producto MycoApply Endomaxx, conjuntamente con dosis de fertilizante fosfato diamónico DAP (18-46-0), utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, la unidad experimental estaba compuesta por seis surcos con un largo de 60 m y un distanciamiento de 1.75 m.

Con la investigación finalizada se concluye que la aplicación de endomicorrizas debe complementarse con la aplicación de fertilizantes fosforados para lograr una mejor producción del cultivo de caña de azúcar *S. officinarum L.*, y preservar la estructura del suelo.

La importancia de esta investigación, destaca por la búsqueda de implementación de alternativas agradables con el ambiente, en el cultivo haciendo uso de endomicorrizas o conocidas también como hongos micorrizicos arbusculares (HMA),

II. Marco Teórico

1. Marco conceptual

1.1 Cultivo de S. officinarum L.

1.1.1 Descripción de S. officinarum L.

S. officinarum L. pertenece a la familia poacea, caracterizada porque durante su desarrollo forma un sistema vegetativo subterráneo, del cual nace gran número de tallos y a los cuales en conjunto se le llama “cepa”.

CENGICANA,(1996) describe la morfología de S. officinarum L. de la siguiente forma: el sistema radicular se presenta de dos formas, los primordios radiculares que tienen un período de vida de 30 a 40 días, y las raíces permanentes, que brotan de los tallos o macollos, que se forman a partir de los esquejes.

1.2 Etapas fisiológicas de S. officinarum L.

1.2.1 Germinación.

La radícula emerge y se dirige al interior del sustrato para convertirse en raíces. La germinación comienza de 7 a 10 días después de la siembra y se prolonga hasta por 35 días. Para promover la germinación, se requiere una temperatura elevada entre 24°C y 37°C, con suficiente humedad ambiental, que permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes del suelo, en particular de calcio y sodio. (CONADESUCA, 2015)

1.2.2. Amacollamiento o ahijamiento.

Los tallos brotan a partir de articulaciones nodales de la plantación, plantillas, o en rebrote o retoños, socas y resocas, de los cuales crecerán nuevos tallos. El crecimiento comienza alrededor de 35 a 40 días después de sucedida la germinación, con requerimientos de 30°C de temperatura, días de larga duración y alta intensidad luminosa, para que por efecto de la fotosíntesis se produzcan carbohidratos, celulosa, follaje y soporte fibroso del tallo. (CONADESUCA, 2015)

1.2.3 Rápido crecimiento, formación y elongación.

El alcance de la máxima área foliar comienza alrededor de los 120 días después de la plantación. A los 180 días posteriores, aproximadamente, quedará definida la

población de tallos y comenzará a realizar el almacenamiento de azúcar en los entrenudos, los requerimientos óptimos son de temperatura mayor a 30°C, con disponibilidad de nutrientes y humedad. La disponibilidad de agua es muy importante para *S. officinarum L.*, puesto que los periodos de déficit o exceso alteran significativamente el rendimiento del cultivo (CONADESUCA, 2015)

1.2.4. Maduración.

Proceso de síntesis y acumulación de sacarosa en los tallos, con duración de dos a tres meses, la maduración se lleva a cabo de la base al ápice, dirección acropétala, que se da en el extremo superior de la planta. Requiere de noches con temperaturas de 18°C, con días calurosos y secos, así como bajas cantidades de nitrógeno para evitar retardo en la maduración (CONADESUCA, 2015).

Esta fase del ciclo vegetativo se ve influenciada por diferentes factores, entre ellos factores ecológicos, varietales y culturales que determinan su inicio, intensidad y finalización.

1.3 Semillero.

Es utilizado para la obtención de semilla asexual de alta calidad, esta semilla debe contar con características como calidad genética, fisiológica, sanitaria y física. (CENGICAÑA, 2012)

1.4 Calidad de la semilla.

La semilla debe reunir diferentes características como, la calidad genética (pureza varietal), sanitaria (libre de enfermedades y plagas), física (vigor del tallo, sin daños mecánicos, contaminantes y otros) y fisiológica.

Para la calidad fisiológica se debe considerar: edad de la semilla, yemas en buen estado y con buen poder germinativo, tiempo entre el corte y siembra, y otros.

Estos elementos tienen que ser considerados en todo el proceso de producción de los semilleros, en donde al final se evalúan para definir si cumplen con los requisitos necesarios para su uso. (CENGICAÑA, 2012)

1.5 Importancia del fósforo para *S. officinarum* L.

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de iones ortofosfato primario y secundario (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) dependiendo de pH del suelo. El fósforo circula y se traslada en el vegetal como fosfato monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil. Interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos. (Mengel & Kirkby, 1982)

Tiene una vital importancia en la división celular, la respiración, síntesis de azúcar, grasas y proteínas, la acumulación de energía (con los compuestos ATP y NADP), en los fenómenos de fosforilación y la regulación del pH de las células (sus ácidos y sales de metal fuerte forman soluciones buffer que regulan el pH de las soluciones celulares). Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos, participando en los procesos de síntesis y respiración, división celular. (Mengel & Kirkby, 1982)

El fósforo (P) es esencial para el crecimiento de las plantas. Después del nitrógeno, es el nutriente que más limita el desarrollo de los cultivos, a pesar de que las plantas lo necesitan en menores cantidades. Está presente en todas las células y zonas de crecimiento de las plantas (meristemos y raíces). El fósforo es absorbido por las plantas de *S. officinarum* L. durante los primeros seis meses de su crecimiento. (Anderson & Bowen, 1994)

1.6 Periodo de absorción de fósforo.

Flores & Durán Aguirre,(2008) reporta que la mayor extracción de fósforo ocurre en los primeros meses de crecimiento (2,3,4,5 y 6).

En la figura siguiente se observa la representación de extracción de fósforo del cultivo dividido en tres trimestres conocidos habitualmente en la industria cañera como tercio, en los que se encuentra dividido la cosecha (zafra) de un ingenio azucarero.

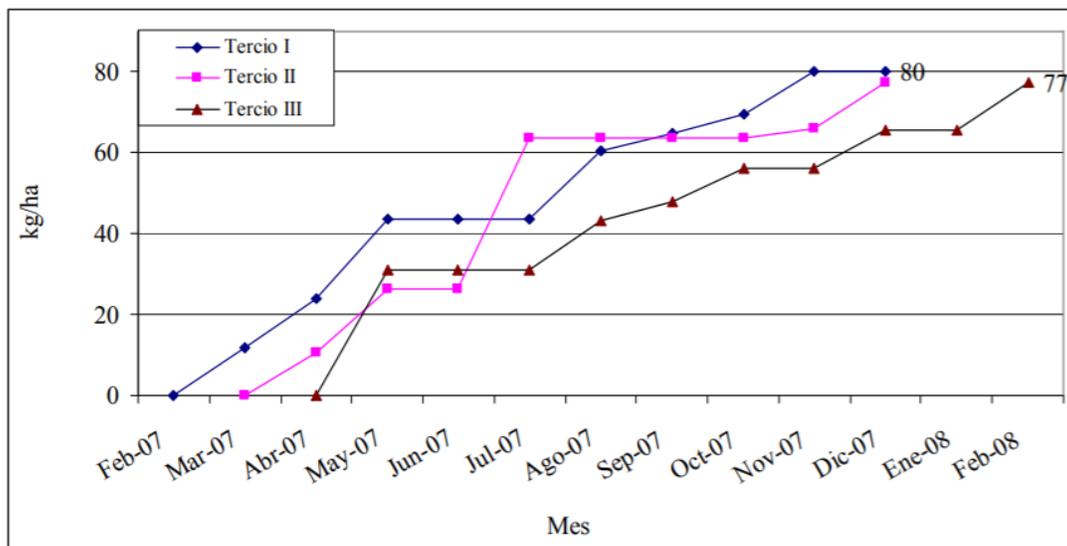


Figura 1. Absorción de fósforo (P) en *S. officinarum L.*

Fuentes: (Flores & Durán Aguirre, 2008)

Se observa que la absorción de fósforo en el primer y segundo tercio es de 80 kg/ha y del tercer tercio de 77 kg/ha, lo que indica que la absorción de este elemento se lleva a cabo principalmente hasta los 180 días después de siembra. Cengicaña a través de investigaciones ha establecido dosis de fósforo dependiendo de la disponibilidad del elemento en el suelo y la edad de cultivo las cuales se observan a continuación:

Cuadro 1. Recomendaciones de fósforo (kg de P₂O₅/ha) según P del suelo, ciclo de cultivo y tipo de suelo

Nivel de P del suelo	Caña plantía		Caña soca	
	Andisoles	Otros suelos	Andisoles	Otros suelos
Bajo (< 10 ppm)	80	60	40	25
Medio (10 – 30 ppm)	60	40	0	0
Alto (>30 ppm)	0	0	0	0

Fuente: (CENGICAÑA., 2017)

Se observa que el cultivo en caña plantía necesita mayor dosis de fertilizante fosforado esto se debe a que se le denomina de esta forma al primer año en que se establece el cultivo donde necesita una gran cantidad de nutrientes para un buen

desarrollo y establecimiento, en el caso de caña soca (se llama así al cultivo a partir del segundo año) una menor dosis de fertilizante, debido a que la demanda del fertilizante es menor.

1.7 Fósforo dentro de S. officinarum L.

Las raíces de la planta de caña azúcar "*saccharum Officinarum*" son capaces de absorber el fósforo a partir de concentraciones muy bajas, la absorción del fósforo de la solución del suelo por parte de las raíces se realiza a través del proceso de difusión. (Chaves Solera, 1999) La translocación del fósforo en la planta de S. officinarum L. puede ocurrir en sentido tanto acropeto como basipeto.

Se ha demostrado que la redistribución de fósforo a través del floema ocurre también en su forma inorgánica, pese a lo cual se encuentra predominantemente en la planta en forma orgánica y una pequeña fracción inorgánica debido a esto al fósforo se le clasifica como un elemento móvil. (Chaves Solera, 1999), se ha comprobado que el crecimiento de las plantas es proporcional a las cantidades de fósforo presentes en la solución del suelo, siempre y cuando no existan factores que limiten su absorción (Chaves Solera, 1999). Se presentan los rangos y valores críticos de nutrientes del análisis foliar en hojas maduras a continuación:

Cuadro 2. Niveles críticos y adecuados de P (%) según tejido usado edad del material.

Peso Seco* (%)		Hoja o Tejido Usado	Edad Hoja (meses)	Corrección (Kg P/ha)	país o Estado
Critico	Óptimo				
0.15	0.20-0.35	3	4-9	8-80	Brasil
0.10	0.18	1	3	153	Costa Rica
0.19	0.22-0.30	1, sin nervadura. Central	4-6	37	Florida
0.21	0.21-0.25	1	4	---	Guayana
1200**	2400**	API**	9-15	262	Hawái
0.14	0.18-0.22	2	3	20	Louisiana
0.15	0.20-0.24	3	4-6	---	Maurisio
0.10	0.18-0.25	1	3	65-131	Puerto Rico
0.19	0.19-0.32	3	3-9	---	S. Dafrica
0.20-0.22	---	hoja/vaina 1-4	3-4	---	Texas
0.19-0-20			5-6		
0.08	0.08-0.2	hojas 1-4	4	---	---

*Resultados expresados en base a peso seco.

** API = Índice de P Ampliado, determinado usando el contenido de P del 5to entrenudo, vainas 1 a 4, humedad de la vaina, edad del cultivo y calculado en base a peso seco libre de azúcar (13).

Fuente: (Anderson & Bowen, 1994)

Los rangos y valores críticos, es una herramienta que permite definir los esquemas de fertilización más adecuados para el cultivo conjuntamente con los resultados de los análisis foliares, prescribiendo productos y dosificaciones acordes con las necesidades de las plantas.

En la figura se observa un diagrama del comportamiento del fósforo entre la planta de caña de azúcar *S. officinarum* L. y el sistema suelo.

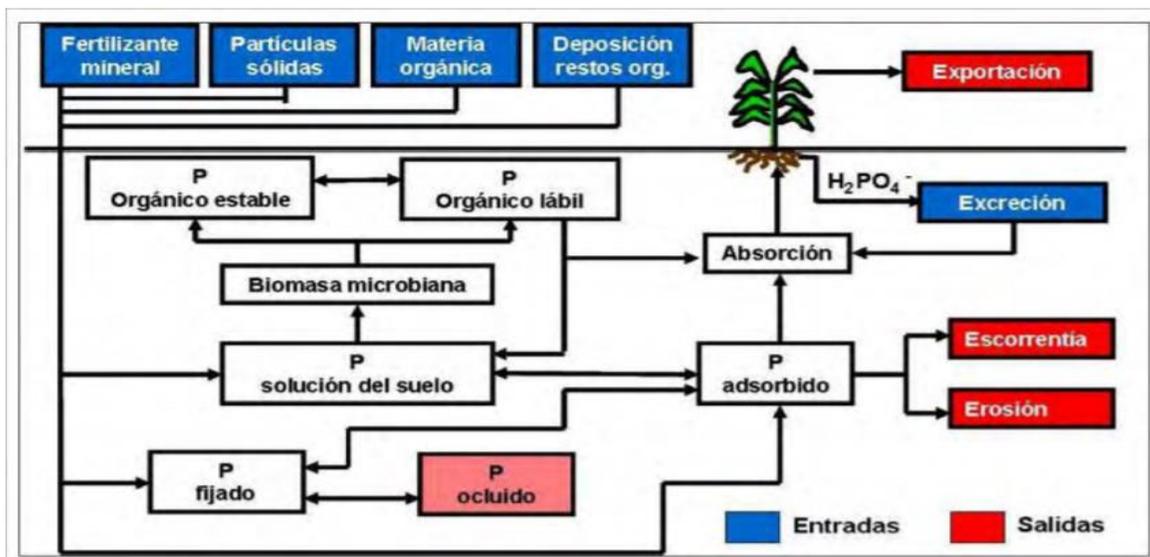


Figura 2. Entradas y salidas del fósforo al agroecosistema cañero

Fuente: (Pérez Iglesias, Santana Aguilar, & Rodríguez Delgado, 2015)

Las principales pérdidas de fósforo son por la extracción, por las cosechas y la erosión, pero existen además otras dos vías: el lavado y la fijación.

1.8. El fósforo en agricultura orgánica.

Ribó Herrera, (2004) Indica que comparado con los demás nutrientes, la toma de fósforo por la planta, por la lenta difusión de éste, depende mucho más del tamaño del sistema radicular, de la densidad de los pelos radiculares y de la intensidad de sus ramificaciones que de la cantidad que se aporta.

Debido a que durante el periodo de crecimiento de la planta es poco probable que el ión fosfato se mueva a más distancia que el diámetro de las raíces más activas,

produciéndose marcadas zonas vacías cerca de las superficies de las raíces absorbentes.

Es por ello que en los sistemas de agricultura sostenible hay que hacer especial mención al papel de las micorrizas en la asimilación de fosfato por la planta. La asociación micorrízica está basada en una relación simbiótica de un hongo con la planta, donde las hifas del hongo se extienden desde las raíces de la planta al suelo que las rodea, incrementando mucho la zona de absorción de las raíces.

Además, la fina estructura del micelio puede ocupar poros más pequeños haciéndose más efectiva que los pelos radiculares a la hora de absorber agua y nutrientes. Esta aportación se realiza a cambio de hidratos de carbono sintetizados por la planta.

Generalmente las micorrizas no se consideran importantes en los sistemas de agricultura convencional, pues se aplican grandes cantidades de fosfatos solubles, los cuales también inhiben la micorrización, pero no es así en los sistemas donde se busca la aplicación racional de los insumos, dada su función de aumentar la disponibilidad de fósforo asimilable para las plantas.

1.9. Micorrizas arbusculares.

El tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por ciertos zigomicetos, La presencia tanto de arbusculos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesículo-arbuscular (VA), sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (MA). (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006)

Los hongos micorrízicos arbusculares pueden proporcionar numerosos beneficios a sus plantas hospedantes, incluida una mejor absorción de nutrientes, resistencia a la sequía y resistencia a las enfermedades. (Raddatz, 2001)

1.10 Endomicorrizas en el cultivo de Caña de Azúcar *S. officinarum* L.

Se reconoce el efecto que tienen las micorrizas arbusculares (HMA) en la producción de caña de azúcar el cual puede llegar a sustituir los fertilizantes minerales considerando previamente la fertilidad del suelo.

La aplicación de micorrizas en caña de azúcar puede ser en cualquier etapa fenológica, lo cual puede sugerir que no sea un impedimento para ingenios en los cuales ya tengan sembrado sus cultivos, la capacidad de absorción de las plantas micorrizadas es aumentada facilitando la absorción de elementos que son poco móviles como el Fósforo. (Ingeniantes, 2019, págs 81-84)

Sin embargo, es recomendable que la inoculación se haga en las primeras etapas de crecimiento de las plantas, ya que la simbiosis favorece su nutrición (Ingeniantes, 2019, págs 81-84)

Un aspecto de gran interés en el empleo de las micorrizas es lo relacionado a la nutrición del fósforo (P) ya que estas desempeñan un importante papel en la toma de este elemento, en suelos principalmente donde la disponibilidad de este elemento debido a características químicas y físicas del suelo. (Ingeniantes, 2019, págs 81-84)

Son muy pocos los estudios llevados a cabo sobre micorrizas en la caña de azúcar, lo anterior se debe principalmente a la baja dependencia micotrófica de este cultivo y a su largo ciclo de desarrollo, por lo que los efectos de la inoculación con hongos micorrizas arbusculares, no pueden ser evaluados en experimentos de corta duración. (Ingeniantes, 2019, págs 81-84)

(Ingeniantes, 2019, págs 81-84), ha encontrado que la caña de azúcar como cultivo perenne, tiene un gran potencial para mejorar su desempeño, posible de alcanzar mediante la inoculación con micorrizas arbusculares.

