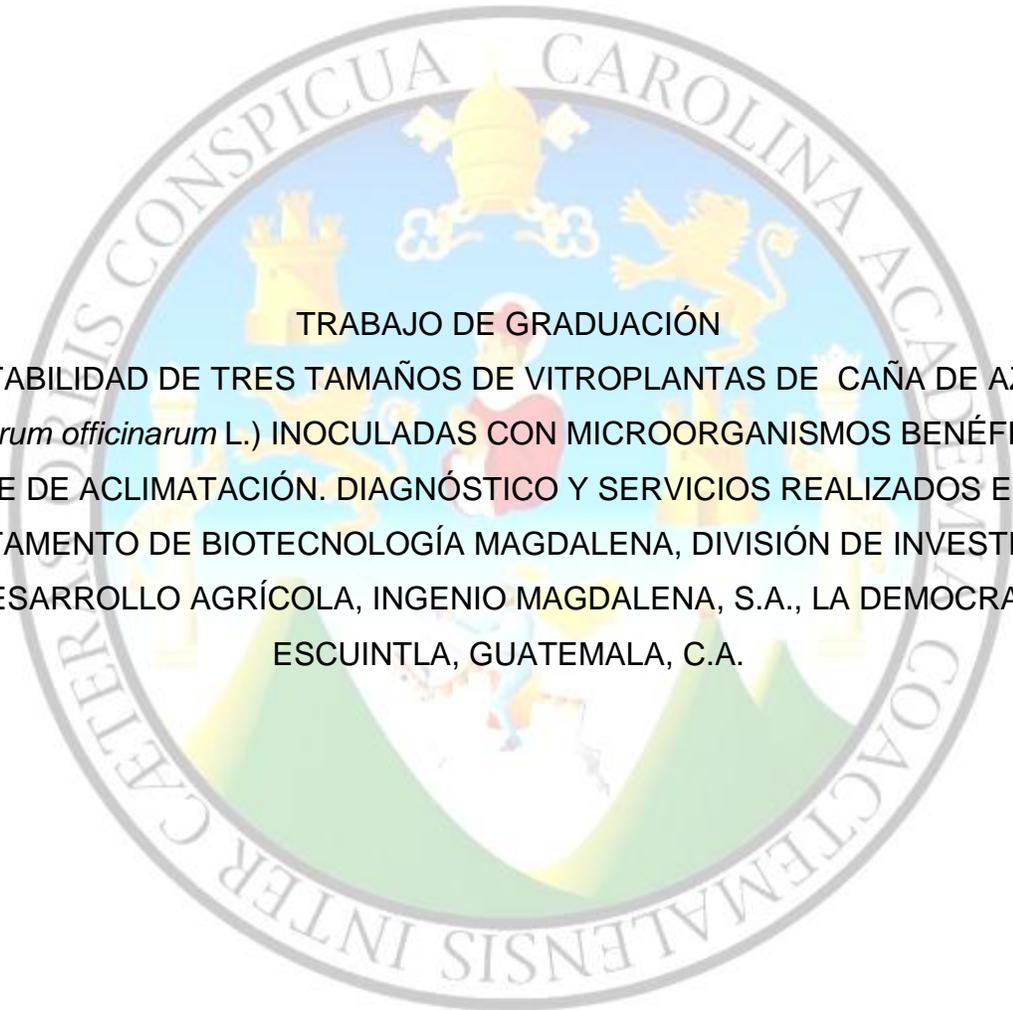


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN  
ADAPTABILIDAD DE TRES TAMAÑOS DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR  
(*Saccharum officinarum* L.) INOCULADAS CON MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN  
FASE DE ACLIMATACIÓN. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL  
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA MAGDALENA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN  
Y DESARROLLO AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA,  
ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

EVELYN ALEJANDRA GARCÍA SOLANO  
201015211

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN ADAPTABILIDAD DE TRES TAMAÑOS DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) INOCULADAS CON MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN FASE DE ACLIMATACIÓN. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA MAGDALENA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

EVELYN ALEJANDRA GARCÍA SOLANO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.Sc. Eberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Bachiller Industrial Milton Juan José Caná Aguilar
VOCAL QUINTO	Perito Agrónomo Cristian Alexander Méndez López
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016



Guatemala, octubre de 2016

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

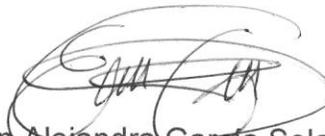
Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación adaptabilidad de tres tamaños de vitroplantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) inoculadas con microorganismos benéficos en fase de aclimatación. Diagnóstico y servicios realizados en el Departamento de Biotecnología Magdalena, División de Investigación y Desarrollo Agrícola, Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A, como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, suscribo la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Evelyn Alejandra García Solano  
201015211



## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**DIOS**

Por darme la vida, bendecirme cada día y permitirme alcanzar una meta más. Sin ti nada de esto fuera posible, infinitas gracias.

**MIS PADRES**

Irma Leticia Solano Osorio y Raúl Inocente García Carias. Porque cada uno de sus esfuerzos y sacrificios me ayudaron a llegar hasta este día y alcanzar esta gran meta. Gracias por todo su amor, apoyo incondicional y hacer de mí una mujer de bien. Son mi más grande motivación. Los amo.

**MIS ABUELOS**

María Alejandra del Carmen Carias (Q.E.P.D) y Antonio García (Q.E.P.D), por todo el cariño que me dieron en vida, los amo. Lidia Osorio y Lorenzo Solano, por su cariño y siempre estar pendientes de mí, los amo.

**MIS HERMANOS**

María José, Emerson y Byron, por apoyarme incondicionalmente, estar siempre pendientes de mi y por todo su cariño. Son mi motivación. Gracias por todo, Los amo.

**MIS SOBRINOS**

Marco Raúl y Rodrigo Matías, con mucho amor.

**FAMILIA EN GENERAL**

Por estar siempre pendientes de mi, por todo su cariño y oraciones. Gracias.

**MI NOVIO**

Luis López por tu paciencia, valiosos consejos y apoyo incondicional. Gracias por llenar de alegría mi corazón. Te amo mucho.

**MIS AMIGOS**

Por todo su apoyo, consejos y momentos compartidos. Gracias por su amistad. Los quiero.



## TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

**GUATEMALA**

Mi patria.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**

Alma mater, fuente de conocimiento y sabiduría.

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por formarme como profesional y brindarme las herramientas para desempeñarme en el campo agrícola.

**LICEO JAVIER**

Por brindarme tan excelente educación que me es de mucha utilidad para desempeñarme en el área personal como en el área profesional.



## AGRADECIMIENTOS

A:

**Dr. Adalberto Rodríguez** por su supervisión profesional, su valioso apoyo durante el proceso de EPS y durante la realización de mi trabajo de graduación.

**Ing. Agr. Gustavo Álvarez** por su valiosa asesoría, apoyo y colaboración en la realización del documento de investigación.

**Ing. Agr. Edgar Solares** por el apoyo para la realización de mi EPS en Ingenio Magdalena, S.A.

**Licda. Ericka Ramos** por el apoyo para la realización de mi EPS en Ingenio Magdalena, S.A.

**Ing. Agr. Luis Guevara** por la confianza depositada en mi, su valioso apoyo, asesoría y conocimientos brindados durante la realización de mi EPS y documento de investigación.

**Ing. Agr. Estuardo López, Ing. Agr. Julia Blanco e Ing. Agr. Roberto Núñez** por todo su apoyo y conocimientos brindados durante la realización de mi EPS.

Personal de **Bioteología Magdalena** por su colaboración y apoyo durante la elaboración de mi EPS.

Empresa **ENDYPSA** por el apoyo brindado para la elaboración de mi trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO .....	1
1.1 PRESENTACIÓN .....	3
1.2 MARCO REFERENCIAL .....	4
1.2.1 Finca San Patricio .....	4
1.2.2 Descripción de inoculantes .....	5
1.3 OBJETIVOS .....	8
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2 Objetivos específicos .....	8
1.4 METODOLOGÍA .....	9
1.4.1 Fase de gabinete .....	9
1.4.2 Fase de campo .....	9
1.4.3 Fase de Gabinete final .....	9
1.5 RESULTADOS .....	10
1.5.1 Descripción Área de Aclimatación de Plantas .....	10
1.5.2 Análisis FODA .....	16
1.5.3 Descripción principales problemas .....	17
1.6 CONCLUSIONES .....	19
1.7 RECOMENDACIONES .....	20
1.8 BIBLIOGRAFÍA .....	21
CAPÍTULO II: INVESTIGACIÓN .....	23
1.9 PRESENTACIÓN .....	25
1.10 MARCO TEÓRICO .....	27
1.10.1 Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> L.) .....	27
1.10.2 Micropropagación de plantas .....	34
1.10.3 Microorganismos benéficos .....	36
1.11 HIPÓTESIS .....	41
1.12 OBJETIVOS .....	41
1.12.1 Objetivo General .....	41

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.13 Objetivos Específicos .....	41
1.14 METODOLOGÍA .....	42
1.14.1 Tratamientos .....	42
1.14.2 Diseño experimental .....	42
1.14.3 Modelo estadístico .....	44
1.14.4 Establecimiento de la investigación .....	44
1.15 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
1.15.1 Supervivencia .....	50
1.15.2 Prevalencia y causa de enfermedades .....	54
1.15.3 Índice de crecimiento foliar .....	56
1.15.4 Índice de crecimiento radicular .....	65
1.16 CONCLUSIONES.....	72
1.17 RECOMENDACIONES .....	73
1.18 BIBLIOGRAFÍA .....	74
1.19 ANEXOS .....	77
CAPÍTULO III: SERVICIOS .....	93
1.20 PRESENTACIÓN.....	95
1.21 Evaluación de sustratos comerciales para aclimatación de vitroplantas de Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	96
1.21.1 Objetivos .....	96
1.21.2 Metodología .....	96
1.21.3 Resultados .....	99
1.22 Evaluación de los sustratos Piedra pómez, perlita y vermiculita para la emergencia de yemas de caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) con fines de extracción de meristemas, en Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A. ....	102
1.22.1 Objetivos .....	102
1.22.2 Metodología .....	102
1.22.3 Resultados .....	105
1.22.4 Evaluación .....	107

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.23 Evaluación de la acción de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes de caña de azúcar de la variedad comercial CP72 2086 en Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A. ....	108
1.23.1 Objetivos .....	108
1.23.2 Metodología .....	108
1.23.3 Resultados .....	113
1.23.4 Evaluación .....	117