1.11 Glomus.

Es un género de hongos de micorrizas arbusculares o conocido también como endomicorrizas debido a que las especies que componen este género forman

relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, es uno de los géneros de la familia Glomeraceae. (Bidartondo, Redecker, & Hijiri, 2002)

Las especies de *Glomus* se encuentran en casi todos los hábitats terrestres, incluidas las tierras cultivables, los desiertos, las praderas, los bosques tropicales y las tundras. (Bidartondo, Redecker, & Hijiri, 2002)

1.10.1 Ciclo de vida.

Las esporas se producen en las puntas de las hifas, ya sea dentro de la raíz huésped o fuera de la raíz en el suelo. Estas esporas, consideradas clamidosporas, germinan y el tubo de germinación que se produce crece a través del suelo hasta que entra en contacto con las raíces. (Bidartondo, Redecker, & Hijiri, 2002)

Luego, el hongo penetra en la raíz y crece entre las células de la raíz, o puede penetrar la pared celular, crecen dentro de las células de la raíz. Dentro de la raíz, el hongo forma arbusculos, que son estructuras de hifas altamente ramificadas que sirven como sitios de intercambio de nutrientes con la planta. (Bidartondo, Redecker, & Hijiri, 2002)

1.12 Influencia de micorrizas arbusculares en absorción de fósforo

Uno de los nutrimentos que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas arbusculares es el fósforo, debido a que las plantas lo requieren en relativamente grandes cantidades, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo. (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006)

La razón principal para este fenómeno, es que los iones de fosfato inorgánico se unen rápidamente a coloides del suelo o se fijan como sales de hierro o aluminio volviéndose relativamente inmóviles además de que una gran proporción del fósforo inorgánico total está normalmente en forma insoluble, no disponible fácilmente para las plantas. (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006)

Gran parte del fosfato presente en la cercanía de las raíces de las plantas se encuentra en forma de fosfatos de inositol los cuales son insolubles, pero pueden

ser inducidos a formar soluciones mediante las fosfatasas de las raíces o de las hifas fúngicas. (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006).

En la figura siguiente se observa un modelo de la interacción de las hormonas vegetales en el desarrollo en una planta con asociación simbiótica con micorrizas.

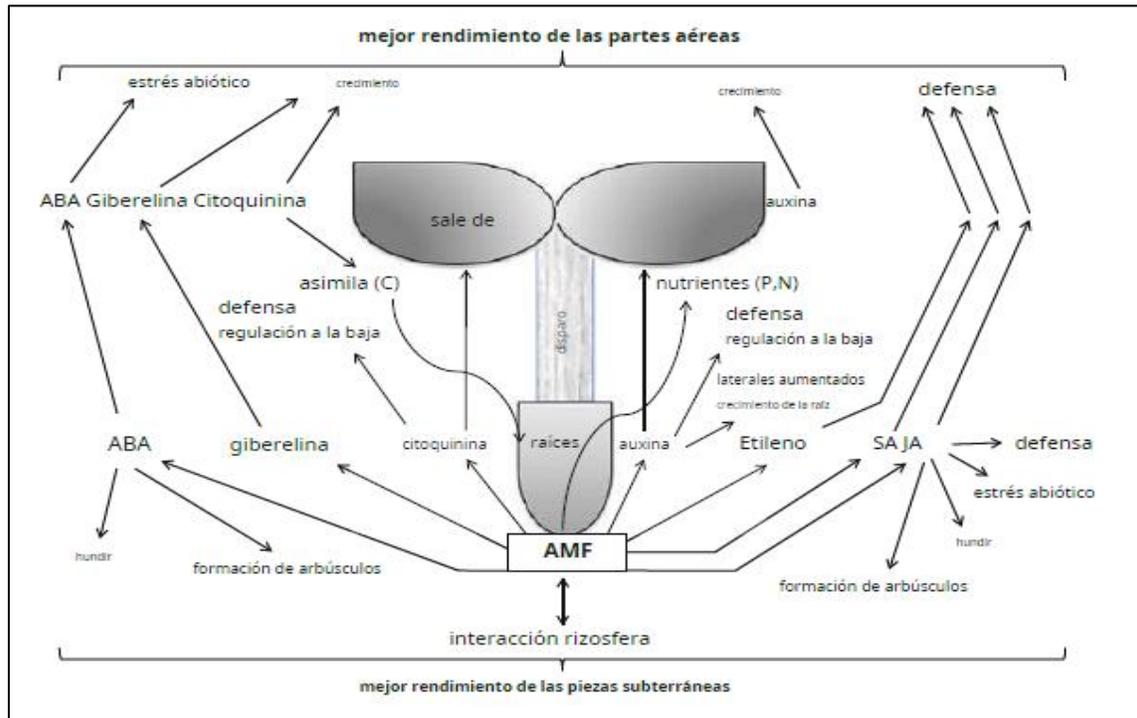


Figura 3. Modelo de la interacción de las hormonas vegetales en el desarrollo subterráneo y aéreo en una planta con asociación simbiótica con las micorrizas arbusculares.

Fuente: (Neumann & George, 2010)

Las hormonas vegetales, participan en la respuesta a estrés, defensa de la planta y el crecimiento aéreo y subterráneo a través de la absorción de nutrientes.

Las micorrizas no solo incrementan la biomasa vegetal, sino que también influyen la proporción en la cual esta se distribuye entre parte aérea y las raíces, la estimulación de la captación de nutrientes y subsiguientes translocaciones de estos a la parte aérea ocasionan que se transfieran a la raíz relativamente menos productos de la fotosíntesis. (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006)

Una mayor producción de estos sea retenida en la parte aérea y utilizada en la producción de materia verde. Como consecuencia, la relación “peso seco de la parte aérea / peso seco de la raíz”, es mayor en plantas micorrizadas. (Aguilar, Olalde Portugal, Arriaga, & Contreras Alonso, 2006)

1.13 Niveles de producción

Los niveles de producción asociados a factores limitantes y prácticas agronómicas o tecnologías se define, como aquel alcanzado bajo condiciones de factores limitantes como malezas, plagas, enfermedades o déficit de nutrientes.

Con apropiada fertilización y control de malezas, plagas y enfermedades se puede alcanzar el rendimiento obtenible, que está determinado por limitantes ambientales asociadas a factores tales como agua, radiación, temperatura o salinidad de suelos.

El rendimiento potencial es alcanzado cuando el cultivo está en óptimas condiciones de aportación de insumos como agua y nutrientes en la ausencia de plagas y con las variedades apropiadas. El rendimiento potencial en una región puede ser estimado por los rendimientos récord alcanzados.

La respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de fósforo en la zona cañera de Guatemala está relacionada con los contenidos de P del suelo, los rendimientos relativos (RR) iguales o menores al 90 por ciento del rendimiento máximo están asociados a contenidos de P del suelo menor a 10 ppm, indicando que las mayores probabilidades de respuesta a las aplicaciones de fósforo se encuentran por debajo de este nivel.

Las aplicaciones de P en suelos deficientes en este elemento en todos los casos incrementaron los rendimientos de caña, con relación a cuando solo se aplica N. (CENGICAÑA, 2012)

1.14 Análisis foliar

El análisis foliar proporciona un cuadro del estado nutricional de la caña de azúcar al momento de muestrear, permite la detección temprana de problemas y así ayuda al productor a considerar una fertilización suplementaria en el curso de la actual zafra o ajustar las dosis para el próximo año. (McCray, W. Rice, Ezenwa, Lang,, & Baucum, 2011)

También se utiliza para ayudar a diagnosticar un problema nutricional en un campo particular o un área localizada de un campo donde se ha observado crecimiento pobre u otros síntomas. Aunque un análisis foliar no proporciona las recomendaciones específicas de fertilización para un determinado nutriente. (McCray, W. Rice, Ezenwa, Lang,, & Baucum, 2011)

Las deficiencias o los desbalances indican donde serán necesarias adiciones o modificar el programa de fertilización, El análisis foliar y el conocimiento de síntomas visuales pueden utilizarse junto con valores de análisis de suelo y datos históricos de aplicaciones de fertilizante y de rendimiento para tomar mejores decisiones de fertilización. (McCray, W. Rice, Ezenwa, Lang,, & Baucum, 2011)

1.15 Evaluación biométrica.

El análisis de crecimiento se determina a través de parámetros morfológicos de (altura, grosor y peso de tallos), y se complementan con la expresión física de tallos por metro lineal, dichas variables son propias de la interacción genotipo por ambiente, y manejo agronómico de finca. (Angulo Marchena & Vásquez Ulate, 2020)

Tanto la altura como el grosor de tallos son parámetros morfológicos que se correlacionan directamente con el peso de los tallos, y con el volumen de peso por metro lineal; ambos parámetros son indicadores directos de las toneladas de caña por hectárea en una plantación. (Angulo Marchena & Vásquez Ulate, 2020)

2. Marco referencial.

2.1 Descripción general del área de estudio.

2.1.1 Zona de vida.

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge adaptado por (De la Cruz, 1982) Finca Tululá se encuentra en la zona de vida del bosque muy húmedo sub-tropical (Cálido).

2.1.2 Precipitación pluvial.

Según el área de hidrometría del departamento de ingeniería agrícola del Ingenio Tululá en el año 2021 finca Tululá obtuvo un promedio anual de precipitación de 2977.8mm.

2.1.3 Temperatura.

Según la Estación meteorológica Tululá administrada por el ICC (2022). En el Ingenio Tululá predomina un clima cálido con una temperatura media de 26.34 °C, registrándose una mínima promedio de 25.57°C y una máxima promedio de 27.83 °C. En la figura se observa el climadiagrama precipitación y temperatura registrado a nivel de campo en el área del ensayo los datos utilizados para generarlo se obtuvieron a través de un pluviómetro convencional y un tensiometro que se encontraba cercano al lote donde se encontraba establecido el ensayo.

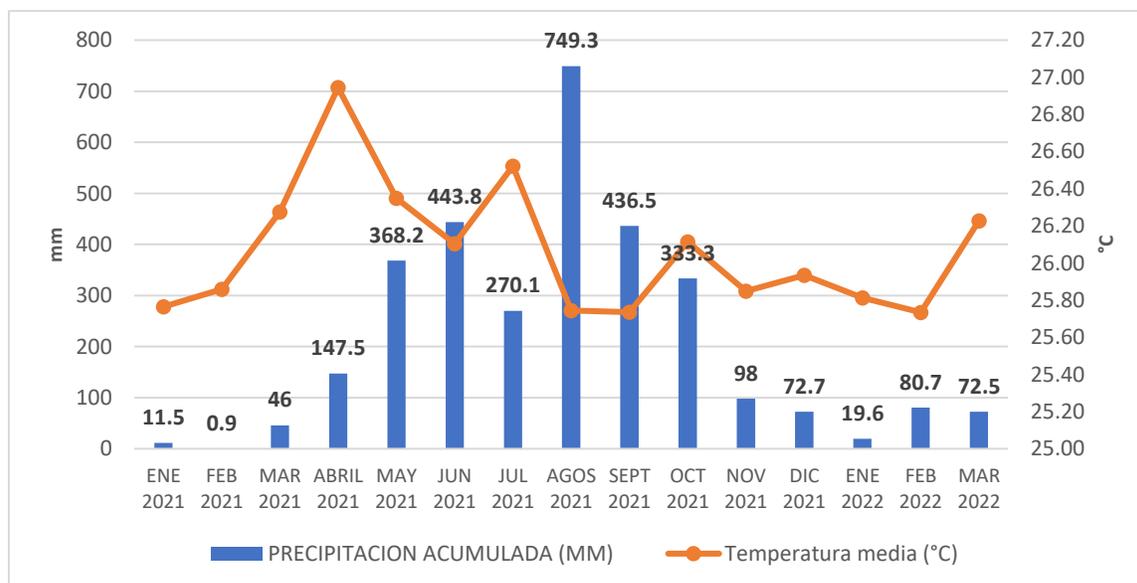


Figura 4. Climadiagrama de la zona de ubicación del ensayo en campo.

2.1.4 Viento.

Según la Estación meteorológica Tululá administrada por el ICC (2021), la velocidad promedio es de 4.44 km/h.

2.2 Suelos.

Según Cengicaña, (1996) los suelos que se encuentran en la finca Tululá pertenecen al orden taxonómico inceptisoles y vertisoles.

2.2.1 Inceptisoles.

Suelo medianamente evolucionado de perfil ABC o AC, CIC generalmente alta dependiendo de tipo de arcilla con presencia de arcillas 2:1 y en alguna presencia de 'alofana'. Se encuentran en el cuerpo y ápice de los abanicos.

Se han desarrollado principalmente sobre materiales arcillosos mezclados con cenizas volcánicas y fragmentos de roca con complejo de cambio saturado (< 50%) con estructuras bien desarrolladas y de texturas medias y arcillosas sobre subsuelos arcilloso.

2.2.2 Vertisoles.

Son suelos más evolucionados de perfil ABC. Suelos arcillosos especialmente montmorillonita ricos en arcillas 2:1 que tienen la capacidad de contraerse y expandirse, alta densidad aparente y poca porosidad, lo cual hace que se agrieten fuertemente en la época seca y se expandan en la estación lluviosa.

2.3 Ubicación geográfica del experimento.

El área donde se desarrollará el experimento se encuentra en San Andrés Villa Secas, en finca Tululá, lote 1401 en el pante 599 de la finca, que administra el Ingenio Tululá, representado en la figura cinco y figura 31 de anexos.

Geográficamente se ubica en las coordenadas 14°27'31.51" latitud norte, 91°36'2.26" longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich a una altitud promedio de 170 metros sobre el nivel del mar.



Figura 5. Mapa de Ubicación Geográfica del experimento, Finca Tululá Lote 1401.

2.3.1 Vías de acceso.

La principal vía de acceso es por el kilómetro 4.5 de la carretera que conduce al municipio de San José La Máquina, con dirección hacia el ingenio Tululá, luego en cercanía a las instalaciones un desvío al oeste por 0.4 km, luego tomar desvío al oeste y continuar la calle de terracería por 3.8 km, seguir el desvío al este por 0.83 km y por último un quiebre hacia el oeste por 0.883 km.

2.4 Fertilidad

Villatoro, Fuentes, & de Cano, en el año 2014 realizaron archivos ráster de las disponibilidades de los elementos de calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, ph, potasio, zinc dentro de la zona cañera.

Utilizando este ráster se elaboró el mapa de disponibilidad de fósforo en ppm en el área del experimento (ver figura 5).

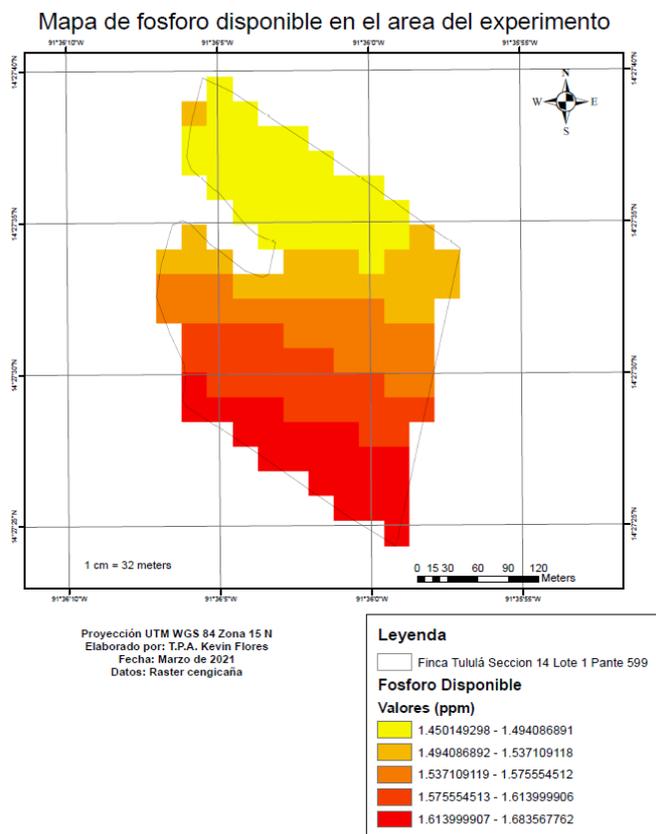


Figura 6. Fósforo disponible en el área del experimento

El mapa indica baja disponibilidad de fosforo en el área del experimento.

En febrero de 2020 se realizó un análisis químico y físico de suelo, luego de la aplicación de vinaza, como se observa en la figura seis.

Cuadro 3. Análisis de suelos Finca Tuluá sección 14 lote 01

Conductividad Eléctrica	pH en agua	Materia Organica	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Capacidad de Intercambio Catiónico	Fósforo	Cobre	Cinc	Hierro	Manganeso
		%	Meq intercambiables/100 g suelo					(ppm)				
0.06	6.30	2.48	6.04	4.03	0.44	0.34	13.11	1.40	3.44	3.84	17.74	152.61
RELACIONES		CICe	SATURACIÓN DE BASES									
2 a 6	5 - 25		2.5-15	10-40	4-6	<5	60-80	10-20				
Ca/Mg	Ca/K		Mg/K	(Ca+Mg)/K	Sat. Potasio	Sat. Sodio	Sat. Ca	Sat. Mg				
1.50	13.86	9.25	23.12	10.50	3	2.6	57.5	30.7	94	Sat. Potasio CIC		
												3.32

Fuente: Departamento de agronomía Ingenio Tuluá, San Andrés Villa seca (2021).

Comparando el resultado de este con el mapa de fosforo disponible realizado con el ráster generado en el 2014 se observa que no hay un rango amplio de variación, y se dispone baja disponibilidad de fosforo en el área donde se elaboró el experimento con un rango de 1.45 a 1.69 ppm.

2.4 Características del material.

2.4.1 MycoApply® Endomaxx.

Es un inóculo micorrízico granular que consta de cuatro especies de hongos endomicorrízicos, es un material granular que contiene propágulos micorrízicos, que colonizan las raíces y se extienden al suelo circundante formando un vínculo esencial entre las plantas y los recursos del suelo. El aumento del área de enraizamiento permite un mejor acceso al agua y los nutrientes, promoviendo la calidad de las plantas y el rendimiento de los cultivos. (Mycorrhizal Applications, 2021)

a) Formulación granular.

Cuatro especies Endomicorrizas: *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus etunicatum* 60.000 propágulos endomicorrízicos por libra. (Mycorrhizal Applications, 2021)

2.4.4 Variedad CG02-163.

La variedad de *S. officinarum* L. CG02-163 es un híbrido del género *Saccharum* spp. que se seleccionó de la descendencia del cruzamiento entre progenitores CP65-357 x CP72-2086. Fue liberada para uso comercial en la zafra 2012-2013 debido a sus atributos en productividad de azúcar, fibra, resistencia a enfermedades como roya marrón y carbón, características agronómicas para su manejo como floración del 10% al 15% y adaptabilidad a las condiciones de clima y suelo de la agroindustria azucarera de Guatemala, puede alcanzar una altura de 2.80 a 3 metros. (Orozco & Quemé, Productividad de azúcar y fibra de la variedad CG02-163 a nivel comercial en la zafra 2017-2018, 2018), en el cuadro cuatro se observa un resumen con la producción media de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y toneladas de caña por hectárea (TCH), en 5 cortes.

Cuadro 4. Productividad en TAH y TCH de la variedad CG02-163 en varios ciclos de cultivo bajo cosecha manual y mecanizada.

Ciclo de cultivo	Cosecha	Variedad	TAH	TCH
Plantía (1 corte)	Manual	CG02-163	11.7	104
	Mecanizada	CG02-163	12.5	120
1ra. Soca (2 corte)	Manual	CG02-163	12.1	108
	Mecanizada	CG02-163	12.8	119
2da Soca (corte)	Manual	CG02-163	11.8	105
	Mecanizada	CG02-163	12.8	118
3era. Soca (4 Corte)	Manual	CG02-163	11.8	105
	Mecanizada	CG02-163	12.6	120
Media de cuatro cortes	Manual	CG02-163	11.9	106
	Mecanizada	CG02-163	12.7	119

Fuente: (Orozco & Quemé, Productividad de azúcar y fibra de la variedad CG02-163 a nivel comercial en la zafra 2017-2018, 2018)

La variedad CG02-163 es más aprovechada por la cosecha mecanizada.

En la figura se observa las características agro-morfológicas que presentan las plantas de la variedad CG02-163.



Figura 7. Características agro-morfológicas de la variedad CG02-163

Fuente: (CENGICAÑA, Trifoliar CG02-163, 2016).

La planta presenta desprendimiento de vaina intermedio, generalmente de tallos de diámetro intermedio y uniforme, poca presencia de afate, uniformidad de tallos en la macolla muy pocos mamones, y el porte de la macolla es erecto a semierecto.

2.4.5 Fosfato Diamónico Dap (18-46-0).

Es fertilizante inorgánico granulado de uso agrícola, DAP es una excelente fuente de Fósforo (P) y Nitrógeno (N) para la nutrición de cualquier cultivo, es altamente soluble por lo que se disuelve rápidamente en el suelo desarrollando un pH alcalino alrededor del gránulo en disolución.

En el cuadro se presentan las características fisicoquímicas del fosfato diamónico:

Cuadro 5. Características físicas y químicas del Dap

Nutrientes principales	Nitrógeno (N) 18%, Fosforo (P) 46%
Nombre químico	Fosfato de Amonio Dibásico
Formula química	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Peso molecular (g/mol)	132.055
Color	café oscuro
Presentación	Granular
Densidad aparente (Kg/m³)	955 – 1,040 Kg/m ³
Solubilidad	1g/2.5ml
Tamaño de partícula	1.18 a 4.00 mm
Acidez equivalente a carbonato de calcio	69 partes de Carbonato de Calcio por 100 de DAP

Fuente: (Fertinova Agroproductos, 2015)

El Amonio (NH_4) influye significativamente sobre la disponibilidad y absorción del Fósforo (P_2O_5).

III. Objetivos

5.1. General.

1. Evaluar el efecto de las endomicorrizas (*Glomus, sp.*) en el desarrollo y asimilación de fósforo en *S. officinarum L.*

5.2 Específicos

1. Determinar el efecto de las endomicorrizas en su desarrollo en el periodo de mayor asimilación de fosforo dentro de la planta a través de las variables biométricas.
2. Evaluar el efecto de las endomicorrizas en la asimilación de Fósforo en la planta a través de análisis foliares.
3. Determinar el tratamiento con mayor rendimiento y azúcar (TCH, TAH).

IV. Hipótesis

Ha: Al menos un tratamiento compuesto por endomicorrizas (glomus sp.) y dosis de fertilizante fosforado DAP tendrá un efecto diferente en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum L.*

Ho: Todos los tratamientos por endomicorrizas (glomus sp.) y dosis de fertilizante fosforado DAP tendrán el mismo efecto en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum L.*

V. Materiales y métodos

1. Recursos

1.1 Recursos físicos

- Estacas
- Paquetes de semilla CG02-163
- 168 kg de Fertilizante Dap
- 40 g de Myco Apply Endo
- Flexómetro
- Vernier
- Cinta métrica
- Libreta de campo
- Computadora
- Tractor
- Surcador de 1.75 m
- Azadón

1.2 Recursos humanos

- Estudiante de EPSAT
- Personal de área siembra
- Tractorista
- Ayudante de tractorista
- Supervisor -asesor del EPSAT
- Jefe del departamento de agronomía e investigación.

1.3 Recursos financieros

La investigación se financió económicamente por el área agrícola del ingenio Tululá S.A. y los análisis de laboratorio por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

2. Metodología

2.1 1. Determinar el efecto de las endomicorrizas en su desarrollo en el periodo de mayor asimilación de fósforo dentro de la planta a través de las variables biométricas.

El periodo de mayor asimilación de fósforo dentro de la planta de *S. officinarum* L. según (Flores & Durán Aguirre, 2008) ocurre en los primeros meses de crecimiento (2,3,4,5 y 6).

2.1.1 Descripción de los tratamientos

A continuación, se muestra el detalle de los tratamientos evaluados, dosis, y tipo de aplicación para cada tratamiento.

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos implementados en campo en finca Tululá lote 1401.

Trat.	Descripción/ Productos	Dosis/ha	Tipo de aplicación
1	Dap 18-46-0	0 kg	-----
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	20 gr	Aspersión sobre esquejes
2	Dap 18-46-0	40 kg	Al Fondo del surco
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	20 gr	Aspersión sobre esquejes
3	Dap 18-46-0	80 kg	Al Fondo del surco
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	20 gr	Aspersión sobre esquejes
4	Dap 18-46-0	120 kg	Al Fondo del surco
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	20 gr	Aspersión sobre esquejes
5	Dap 18-46-0	160 kg	Al Fondo del surco
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	20 gr	Aspersión sobre esquejes
6	Dap 18-46-0	160 kg	Al Fondo del surco
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	0 gr	-----
7	Dap 18-46-0	0 gr	-----
	Myco Apply Endomaxx (Endomicorrizas Glomus, sp).	0 gr	-----

En el cuadro se encuentra la descripción de los tratamientos empleados en el ensayo en campo los cuales eran siete y cuatro repeticiones.

2.1.2 Diseño Experimental

Para el desarrollo de la investigación, a nivel de campo, se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar compuesto por siete tratamientos y cuatro repeticiones.

El modelo estadístico utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésima unidad.

U = La media General

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j -ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, tratamientos ‘

$j = 1, 2, 3, 4$ repeticiones.

2.1.3 Unidad Experimental

Para establecer el experimento a nivel de campo, se utilizó la unidad experimental representada en la figura:

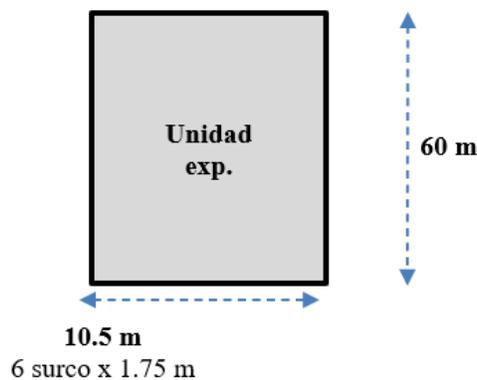


Figura 8. Unidad Experimental

En total se emplearon 28 unidades experimentales.

2.1.3.1 Parcela neta y bruta

La parcela experimental estaba compuesta por una parcela bruta de 896 m² y una parcela neta de 630 m².

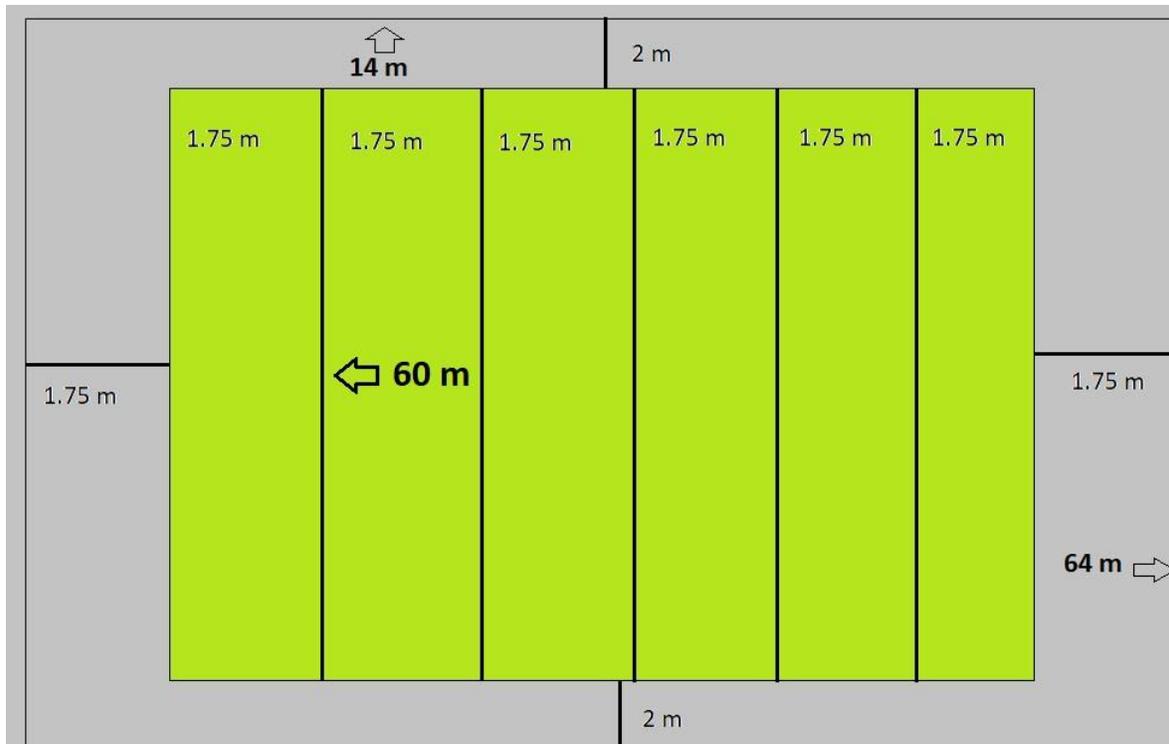


Figura 9. Parcela Bruta y Parcela Neta del experimento implementada en campo en finca Tuluá lote 1401, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu

En la figura se encuentra representado de color verde la parcela neta (equivalente a la unidad experimental) que estuvo compuesta por seis surcos de sesenta metros de largo y de color gris los bordes que completarán la parcela bruta por unidad experimental.

2.1.4 Croquis del experimento

La aleatorización es importante dentro del diseño de experimentos estadísticos, que tiene como efecto homogenizar el efecto de las características de un área que no se pueden controlar y que pueden influir en los resultados.

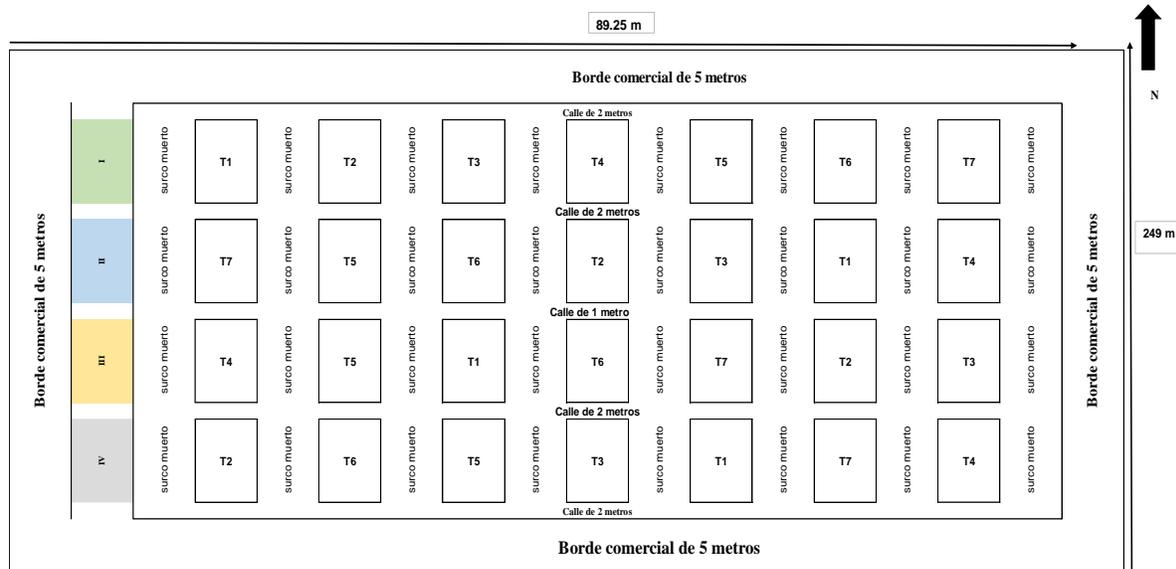


Figura 10. Distribución de los tratamientos en finca Tululá lote 1401, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.

En la figura se observa la distribución que presentaron los tratamientos en campo de forma aleatorizada en finca Tululá lote 1401 con un área total utilizada en el experimento de 2.22 ha.

2.1.5 Variables Respuesta

2.1.5.1 Porcentaje de brotación.

Se realizó el conteo de yemas emergidas sobre 2 mm de suelo, con los datos recolectados se empleó la siguiente fórmula, para determinar el porcentaje de brotación de yemas:

$$\% \text{ de germinación} = (\text{No yemas brotadas} / \text{No. Total, de yemas plantadas en 10 m lineales}) * 100\%$$

Esta variable se midió a los 15 días después de la siembra.

2.1.5.2 Altura de tallo (m).

Se efectuó un muestreo a 10 plantas por unidad experimental, donde se determinaba la altura de tallo desde la base del suelo hasta la hoja visible que se le denomina TVD (punto de quiebre), como se representa y describe en la siguiente figura :

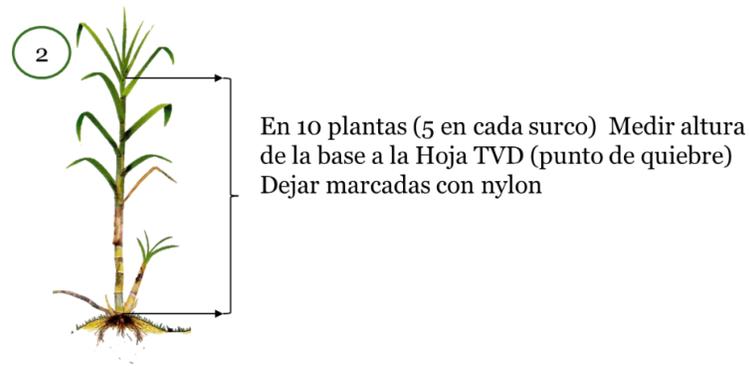


Figura 11. Medición de altura de tallo.

Fuente: Espinoza (2010).

La medición se realizó a cada 15 días, desde los 30 días después de siembra hasta los 180 días después de siembra y un último muestreo previamente a la cosecha.

2.1.5.3 Diámetro de tallo (cm)

Se efectuó un muestreo a 10 plantas por unidad experimental, donde se utilizaban los tallos primarios en el tercer entrenudo de la base hacia arriba del tallo, el área se representa en la figura:

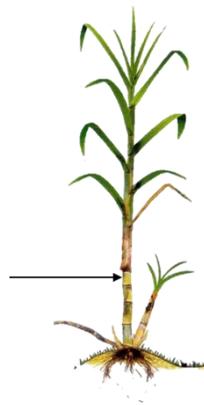


Figura 12. Medición de diámetro de tallo

Fuente: Espinoza (2010).

La medición se realizó a cada 15 días, desde los 30 días después de siembra hasta los 180 días después de siembra y un último muestreo previamente a la cosecha.

2.1.5.4 Peso Fresco de Raíces (g)

Se efectuó un muestreo de 4 yemas por unidad experimental, por repetición las cuales se retiraban de campo, se limpiaban y pesaban con una balanza analítica, la medición se realizó cada 30 días, rotando entre repeticiones que se medían. La razón por la que se empleo de la forma que se expuso anteriormente se debe a la disponibilidad de mano de obra/ recursos.

2.1.5.4 Población de caña de azúcar. (Número de tallos/ metro lineal).

Este muestreo se realizó hasta los seis meses de edad del cultivo. Para evaluar esta variable se tomaron dos sub-muestras por cada unidad experimental, cada punto de muestreo constaba de 10 metros lineales donde se realizaba el conteo de tallos.

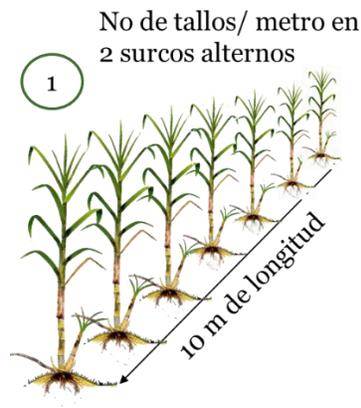


Figura 13. Población de caña de azúcar

Fuente: Espinoza (2010).

2.1.7 Análisis de información

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables, considerando un cinco por ciento de significancia, empleando el programa "Infostat", en su versión libre para estudiantes.

Para analizar el % brotación se transformaron los datos empleando la fórmula siguiente: $\text{Sen}^{-1}(\sqrt{\text{proporción}})$

2.2 Evaluar el efecto de las endomicorrizas en la asimilación de Fósforo en la planta a través de análisis foliares.

Se realizaron muestreos foliares, desde los 30 días después de siembra hasta los 180 días después de siembra con un intervalo de 30 días entre muestreo, empleando la metodología utilizada por Flores, Hernández & Pérez, (2010).