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1 Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar. ....	28
Figura 2 Parte baja de la caña de azúcar.....	30
Figura 3 Aleatorización de unidades experimentales utilizada para establecimiento de investigación en Invernaderos y Área de Aclimatación del Ingenio Magdalena, S.A.....	45
Figura 4 Gráfico de sobrevivencia para factor “tamaño inicial de plantas” a 90 días de aclimatación, en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	50
Figura 5 Gráfico de sobrevivencia para Factor “productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación, en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	51
Figura 6 Gráfico de porcentaje de sobrevivencia para interacción entre factores “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de planta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	52
Figura 7 Gráfico de prevalencia de enfermedades para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	54
Figura 8 Gráfico de prevalencia de enfermedades para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015 .....	55
Figura 9 Gráfico de porcentaje de plantas sanas para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	55
Figura 10 Gráfico de longitud del tallo (cm) para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	57

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 11 Gráfico de longitud del tallo (cm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	58
Figura 12 Gráfico de longitud del tallo para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	59
Figura 13 Gráfico de diámetro del tallo (mm) para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación. ....	61
Figura 14 Gráfico de diámetro del tallo (mm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	62
Figura 15 Gráfico de diámetro del tallo para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplanta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	63
Figura 16 Gráfico de longitud radicular (cm) para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	65
Figura 17 Gráfico de longitud radicular (cm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	66
Figura 18 Gráfico de longitud radicular para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	67
Figura 19 Gráfico para peso seco radicular (g) para factor “tamaño inicial de vitroplanta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	68
Figura 20 Gráfico para peso seco radicular (g) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla. ....	69

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 21 Gráfico de peso seco radicular para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	70
Figura 22A Meristemo de caña de azúcar en tubo de ensayo del Área de Biotecnología del Ingenio Magdalena, S.A.....	77
Figura 23A Vitroplantas de caña de azúcar en diferentes etapas de micropropagación del Laboratorio de Biotecnología del Ingenio Magdalena, S.A.....	77
Figura 24A Dimensiones de una bandeja múltiple de 67 celdas.....	77
Figura 25A Establecimiento de la evaluación dentro del invernadero en Ingenio Magdalena, S.A. , La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.....	78
Figura 26A Aplicación drench de los productos evaluados utilizando bomba de mochila en Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.....	78
Figura 27A Vitroplantas de caña de azúcar fuera de invernadero a 90 días de aclimatación en Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	78
Figura 28A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial grande a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	79
Figura 29A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial mediano a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	80
Figura 30A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial pequeño a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	81
Figura 31A Gráfico de sobrevivencia y presencia de enfermedades para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	87
Figura 32A Gráfico de longitud (cm) y biomasa (g) radicular para factor “inoculantes de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	88

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 33A Gráfico de longitud (cm) y diámetro (mm) del tallo para factor “inoculante a base de microorganismos benéficos” 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla.....	88
Figura 34A Análisis fitopatológico de muestras de plantas que presentaron síntomas de enfermedades realizado en el Centro De Diagnostico Parasitológico de la USAC, Ciudad de Guatemala. Enero,2015. ....	89
Figura 35A Análisis fitopatológico de raíces de plantas que presentaron síntomas de enfermedad, realizado en el Centro De Diagnostico Parasitológico de la USAC, Ciudad de Guatemala. Enero, 2015. ....	90
Figura 36 pH de sustratos a los 70 días después de establecimiento del ensayo. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014. ....	100
Figura 37 Siembra de la semilla de caña de azúcar en los diferentes sustratos a evaluar. ....	103
Figura 38 Semilla de caña de azúcar ya cubierta por los diferentes sustratos.....	103
Figura 39 Porcentaje de emergencia de yemas por tratamiento a los 4, 5, 6, 7, 10, y 11 días después de la siembra. La Democracia, Escuintla. ....	105
Figura 40 Longitud del brote (cm) por tratamiento a los 11 días después de la siembra. ....	106
Figura 41 Porcentaje de emergencia vrs. Porcentaje de aprovechamiento (Brotos ingresados a biofábrica).....	106
Figura 42 Croquis para evaluación de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes durante la siembra de caña de azúcar.....	109
Figura 43 Población (tallos/surco) a los 15, 30, 45, 75 y 90 días después del establecimiento del ensayo. ....	113
Figura 44 Porcentaje de emergencia a los 30 días después del establecimiento del ensayo.....	114
Figura 45 Población (tallos/metro lineal) a los 90días después del establecimiento del ensayo.....	114
Figura 46 Porcentaje de yemas germinadas, no germinadas y germinadas no emergidas a los 90 días de la siembra.....	115

**FIGURA****PÁGINA**

Figura 47	Peso total, peso foliar y peso radicular del surco central de cada parcela a los 90 días después del establecimiento del ensayo. ....	116
Figura 48	Biometría a los 90 días después del establecimiento del ensayo. ....	116



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 1 Contenido del producto inoculante a base de <i>Glomus</i> spp. a concentración alta (Aegis Irriga). .....	5
Cuadro 2 Contenido del producto inoculante a base de <i>Glomus</i> spp. a concentración baja (Aegis Microgránulo).....	6
Cuadro 3 Contenido del producto inoculante a base de <i>Trichoderma</i> sp. a concentración baja (Tifi). .....	6
Cuadro 4 Contenido del producto inoculante a base de <i>Trichoderma</i> sp. a concentración alta (Cóndor). .....	7
Cuadro 5 Sustratos existentes en el Área de Invernadero de Biotecnología Magdalena en La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A, septiembre, 2014. ....	14
Cuadro 6 Análisis FODA del Área de Aclimatación de Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A, septiembre, 2014.....	16
Cuadro 7 Extracción estimada de macro nutrimentos de la caña de azúcar en kg/TM de caña producida. ....	32
Cuadro 8 Principales plagas que afectan el cultivo de caña de azúcar en Guatemala. ..	32
Cuadro 9 Enfermedades que afectan el cultivo de caña de azúcar en Guatemala. ....	33
Cuadro 10 Factores que afectan el resultado de aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar.....	36
Cuadro 11 Descripción de tratamientos y dosis evaluada en la adaptabilidad de vitroplantas de caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	43
Cuadro 12 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	53

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 13 Resultado del análisis estadístico de medias del % de sobrevivencia para factor “Tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	53
Cuadro 14 Resultado del análisis estadístico de las medias del % de sobrevivencia para el factor “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	53
Cuadro 15 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para porcentaje de plantas sanas a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	56
Cuadro 16 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para longitud del tallo a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	59
Cuadro 17 Resultado del análisis estadístico de las medias de la longitud del tallo para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	60
Cuadro 18 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	63
Cuadro 19 Resultado del análisis estadístico de las medias del diámetro del tallo para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	64
Cuadro 20 Resultado del análisis estadístico de las medias del diámetro del tallo para el factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	64
Cuadro 21 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para longitud radicular a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	67

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 22 Resultado del análisis estadístico de las medias de la longitud radicular para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	68
Cuadro 23 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para peso seco radicular a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	70
Cuadro 24A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia del factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	82
Cuadro 25A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia del factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	82
Cuadro 26A sobrevivencia de interacciones entre factores “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	82
Cuadro 27A Porcentaje de plantas sanas para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	83
Cuadro 28A Porcentaje de plantas sanas para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. .	83
Cuadro 29A porcentaje de plantas sanas para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	83
Cuadro 30A Longitud radicular (cm) para factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	83

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 31A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para longitud radicular (cm) para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	84
Cuadro 32A Longitud radicular (cm) de interacciones entre Factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	84
Cuadro 33A Longitud del tallo (cm) para factor “Inoculante a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en la Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	84
Cuadro 34A Longitud el tallo (cm) a un nivel de significancia de 0.05 para el factor “Tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	84
Cuadro 35A Longitud de tallo para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla. Febrero, 2015. ...	85
Cuadro 36A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo (mm) del factor “inoculante a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	85
Cuadro 37A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo (mm) del factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	85
Cuadro 38A Diámetro del tallo (mm) para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. ....	86
Cuadro 39A Peso seco radicular (g) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	86

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 40A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para peso seco de la raíz (g) de factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.....	86
Cuadro 41A Peso seco de la raíz (g) de interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015. .	87
Cuadro 42A Síntomas de enfermedades de vitroplantas de caña de azúcar observadas durante aclimatación en La Democracia, Escuintla. Diciembre, 2014. ....	91
Cuadro 43 Nombre y descripción de tratamientos evaluados. ....	97
Cuadro 44 Porcentaje de sobrevivencia, pH y conductividad eléctrica obtenido para cada sustrato. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014. ....	99
Cuadro 45 Cuadro resumen de variables de respuesta medidas en el cual el dato de mayor valor esta marcado con color oscuro y el dato de menor valor con color claro. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.....	101
Cuadro 46 Fotografías sustratos evaluados según tratamiento. ....	104
Cuadro 47 Descripción y dosis de productos con microorganismos benéficos evaluados. ....	110



**TRABAJO DE GRADUACIÓN ADAPTABILIDAD DE TRES TAMAÑOS DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) INOCULADAS CON MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN FASE DE ACLIMATACIÓN. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA MAGDALENA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**RESUMEN**

Ingenio Magdalena es una empresa que se dedica a la producción de caña de azúcar, azúcar, alcohol y energía, busca garantizar la calidad varietal, con tecnología, sistemas y programas especializados en el estudio, análisis, reproducción y cultivo de caña de azúcar. Biotecnología Magdalena es el área del Ingenio Magdalena perteneciente al Departamento de Investigación y Desarrollo Agrícola, que se encarga principalmente de la producción de caña de azúcar por medio de propagación in vitro. El Departamento de Biotecnología Magdalena se divide en seis áreas: Laboratorio de Producción de Plantas (Biofábrica), Área de Aclimatación de Plantas, Laboratorio de Producción de Entomopatógenos, Área de Investigación en Control de Plagas, Área de Cultivos Varios y Área de Manejo de Desechos.

El Área de Aclimatación de Plantas es esencial debido a que en esta se lleva a cabo la adaptación de plantas de caña de azúcar que han sido propagadas en el Laboratorio de Producción de Plantas (Biofábrica). Se realizó el diagnóstico del Área de Aclimatación de Plantas en la cual se identificó que los principales problemas son: la alta mortandad de plantas de caña de azúcar durante la fase de aclimatación, no existe diversificación de manejo entre las plantas ornamentales, problemas de amarillamiento foliar en orquídeas del género *Trichocentrum* y presencia de plaga *Fungus gnat* en anturios.