1. El muestreo se realizó en horas de mañana (6:30 a 9:00 am).
2. Se seleccionaban 12 plantas al azar a las cuales se retiraba la hoja visible que se le denomina TVD (punto de quiebre).
3. De cada hoja se tomaba el tercero medio sin incluir la nervadura central.
4. Las muestras se colocaban en bolsas de papel previamente identificadas y llevadas inmediatamente al laboratorio de Cengicaña.
5. Los datos obtenidos de los resultados de los análisis foliares, se les aplicó un análisis de varianza para cada elemento, considerando un cinco por ciento de significancia, empleando el programa "Infostat", en su versión libre para estudiantes, y los elementos que presentaron diferencia estadística entre tratamientos se utilizó una prueba de medias de tukey para definir el tratamiento que presentaba mayor concentración del elemento.

2.3 Determinar el tratamiento con mayor rendimiento y azúcar (TCH, TAH).

2.3.1 Toneladas de caña por hectárea (TCH)

La edad de corte del experimento fue de 12 meses, se realizó de forma manual obteniendo de esta manera el peso de cada una de las unidades experimentales expresado en toneladas métricas/ha.

2.3.2 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)

Se realizó un muestreo precosecha para obtener la cantidad de azúcar por hectárea en cada unidad experimental el procedimiento fue el siguiente:

1. Se cortaron los tallos que se midieron (altura, diámetro) en el desarrollo del experimento, se pesaron con una pesa romana.

2. Los tallos se empaquetaron y etiquetaron con la información de la ubicación del experimento, número de parcela compuesto por tratamiento y repetición.
3. Las muestras identificadas se trasladaron inmediatamente al laboratorio de Cengicaña.
4. Para determinar TAH de los resultados obtenidos de los análisis de precosecha se utilizaron los datos obtenidos y la siguiente fórmula:

$$TAH = (TCH * \text{kilogramos/tonelada métrica})/1000$$

TAH= Toneladas de azúcar por hectáreas

TCH= Toneladas de caña de azúcar.

2.3.3 Análisis de información

Se realizó un análisis de varianza para toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de azúcar por hectárea (TAH) considerando un cinco por ciento de significancia, empleando el programa “Infostat”, en su versión libre para estudiantes.

2.4 Manejo del experimento

2.4.1 Preparación de suelos

Las labores de preparación de suelos, para la renovación del área donde se estableció el ensayo son las siguientes:

2.4.1.1 Subsolado

Esta labor tiene la finalidad de eliminar las capas compactadas del suelo, producidas por el paso de maquinaria de otras labores dentro de cultivo.

Se utilizó un arado de cinceles compuesto de tres cinceles, con una distancia entre cinceles de 0.70 a 0.80 m, con esta labor se buscó mejorar la infiltración de agua, el drenaje y la penetración de las raíces.

2.4.1.2 Volteo

Esta labor se realizó con el implemento llamado “rastró arado”, Consiste en cortar levantar y voltear el suelo con el propósito de destruir el cultivo anterior, ayuda a

controlar las malezas existentes, laboreo el suelo a profundidades 28 a 30 centímetros, para permitir el establecimiento y desarrollo del cultivo.

2.4.1.3 Pulido

Esta labor se realizó con el implemento conocido como rastra, el objetivo de esta labor es roturar y fraccionar los terrones producidos en el volteo o en el subsuelo, destruir e incorporar residuos vegetales, un pulido de calidad asegura un mejor contacto entresuelo y semilla, lo que garantiza una buena germinación, así como una alta efectividad de los herbicidas.

2.4.1.4 Surcado

Los surcadores utilizados están compuestos por tres cuerpos, a una distancia de 1.75 m que corresponde a surcos para cosecha mecanizada, la profundidad que debe alcanzar esta labor debe de ser de 0.25 a .28 m. El propósito de esta labor, es preparar una cama de suelo, en que la semilla pueda acomodarse, germinar, emerger adecuadamente y permitir el desarrollo del cultivo. (Campollo, 1999)

2.4.2 Siembra

2.4.2.1 Estaquillado

Consistió en dejar una estaca a cada seis metros en base a lo que definió el administrador de la finca y el sistema de siembra que se utilizó, esto indicó a que distancia se deben colocar los paquetes de semilla dentro del área, y el espacio que se debe abarcar con el paquete de semilla.

2.4.2.2 Semilleros

Se emplearon semilleros que disponía el ingenio Tululá, que tenían un manejo previo debido a las planificaciones de renovación.

2.4.2.3 Siembra comercial

La siembra incluyó la obtención de la semilla de los semilleros, la fertilización, la distribución de la semilla en el surco, el tapado o cubrimiento de la semilla con suelo.

Se utilizaron paquetes de semilla de 30 esquejes con longitud aproximada de 0.60 m con 3-4 yemas por esqueje.

Se emplearon vehículos tipo camión de capacidad de 10 a 15 toneladas dividida la plataforma de carga en tramos de marcos de madera, para la distribución como se observa en la figura:



Figura 14. Distribución de paquetes en el área de siembra.

Una distribución adecuada facilita la distribución de esquejes por parte de las sembradoras.



Figura 15. Distribución de esquejes de caña de azúcar

La siembra se realizó manualmente en “cadena doble traslapada”, con la cual se logra ubicar aproximadamente 20 yemas viables por metro lineal como se observa en la figura, garantizando de esta manera una buena densidad poblacional en los surcos, en este momento se aplicaron los tratamientos, proceso que se observa en la figura dieciséis.



Figura 16. 1) Distribución de fertilizante al fondo del surco, 2) Fertilizante en el fondo del surco, 3) Aplicación de mycoapply endomax sobre esquejes, 4) mycoapply endomax sobre esqueje.

Inmediatamente al finalizar de aplicar el fertilizante y las micorrizas se procedió a realizar el tapado de esquejes que se observa en la figura:



Figura 17. Tapado de esquejes de caña de azúcar.

La profundidad de siembra osciló entre 0.20 m y 0.35 m, la semilla. Todas las otras prácticas agronómicas que componen las labores dentro del cultivo hasta alcanzar la cosecha (control de malezas, plagas, riego, etc.) en el área se realizaron de acuerdo con lo que el administrador planificó.

VI. Presentación y discusión de resultados

1. Determinar el efecto de las endomicorrizas en su desarrollo en el periodo de mayor asimilación de fósforo dentro de la planta a través de las variables biométricas.

1.1 Porcentaje de brotación de *S. officinarum L.* a los 15 dds.

CENGICAÑA, (2012) define que la medición de brotación de yemas se debe realizar entre los 30 y 40 dds, teniendo como referencia que se debe contar con alrededor de 70 % de brotación. En el cuadro se observa el porcentaje de brotación de yemas que presentaron los tratamientos evaluados:

Cuadro 7. Porcentaje de brotación promedio de *S. officinarum L.* a los 30 dds por tratamiento.

Tratamiento	30 DDS	Brotos*m Lin
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	70.68	16
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	67.90	15
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	76.36	17
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	93.30	21
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	87.56	19
T6 Dap 160 kg/ha	63.13	14
T7 Testigo Absoluto	83.75	18

Con los datos obtenidos se elaboró un análisis de varianza (figura 32 en anexos) el cual indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, dentro de los tratamientos evaluados el tratamiento 6 compuesto por una dosis de Dap 160 kg/ha y el tratamiento dos compuesto por una dosis de Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.) se encontraron debajo de la media con la que se debe de cumplir para identificar como positiva una siembra, y no pensar en resiembra,

siendo el mejor tratamiento a través de las medias obtenidas por la estadística descriptiva el tratamiento cuatro con un porcentaje de brotación medio de 93.30 %.

1.2 Componentes de rendimiento.

Dentro los componentes de rendimiento se encuentra la población de tallos molenderos, en la figura se encuentra representado el comportamiento que presentó el cultivo con respecto a los diferentes tratamientos aplicados desde los 30 dds hasta la última medición realizada a los 316 dds, en el momento que se obtuvieron las muestras de precosecha.

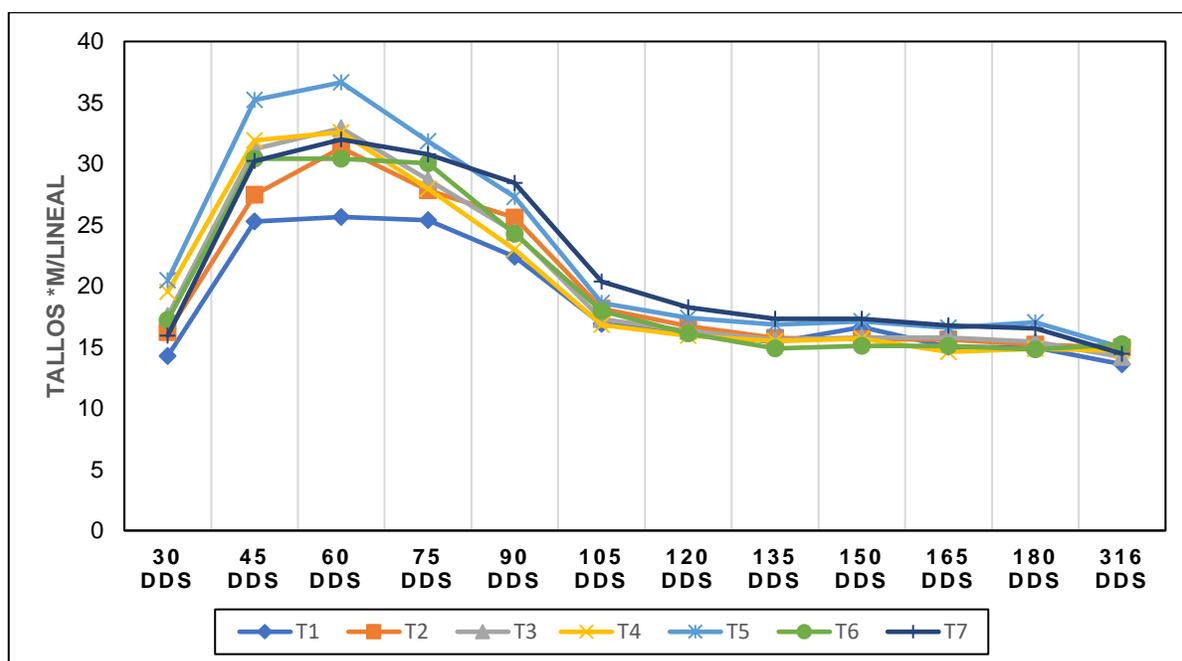


Figura 18. Distribución de población (Tallo *m/lineal)

Las medias empleadas para realizar el gráfico de distribución se encuentran representados en los cuadros 13, 14 y 15 en anexos.

Para cada una de las lecturas se empleó un análisis de varianza, los cuales se encuentran resumidos en los cuadros 23, 24 y 25 en anexos los cuales indican que no se presentó diferencia estadística dentro de los tratamientos evaluados, y el coeficiente de variación que presenta cada lectura indica que el manejo del experimento fue el adecuado.

En el cuadro se observa las ecuaciones del modelo de tendencia lineal para cada uno de los tratamientos conjuntamente con el valor r^2 denominado coeficiente de determinación:

Cuadro 8. Ecuaciones de tendencias lineales de la población y r^2 por tratamiento

Tratamiento	Y	R ²
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = -0.8381x + 23.927$	$R^2 = 0.4069$
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = -1.1391x + 27.441$	$R^2 = 0.4536$
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = -1.366x + 29.316$	$R^2 = 0.5121$
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = -1.4576x + 29.735$	$R^2 = 0.5837$
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = -1.6465x + 33.203$	$R^2 = 0.5538$
T6 Dap 160 kg/ha	$y = -1.2194x + 29.459$	$R^2 = 0.4301$
T7 Testigo Absoluto	$y = -1.2194x + 29.459$	$R^2 = 0.4301$

El factor de determinación indica conjuntamente con el análisis de varianza que no se presenta diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, a pesar de lo anterior se observó el desarrollo del cultivo que los tratamientos que presentaban uso de endomicorrizas presentaban mayor población con respecto al demás tratamiento lo que es el caso del tratamiento 3, 4 y 5 a los 45 dds, 60 dds.

Dicha población en el proceso de autorregulación que posee cultivo y se observa de forma marcada en las lecturas de los 75 dds en adelante perdió, lo cual en el caso del tratamiento 6 que es el testigo relativo compuesto únicamente por el fertilizante dap con la dosis que actualmente se emplea no presentó cambios desde los 150 dds, hasta la última lectura algunos tratamientos presentaron continuidad en su población como lo es el caso del tratamiento 5.

Al momento de la última lectura presentaron un cambio en su población lo que repercutió en la producción, confirmando lo expuesto por (Berbarra, Souza, & Fonseca, 2006) que el cultivo de la caña de azúcar, especialmente en la fase inicial,

el efecto de los HMA se observa por un mayor crecimiento de las plantas, esto se le atribuye principalmente aumentando la absorción de nutrientes, por efecto de las endomicorrizas.

En la siguiente figura se observa representadas las lecturas de altura en m con respecto a las fechas de dicha lectura los datos de las medias empleadas para realizar el gráfico se encuentran en el cuadro 16, 17 y 18 en anexos.

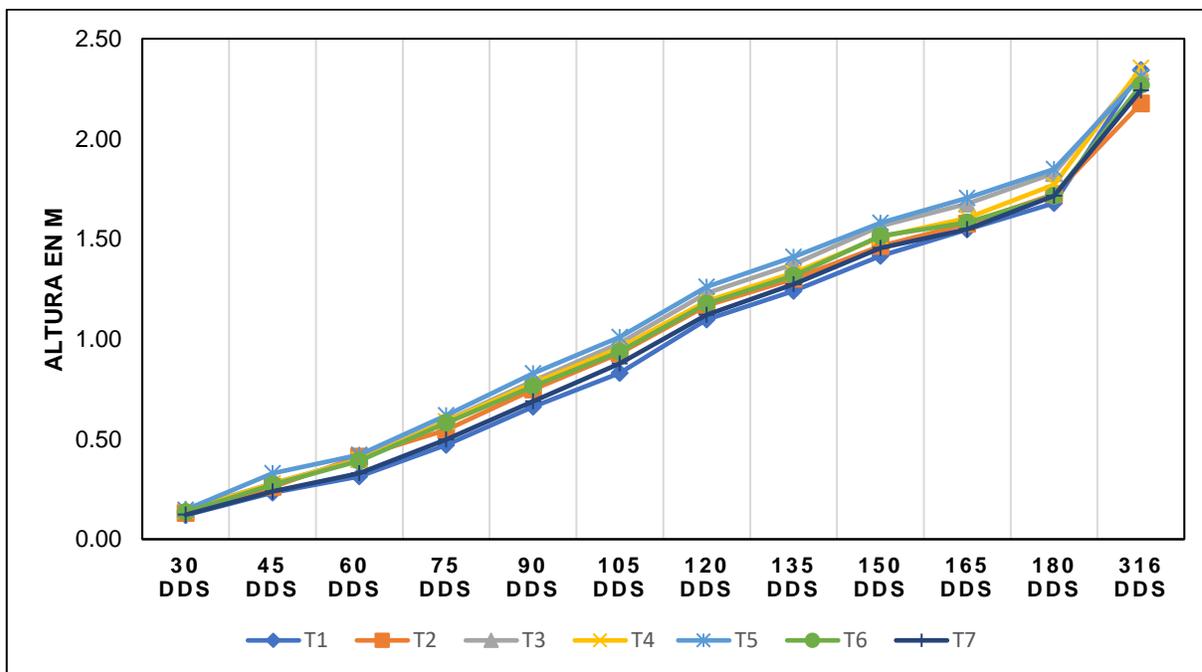


Figura 19. Lecturas de Altura (m).

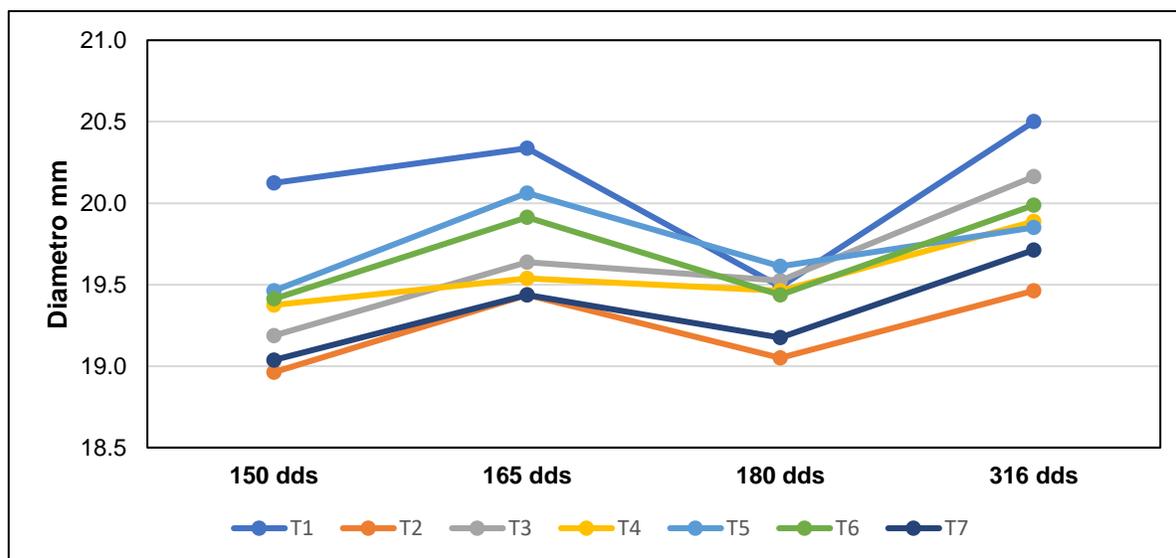
La altura de la planta en función de la fertilización fosforada y las endomicorrizas presenta un patrón similar entre los tratamientos, según el análisis de varianza no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, en las distintas lecturas el resumen de las ANOVAs se encuentran en el cuadro 20, 21, 22, en los análisis el coeficiente de variación indica que el manejo del experimento es el adecuado.

El siguiente cuadro presenta las ecuaciones de las tendencias lineales de los distintos tratamientos conjuntamente con su coeficiente de determinación, el cual indica que la variable de altura está relacionada ampliamente con los tratamientos evaluados debido a que es muy próximo a uno.

Cuadro 9. Ecuaciones de tendencias lineales de la altura y r2 por tratamiento

Tratamiento	Y	R2
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1847x - 0.2047$	$R^2 = 0.9641$
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1759x - 0.107$	$R^2 = 0.9874$
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1881x - 0.1234$	$R^2 = 0.9854$
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1842x - 0.1228$	$R^2 = 0.977$
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1862x - 0.0875$	$R^2 = 0.989$
T6 Dap 160 kg/ha	$y = 0.1796x - 0.1128$	$R^2 = 0.9803$
T7 Testigo Absoluto	$y = 0.1815x - 0.1709$	$R^2 = 0.979$

En la figura 20 se encuentra representado las mediciones realizadas del diámetro de tallo molenderos, las medias de los datos empleados se encuentran en el cuadro 19.

**Figura 20. Lecturas de Diámetro (mm).**

En cuanto al diámetro del tallo, las plantas mostraron poca variación con respecto a los tratamientos, lo que se vio reflejado en el análisis de varianza en el cual no se encontró diferencia significativa dentro de los tratamientos evaluados, el resumen de los análisis de varianza realizados se encuentran en el cuadro 27 de anexos, en

el coeficiente de variación no se observó una variación mayor al 6% lo que indica que el manejo del experimento se realizó se forma adecuada, conjuntamente con las otras variables evaluadas.

Cuadro 10. Ecuaciones de tendencias lineales de diámetro y r2 por tratamiento

Tratamiento	Y	R2
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.0275x + 20.044$	$R^2 = 0.0064$
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1112x + 18.95$	$R^2 = 0.3078$
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.2813x + 18.925$	$R^2 = 0.8065$
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.1463x + 19.2$	$R^2 = 0.7065$
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.)	$y = 0.0712x + 19.569$	$R^2 = 0.1213$
T6 Dap 160 kg/ha	$y = 0.125x + 19.375$	$R^2 = 0.2803$
T7 Testigo Absoluto	$y = 0.1762x + 18.9$	$R^2 = 0.5817$

Se observa las ecuaciones generadas de los modelos de tendencia lineal por tratamiento conjuntamente con el coeficiente de determinación, el cual indica que hay diferencia en relación a los tratamientos.

1.3 Peso fresco de raíces.

En la figura se encuentra representados los pesos frescos de las raíces de los tratamientos evaluados iniciando a los 30 hasta los 180 dds, cada 30 dds los datos medios se encuentran representados en la parte inferior del gráfico, y así también representados en una escala de barras:

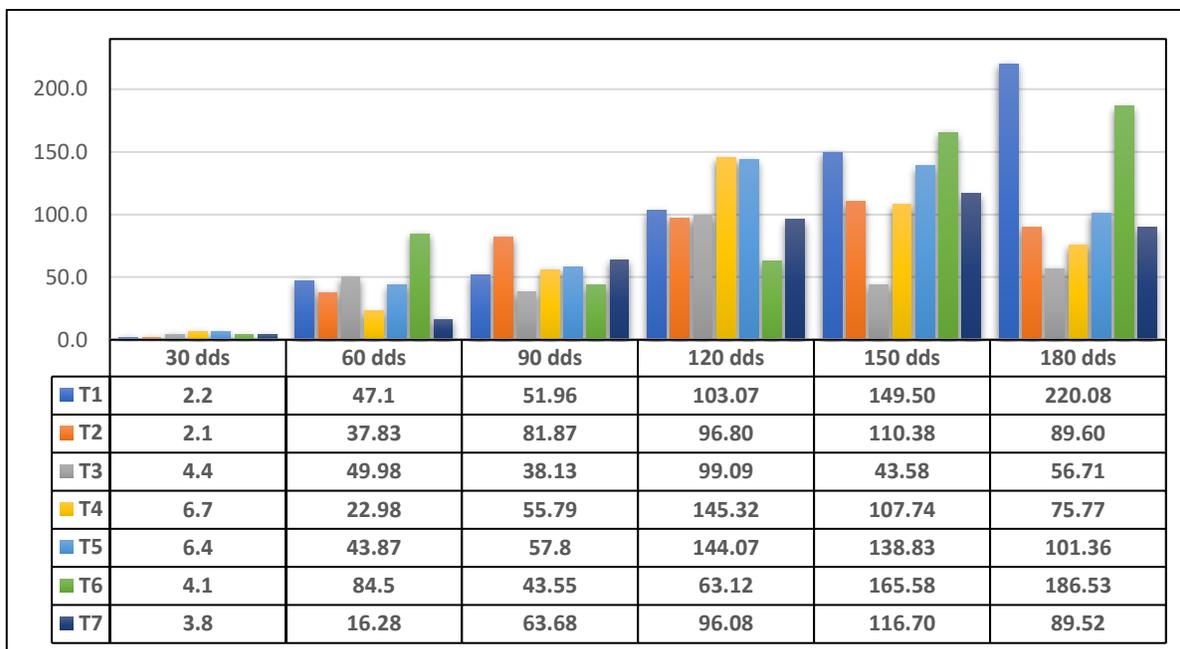


Figura 21. Peso fresco de raíces en gramos por tratamiento a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 dds.

A los 30 dds, el tratamiento que presentó el mayor peso es el tratamiento cuatro, a los 60 dds, el tratamiento seis, a los 90 dds, el tratamiento dos, a los 120 dds, el tratamiento cuatro, a los 150 dds el tratamiento seis y a los 180 dds el tratamiento uno que está compuesto únicamente por la aplicación endomicorrizas, debido a la estimulación que genera en la planta de generar raíces secundarias donde se sitúan los arbusculos producidos por las micorrizas, como respuesta positiva a la simbiosis de las endomicorrizas con la planta como lo indica (Muniyamma, Barti, & Reddy, 2000)

Cómo se observa en el gráfico se comparte la similitud que se presentaba en la población (tallos *m/lineal) que los tratamientos que poseían una mayor población poseen un mayor peso de raíces, pero dicho peso es reducido debido a la autorregulación y pérdida de algunos tallos, como es el caso del tratamiento número cuatro compuesto por una dosis de Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*)

2. Evaluar el efecto de las endomicorrizas en la asimilación de Fósforo en la planta a través de análisis foliares.

Se efectuaron análisis foliares desde los 30 dds, hasta los 180 dds, en intervalo entre muestreo de 30 días.

2.1. Fósforo.

En la figura se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, con respecto a la cantidad de fósforo foliar en % detectado, los datos medios empleados en el gráfico se observan en la parte inferior del gráfico, dentro de los análisis realizados, la etapa en la que elemento encuentra en mayor cantidad dentro de la planta es a los 180 dds, donde finaliza la etapa de rápido crecimiento e inicia la etapa de maduración o concentración de azúcares.

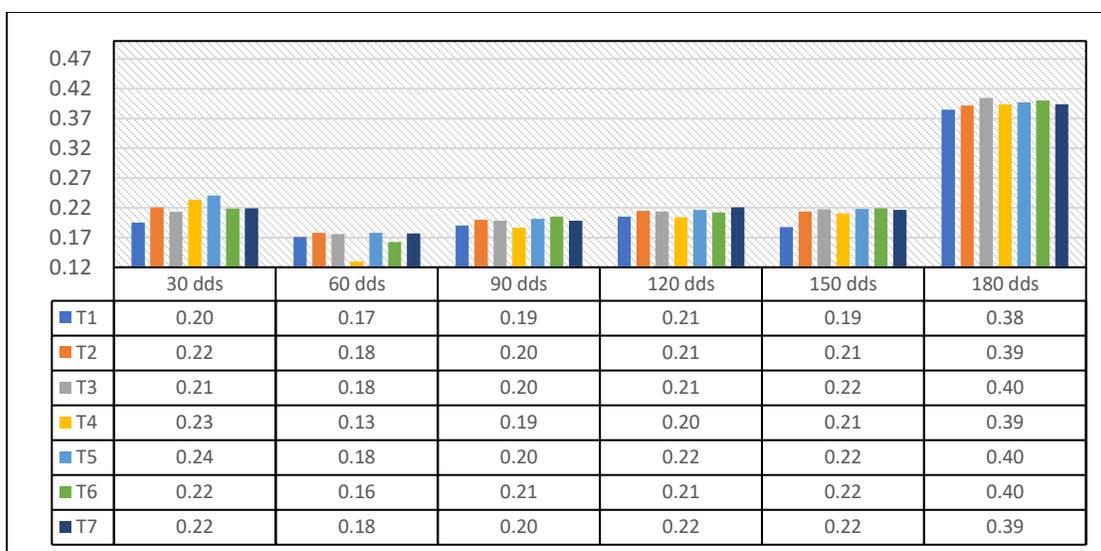


Figura 22. Grafica comparativa del % fosforo foliar medio en caña de azúcar *S. officinarum L.* por tratamiento.

En el cuadro 35 en anexos se representan los análisis de varianza realizados a cada época de muestreo, el cual indica que con relación al elemento Fosforo (%), dentro de la planta existe significancia estadística entre los tratamientos a los 30 dds, debido a esto se procedió a realizar una prueba de medias de tukey (cuadro 39 en anexos) para definir el mejor tratamiento siendo este T5 compuesto por Dap 160

kg/ha + Endomicorrizas (*glomus* sp.) y T4 compuesto por Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus* sp.) con una media de 0.24% fosforo foliar.

El análisis indica una mayor presencia de fósforo dentro de la planta en los tratamientos compuestos por endomicorrizas y la dosis de fertilizante próxima a la recomendada por cengicaña en el cuadro uno, que es de 73.6 kg de P_2O_5 /ha para el tratamiento 5 y 55.2 kg de P_2O_5 /ha para el tratamiento 4 debido a que se está al inicio del cultivo, utilizando los valores críticos y adecuados del fósforo foliar en el cuadro dos indica que los tratamientos se encuentran dentro del porcentaje optimo exceptuando el tratamiento uno a los 150 días después de siembra que se acercó al valor critico

Aunque no se observe una diferenciación muy prominente, en las mediciones de biometría, la capacidad de las micorrizas para adquirir eficientemente nutrientes para la acumulación de biomasa-azúcares tuvo un impacto directo en la productividad debido a que las producciones se comportaron relacionados a la absorción al fosforo, principalmente en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) debido a que no se encontró significancia estadística entre los tratamientos, dentro del elemento a partir de los 60 días después de siembra, pero empleando las estadística descriptiva conjuntamente con el grafico comparativo se observa que los tratamientos medios que presentaron mayor concentración de Fósforo foliar presentan una diferencia levemente superior en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) esto se debe a que según (Chaves Solera, 1999) el fósforo participa en la formación de la molécula de la sacarosa (Glucosa-1-Fosfato+fructosa \rightarrow sacarosa + H_3PO_4) que serializa en la etapa de maduración luego del rápido crecimiento.

Con los datos obtenidos se confirma lo expuesto por (Anderson & Bowen, 1994) el cual indica que el *“fósforo es absorbido por las plantas de caña de azúcar durante los primeros ciento ochenta días de su crecimiento”*.

Dentro de los análisis realizados se observan conjuntamente los siguientes elementos:

2.2 Nitrógeno.

En la figura se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, respecto a cantidad de Nitrógeno foliar en % detectado, los datos medios empleados en el gráfico se observan en la parte inferior.

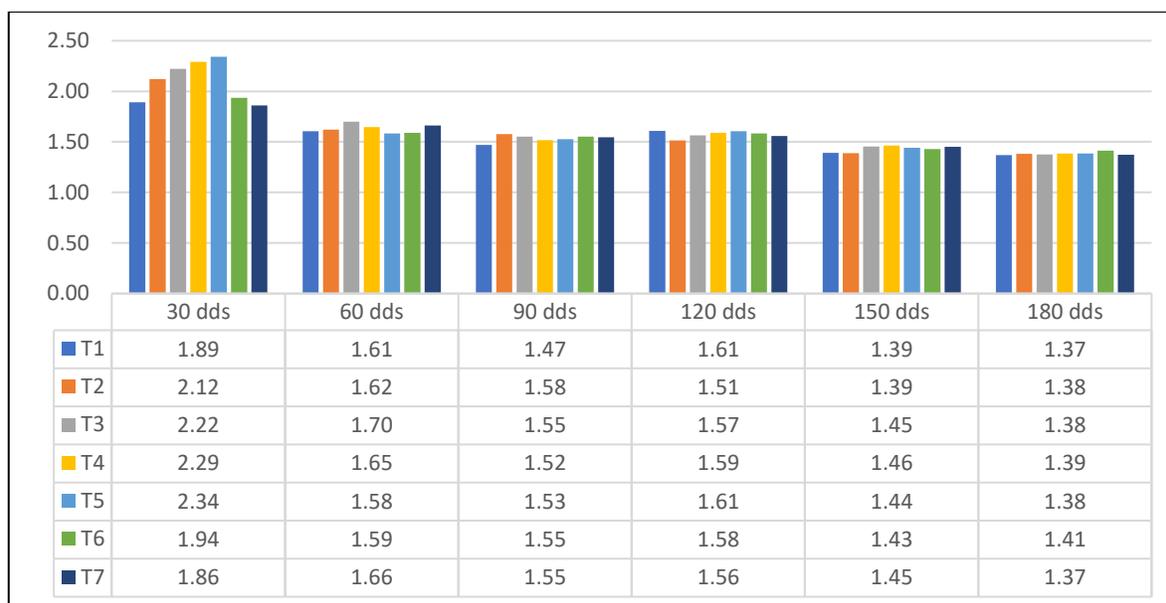


Figura 23. Grafica comparativa del % fosforo foliar medio en caña de azúcar *S. officinarum L.* por tratamiento.

La presencia de este elemento se encuentra en mayor cantidad a los 30 dds, como se observa en el gráfico, hasta mantenerse estable a los 180 dds, con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza para cada muestreo el resumen de los análisis se observa en el cuadro 31 en anexos, presentando significancia estadística, entre los tratamientos a los 30, dds.

Se empleo una prueba de medias de tukey para definir el mejor tratamiento, a los 30 dds (cuadro 41 en anexos) la cual indica que el tratamiento que presenta una media superior a los otros es T5 compuesto por Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.), con una media de 2.34 %.

2.3 Potasio

Con los datos obtenidos de los análisis foliares realizados, se realizó un análisis de varianza para cada análisis foliar, el resumen de los análisis de varianza se

encuentran en el cuadro 34 en anexos el cual indica que no existe significancia estadística dentro de los tratamientos.

2.4 Magnesio.

Para evaluar si existe diferencias entre tratamientos en cada muestreo realizado se empleó un análisis de varianza para cada análisis foliar, el resumen de los análisis de varianza realizados se observa en el cuadro 33 en anexos, donde indica a través del p-valor que no existe diferencia estadística dentro de los tratamientos.

2.5 Calcio.

En la figura 24 se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, respecto a cantidad de Calcio foliar en % detectado por los análisis foliares, los datos medios empleados en el gráfico se observan en la parte inferior.

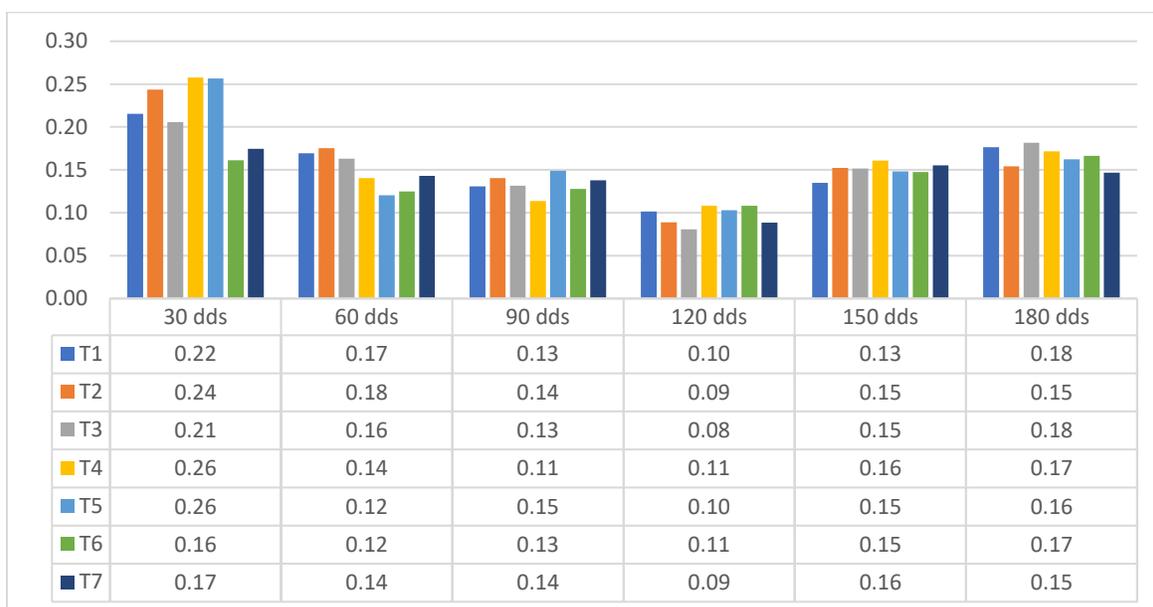


Figura 24. Grafica comparativa del % de calcio foliar medio en caña de azúcar S. officinarum L. por tratamiento.

Se empleó un análisis de varianza para cada etapa del cultivo, evaluada a través de los análisis foliares y se encontraron diferencias estadística entre los tratamientos, el resumen de los análisis realizados se encuentra en el cuadro 32 en anexos, dicho resumen indica a través del p-valor que existe diferencia estadística entre los

tratamientos a los 30 dds. Posteriormente se empleó una prueba de medias de Tukey en el análisis foliar realizado a los 30 dds (cuadro 40 en anexos) para determinar el mejor tratamiento, el cual indica que el T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*), T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*), T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*) con medias de 0.26%, 0.26% y 0.25%, respectivamente.