Debido a la alta mortandad presente durante la etapa de aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar se realizó la investigación "Adaptabilidad de tres tamaños de vitroplantas

de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) inoculadas con microorganismos benéficos en fase de aclimatación”. Para la cual se evaluaron productos a base de los microorganismos benéficos *Glomus* spp. y *Trichoderma* spp. Para realizar la evaluación se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con arreglo bifactorial combinatorio, siendo el factor A “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” y el factor B “Tamaño inicial de vitroplantas”. Se evaluaron las variables sobrevivencia, prevalencia e incidencia de enfermedades, índice de crecimiento foliar, índice de crecimiento radicular y biomasa radicular. Los resultados muestran que estadísticamente no hubo diferencia significativa en la interacción de los factores A y B. El factor A mostró diferencia significativa en las variables sobrevivencia y diámetro de tallo, mientras que el factor B no mostró diferencia en las variables Incidencia y prevalencia de enfermedades. En el factor A se presentaron los mayores resultados en las plantas bajo el tratamiento testigo con 88.2% de sobrevivencia, las inoculadas con *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) con 88.2% de sobrevivencia, las inoculadas con *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) con 11.6cm de longitud de tallo, las inoculadas con *Trichoderma atroviride* concentración alta (Cóndor) con 4.6mm de diámetro de tallo y las inoculadas con *Trichoderma harzianum* con 0.61g de biomasa radicular. Se determinó la prevalencia e incidencia del hongo *Curvularia* spp., las plantas de tamaño inicial grande presentaron 88% de plantas sanas a los 75 días de aclimatación, mientras que las inoculadas con *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga) presentaron 89% de plantas sanas.

Como servicios se realizó la “Evaluación de sustratos comerciales para la aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)” del cual se obtuvo como resultado que el sustrato Projar es el mejor tratamiento ya que garantiza la sobrevivencia de la mayor cantidad de plantas. También se realizó la “Evaluación de los sustratos Perlita, Vermiculita y Piedra Pómez para la emergencia de yemas de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum* L.)” del cual se obtuvo que la combinación Vermiculita y Piedra Pómez en proporciones 1:1 fue el mejor tratamiento para la emergencia de yemas de caña de azúcar obteniendo mayor cantidad de yemas emergidas, mayor longitud de brotes y mayor cantidad de meristemos ingresados a la biofábrica. Por último, se realizó la

“Evaluación de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes de caña de azúcar” como resultado se obtuvo que *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) tuvo mayor resultado en el porcentaje de emergencia, porcentaje de yemas germinadas y mayor longitud de raíces.



## **CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE ACLIMATACIÓN DE PLANTAS DEL DEPARTAMENTO  
DE BIOTECNOLOGÍA MAGDALENA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, S.A.**



## 1.1 PRESENTACIÓN

Biología Magdalena es el área del Ingenio Magdalena que se encarga principalmente de la propagación in vitro de plantas de caña de azúcar. Su importancia radica en garantizar la calidad varietal de la caña de azúcar a través del Departamento de Biología, para producir plantas de caña de azúcar libres de enfermedades bacterianas sistémicas, raquitismo de la soca y escaldadura foliar. El Departamento de Biología Magdalena está integrado por el Laboratorio de Producción de Plantas (Biofábrica), Área de Aclimatación de Plantas, Laboratorio de Producción de Entomopatógenos, Área de Aclimatación de Plantas, Área de Investigación en Control de Plagas, Área de Cultivos Varios y Área de Manejo de Desechos.

El Área de Aclimatación de Plantas es esencial para el Departamento de Biología del Ingenio Magdalena debido a que en esta se lleva a cabo la adaptación de plantas de caña de azúcar que han sido producidas por medio de propagación in vitro, así también aclimatación de orquídeas, anturios, cola de quetzal y spath propagadas de la misma forma. La fase de aclimatación se divide en aclimatación I y aclimatación II. La primera fase dura 30 días y se lleva a cabo bajo condiciones controladas dentro del invernadero. La segunda fase dura 60 días y se lleva a cabo fuera del invernadero en condiciones más rústicas.

En el presente diagnóstico se determinó el estado actual del Área de Aclimatación de Plantas en el Departamento de Biología Magdalena, división de investigación y desarrollo agrícola, Ingenio Magdalena, S.A. Para lo cual se realizaron entrevistas semi estructuradas, observación, y análisis FODA con el fin de lograr una descripción del estado actual del Área de Aclimatación, caracterizar las sub áreas del Área de Aclimatación, identificar los procesos que se llevan a cabo en el Área de Aclimatación e identificar los principales problemas existentes.

## **1.2 MARCO REFERENCIAL**

### **1.2.1 Finca San Patricio**

#### **1.2.1.1 Localización y descripción del área**

Bioteología Magdalena se encuentra en la finca San Patricio, la cual es propiedad del Ingenio Magdalena, se ubica en el municipio de La Democracia perteneciente al departamento de Escuintla el cual está ubicado en la región sur del país, a 92 km de la ciudad capital, Guatemala (Flores 2012).

#### **1.2.1.2 Ubicación geográfica**

La ubicación geográfica de la Finca San Patricio se encuentra en las coordenadas (Vela 2012): 90°57'54.11" Oeste, 14°7'39.39" Norte

#### **1.2.1.3 Clima**

El clima de la Finca San Patricio es cálido y húmedo, la estación fría no está bien definida. La temperatura media anual es de 27 a 28 grados centígrados, y una precipitación promedio de 1200 a 1600 mm/año. Los meses con menor precipitación son de noviembre a abril. Las temperaturas máximas se observan desde el mes de marzo a agosto y las menores temperaturas en diciembre y enero (Flores 2012).

#### **1.2.1.4 Zona de vida**

La zona de vida según Holdrige, es una zona de vida húmeda sub-tropical, con zonas de transición sub- húmeda con partes de humedad semiárida (Flores 2012).

#### **1.2.1.5 Fisiografía**

La Finca San Patricio se localiza en la región fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico, que comprende el material aluvial cuaternario, que cubre estratos de la

plataforma continental, los ríos que corren desde el altiplano volcánico, arrastran gran cantidad de materiales; que al cambiar de pendiente son depositados, formando una planicie de poca ondulación y de aproximadamente cincuenta kilómetros a lo largo de la costa del pacífico (Flores 2012).

## 1.2.2 Descripción de inoculantes

### 1.2.2.1 Inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración alta.

Inoculante a base de las micorrizas *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae*, en polvo humectable, cuyo nombre comercial es Aegis Irriga de origen Italtollina. Se recomienda utilizar en sistemas de fertirrigación, durante la siembra o trasplante, realizar la aplicación de ambas cepas durante esta etapa del cultivo garantiza persistencia de la simbiosis micorriza-planta para la duración durante el ciclo del cultivo. Mejora el rendimiento y resistencia de la planta contra el estrés abiótico. El contenido se puede observar en el Cuadro 1.

**Cuadro 1** Contenido del producto inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis Irriga).

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Matriz orgánica	20%
Micorrizas totales	1400 esporas/g
<i>Glomus intraradices</i>	700 esporas/g
<i>Glomus mosseae</i>	700 esporas/g
<b>Alto parámetro</b>	
Ph	7
Formulación	Polvo
Granulometría	Fracción inferior a 120 micrones

Fuente: ITALPOLLINA

Para aplicaciones en invernadero se recomienda usar dosis de 100g/1000 plantas.

### 1.2.2.2 Inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración baja.

Inoculante en forma de microgránulo de las micorrizas *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae*, cuyo nombre comercial es Aegis Microgránulo de origen Italtollina. Es

adecuado para la aplicación en campos abiertos donde se utiliza microgranulador. Las dos cepas de micorrizas, aplicados durante la siembra o trasplante, garantizan la persistencia de la simbiosis micorriza para toda la duración del ciclo de cultivo, mejorar el rendimiento y la resistencia de las plantas al estrés abiótico.

**Cuadro 2** Contenido del producto inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis Microgránulo).

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Matriz orgánica	20%
Mycorrhizal fungi ( <i>Glomus</i> spp.)	50 esporas/g
<i>Glomus intraradices</i>	25 esporas/g
<i>Glomus mosseae</i>	25 esporas/g
<b>Alto parámetro</b>	
pH	6.5-7.0
Formulación	Microgránulo
Granulometría	1-2mm

Fuente: ITALPOLLINA

Para aplicaciones en invernadero se recomienda la dosis de 2-5g/planta.

### 1.2.2.3 Inoculante a base de *Trichoderma* sp. a concentración baja.

Inoculante a base de *Trichoderma atroviride* (cepa Italpollina seleccionada) de nombre comercial Tifi y origen Italpollina. Tiene acción anti-estrés y bioestimulante. Cepa con gran capacidad de adaptación al medio ambiente y gran reproductividad. Tiene acciones más rápidas y una mayor persistencia ya que tiene la capacidad de vivir en suelos que ocupan la rizófora y colonizan las raíces. El contenido se observa en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3** Contenido del producto inoculante a base de *Trichoderma* sp. a concentración baja (Tifi).

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Trichoderma atroviride</i>	$2 \times 10^8$ UFC/g
Micorrizas ( <i>Glomus</i> spp.)	10 esporas/g
<b>Alto parámetro</b>	
pH	6
Matriz orgánica	7%
Formulación	Micronizada en polvo humectable

Fuente: ITALPOLLINA

La dosis recomendada para semilleros y viveros es de 1-2 Kg/m<sup>3</sup> de suelo para semilleros y viveros.

#### 1.2.2.4 Inoculante a base de *Trichoderma* sp. a concentración alta.

Inoculante de *Trichoderma atroviride* (cepa Italpollina) de nombre comercial Cóndor, de origen Italpollina. Cepa seleccionada que difiere de otras por la gran capacidad de adaptación al entorno y, especialmente, por la gran reproducibilidad. Esto significa una acción más rápida y mayor persistencia, gracias a la capacidad de vivir en suelos que ocupan la rizósfera y colonizan las raíces. Acción bioestimulante y acción anti estrés.

Cuadro 4 Contenido del producto inoculante a base de *Trichoderma* sp. a concentración alta (Cóndor).