Los micronutrientes son fundamentales para el desarrollo de una planta como indica lo indica la ley del mínimo de Liebig, el cual indica que el desarrollo de la planta no es definido por el total de los nutrientes disponibles (gran cantidad de macro nutrientes) para una planta, sino por el que puede ser más escaso (micronutrientes). Estudios han confirmado que la captación de Zn (Bürkert y Robson 1994; Jansa et al. 2003), S y Fe a través de la vía de micorrizas arbusculares son superiores y con frecuencia se observa un aumento en la absorción de Cu por parte de las plantas en respuesta a la colonización de raíces AM pero el transporte y transferencia a la planta hospedante de elementos nutritivos distintos del P, N, Zn, Fe y S a través del micelio MA aún no ha sido verificado de forma inequívoca. (Neumann & George, 2010)

2.6 Cobre.

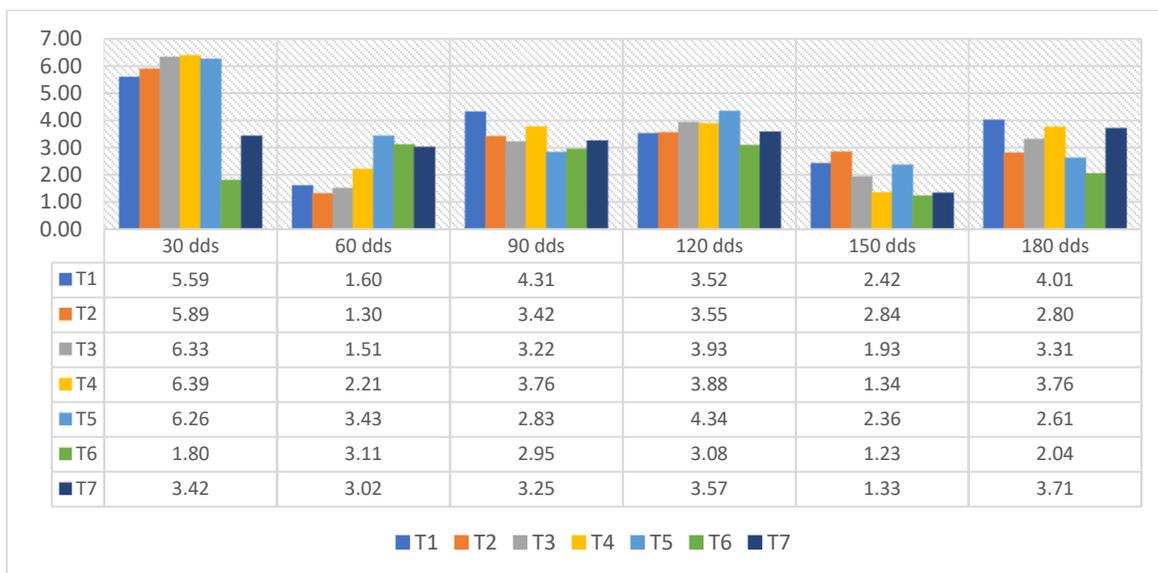


Figura 25. Grafica comparativa de cobre foliar en ppm medio en caña de azúcar *S. officinarum L.* por tratamiento.

En la figura anterior se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, los datos medios empleados en el gráfico se observan en la parte inferior del gráfico representan los dds de izquierda a derecha iniciando a los 30 dds y culminando con los datos del último muestreo a los 180 dds.

Se observa que los tratamientos que presentaron en mayor cantidad son los tratamientos compuestos por micorrizas lo cual indica que fueron colonizadas, con los datos obtenidos se procedió a realizar un análisis de varianza por cada muestreo, el resumen de los análisis de varianza realizados se observa en el cuadro 28 en anexos.

El resumen indica que existe diferencia estadística entre los tratamientos en diferentes épocas de muestreo, a los 30 dds y 60 dds, debido a esto se realizó una prueba de medias de tukey, para definir el mejor tratamiento para cada época de muestreo.

A los 30 dds, según la prueba de medias de tukey (cuadro 37 en anexos) el mejor tratamiento es T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*) con una media de

6.39 ppm de cobre dentro de la planta, en los 60 dds (cuadro 43 en anexos el mejor tratamiento es el T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (glomus sp.) con una media de 3.43 ppm.

2.7 Hierro.

En la figura se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, con respecto a cantidad de hierro foliar en ppm detectado por los análisis foliares, los datos medios con los que se realizó el gráfico se encuentran en, la parte inferior.

En el gráfico se observa que la planta demanda y contiene mayor cantidad de este elemento en las primeras etapas del cultivo, en el cuadro 28 en anexos se representa el resumen de los análisis de varianza de cada muestreo realizado, el cual indica que existe significancia estadística entre los tratamientos a los 60 dds,

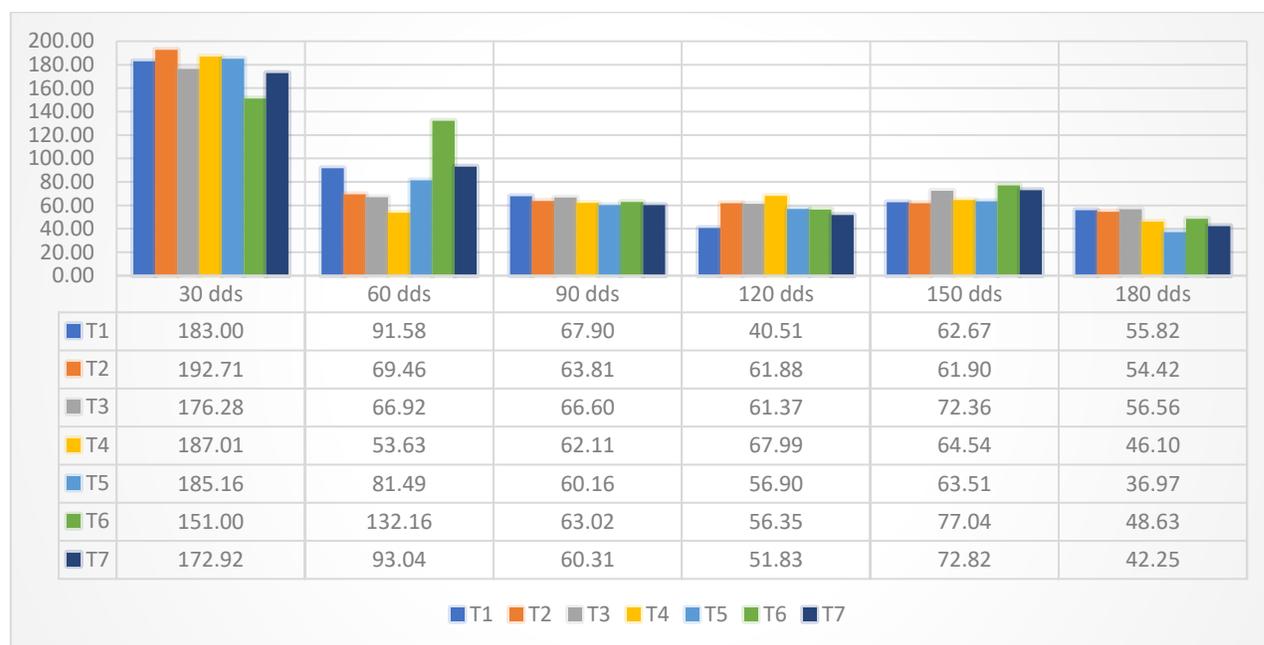


Figura 26. Grafica comparativa de hierro foliar en ppm medio en caña de azúcar *S. officinarum* L. por tratamiento.

Se empleo una prueba de medias de tukey para la el análisis foliar que presentó diferencia estadística para definir tratamiento superior a los 60 dds (cuadro 43 de

anexos) el tratamiento que presentó una media superior a los otros tratamientos es T6 Dap 160 kg/ha con una media de 132.16 ppm.

2.8 Manganeso.

En la figura se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, los datos medios empleados en el gráfico se observan en la parte inferior. Se puede observar el comportamiento del manganeso en ppm en la planta, por tratamiento, el cual presentan una alta absorción de manganeso en algunos tratamientos a los 30 dds, disminuyendo a los 60 dds.

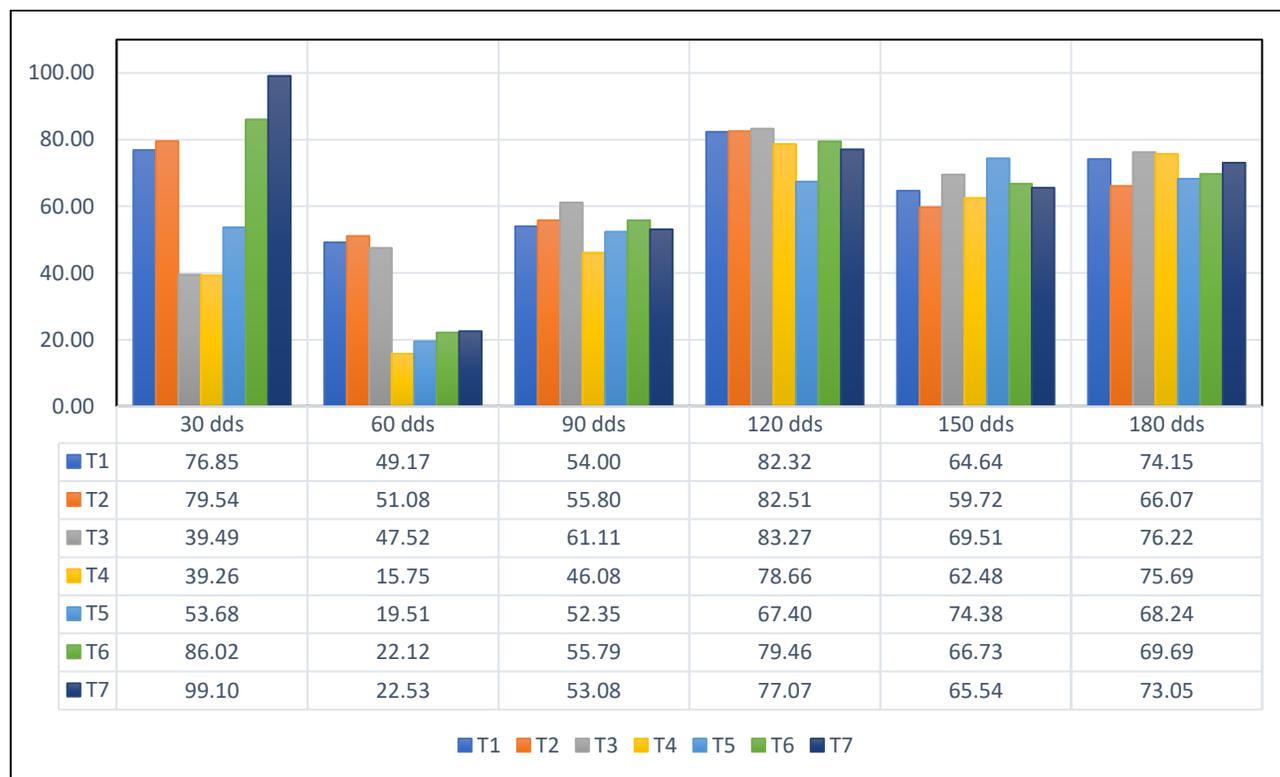


Figura 27. Grafica comparativa de Manganeso foliar en ppm medio en caña de azúcar *S. officinarum* L. por tratamiento.

Seguidamente aumentado de forma exponencialmente hasta los 120 dds, manteniendo estabilidad en los últimos muestreos, en el cuadro 29 en anexos se presentan un cuadro resumen con los datos obtenidos de los análisis de varianza

que se utilizaron para los distintos muestreos realizados, el cual indica, que existe significancia estadística para el elemento a los 30 y 60.

Se empleo una prueba de medias de tukey para los muestreos que presentaron significancia estadística en el contenido de manganeso foliar, siendo el mejor tratamiento a los 30 dds (ver cuadro 37 en anexos) T7 Testigo Absoluto con una media de 99.10 ppm y a los 60 dds (ver cuadro 44 en anexos) T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*) con una media de 51.08 ppm.

2.9 Zinc.

En la figura se observa un gráfico comparativo donde se representan los resultados medios de los tratamientos evaluados, los datos medios empleados en de cada muestreo se encuentran en la parte inferior. El comportamiento del cobre en la planta, indica que la época en que la planta demando más zinc fue a los 120 dds, debido al comportamiento de los tratamientos.

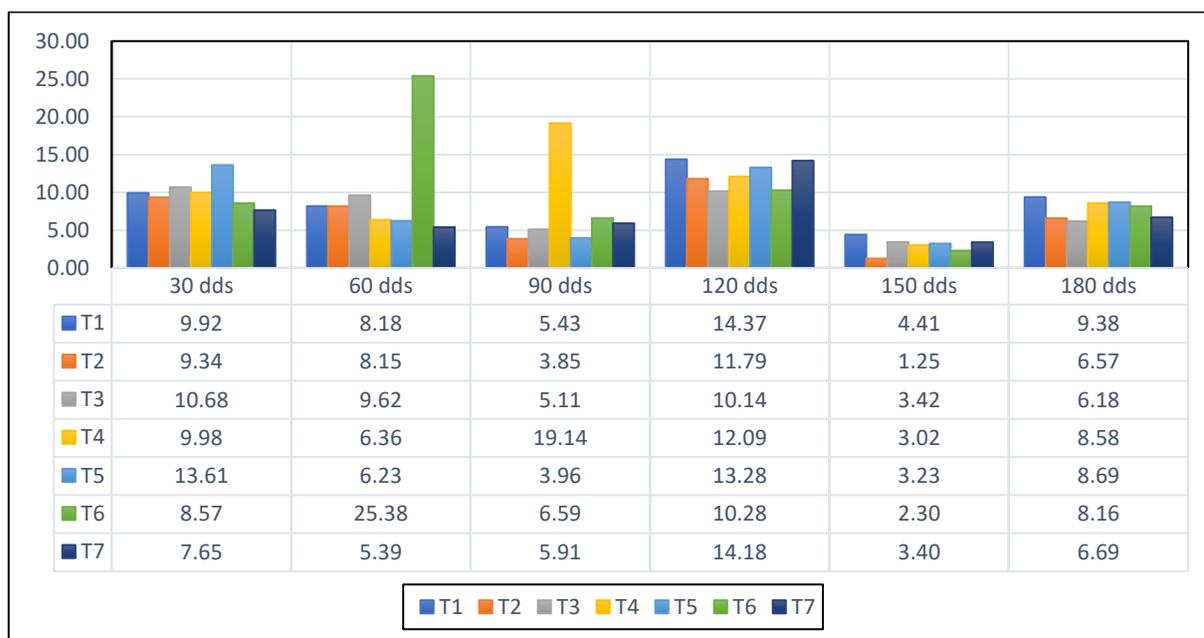


Figura 28. Grafica comparativa de zinc foliar en ppm medio en caña de azúcar *S. officinarum L.* por tratamiento.

En el cuadro 30 de anexos se observa el resumen de los análisis de varianza realizados a los muestreos foliares el cual indica que existe diferencia estadística

entre los tratamientos a los 30 dds, debido a esto se realizó una prueba de medias de tukey para el muestreo que presentó diferencia estadística. A los 30 dds la prueba de tukey (ver cuadro 38 en anexos) indica que el mejor es T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*) con una media de 13.61 ppm.

3. Determinar el tratamiento con mayor rendimiento y azúcar (TCH, TAH).

El rendimiento en caña de azúcar *S. officinarum L.* es cuantificado por TCH (toneladas de caña de azúcar por hectárea) y TAH (toneladas de azúcar por hectárea), en el cuadro se encuentra representado el TCH medio por tratamiento.

Cuadro 11. TCH (Tm/ha). de caña de azúcar *S. officinarum L.* promedio por tratamientos.

Tratamiento	TCH
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	65.1
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	58.6
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	65.5
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	71.7
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	69.6
T6 Dap 160 kg/ha	71.8
T7 Testigo Absoluto	62.7

Se empleo un análisis de varianza para definir el mejor tratamiento con respecto al TCH, el resumen de dicho análisis se encuentra en la figura 31 en anexos, el cual indica que no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, el coeficiente de variación es de 24.48% lo cual indica que el efecto de los tratamientos durante el primer año de crecimiento (plantilla) no presenta diferencias significativas posiblemente debido a que la variación estimada por el CV podría enmascarar el efecto de los tratamientos, y que en el segundo año puede disminuir el coeficiente de variación (primera soca) o aumentar, así sucesivamente hasta completar el ciclo del cultivo.

Dentro de las medias obtenidas a través de la estadística descriptiva se define que el tratamiento que presentó mayor rendimiento en TCH es el testigo relativo (T6 Dap 160 kg/ha) seguido por el tratamiento cuatro compuestos por Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus sp.*), así también indica que el efecto de las endomicorrizas dentro del cultivo de caña de azúcar *S. officinarum L.*, es positivo debido a que se aprovecha al máximo los nutrientes de la planta debido a que los rendimientos de algunos tratamientos son similares entre sí.

Cuadro 12. TAH de caña de azúcar *S. officinarum L.* promedio por tratamientos.

Tratamiento	Pol % Caña	kilogramos/ton. métrica	TAH
T1 Dap 0 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	17.65	176.52	11.6
T2 Dap 40 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	17.53	175.25	10.2
T3 Dap 80 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	17.49	174.88	11.4
T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	17.31	173.07	12.1
T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (<i>glomus sp.</i>)	17.25	172.46	12.0
T6 Dap 160 kg/ha	17.35	173.52	12.4
T7 Testigo Absoluto	17.00	169.97	10.7

En el cuadro se encuentran representados el rendimiento de azúcar TAH (Tm de azúcar/ha), generado a partir de los análisis de precosecha realizados a cada unidad experimental (cuadro 45 en anexos), se empleó un análisis de varianza (figura 32 en anexos), el cual indica que no existe significancia estadística dentro los tratamientos, evaluados el coeficiente de variación es de 24.35 % similar al que presentó la variable TCH, lo que indicia que el experimento se realizó de forma adecuada. Los tratamientos que presentaron una media superior a través de la estadística descriptiva fueron los tratamientos 6, 5, y 4 debido a la cantidad de

fosforo aplicada al momento de la siembra, y es similar a lo reportado por (Villatoro, Fuentes, & de Cano, 2014)

Se observa que el uso de endomicorrizas permite reducir la aplicación de fertilizante en un 25% sin afectar el rendimiento de la productividad de *S. officinarum* L, lo que sugiere que la aplicación de micorrizas debe complementarse con una aplicación reducida de fertilizantes para lograr una mejor producción del cultivo de caña de azúcar *S. officinarum* L., y que trabajan de forma efectiva en suelos con bajos niveles de fósforo.

VII. Conclusiones

1. No se encontraron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos evaluados, en las variables, porcentaje de brotación de yemas, biométricas (Población Tallos * m/lineal, altura en m y diámetro en mm) por lo cual se acepta la hipótesis nula la que indica que todos los tratamientos compuestos por endomicorrizas y dosis de fertilizante fosforado DAP tendrán el mismo efecto en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L.
2. Los tratamientos compuestos por endomicorrizas presentan un mayor crecimiento de las plantas, en la etapa inicial del cultivo, esto se le atribuye principalmente al aumento de la absorción de nutrientes, por efecto de las endomicorrizas, pese a esto el comportamiento en la población Tallos * m/lineal, se observó reducido drásticamente en el periodo de autorregulación.
3. Los analices foliares indican una mayor presencia de fósforo dentro de la planta en los tratamientos compuestos por endomicorrizas y la dosis de fertilizante de 55.2 kg de P_2O_5 /ha al inicio del cultivo, y un comportamiento similar al tratamiento por la dosis habitual de fertilizante, aunque no se observe una respuesta visible, en las mediciones de biometría genera un impacto directo en la productividad debido a que las medias de producción de toneladas de azúcar por hectárea se relacionaron con la absorción al fosforo.
4. A partir de los análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey realizados a los análisis foliares indican que el tratamiento T4 Dap 120 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus* sp.) presentan mayor disponibilidad de los elementos cobre, calcio y fosforo a los 30 dds. En el caso del tratamiento T5 Dap 160 kg/ha + Endomicorrizas (*glomus* sp.), presenta mayor disponibilidad de los elementos zinc, nitrógeno, calcio y fosforo a los 30 dds, y cobre a los

60 dds, por lo cual indica que las endomicorrizas favorecen a la absorción de nutrientes.

5. Los análisis de varianza indican que el efecto de las endomicorrizas dentro del cultivo de caña de azúcar *S. officinarum* L., son positivos debido a que se aprovecha al máximo los nutrientes de la planta debido a que los rendimientos de los tratamientos son similares y los tratamientos que presentaron una media superior a través de la estadística descriptiva fueron los tratamientos 6, 5, y 4 para toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de azúcar por hectárea (TAH).

6. A partir de los datos generados de la investigación, la aplicación de endomicorrizas debe complementarse con la aplicación de fertilizantes fosforados para lograr una mejor producción del cultivo de caña de azúcar *S. officinarum* L., porque se puede reducir la aplicación de fertilizante en un 25% sin afectar el rendimiento.

VIII. Recomendaciones

1. Continuar monitoreando el experimento en las próximas socas para observar si alguna de las variables evaluados en el experimento presenta un aumento o disminución que puedan beneficiar o afectar la producción TCH y TAH.
2. Realizar una evaluación de aplicación del producto de MYCOAPPLY ENDOMAXX con otros tipos de fuentes de fertilizante fosforado, y formas de aplicación como al fondo del surco, al voleo, así como fraccionar aplicaciones durante el desarrollo vegetativo para determinar si aumenta el rendimiento en TCH o TAH.
3. Realizar la cosecha en el momento oportuno, o cuando los tallos alcanzan su madurez fisiológica, con la finalidad de evitar pérdidas debidas a la senescencia de tallos en cosechas tardías y con ello, mejorar el rendimiento para fines de la producción orgánica.

IX. Referencias bibliográficas

- Angulo Marchena, A., & Vásquez Ulate, A. (2020). Análisis biométrico y evaluación agroindustrial de siete variedades promisorias de caña de azúcar, bajo condiciones de manejo orgánico, finca los Sukias, Bebedero Cañas Guanacaste. Costa rica. Obtenido de <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/KzbOkLGjYVxvjNYjBUGqfpjhWubOC EAI>
- Aguilar, L., Olalde Portugal, V., Arriaga, R., & Contreras Alonso, R. (2006). *Micorrizas arbusculares*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10414307.pdf>
- Alfaro, M. a., & Pérez, O. (2011). *Diagnóstico de la Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Suelos Cultivados con Caña de Azúcar y Evaluación Preliminar de la Inoculación a Nivel de Campo. Memoria presentación de resultados de investigación Zafra 2010 – 2011*. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICANA. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20150902101611758.pdf>
- Anderson, D., & Bowen, J. (1994). *Nutrición de la caña de azúcar*. (I. d. (INPOFOS), Trad.) Obtenido de <https://cengicana.org/files/20150828053618597.pdf>
- Berbera, R., Souza, F., & Fonseca. (2006). Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito Além da. En M. Fernández (Ed.), *Nutrição Mineral de Plantas*. (Vol. 1). Sociedade Brasileira de Ciência. Obtenido de http://www.ufrj.br/amfoods/arquivos/arq_publicacao/20_ARQ.pdf
- Bidartondo, M., Redecker, D., & Hijiri, I. (2002). *Epiparasitic plants specialized on arbuscular mycorrhizal fungi*. Nature Publishing Group. Obtenido de <http://eprints.whiterose.ac.uk/112/1/leakejr1.pdf>
- Biofábrica Siglo XX. (s.f.). *Bacterias Promotoras de Crecimiento Azospirillum brasilens (maxifer)*. Obtenido de <https://biofabrica.com.mx/maxifer/>

- Bukert, B., & Robson, A. (1994). Captación de Zn en trébol subterráneo (*Trifolium subterráneo*L.) por 3 Hongos micorrízicos arbusculares vesiculares en un suelo arenoso libre de raíces. En *Bioquímica del suelo* (págs. 1117-1124). Obtenido de [Documento pdf]
- Campollo, P. (1999). *Fundamentos de mecanización agrícola para caña de azúcar*. Ingenio Pantaleón. Obtenido de [Documento pdf]
- CENGICAÑA. (1996). *Estudio semi-detllado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala*. Obtenido de <https://cengicana.org/files/2015090210163027.pdf>
- CENGICAÑA. (1996). *Morfología de la caña de azúcar*. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
- CENGICAÑA. (2012). *El cultivo de la caña de Azúcar en Guatemala*. (M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez , & R. Espinoza, Edits.) Guatemala: Artemis Edinter. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
- CENGICAÑA. (2016). *Trifoliar CG02-163*.
- CENGICAÑA. (2017). *Guía de Buenas Prácticas Agrícolas en Caña de Azúcar*. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>
- Chaves Solera, M. (1999). *El Nitrogeno, Fósforo Y Potasio en la caña de Azúcar*. DIECA. Obtenido de <http://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/nEwgPZaeUjmTsBsLinRXPnRuDLEZsARV>
- CONADESUCA. (2015). *Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L)*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_T_cnica_Ca_a_de_Az_car.pdf
- Cruz, R. d. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Instituto Nacional Forestal.

- Fertinova Agroproductos. (2015). *DAP 18-46-0*. Obtenido de <https://www.fertinova.mx/sites/default/files/FICHA%20DAP.pdf>
- Flores, D., Hernández , F., & Pérez, O. (2010). *Épocas de muestreo y posición de la hoja en el análisis foliar para diagnóstico de nitrógeno en variedades de caña de azúcar en Guatemala. Memoria presentación de resultados de investigación Zafra 2009 – 2010*. CENGICANÑA-Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20150902101613791.pdf>
- Flores, O., & Durán Aguirre, K. (2008). *Determinación de Curvas de Absorción de Nutrientes en la variedad CP-722086 de Caña de Azúcar en los tres períodos de zafra 2007-2008 en el Ingenio La Grecia*. Choluteca, Honduras: Zamorano.
- Flores, O., & Durán Aguirre, K. (2008). *Determinación de Curvas de Absorción de Nutrientes en la variedad CP-722086 de Caña de Azúcar en los tres períodos de zafra 2007-2008 en el Ingenio La Grecia*. [Documento de Graduación Ingeniero Agrónomo, Universidad Zamorano]. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5580c1ac-ae38-4973-a404-b470f9e98843/content>
- Harley , B., & Smith, S. (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Obtenido de [Documento pdf].
- Hernández, F., & Pérez, O. (2002). *Comportamiento y manejo del fósforo en la fertilización de caña de azúcar en suelos de origen volcánico*. Guatemala: Memoria de XIV Congreso de Técnicos Azucareros de Centro América ATACA. Obtenido de [Documento pdf]
- Hernández, F., & Pérez, O. (2002). *Comportamiento y manejo del fósforo en la fertilización de caña de azúcar en suelos de origen volcánico*. . Guatemala: Memoria de XIV Congreso de Técnicos Azucareros de Centro América ATACA. .

- Ingeniantes. (2019). En *Efecto de hongos formadores de Micorriza arbuscular (hma) con fertilización en caña de azúcar en Tepalcatepec Michoacán*. (págs. 81-84). Obtenido de [Documento pdf]
- INTAGRI. (2017). *Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105*. Artículos Técnicos de INTAGRI. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura#:~:text=Las%20funciones%20cr%C3%ADticas%20del%20f%C3%B3foro%20en%20la%20planta&text=Es%20parte%20esencial%20de%20los,biol%C3%B3gica%20del%20nitr%C3%B3geno%20>
- Kelly , R., Edwards , D., Magarey , R., & Thompson , J. (1997). Proc Aust Soc Sug Cane Technol. En *The effects of VAM on the growth and nutrition of sugarcane*. (págs. 73-79). Obtenido de [Documento pdf]
- McCray, M., W. Rice, R., Ezenwa, I., Lang,, T., & Baucum, L. (Diciembre de 2011). Nutrición en caña de azúcar Uso del análisis foliar. *FERTILIZAR Asociación Civil*. Obtenido de <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2020/09/21.pdf>
- Mengel , K., & Kirkby, E. (1982). *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Instistute. Obtenido de [Documento pdf]
- Muniyamma, M., Barti, B., & Reddy, C. (2000). *Effect of VAM on root induction in vitro sugarcane (Saccharum officinarum L.)*. Seedlings-anewtechnology.Mychorrhizanew. Obtenido de [Documento pdf]
- Mycorrhizal Applications. (2021). *MycoApply® Endo*. Obtenido de <https://mycorrhizae.com/mycoapply-endo/>
- Neumann, E., y George, E. (2010). Nutrient Uptake: The Arbuscular Mycorrhiza Fungal Symbiosis as a Plant Nutrient Acquisition Strategy. En H. Koltai, & Y. Kapulnik (Edits.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (págs. 137-167). Springer Science. Obtenido de [Documento pdf]

- Orozco, H., & Bue, R. (2020). Productividad de azúcar y fibra de la variedad CG02-163 en las zafras 2017-18, 2018-19 y 2019-20 en Guatemala. CENGICAÑA. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20180918143948183.pdf>
- Orozco, H., & Quemé, J. (2018). *Productividad de azúcar y fibra de la variedad CG02-163 a nivel comercial en la zafra 2017-2018*.
- Orozco, H., & Quemé, J. (2018). *Productividad de azúcar y fibra de la variedad CG02-163 a nivel comercial en la zafra 2017-2018*. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20200928092457979.pdf>
- Pérez Iglesias, H., Santana Aguilar, I., & Rodríguez Delgado, I. (2015). *Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar*. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2763/6/Manejo%20sostenible%20de%20tierras%20%20en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar_p.114-142.pdf
- Pérez, O., Hernández, F., azañon, V., García, C., & Ramírez, C. (2010). Nutrientes limitantes en el cultivo de caña de azúcar en suelos Andisoles, Inceptisoles y Vertisoles de baja fertilidad. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170105142057945.pdf>
- Raddatz, E. (2001). *VAM y la resistencia de las plantas contra causantes de daño*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754120300328>
- Ribó Herrera, M. (2004). *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico*. Universitat de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/9501>

Villatoro, B., Fuentes, R., y de Cano, W. (2014). *Tercera aproximación de mapas temáticos de análisis físicos de suelos: herramienta de apoyo para el proceso de riego en la agroindustria azucarera guatemalteca*. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170102123455614.pdf>



Vo.Bo. Lcda. Ana Teresa Cap Yes de González

Bibliotecaria CUNSUROC.



X. Anexos

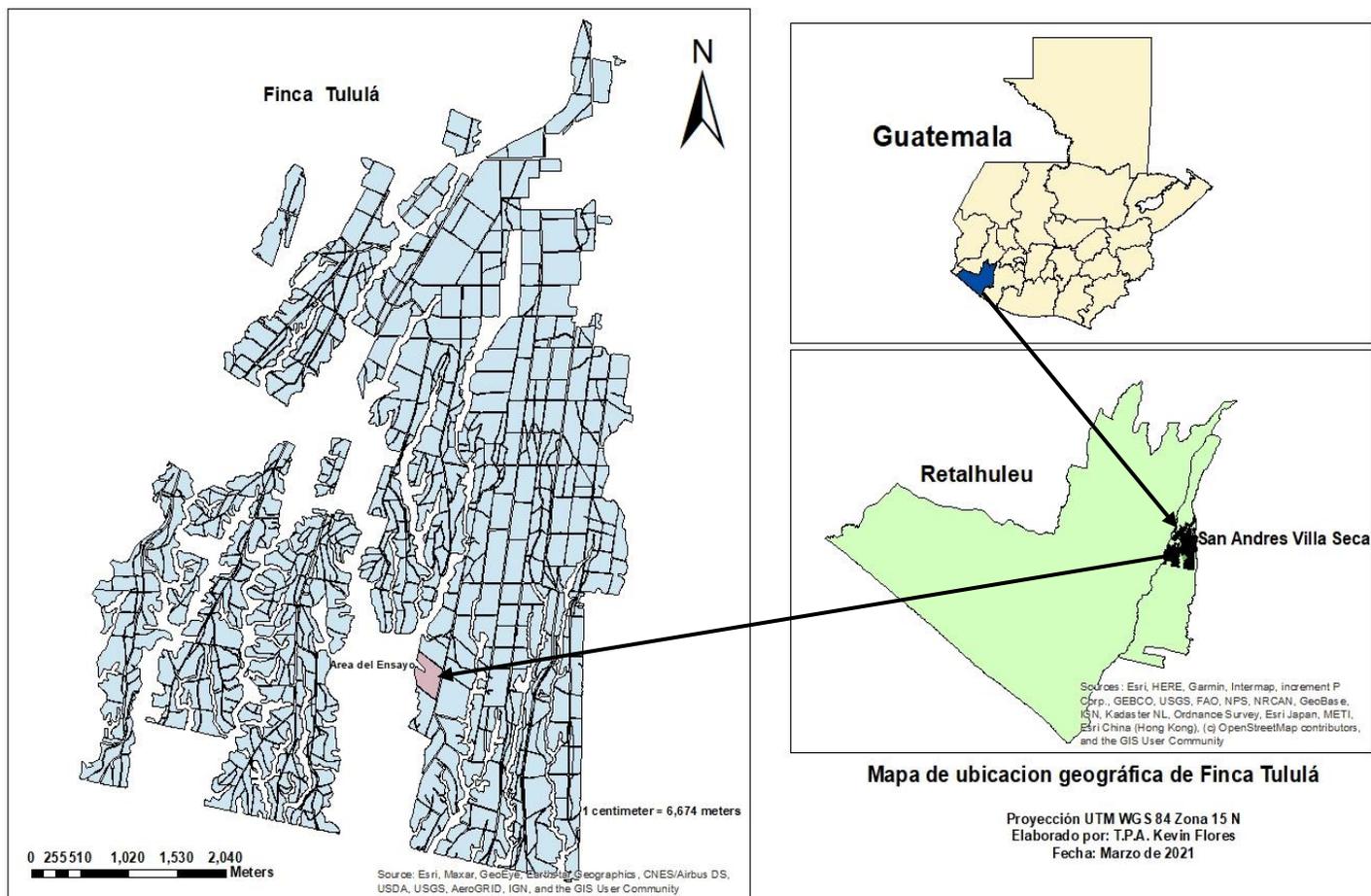


Figura 29. Mapa de ubicación de finca

Fuente: Elaborado por el autor (2021).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% germinacion 15 DDS	28	0.33	0.00	19.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	9	0.05	1.00	0.4746
Tratamiento	0.26	6	0.04	0.96	0.4819
Bloque	0.15	3	0.05	1.09	0.3795
Error	0.82	18	0.05		
Total	1.23	27			

Figura 30. Resumen Andeva de porcentaje de brotación de yemas.

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TCH	28	0.60	0.40	24.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	7221.21	9	802.36	3.03	0.0215	
Descripcion de Tratamient..	577.65	6	96.28	0.36	0.8921	
Bloque	6643.56	3	2214.52	8.38	0.0011	
Error	4759.40	18	264.41			
Total	11980.61	27				

Figura 31. Análisis de varianza de rendimiento de caña de azúcar S. officinarum L. TCH (Tm/ha).

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TAH	28	0.58	0.37	24.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	193.86	9	21.54	2.74	0.0331	
Descripcion de Tratamient..	14.60	6	2.43	0.31	0.9240	
Bloque	179.25	3	59.75	7.59	0.0017	
Error	141.75	18	7.88			
Total	335.61	27				

Figura 32. Análisis de varianza de rendimiento de azúcar en caña de azúcar S. officinarum L. TAH (Tm de azúcar/ha)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Cuadro 13. Población (Tallos * m/lineal) de S. officinarum L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.

Tratamiento	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	14	25	26	25
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	16	27	31	28
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	18	31	33	29
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	20	32	33	28
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	20	35	37	32
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	17	30	30	30
T7 (Testigo Absoluto)	16	30	32	31

Cuadro 14. Población (Tallos * m/lineal) por tratamiento de S. officinarum L. a los 90, 105, 120, 135 dds.