Componente	Cantidad
<i>Trichoderma atroviride</i>	2x10 <sup>9</sup> UFC/g
Micorrizas ( <i>Glomus</i> spp.)	10 esporas / g
<b>Alto parámetro</b>	
Matriz orgánica	7%
Formulación	Polvo mojable por aspersión

Fuente: ITALPOLLINA

#### 1.2.2.5 *Trichoderma harzianum* Cepa Magdalena

*Trichoderma harzianum* cepa Magdalena, es la cepa que se reproduce en el Laboratorio de Producción de Entomopatógenos del Departamento de Biotecnología del Ingenio Magdalena. La dosis recomendada por el Laboratorio de Producción de Entomopatógenos es de 3 a 5x10<sup>12</sup> UFC/ha, sin embargo esta puede variar según la viabilidad del producto.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Determinar el estado actual del Área de Aclimatación de Plantas del Departamento de Biotecnología Magdalena.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar las subáreas que componen el Área de Aclimatación de Biotecnología Magdalena.
- Identificar los procesos que se llevan a cabo en el Área de Aclimatación de Biotecnología Magdalena.
- Identificar principales problemas presentes en el Área de Aclimatación de Biotecnología Magdalena.

## **1.4 METODOLOGÍA**

### **1.4.1 Fase de gabinete**

Caracterización del Área de Aclimatación de Plantas realizando una primera investigación por medio de fuentes secundarias como libros, tesis, manuales, etc. y elaborando entrevistas semiestructuradas para utilizarse en la fase de campo.

### **1.4.2 Fase de campo**

Se llevó a cabo realizando un recorrido por el Área de Aclimatación en el cual se realizaron observaciones, entrevistas semiestructuradas y se realizó la toma de datos. Se observó las características de las subáreas del Área de Aclimatación, se describió los procesos que se llevan a cabo y se realizó un sondeo identificando los principales problemas existentes en el área.

### **1.4.3 Fase de Gabinete final**

Se realizó la organización con lo cual se realizó el análisis de los mismos, para esto se realizó un análisis FODA que fue utilizado para elaborar propuestas de solución a los principales problemas.

## **1.5 RESULTADOS**

### **1.5.1 Descripción Área de Aclimatación de Plantas**

El Área de Aclimatación de Plantas es en donde se lleva a cabo la adaptación de plantas que han sido producidas por medio de técnicas de cultivo in vitro en el Laboratorio de Propagación de Plantas (Biofábrica). En esta área se encuentra una gran variedad de plantas entre las cuales se puede mencionar: caña de azúcar, orquídeas, spath, cola de quetzal y anturios. El Área de Aclimatación de Plantas está conformada por cuatro áreas las cuales son: Invernadero, Aclimatación I, Aclimatación II, Aclimatación IV y el Umbráculo.

#### **1.5.1.1 Invernadero**

En esta área se lleva a cabo la fase I de aclimatación de plantas en la cual las plantas son trasplantadas a sustrato sólido y se les da condiciones de alta humedad relativa, temperatura media y baja luz solar.

El invernadero es de tipo multicapilla con 4 divisiones, en las cuales varían las condiciones de luz, Temperatura y humedad relativa específicas para las plantas que ahí se encuentran. Cuenta con colchón de humedad en la pared del lado izquierdo, ventiladores en la pared del lado derecho, pantalla térmica en el techo y cortinas laterales, estos son manejados manualmente dependiendo de si ya hace mucho calor o está nublado, son útiles para regular la temperatura, mantener la humedad relativa deseada, y controlar la intensidad de luz que reciben las plantas. El invernadero está programado para que se extienda la pantalla térmica de 10 am a 3pm. Y de esta forma se regula la temperatura y se reduce la intensidad lumínica. El invernadero cuenta con sensores que detectan las altas temperaturas y activan los ventiladores de forma automática. El colchón húmedo y cortinas laterales son activados de forma manual.

Las divisiones se describen a continuación:

## A. Primera División

En esta división se lleva a cabo la primera fase de aclimatación de las plantas de caña de azúcar provenientes del Laboratorio de Producción de Plantas (Biofábrica). Las vitroplantas son colocadas en bandejas múltiples y utilizando como sustrato una mezcla de los sustratos comerciales Pinstруп y BM2 en proporciones 3:1. En menor cantidad también se encuentran plantas de anturios, spath y orquídeas que llevan poco tiempo en fase de aclimatación por lo cual se encuentran jóvenes y aun susceptibles a plagas y enfermedades. En esta división se encuentra también una pequeña área en donde se realiza la preparación de bandejas para la siembra y la siembra de las vitroplantas de caña de azúcar.

En esta división se lleva a cabo los siguientes procesos:

- **Preparación de bandejas:** Se realiza la mezcla de sustratos comerciales Pinstруп y BM2 en proporciones 3:1 al cual se le agrega fertilizantes de liberación lenta Osmocote y Basacote. Con dicha mezcla se llenan las bandejas múltiples y luego son llevadas al área de siembra.
- **Siembra de vitroplantas de caña de azúcar:** Para realizar la siembra de vitroplantas de caña de azúcar primero se realiza la desinfección de las plantas sumergiéndolas en un bactericida, luego se realiza la separación y clasificación de plantas según tamaño y luego se realiza la siembra de las mismas. La siembra es realizada de forma manual.
- **Manejo de vitroplantas de caña de azúcar:** Se realiza hidratación cada vez que el sustrato lo requiere, lo cual es aproximadamente 4 veces al día. Se realiza fertilización foliar cada 8 días y control de plagas y enfermedades cada 3 u 8 días según el estado de las plantas.

## B. Segunda División

En esta división se encuentran las orquídeas, plantas de la familia Orchideaceae, que requieren alta humedad relativa y temperaturas medias. En esta división se encuentran orquídeas de los géneros Phalaenopsis, Dendrobium y Trichocentrum. Las orquídeas son agrupadas según colección, variedad y estado fenológico. Según su estado fenológico las orquídeas se dividen entre las que no tiene flor, las que tienen botones florales, las que tienen flores y las que han sido polinizadas.

En esta división se lleva a cabo los siguientes procesos:

- **Preparación de macetas para siembra de orquídeas, anturios y cola de quetzal:** Se realiza la preparación de sustrato con el cual se llenan las macetas. El sustrato utilizado para la siembra de orquídeas es una mezcla de corteza, pelo de coco, piedra pómez y peatmoss. El sustrato para la siembra de anturios y cola de quetzal es una mezcla de Suelo, Pinstруп, BM2, Piedra pómez y fertilizantes de liberación lenta.
- **Siembra de orquídeas, anturios y cola de quetzal:** Para realizar la siembra de orquídeas, anturios o cola de quetzal, primero se desinfectan las plantas provenientes de Laboratorio de Producción de Plantas, se realiza la separación y clasificación de plantas según tamaño y luego se realiza la siembra.
- **Polinización de orquídeas:** La polinización de orquídeas se lleva a cabo con el fin de obtener vainas para ser ingresadas al Laboratorio de Producción de Plantas (biofábrica). Para realizar la polinización se selecciona las orquídeas con las mejores características ya que de estas se originara toda una colección de orquídeas.
- **Manejo de orquídeas, anturios y cola de quetzal:** Se realiza fertirriego cada 4 días, fertilización foliar cada 8 días en orquídeas, fertilización foliar todos los días en

anturios y cola de quetzal y control de plagas y enfermedades cada 3 u 8 días según lo requiera la planta.

### **C. Tercera División**

En esta división se encuentran en mayor cantidad spath y en menor cantidad anturios. Las spath son producidas también en la biofábrica, pero la mayoría de ellas son prestadas para ornamentación y regresan para recuperación dentro del invernadero. Por esta razón algunas spath se encuentran en mal estado.

Procesos que se llevan a cabo en esta división:

- **Preparación de bandejas para siembra de spath:** Se prepara el sustrato que consiste en una mezcla de suelo, pinstrup, BM2, Piedra pómez y fertilizantes de liberación lenta. Se llenan las bandejas multiceldas para la siembra.
- **Siembra de spath:** Se realiza la desinfección de spath sumergiéndolas en un bactericida, luego se realiza la división y agrupación por tamaño y por último se realiza la siembra.
- **Manejo de spath y anturios:** Se realiza fertirriego cada 4 días, fertilización foliar todos los días y control de plagas y enfermedades cada 3 u 8 días según lo requiera la planta.

### **D. Cuarta División**

Actualmente es utilizada para el almacenamiento de diferentes pacas de sustratos comerciales, productos químicos y materiales que son utilizados dentro del invernadero.

En esta área hay pacas de los siguientes sustratos:

Cuadro 5 Sustratos existentes en el Área de Invernadero de Biotecnología Magdalena en La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A, septiembre, 2014.

Sustrato	Descripción
Pindstrup	Materia Seca
BM2	Turba de sfagnofina (70-80%) perlita y vermiculita
Projar	Turba Rubia
Berger	Turba de Sphaigne
Blonde Golden	Turba rubia
Pelo de Coco	
Piedra pómez	

#### 1.5.1.2 Aclimatación I, II, Y IV.

Estas áreas están ubicadas en diferentes lugares del Departamento de Biotecnología Magdalena, sin embargo, tienen el mismo fin y en ellas se lleva a cabo los mismos procesos. Dichas área son utilizada para la segunda fase de aclimatación en la cual las plantas están en un área con condiciones más parecidas a las de campo, en esta área las bandejas de plantas de caña de azúcar son colocadas sobre mesas en las cuales pasan 60 días hasta ser enviadas a campo para semillero semicomercial. Estas áreas no tienen protección de ningún tipo, por lo cual se encuentra al aire libre.

Procesos que se llevan a cabo en estas áreas:

- **Manejo de plantas de caña de azúcar:** Se realiza fertirriego todos los días, hidratación todos los días, fertilización foliar cada 8 días y control de plagas y enfermedades cada 3 u 8 días según lo requieran las plantas.
- **Monitoreo de mortandad:** Se realiza el conteo de plantas muertas con el fin de llevar un control de la cantidad de plantas disponibles para ser enviadas a campo.
- **Rellenado de bandejas:** Las bandejas multiceldas de caña de azúcar son “Retupidas” con el fin de rellenar los espacios que, por diferentes causas, no están ocupadas por plantas. Esta actividad se realiza de forma manual.

### 1.5.1.3 Umbráculo

El umbráculo se encuentra a un lado del invernadero y es utilizado para la segunda fase de aclimatación de orquídeas, anturios, cola de quetzal y spath. En este también se encuentra otras plantas ornamentales como bromelias. También es utilizada para realizar la producción de meristemos que son ingresados a la biofábrica los cuales son utilizados para a partir de estos producir plantas de caña de azúcar. El umbráculo cubre las mesas con el fin de reducir la luminosidad.

Procesos que se llevan a cabo en esta área:

- **Manejo de plantas ornamentales:** Se lleva a cabo el fertirriego cada 8 días, hidratación todos los días, fertilización foliar cada 8 días y control de plagas y enfermedades cada cinco días.
- **Preparación de canastas para la emergencia de yemas de caña de azúcar:** Para realizar la preparación de canastas primero se realiza la desinfección de tela, canasta y piedra pómez que será utilizada para la emergencia de yemas. La tela es colocada en la canasta y tiene el fin de evitar que la piedra pómez se salga por los agujeros de la canasta. Por último se agrega la piedra pómez a cada una de las canastas.
- **Siembra de yemas de caña de azúcar:** Se realiza la siembra de yemas de caña de azúcar teniendo cuidado de que todas las yemas vayan en la misma dirección para que los meristemos emerjan todos hacia el mismo lado.
- **Manejo de yemas de caña de azúcar:** Se realiza hidratación todos los días y fertirriego una vez después de realizada la siembra.
- **Recolección de Meristemos:** Al tener la mayor cantidad de yemas emergidas se procede a extraer los brotes de caña de azúcar que contienen los meristemos que

será ingresado a la biofábrica para ser utilizado como explante para la micropropagación de plantas de caña de azúcar.

### 1.5.2 Análisis FODA

Se realizó el análisis FODA en el cual se describen las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para el Área de Invernaderos de Biotecnología Magdalena.

**Cuadro 6 Análisis FODA del Área de Aclimatación de Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A, septiembre, 2014.**

<b><u>Fortalezas</u></b>	<b><u>Debilidades</u></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura</li> <li>• Recursos materiales como sustratos, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, etc.</li> <li>• Recursos humanos para realizar los procesos de siembra y manejo de las plantas.</li> <li>• Recurso económico para inversión.</li> <li>• Producción de microorganismos benéficos en Biotecnología Magdalena.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay diversificación de manejo entre cultivos.</li> <li>• No se realizan calibraciones a la hora de realizar aplicaciones.</li> <li>• No se cuenta con potenciómetro para determinar intervalos de riego.</li> </ul>
<b><u>Oportunidades</u></b>	<b><u>Amenazas</u></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda de pilones de Caña de azúcar para semillero semicomercial.</li> <li>• Demanda de Orquídeas de los diferentes géneros.</li> <li>• Nuevas tecnologías para uso en invernaderos y campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plagas y enfermedades en los distintos cultivos.</li> </ul>

### 1.5.3 Descripción principales problemas

#### - **Mortandad de pilones de caña de azúcar**

La mortalidad de caña de azúcar llega hasta un 41% en algunas variedades lo cual genera una gran pérdida de pilones. La fase de aclimatación es determinante para estas plantas que deben adaptarse al medio natural y a un sustrato sólido. Entre los factores que pueden afectar el proceso de aclimatación de plantas de caña de azúcar es el proceso de la propagación In Vitro, el sustrato utilizado en la aclimatación, las condiciones climáticas, condiciones controladas, el riego, manejo del material y estado fitosanitario.

#### - **Amarillamiento de orquídeas del genero *Trichocentrum***

Estas plantas se pueden observar de coloración amarillenta dentro del invernadero, mientras que su color normal es verde. Las causas de esta coloración se deben a que la planta no se encuentra en las condiciones que requiere o que no está recibiendo los nutrientes necesarios.

#### - **Plaga *Fungus gnat* en anturios**

A causa del reciente cambio de plástico en el invernadero se expuso las plantas a la plaga de *Fungus gnat* que genero perdidas de plantas de anturio recién trasplantadas la cual afectó a los anturios más pequeños alimentándose de la base del tallo y raíz.

#### - **No hay diversificación de manejo entre orquídeas, anturios y spath**

Los productos aplicados para fertirriego, fertilizaciones foliares, control de plagas y enfermedades son similares en las plantas de orquídeas, anturios y spath, teniendo estos diferentes requerimientos nutricionales y siendo afectadas por diferentes plagas y enfermedades.

### - **Fumagina en orquídeas**

Se observó enfermedades por hongo y por bacteria en orquídeas, pero la que se observó más fue contaminación por Fumagina, la cual se pudo observar con mucha intensidad en plantas adultas y que afecta el aspecto visual de la planta, que es lo más importante en una planta ornamental.

## 1.6 CONCLUSIONES

- El Área de Aclimatación cuenta con la infraestructura recurso material y humano para la producción de pilones de Caña de azúcar y plantas ornamentales de buena calidad.
- El Área de Aclimatación está conformado por el Invernadero en donde se realiza la primer fase de aclimatación de plantas, aclimatación I, II y IV en donde se realiza la segunda fase de aclimatación de plantas de caña de azúcar y umbráculo en donde se realiza la segunda fase de aclimatación de ornamentales y emergencia de meristemas de caña de azúcar.
- En el Área de Aclimatación se lleva a cabo los procesos de producción de meristemas para ingreso a la biofábrica, preparación de sustrato y siembra de plantas provenientes de la biofábrica, manejo de plantas en fase de aclimatación I y II, monitoreo de mortandad y preparación de plantas para ser enviadas a campo.
- Se determinó que existe alta mortandad en plantas de caña de azúcar en fase de aclimatación, existe enfermedades sin controlar en orquídeas y anturios y no existe diversificación de manejo en orquídeas, anturios y spath.

## 1.7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda diversificar el manejo de las plantas ornamentales (orquídeas, anturios y spath) en fase de aclimatación atendiendo a las diferentes necesidades de cada una de ellas.
- Se recomienda realizar análisis de deficiencia de nutrientes y análisis fitopatológico a las plantas de orquídeas del genero *Trichocentrum* que presentan amarillamiento foliar.
- Se recomienda realizar prácticas de manejo integrado de plagas para la erradicación de la plaga *Fungus gnat* identificada en plantas de Spath.
- Se recomienda la realización de investigaciones en torno a la mortandad de plantas de caña de azúcar para mejorar la sobrevivencia de la misma.

## 1.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Flores, JI. 2012. Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San Patricio en el municipio de La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A. (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2731.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2731.pdf)
2. ITALPOLLINA, IT. Beneficial microbials (en línea). Italia. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://www.italpollina.com/en/Product/85/BENEFICIAL\\_MICROBIALS](http://www.italpollina.com/en/Product/85/BENEFICIAL_MICROBIALS)
3. Vela, TP. 2012. Trabajo de graduación realizado en Biotecnología Magdalena (BIOMAG), División de Investigación y Desarrollo Agrícola, Ingenio Magdalena, La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 139 p.





## **CAPÍTULO II**

### **ADAPTABILIDAD DE TRES TAMAÑOS DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) INOCULADAS CON MICROORGANISMOS BENEFICOS EN FASE DE ACLIMATACIÓN**



## 1.9 PRESENTACIÓN

En 2011 Ingenio Magdalena produjo un millón de plantas de caña de azúcar mediante el uso de técnicas de micropropagación In Vitro. A partir del 2011 ha incrementado anualmente los volúmenes de producción de vitroplantas de caña de azúcar, por lo que para el 2012 se proyectó la producción de 3 millones de plantas de caña de azúcar (CENGICAÑA, 2012).

Biología Magdalena es el departamento del Ingenio Magdalena que trabaja tres años adelante de las demás áreas debido a que son tres años los que abarca el proceso de producción de semilla libre de enfermedades.

El proceso de producción de semilla libre de enfermedades empieza por la micropropagación In Vitro de las plantas, pasa por semillero básico y luego a semillero comercial, del cual finalmente se extrae la semilla que será enviada a campo con el fin de renovación de cañales o siembra de áreas nuevas. En total el proceso comprende la fase de micropropagación, semillero básico y semillero comercial.

Durante la fase de micropropagación de plantas de caña de azúcar la etapa de aclimatación es muy importante, de esta depende el resultado del proceso y calidad final de las plantas producidas in vitro (Estacio, 2013). La mortalidad de vitroplantas de caña de azúcar genera pérdidas económicas considerables para Biología Magdalena. La disminución de mortalidad de vitro plantas de caña de azúcar durante el proceso de aclimatación daría como resultado proceso de micropropagación eficiente con pocas pérdidas económicas, con lo cual habría mayor cantidad de plantas produciendo semilla comercial y cubriendo la demanda de las diferentes variedades para los siguientes años.

El Departamento de Biología del Ingenio Magdalena produce *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena, la cual fue aislada de suelos cañeros del Ingenio Magdalena. Se comparó y evaluó la aplicación de *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena y los enraizadores comerciales a base de *Trichoderma atroviride*, *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae* en la fase de aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar.

En dicha evaluación se propone que la acción de formación de micorrizas de *Glomus* spp. y la acción de biocontrol de hongos patógenos de *Trichoderma* spp. mejora la adaptabilidad de las vitroplantas de caña de azúcar en su fase de adaptación.

## 1.10 MARCO TEÓRICO

### 1.10.1 Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

#### 1.10.1.1 Generalidades

La caña de azúcar se origina de las regiones tropicales y subtropicales del sudeste de Asia (Díaz y Portocarrero 2002). Se dice que esta especie es resultado de la domesticación de tipos silvestres de *Saccharum robustum*, planta que en la antigüedad se usaba para masticar por su bajo contenido de fibra y sabor bastante dulce. Esta planta es de altura media, presenta tallos gruesos y pesados, tiene alto contenido de sacarosa y bajo contenido de fibra (Subiros 1995).

#### 1.10.1.2 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de *Saccharum officinarum* L. según el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, por las siglas en inglés), es la siguiente:

Dominio:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Subreino:	Viridiaeplantae
Infrareino:	Streptophyta
División:	Tracheophyta
Subdivisión:	Spermatophytina
Infradivisión:	Angiospermae
Clase:	Magnoliopsida
Superorden:	Lilianaes
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Saccharum</i> L.
Especies:	<i>Saccharum officinarum</i> L.

### 1.10.1.3 Fenología

La caña de azúcar tiene cuatro fases de crecimiento, las cuales son: Fase de establecimiento, fase de macollamiento, fase de crecimiento rápido y fase de maduración y cosecha. La fase de establecimiento incluye la germinación y emergencia de la planta. La fase de macollamiento es llamada también como fase formativa o fase de reposo fisiológico, debido a que es la fase en la que las plantas presentan menor crecimiento. En la fase de crecimiento rápido las plantas alcanzan su mayor elongación, en esta se dispara el crecimiento de las mismas. La Figura 1 ilustra las etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar (SIVICAÑA 2014).