Tratamiento	90 DDS	105 DDS	120 DDS	135 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	22	17	16	15
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	26	18	17	16
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	24	17	16	16
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	23	17	16	15
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	27	19	17	17
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	24	18	16	15
T7 (Testigo Absoluto)	28	20	18	17

Cuadro 15. Población (Tallos * m/lineal) de S. officinarum L. por tratamiento a los 150, 165, 180, 316 dds.

Tratamiento	150 DDS	165 DDS	180 DDS	316 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	17	15	15	14
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	16	16	15	15
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	16	16	15	14
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	16	15	15	15
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	17	17	17	15
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	15	15	15	15
T7 (Testigo Absoluto)	17	17	17	14

Cuadro 16. Altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.

Tratamiento	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.12	0.23	0.31	0.47
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	0.13	0.26	0.41	0.55
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.15	0.28	0.40	0.59
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.14	0.28	0.40	0.59
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.15	0.33	0.42	0.62
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	0.14	0.27	0.39	0.58
T7 (Testigo Absoluto)	0.12	0.24	0.33	0.50

Cuadro 17. Altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 90, 105, 110 y 135 dds

Tratamiento	90 DDS	105 DDS	120 DDS	135 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.66	0.83	1.10	1.24
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	0.75	0.93	1.17	1.30
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.79	0.98	1.23	1.37
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.78	0.96	1.19	1.33
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	0.83	1.01	1.26	1.41
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	0.76	0.94	1.18	1.32
T7 (Testigo Absoluto)	0.69	0.88	1.12	1.27

Cuadro 18. Altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 316 dds.

Tratamiento	150 DDS	165 DDS	180 DDS	316 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	1.42	1.55	1.68	2.34
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	1.46	1.58	1.72	2.18
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	1.57	1.68	1.83	2.34
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	1.51	1.60	1.77	2.35
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	1.58	1.70	1.85	2.31
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	1.51	1.58	1.72	2.27
T7 (Testigo Absoluto)	1.45	1.55	1.72	2.24

Cuadro 19. Diámetro de tallo en mm, en plantas de S. officinarum L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 315 dds.

Tratamiento	150 DDS	165 DDS	180 DDS	316 DDS
T1 (Fósforo P 0% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	20.1	20.3	19.5	20.5
T2 (Fósforo P 25% de la dosis + (Myco Aply Endomaxx)	19.0	19.4	19.1	19.5
T3 (Fósforo P 50% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	19.2	19.6	19.5	20.2
T4 (Fósforo P 75% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	19.4	19.5	19.5	19.9
T5 (Fósforo P 100% de la dosis + Myco Aply Endomaxx)	19.5	20.1	19.6	19.9
T6 (Fertilización comercial N-P-K)	19.4	19.9	19.4	20.0
T7 (Testigo Absoluto)	19.0	19.4	19.2	19.7

Cuadro 20. Resumen de andevas de altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		30 DDS p-valor	45 DDS p-valor	60 DDS p-valor	75 DDS p-valor
Modelo	9	0.0056	0.0015	0.001	0.0001
Tratamiento	6	0.0093	0.0501	0.0862	0.07
Bloques	3	0.0242	0.0004	0.0001	0.0001
Error	18				
Total	27				
CV		9.23	14.08	14.86	12.89

Cuadro 21. Resumen de andevas de altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 90, 105, 110 y 135 dds

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		90 DDS p-valor	105 p-valor	120 p-valor	135 p-valor
Modelo	9	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002
Tratamiento	6	0.2930	0.4923	0.6575	0.7400
Bloques	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Error	18				
Total	27				
CV		13.4	13.45	13.45	11.59

Cuadro 22. Resumen de andevas de Altura de plantas en m de S. officinarum L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 316 dds.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		150 DDS p-valor	165 DDS p-valor	180 DDS p-valor	316 DDS p-valor
Modelo	9	0.0001	0.0003	0.0035	0.0099
Tratamiento	6	0.7905	0.8371	0.9747	0.9644
Bloques	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003
Error	18				
Total	27				
CV		11.19	11.47	12.82	11.49

Cuadro 23. Resumen de andevas de población (Tallos * m/lineal) de S. officinarum L. por tratamiento a los 30, 45, 60 y 75 dds

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		30 DDS p-valor	45 DDS p-valor	60 DDS p-valor	75 DDS p-valor
Modelo	9	0.1763	0.0118	0.0287	0.0092
Tratamiento	6	0.2133	0.2537	0.3127	0.0959
Bloques	3	0.1838	0.0018	0.0054	0.0032
Error	18				
Total	27				
CV		19.38	17.83	17.95	13.69

Cuadro 24. Resumen de andevas de Población (Tallos * m/lineal) de S. officinarum L. por tratamiento a los 90, 105, 120, 135 dds.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		90 DDS p-valor	105 p-valor	120 p-valor	135 p-valor
Modelo	9	0.2425	0.0886	0.4766	0.1347
Tratamiento	6	0.4851	0.4477	0.8350	0.6757
Bloques	3	0.0989	0.0200	0.1377	0.0220
Error	18				
Total	27				
CV		17.77	13.77	13.93	14.19

Cuadro 25. Resumen de andevas de Población (Tallos * m/lineal) de S. officinarum L. por tratamiento a los 150, 165, 180, 316 dds.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		150 DDS p-valor	165 DDS p-valor	180 DDS p-valor	316 DDS p-valor
Modelo	9	0.2782	0.1493	0.1473	0.1942
Tratamiento	6	0.9663	0.8283	0.8325	0.5908
Bloques	3	0.0372	0.0183	0.0178	0.0494
Error	18				
Total	27				
CV		19.95	14.69	14.64	8.58

Cuadro 26. Resumen de andevas de diámetro de tallos en mm, en plantas de *S. officinarum* L. por tratamiento a los 150, 165, 180 y 315 dds.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura			
		150 DDS p-valor	165 DDS p-valor	180 DDS p-valor	316 DDS p-valor
Modelo	9	0.0508	0.0032	0.0113	0.0002
Tratamiento	6	0.7918	0.6133	0.9446	0.6913
Bloques	3	0.0041	0.0001	0.0004	0.0001
Error	18				
Total	27				
CV		5.56	4.03	4.04	4.12

Cuadro 27. Resumen de andevas para análisis foliares (cobre ppm).

Fuente de variación	Gl	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.0059	0.0181	0.5727	0.3887	0.000q	0.0414
Tratamiento	6	0.0015	0.0064	0.5562	0.2432	0.115	0.3887
Bloques	3	0.22	0.6026	0.4549	0.7111	<0.0001	0.0073
Error	18						
Total	27						
CV		28.81	35.88	164.62	23.09	46.7	42.59

Cuadro 28. Resumen de andevas para análisis foliares (Hierro ppm).

Fuente de variación	Gl	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.3056	0.0118	0.1042	0.0686	0.9784	0.0384
Tratamiento	6	0.4388	0.0324	0.8835	0.7187	0.9377	0.7344
Bloques	3	0.1788	0.0173	0.0094	0.0072	0.8884	0.0031
Error	18						
Total	27						
CV		15.19	34.94	15.17	39.61	33.7	39.73

Cuadro 29. Resumen de andevas para análisis foliares (Manganeso ppm).

Fuente de variación	Gl	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	<0.0001	<0.0001	0.0601	0.2758	0.68	0.0136
Tratamiento	6	<0.0001	<0.0001	0.2333	0.3508	0.8258	0.8416
Bloques	3	0.4911	0.8912	0.024	0.2067	0.3207	0.0006
Error	18						
Total	27						
CV		18.28	22.07	13.69	12.69	21.19	16.38

Cuadro 30. Resumen de andevas para análisis foliares (Zinc ppm).

Fuente de variación	Gl	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.0281	0.5631	0.0001	0.7049	0.0927	0.0002
Tratamiento	6	0.0203	0.593	0.3075	0.6504	0.4871	0.1707
Bloques	3	0.1927	0.3916	<0.0001	0.5765	0.0193	<0.0001
Error	18						
Total	27						
CV		20.62	159	159.97	25.5	69.59	24.51

Cuadro 31. Resumen de andevas para análisis foliares (Nitrógeno %).

Fuente de variación	G L	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	<0.0001	0.0139	0.0225	0.0313	0.027	0.0073
Tratamiento	6	0.0001	0.8788	0.6651	0.8923	0.9343	0.9971
Bloques	3	0.0007	0.0006	0.0017	0.0017	0.0013	0.0002
Error	18						
Total	27						
CV		6.12	8.08	5.46	7	7.74	7.6

Cuadro 32. Resumen de andevas para análisis foliares (Calcio %).

Fuente de variación	G L	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.0002	0.0684	0.0147	0.3948	0.1471	0.0497
Tratamiento	6	<0.0001	0.0409	0.3257	0.4867	0.5204	0.3027
Bloques	3	0.7058	0.3707	0.0019	0.2531	0.0373	0.0129
Error	18						
Total	27						
CV		11.04	22.17	14.94	21.28	12.28	12.98

Cuadro 33. Resumen de andevas para análisis foliares (Magnesio %).

Fuente de variación	G L	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.3936	0.3862	0.6781	0.1903	0.1833	0.0114
Tratamiento	6	0.4497	0.2616	0.7318	0.8836	0.5613	0.7788
Bloques	3	0.2408	0.633	0.4155	0.0234	0.0483	0.0006
Error	18						
Total	27						
CV		12.58	21.15	10.81	11.02	14.43	7.97

Cuadro 34. Resumen de andevas para análisis foliares (Potasio %).

Fuente de variación	G L	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.1833	0.5835	0.0001	0.0001	0.0322	0.0004
Tratamiento	6	0.6361	0.5233	0.8963	0.5161	0.3761	0.5103
Bloques	3	0.0399	0.5264	<0.0001	<0.0001	0.0052	<0.0001
Error	18						
Total	27						
CV		16.9	26.19	10.24	9.88	15.96	9.65

Cuadro 35. Resumen de andevas para análisis foliares (Fosforo %).

Fuente de variación	G L	DDS					
		30 p-valor	60 p-valor	90 p-valor	120 p-valor	150 p-valor	180 p-valor
Modelo	9	0.0472	0.6731	0.0481	0.0043	0.0414	0.0001
Tratamiento	6	0.0226	0.5168	0.9219	0.6906	0.5354	0.7702
Bloques	3	0.4724	0.7497	0.0029	0.0002	0.0051	<0.0001
Error	18						
Total	27						
CV		7.45	24.05	10.08	7.61	10.86	5.2

Cuadro 36. Prueba de medias tukey para análisis foliares (cobre ppm) por tratamientos a los 30 dds.

```

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.43095
Error: 2.1561 gl: 18
Tratamiento Medias n E.E.
-----
4          6.39  4 0.73 A
3          6.33  4 0.73 A
5          6.26  4 0.73 A
2          5.89  4 0.73 A
1          5.59  4 0.73 A
7          3.42  4 0.73 A B
6          1.80  4 0.73 B
-----
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

```

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Cuadro 37. Prueba de medias tukey para análisis foliares (manganeso ppm) por tratamientos a los 30 dds.

```

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=28.91658
Error: 153.1573 gl: 18
Tratamiento Medias n E.E.
-----
7          99.10  4 6.19 A
6          86.02  4 6.19 A
2          79.54  4 6.19 A B
1          76.85  4 6.19 A B
5          53.68  4 6.19 B C
3          39.50  4 6.19 C
4          39.26  4 6.19 C
-----
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

```

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Cuadro 38. Prueba de medias tukey para análisis foliares (zinc ppm) por tratamientos a los 30 dds.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.80103				
Error: 4.2219 gl: 18				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
7	7.65	4	1.03	A
6	8.57	4	1.03	A
2	9.34	4	1.03	A B
1	9.92	4	1.03	A B
4	9.98	4	1.03	A B
3	10.68	4	1.03	A B
5	13.61	4	1.03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Cuadro 39. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Fosforo %) por tratamiento a los 30 dds.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03816				
Error: 0.0003 gl: 18				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	0.24	4	0.01	A
4	0.24	4	0.01	A
6	0.22	4	0.01	A B
7	0.22	4	0.01	A B
2	0.22	4	0.01	A B
3	0.21	4	0.01	A B
1	0.20	4	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

Cuadro 40. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Calcio %) por tratamientos a los 30 dds.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05593				
Error: 0.0006 gl: 18				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4	0.26	4	0.01	A
5	0.26	4	0.01	A
2	0.25	4	0.01	A
1	0.22	4	0.01	A B
3	0.21	4	0.01	A B C
7	0.18	4	0.01	B C
6	0.16	4	0.01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

**Cuadro 41. Prueba de medias tukey para análisis foliares
(Nitrógeno %) por tratamientos a los 30 dds.**

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29944					
Error: 0.0164 gl: 18					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
5	2.34	4	0.06	A	
4	2.29	4	0.06	A	
3	2.22	4	0.06	A	B
2	2.12	4	0.06	A	B C
6	1.94	4	0.06	B	C
1	1.89	4	0.06		C
7	1.86	4	0.06		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

**Cuadro 42. Prueba de medias tukey para análisis foliares (cobre
ppm) por tratamientos a los 60 dds.**

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.93786					
Error: 0.6878 gl: 18					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
2	1.30	4	0.41	A	
3	1.51	4	0.41	A	B
1	1.60	4	0.41	A	B
4	2.21	4	0.41	A	B
7	3.02	4	0.41	A	B
6	3.11	4	0.41	A	B
5	3.43	4	0.41	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

**Cuadro 43. Prueba de medias tukey para análisis foliares (Hierro
ppm) por tratamientos a los 60 dds.**

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=68.60311					
Error: 862.0482 gl: 18					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
4	53.62	4	14.68	A	
3	66.93	4	14.68	A	B
2	69.46	4	14.68	A	B
5	81.48	4	14.68	A	B
1	91.58	4	14.68	A	B
7	93.04	4	14.68	A	B
6	132.16	4	14.68	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

**Cuadro 44. Prueba de medias tukey para análisis foliares
(Manganeso ppm) por tratamientos a los 60 dds.**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=16.77623					
Error: 51.5505 gl: 18					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
2	51.08	4	3.59	A	
1	49.17	4	3.59	A	
3	47.52	4	3.59	A	
7	22.53	4	3.59	B	
6	22.12	4	3.59	B	
5	19.52	4	3.59	B	
4	15.75	4	3.59	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Elaborado por el autor en INFOSTAT (2022).

**Cuadro 45. Toneladas de azúcar por
hectárea por parcela resultados de
muestreos precosecha**

Trat.	Bloque	Pol % Caña	kilogramos/tm	TCH	TAH
1	I	18.39	183.88	105.74	19.44
2	I	17.34	173.36	78.64	13.63
3	I	17.17	171.72	79.97	13.73
4	I	15.27	152.73	111.16	16.98
5	I	16.74	167.36	100.32	16.79
6	I	16.79	167.93	80.74	13.56
7	I	17.43	174.35	62.76	10.94
1	II	17.71	177.14	58.93	10.44
2	II	17.49	174.92	48.98	8.57
3	II	18.12	181.17	62.12	11.25
4	II	17.88	178.79	53.64	9.59
5	II	17.52	175.17	86.99	15.24
6	II	17.01	170.07	93.49	15.90
7	II	17.37	173.69	86.16	14.97
1	III	16.57	165.72	34.82	5.77
2	III	17.85	178.46	45.66	8.15
3	III	17.38	173.77	42.86	7.45
4	III	17.92	179.20	68.81	12.33
5	III	18.08	180.84	47.77	8.64
6	III	17.70	176.98	40.24	7.12
7	III	16.56	165.63	40.69	6.74
1	IV	17.94	179.36	60.71	10.89
2	IV	17.43	174.26	61.10	10.65
3	IV	17.29	172.87	77.23	13.35
4	IV	18.16	181.58	53.13	9.65
5	IV	16.65	166.46	43.24	7.20
6	IV	17.91	179.11	72.77	13.03
7	IV	16.62	166.21	61.22	10.18

Mazatenango, 19 enero de 2023.

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador
Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical
Centro Universitario de Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Doctor Otzoy:

Por este medio me dirijo a usted, deseando éxitos en la coordinación de la carrera.

El motivo de la presente es para informar que luego de haber asesorado y revisado el Trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICORRIZAS (*Glomus, sp.*) EN LA ASIMILACIÓN DE FÓSFORO EN *Saccharum officinarum L.*, FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU, GUATEMALA.”**, presentado por el estudiante T.P.A Kevin Alesandro Flores Tzuy, quien se indentificac con numero de carné 201641232 de la carrea de Ingeniería en Agronomía Topical y de conformidad con lo establecido en el reglamento de Trabajo de Graduación, doy visto bueno y aprobación, para que el estudiante pueda continuar con el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente y sin otra particularidad me suscribo.

Atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Agr. M. Sc. Carlos Arturo Esteban García
Profesor Asesor y Supervisor
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Mazatenango, 1 de febrero de 2023.

Licenciado Luis Carlos Muñoz López
Director en funciones
Centro Universitario del Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho

Señor Director en funciones:

Con fundamento en el normativo de Trabajos de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante **T.P.A Kevin Alesandro Flores Tzuy**, quien se identifica con número de carné **201641232**, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICORRIZAS (*Glomus, sp.*) EN LA ASIMILACIÓN DE FÓSFORO EN *Saccharum officinarum L.*, FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU, GUATEMALA.”**, el cuál fue asesorado, por el Ing. Agr. M.Sc. Carlos Arturo Esteban García, profesor que hizo constar tal hecho, con nota que antecede.

Como Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante T.P.A Kevin Alesandro Flores Tzuy, ha cumplido con el normado, razón por lo que se somete a su juicio el documento que se acompaña para que continúe con el trámite correspondiente de graduación.

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, le reitero las muestras de mi consideración y estima. Deferentemente.

“Id y enseñad a todos”



Dr. Mynor Raúl Oztzy Rosales
COORDINADOR
Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-19-2023

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, veintisiete de marzo de dos mil veintitrés-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICORRIZAS (*Glomus*, sp.) EN LA ASIMILACIÓN DE FÓSFORO EN *Saccharum officinarum* L., FINCA TULULÁ, SAN ANDRÉS VILLA SECA, RETALHULEU, GUATEMALA”, del estudiante: TPA. Kevin Alesandro Flores Tzuy, carné 201641232 CUI: 3239 76638 1002 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director



/gris