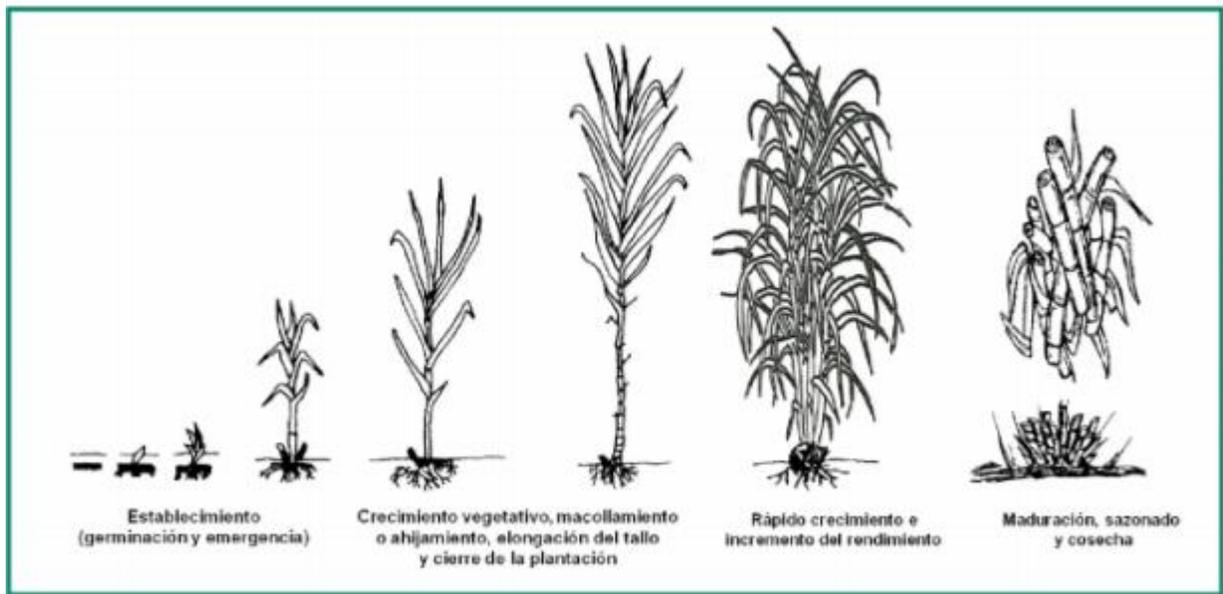


Figura 1 Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar.

Fuente: SIVICAÑA 2014

### 1.10.1.4 Morfología

#### A. Tallo

Cada tallo tiene nudos y entrenudos, los nudos separan cada entrenudo. La morfología del tallo puede depender de factores genéticos, ambientales e interacciones entre ambos (Cruz 2004).

## **B. Entrenudo**

El entrenudo presenta características varietales tales como el diámetro, color forma y longitud que puede variar según la cantidad de luz que recibe y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La longitud del entrenudo es influenciada por condiciones edafoclimáticas (temperatura) y por el manejo agronómico (nutrición y disponibilidad de agua). (Cruz 2004).

## **C. Nudo**

Es la base de la vaina y lamina foliar en la cual se desarrolla las yemas y hojas, está constituido por el anillo de crecimiento, banda de raíces, cicatriz foliar, nudo, yema y anillo ceroso. La yema es la de mayor importancia ya que es el origen de nuevas plantas. La parte visible de la yema tiene forma de escama que en algunos clones está cubierta totalmente por pelos, en otros por las alas o libres de pelos. Estas características identifican 32 grupos de vellosidad, los cuales son importantes para la descripción botánica (Cruz 2004).

El color, forma, tamaño y vellosidad de la yema pueden ser diferentes dentro de la variedad. Existen 8 formas de yema, que fueron agrupadas en 3: redonda, ovalada y puntuda. La forma ovalada es más común, la localización y nivel de desarrollo alcanzado por el ápice a nivel de anillo de crecimiento, son caracteres clonales (Cruz 2004).

## **D. Hoja**

La hoja está dividida en dos partes, las cuales son lamina foliar y vaina. La longitud y ancho de la lámina foliar depende de las variedades. El crecimiento de la hoja está determinado por el tamaño de la hoja y la dureza de la nervadura central. Otro carácter clonal de las hojas es el color, este puede variar entre verde claro y verde oscuro, como también se puede encontrar variedades color púrpura o verde púrpura (Cruz 2004).

El cuello es la unión de la lámina foliar y la vaina en sus extremos, se encarga del movimiento de la lámina foliar. La forma del cuello es una característica clonal, se reconocen dos formas que son: deltoide y ligular. La superficie exterior está formada por

dos aéreas generalmente triangulares, que se diferencian de la lámina foliar por el color y la estructura interna (Cruz 2014).

### E. Vaina

La característica clonal de la vaina es la pubescencia o afate, ya que entre variedades difiere la cantidad y longitud sobre la vaina. La otra característica varietal es que la vaina al envejecer junto a la lámina foliar, puede o no adherirse al tallo, en diferentes intensidades (Cruz 2004).

### F. Raíz

Cuenta con dos tipos de raíces, la raíz primaria y las adventicias. La raíz primaria se ubica en el embrión. Las raíces adventicias se originan en el tallo, en la banda de raíces que se encuentra cercana al entrenudo. Las raíces adventicias se dividen en primarias y permanentes. Las raíces primarias son delgadas y ramificadas, estas se forman a partir de primórdios radicales que se ubican en la banda de raíces. Las raíces permanentes son de mayor diámetro, más numerosas y largas, estas brotan al iniciar el macollamiento, cuando se desarrollan los tallos nuevos (Subiros 1995).

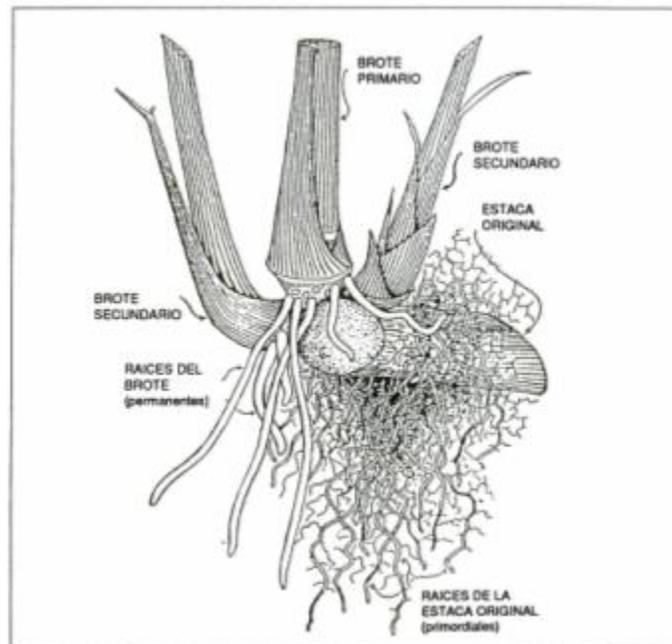


Figura 2 Parte baja de la caña de azúcar.

Fuente: Subiros 1995

#### **1.10.1.5 Requerimientos climáticos**

Requiere temperaturas entre 27°C y 33°C para germinación de la yema y desarrollo del cultivo. El rango de radiación fotosintética activa se encuentra entre 400nm y 700nm. La caña de azúcar requiere alta radiación solar, ya que a mayor radiación solar habrá mayor actividad fotosintética y mayor traslocación de carbohidratos de la hoja al tallo (Díaz, LL. y Portocarrero, ET. 2002). En cuanto a precipitación, la caña de azúcar requiere 1200 a 1500mm anuales, que deben ser distribuidos durante todo el periodo vegetativo. Cuando la temperatura es elevada habrá mayor demanda de agua. La sequilla y la falta o excesos de humedad, son perjudiciales para el cultivo (Subiros 1995).

Las condiciones ambientales también pueden tener influencia directa o indirecta en el desarrollo y dispersión de enfermedades y plagas (Subiros 1995).

#### **1.10.1.6 Requerimientos edáficos**

La caña se puede desarrollar en varios tipos de suelos, pero es aconsejable que la textura sea franco arcilloso, franco arenosa o limosa, con buena estructura y capacidad de retención de humedad, pero a la vez friable con el horizonte profundo (Subirós 1995).

#### **1.10.1.7 Requerimientos nutricionales**

La caña de azúcar es muy eficiente en la utilización de nutrientes del suelo. Esta planta es relativamente tolerante a la presencia de aluminio intercambiable en el suelo. En el Cuadro 7 se presenta la extracción estimada de micronutrientes de la caña de azúcar (Díaz, LL. y Portocarrero, ET. 2002).

Cuadro 7 Extracción estimada de macro nutrientes de la caña de azúcar en kg/TM de caña producida.

Nutrimento	Extracción del suelo			
	Kg/TM		Kg. En 80 TM promedio / ha	
	Nutrimento	Forma Extraible	Nutrimento	Forma Extraible
N	0.93	0.93	74.4	74.4
P	0.27	0.62	21.6	49.6
K	1.65	1.98	132.0	158.4
Ca	0.34	0.48	27.2	38.4
Mg	0.25	0.41	20.0	32.8
S	0.29	0.87	23.2	69.6
Si	0.93	1.99	74.4	159.2

Fuente: Díaz, LL. Y Portocarrero, ET. 2002

### 1.10.1.8 Plagas del cultivo de caña de azúcar

Las plagas que afectan el cultivo de la caña de azúcar se en Guatemala se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8 Principales plagas que afectan el cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

	Nombre Común	Nombre científico
<b>Barrenadores del tallo de la caña de azúcar</b>	Barrenador	<i>D. saccharalis</i> (Lepidoptera: Pyralidae) <i>Xubida dentilineatella</i> (Lepidoptera: Crambidae) <i>Phassus phalerus</i> Druce (Lepidoptera: Hepialidae)
<b>Plagas de Follaje</b>	Chinche salivosa	<i>Aeneolamia postica</i> y <i>Prosapia simulans</i> (Homoptera: Cercopidae)
	Chinche de encaje	<i>Leptodyctia tábida</i> (Hemiptera: Tingidae).
	Coludo o Saltahojas antillano	<i>Saccharosydne saccharivora</i> (Homoptera: Delphacidae)
	Saltahojas hawaiiano	<i>Perkinsiella saccharicida</i> (Homoptera: Delphacidae)
	Pulgón amarillo o dorado de la caña de azúcar	<i>Sipha flava</i> Forbes (Homoptera: Aphididae)
<b>Roedores</b>	Rata	<i>Sigmodon hispidus</i> (Rodentia: Crecetidae)
	Taltuza	<i>Orthogeomys hispidus</i> (Rodentia: Geomyidae)
<b>Plagas de la raíz</b>	Gallina ciega	<i>Phyllophaga dasyopoda</i> <i>P. latipes</i> <i>P. parvisetis</i> <i>P. anolaminata</i>
	Gusano de alambre	<i>Dipropus</i> spp <i>Horistonotus</i> spp <i>Agrypnus</i> spp <i>Dilobitarsus</i> spp
	Chinche hedionda	<i>Scaptocoris talpa</i>
	Picudo	<i>Sphenophorus</i> spp
	Termitas	<i>Heterotermes convexinotatus</i>

Fuente: CENGICANA 2012

### 1.10.1.9 Enfermedades del cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta susceptible a enfermedades, se han reportado más de 126 enfermedades en 109 países, en Guatemala solo se han identificado 24 (CENGICAÑA 2012). En el Cuadro 9 se presentan las principales enfermedades que afectan el cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

**Cuadro 9 Enfermedades que afectan el cultivo de caña de azúcar en Guatemala.**

	Nombre común	Agente Causal
<b>Hongos</b>	Mancha de anillo	<i>Leptosphaeria sacchari</i>
	Mancha de ojo	<i>Bipolaris sacchari</i>
	Carbón de la caña de azúcar	<i>Ustilago scitaminea</i>
	Roya marrón o café	<i>Puccinia melanocephala</i>
	Roya naranja	<i>Puccinia kuehnii</i>
	Cogollo retorcido (Pokkah boeng)	<i>Gibberella moniliformis</i>
	Mancha púrpura	<i>Dimeriella sacchari</i>
<b>Bacterias</b>	Escaldadura foliar	<i>Xanthomonas albilineans</i>
	Raya roja	<i>Pseudomonas rubrilineans</i>
	Raquitismo de las socas	<i>Clavibacter xyli</i>
<b>Virus</b>	Mosaico de la caña de azúcar	Genero Potivirus
	Virus de la hoja amarilla (YLS)	Genero Polerovirus

Fuente: Magdalena (Información no publicada)

Las enfermedades fueron clasificadas según el orden de importancia para Guatemala, tomando en cuenta la incidencia, severidad, efecto en producción y eliminación de variedades con buen potencial de producción. Las enfermedades de mayor importancia según las características mencionadas son: Raquitismo de las socas, Carbón, Escaldadura foliar, Roya marrón o café y Roya naranja. Las enfermedades Mosaico y Raya roja fueron colocadas en segundo grado de importancia (CENGICAÑA, 2002).

### 1.10.1.10 Situación actual del cultivo de caña de azúcar en Guatemala

Wagner, 2007, citado por Melgar. Et al. En el libro Historia de la caña de azúcar en Guatemala, menciona que la caña de azúcar comenzó a cultivarse en Guatemala en 1536 en Amatitlán. A partir de entonces se han dado cambios en cuanto a la tecnología en el cultivo de la caña de azúcar. Melgar et al. Menciona que Alvin Tofler en el libro La tercera

ola, 1982, sintetiza la historia tecnológica de la humanidad a través del impacto de tres olas, que han desencadenado tres revoluciones. La primera: la revolución agrícola, la segunda: la revolución industrial, y la tercera: la revolución de la informática. También menciona que Richard Oliver, en “The coming Biotech Age” (1999), plantea que el mundo está entrando a la nueva era u ola a la cual se le llama “La Revolución Biotecnológica”.

Melgar menciona que la Agroindustria Azucarera Guatemalteca ha presentado crecimiento permanente desde 1969 hasta llegar a ubicar a Guatemala como:

- El quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica, y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas de azúcar/ha) a nivel mundial.
- Guatemala, un país con el azúcar como segundo producto agrícola en generación de divisas, constituida como importante contribución en la economía nacional.

### **1.10.2 Micropropagación de plantas**

La micropropagación de plantas es el proceso en el cual se lleva a cabo la multiplicación vegetativa de plantas a través de técnicas de cultivo de tejidos cultivo in vitro. Las ventajas que se obtienen con este tipo de propagación son la obtención de mayor tasa de multiplicación en menor área, control fitosanitario adecuado y se lleva menos tiempo del requerido por los procesos de propagación convencionales. Las desventajas que se presentan son el requerimiento de instalaciones, equipo y mano de obra especializada (CENGICAÑA 2012).

Parte del proceso de micropropagación de plantas se lleva a cabo en el laboratorio y parte en invernadero. El proceso debe ser bien controlado para producir grandes cantidades de plantas con cualidades uniformes. Los materiales vegetativos ingresados al proceso de micropropagación deben estar libres de patógenos para garantizar la producción de plantas sanas y de alta calidad (Sheng 2011).

El proceso convencional de micropropagación In Vitro de plantas envuelve cinco fases (Sheng 2011).

- Fase preliminar: Preparación de material para la extracción de explante
- Fase 1: Iniciación de cultivo
- Fase 2: Multiplicación
- Fase 3: Elongamiento y enraizamiento
- Fase 4: Trasplante para invernadero y aclimatación

#### **1.10.2.1 Biofábrica de plantas**

Se le llama biofábrica de plantas a un laboratorio en el cual se micropropagan plantas in vitro por medio de cultivo de tejidos utilizando procesos de producción bien definidos (Sheng 2011).

#### **1.10.2.2 Vitroplanta**

Se le llama Vitroplanta a la planta que ha sido reproducida bajo condiciones In vitro, por medio de técnicas de Cultivo de Tejidos.

Durante el proceso de micropropagación las vitroplantas adquieren características tales como cutícula poco desarrollada, estomas no funcionales, células heterotróficas y sistema radicular débil. Estas características causan en las plantas problemas por estrés al momento de trasplante al medio natural (Estacio 2013).

#### **1.10.2.3 Aclimatación de vitroplantas**

Cuarta fase del proceso de micropropagación de plantas de la cual depende la eficiencia del proceso y la calidad final de las plantas producidas in vitro. En esta fase las plantas son trasladadas al invernadero en donde se trasplantan a medio sólido (sustrato) y se da el manejo adecuado para la adaptación.

El invernadero debe ser separado en dos partes: una bajo condiciones controladas y área rústica. Las plantas recién trasladadas al invernadero serán colocadas en vivero ya que necesitan condiciones adecuadas para sobrevivir al estrés, condiciones que deben de ser de alta humedad relativa, baja intensidad de luz y temperatura media alta, similares a las

que han tenido en el laboratorio. Luego las plantas deben ser trasladadas al área rustica y natural en la que las condiciones deben ser de humedad relativa normal, luz intensa y temperaturas variables, las cuales son condiciones más naturales que ayudaran a la planta a sobrevivir el trasplante a campo (Sheng 2011).

El cuadro siguiente presenta en resumen los factores que afectan el resultado de la aclimatación en vitroplantas de caña de azúcar (Ortiz 2000):

**Cuadro 10 Factores que afectan el resultado de aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar.**

<b>Factores que afectan la aclimatación</b>	
<b>Vitroplanta y proceso in vitro</b>	Especie, origen y manejo en laboratorio.
<b>Condiciones controladas</b>	Protección, temperatura, luminosidad, humedad relativa
<b>Sustrato</b>	Características físicas, químicas y biológicas.
<b>Riego</b>	Calidad de agua, frecuencia e intervalo de riego, tamaño de la partícula, pérdida de nutrientes.
<b>Estado fitosanitario</b>	Patógenos en sustrato, agua y ambiente.
<b>Condiciones climáticas</b>	Época, precipitación, temperatura, humedad relativa, viento.
<b>Manejo sobre el material</b>	Podas, fertilizaciones, control de plagas y enfermedades.

Fuente: Ortiz 2000

### **1.10.3 Microorganismos benéficos**

En un sistema agrícola existe multifuncionalidad de parte de los microorganismos. Esta multifuncionalidad se expresa dependiendo de factores bióticos como la competencia con otros microorganismos, composición biológica del suelo, reconocimiento planta-microorganismos y viceversa. Los factores abióticos que influyen son la climatología y características físicas y químicas del suelo. Estos factores influyen directamente en la interacción de los organismos y el efecto benéfico o perjudicial, que influyen en el desarrollo de las plantas.

La interacción entre microorganismos promotores del crecimiento vegetal y agentes de control biológico son complejas, pueden presentar efectos sinérgicos que potencialicen los beneficios para la planta, efectos antagónicos o ningún efecto (Cano 2011).

La respuesta de las plantas a la inoculación de microorganismos benéficos depende de la combinación de los microorganismos y la compatibilidad funcional en la fisiología y bioquímica de la interacción (Cano 2011).

### 1.10.3.1 *Trichoderma* spp.

#### A. Descripción

Genero de hongos invasor oportunista que se encuentra en los suelos de todas las zonas climáticas del mundo. Importantes descomponedores de materia leñosa y herbácea. Se caracteriza por asimilar amplia gama de sustratos y por la producción de compuestos antimicrobianos (Cano 2011).

#### B. Clasificación taxonómica

Según Holt Jack (2013) la clasificación taxonómica de *Trichoderma* spp. es la siguiente:

Dominio: Eucariota  
 Reino: Fungi  
 Subreino: Dikarya  
 Phylum: Ascomycota  
 Subphylum: Pezizomycotina  
 Clase: Sordariomycetes  
 Subclase: Hypocreomycetidae  
 Orden: Hypocreales  
 Género: *Hypocrea*  
 Anamorfo: *Trichoderma*  
 Especie: *Trichoderma* spp.

### C. Ecología

Se encuentra en suelos con alta cantidad de materia orgánica, desechos vegetales en descomposición y residuos de cultivo, en especial los que son atacados por otros hongos, los cuales aprovecha como una fuente nutrimental adicional. El desarrollo se favorece en suelos con altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas por otros microorganismos (Chávez 2006). *Trichoderma* spp. Ha desarrollado mecanismos que le permiten actuar como biocontrolador y colonizador de raíces, estos mecanismos son: micoparasitismo, antibiosis, competencia por nutrientes y espacio, desactivación de las enzimas de los patógenos, tolerancia al estrés de la planta (le ayuda a desarrollar el sistema radicular), mejora la solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos y genera resistencia inducida (Chávez 2006).

### D. Usos

#### – Agente de control Biológico

Debido a la capacidad de producir antibióticos y enzimas como las celulasas, quitinasas y glucanasas que degradan la pared celular.

#### – Biorremediación

Por la capacidad de biodegradar hidrocarburos, compuestos clorofenológicos, polisacáridos y plaguicidas xenobioticos.

#### – Estimulador de crecimiento e inductor de resistencia sistémica.

Debido a la existencia de transposones ABC (elemento genético transponible) en sus moléculas ya que modula o estimula algunas respuestas en la planta.

### 1.10.3.2 Micorriza

La micorriza es la asociación mutualista que se establece entre la raíz de la planta superior y ciertos hongos del suelo, en este caso *Glomus* sp. En esta, el hongo suministra nutrientes minerales y agua que extrae del suelo a través de su red externa de hifas,

mientras que la planta le proporciona carbohidratos que produce por fotosíntesis, por lo cual ambos salen beneficiados (Hernández 2001).

### **A. Clasificación taxonómica**

Según Holt Jack (2013) la clasificación taxonómica de *Glomus* spp. Es la siguiente.

Dominio: Eucariota  
Reino: Fungi  
Subreino: Dikarya  
Phylum: Glomeromycota  
Clase: Glomeromycetes  
Orden: Glomerales  
Género: *Glomus*  
Especie: *Glomus* spp.

### **B. Ecología**

El microorganismo está bastante limitado en cuanto a su hábitat y por lo general se encuentra solamente en la vecindad de o directamente dentro de las raíces. El hongo no es un microorganismo del suelo en el sentido estricto y su nicho ecológico esta propiamente en la asociación con la raíz (Martin 1980).

El hongo se integra a la raíz colonizando la corteza y llega a ser, morfológica y fisiológicamente, parte integrada de la raíz. Las micorrizas pueden clasificarse como (Hernández 2001):

- **Ectotróficos:** permanece compacto en la superficie de la raíz, mientras las hifas penetran la corteza intercelularmente.
- **Ectoendotróficos:** permanece compacto en la superficie de la raíz, mientras las hifas penetran la corteza tanto intercelularmente como intracelularmente.

- **Endotróficos:** posee una red suelta de hifas en el suelo que rodea la raíz y el crecimiento extenso de hifas dentro de la corteza del tejido radical.

Las micorrizas endotróficas se dividen de la siguiente forma (Hernández 2001):

- Micorrizas producidas por hongos septados.
- Micorrizas producidas por hongos no septados (ficomicetes o micorrizas vascular-arbuscular (MVA)).

Los hongos MVA son importante grupo de microorganismos del suelo que contribuyen al establecimiento, productividad y longevidad de ecosistemas, tanto artificiales como naturales. Las MVA predominan en ecosistemas donde la mineralización de materia orgánica es suficientemente rápida para evitar su acumulación. Las MVA son abundantes bajo cualquier rango de fertilidad del suelo. El grado de colonización micorrítica aumenta cuando la fertilidad declina (Hernández 2001).

Los beneficios obtenidos con las MVA son el incremento de la superficie de absorción, el incremento de vida útil de las raíces absorbentes, mejoramiento de absorción iónica y acumulación eficiente, especialmente, en el caso del fósforo, solubilización de minerales, aumento de capacidad fotosintética, resistencia de raíces a infecciones, incremento de tolerancia de plantas a toxinas y disminución del estrés causado por factores ambientales (Hernández 2001).

## **1.11 HIPÓTESIS**

*Trichoderma* spp. y *Glomus* spp. aplicados al inicio de la etapa de aclimatación de vitroplantas de Caña de azúcar mejora el vigor, sobrevivencia y resistencia a enfermedades de las plantas producidas de forma In Vitro.

## **1.12 OBJETIVOS**

### **1.12.1 Objetivo General**

- Establecer el efecto de los microorganismos benéficos en el desarrollo de tres tamaños de vitroplantas de caña de azúcar durante la fase de aclimatación.

### **1.13 Objetivos Específicos**

- Determinar la sobrevivencia de tres tamaños de vitroplantas de caña de azúcar inoculadas con microorganismos benéficos durante la fase de aclimatación.
- Determinar el vigor de tres tamaños de vitroplantas de caña de azúcar inoculadas con microorganismos benéficos durante la fase de aclimatación.
- Determinar la prevalencia e incidencia de enfermedades en tres tamaños de vitroplantas de caña de azúcar inoculadas con microorganismos benéficos durante la fase de aclimatación.

## **1.14 METODOLOGÍA**

### **1.14.1 Tratamientos**

Se evaluaron tres productos inoculantes a base de *Trichoderma* spp., y dos productos inoculantes a base de *Glomus* spp. aplicado a tres diferentes tamaños de vitro plantas de caña de azúcar, comparados con un testigo absoluto. Para la evaluación las plantas fueron clasificadas en tres tamaños, siendo estos: grande, mediano y pequeño. El promedio de longitud de tallo para las plantas grandes fue de 8cm, para las medianas de 5.5cm y para las plantas pequeñas de 3.5cm. En el Cuadro 11 se observa la descripción de los tratamientos y dosis evaluadas. La columna “contenido” se refiere a la concentración a la cual se encuentran los microorganismos en el producto, mientras que la columna “dosis evaluada” se refiere a la cantidad de producto por planta o por área que se utilizó para realizar la evaluación.

Los tratamientos evaluados, que en total fueron 18, surgieron de la combinación de los productos y los tamaños iniciales de las vitroplantas evaluados. La clasificación de plantas en tamaños grande, mediano y pequeño se realizó midiendo la longitud del tallo de las vitroplantas al momento de trasplante en invernadero.

### **1.14.2 Diseño experimental**

La evaluación estadística se llevo a cabo utilizando un diseño experimental completamente al azar, con arreglo bifactorial combinatorio, siendo el factor A Inoculantes a base de microorganismos benéficos y el factor B tamaño inicial de vitroplantas.

**Cuadro 11 Descripción de tratamientos y dosis evaluada en la adaptabilidad de vitroplantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).**

Tratamiento	Descripción	Contenido	Dosis evaluada.
<b>T1G</b>	Testigo absoluto en plantas grandes (8cm)	Sin producto	-----
<b>T1M</b>	Testigo absoluto en plantas medianas (5.5cm)		
<b>T1P</b>	Testigo absoluto en plantas pequeñas (3.5cm)		
<b>T2G</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración alta (G CA) en plantas grandes (Aegis Irriga).	<i>Glomus intraradices</i> : 700 esporas/g	1 gr/10 plantas
<b>T2M</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración alta (G CA) en plantas medianas (Aegis irriga).	<i>Glomus mosseae</i> : 700 esporas/g	
<b>T2P</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración alta (G CA) en plantas pequeñas (Aegis irriga).		
<b>T3G</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración baja (TA CB) en plantas grandes (Tifi).	<i>Trichoderma atroviride</i> : 2x10 <sup>8</sup> UFC/g	3 g/ 10 plantas
<b>T3M</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración baja (TA CB) en plantas medianas (Tifi).		
<b>T3P</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración baja (TA CB) en plantas pequeñas (Tifi).		
<b>T4G</b>	<i>Trichoderma harzianum</i> CEPA MAGDALENA (TH) en plantas grandes	Dosis: 3 a 5x10 <sup>12</sup> UFC/ha	1x10 <sup>13</sup> UFC/ha
<b>T4M</b>	<i>Trichoderma harzianum</i> CEPA MAGDALENA (TH) plantas medianas		
<b>T4P</b>	<i>Trichoderma harzianum</i> CEPA MAGDALENA (TH) plantas pequeñas		
<b>T5G</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración baja (G CB) en plantas grandes (Aegis Microgránulo).	<i>Glomus intraradices</i> : 25 esporas/g	Dosis: 1g/planta
<b>T5M</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración baja (G CB) en plantas medianas (Aegis Microgránulo).		
<b>T5P</b>	<i>Glomus</i> spp. a concentración baja (G CB) en plantas pequeñas (Aegis Microgránulo).		
<b>T6G</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración alta (TA CA) en plantas grandes (Condor).	<i>Trichoderma atroviride</i> : 2x10 <sup>9</sup> UFC/g	1g/10plantas
<b>T6M</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración alta (TA CA) en plantas medianas (Condor).		
<b>T6P</b>	<i>Trichoderma atroviride</i> a concentración alta (TA CA) en plantas pequeñas (Condor).		

Fuente: Elaboración propia.

### 1.14.3 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + A_iB_j + R_k + E_{ijk}$$

$Y_{ijk}$ : Variable de respuesta en la i,j,k-ésima unidad experimental.

U: Valor de media general

$A_i$ : Efecto del i-ésimo Inoculante a base de microorganismos benéficos.

$B_j$ : Efecto del j-ésimo tamaño inicial de vitroplanta.

$A_iB_j$ : Interacción entre el i-ésimo inoculantes a base de microorganismos benéficos y el j-ésimo tamaño inicial de vitroplanta.

$R_k$ : Efecto del k-ésimo bloque o repetición

$E_{ijk}$ : Error experimental asociado a la i,j,k-ésima unidad experimental.

### 1.14.4 Establecimiento de la investigación

La investigación se estableció en el invernadero del Departamento de Biotecnología del Ingenio Magdalena en el cual se lleva a cabo la fase de aclimatación de plantas micropropagadas de forma In vitro.

Antes de sacar las vitroplantas de la biofábrica, se lavó las plantas para retirar residuos de medio de cultivo y se colocaron en canastas para ser trasladadas al invernadero. En el invernadero las plantas fueron clasificadas en tamaños grande, mediano y pequeño, y posteriormente se sembraron en bandejas múltiples de 67 celdas.



Figura 3 Aleatorización de unidades experimentales utilizada para establecimiento de investigación en Invernaderos y Área de Aclimatación del Ingenio Magdalena, S.A.

#### 1.14.4.1 Aplicación de tratamientos

Las bandejas se agruparon en siete grupos correspondientes a los inoculantes evaluados y tres subgrupos correspondientes al tamaño iniciales en los que se clasificaron las vitroplanta. Posteriormente se realizó la calibración aplicando únicamente agua en el testigo con lo cual se determinó la cantidad de agua necesaria para aplicar cada producto inoculante.

La aplicación del inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración baja se realizó mezclando el inoculante en microgránulo al sustrato, para lo cual se calculó la cantidad de sustrato contenido en una bandeja múltiple de 67 celdas, dato con el cual se calculó el sustrato necesario para 36 bandejas. A la cantidad calculada se le aplicó la cantidad de inoculante necesario para mezclar al sustrato de las 36 bandejas correspondientes a las evaluadas con este tratamiento en los tres tamaños.

#### 1.14.4.2 Manejo del experimento

En la fase 1 de la investigación, que se llevó a cabo dentro del invernadero, las plantas se hidrataron dos veces al día. Haciendo uso de una bomba motorizada se realizó fertirriego aplicando fertilizante foliar en la mañana y riego por la tarde.

En la fase 2 de la investigación, que se llevó a cabo fuera del invernadero, las plantas fueron regadas todos los días utilizando un sistema de riego por microaspersión y haciendo uso de bomba motorizada se realizaron aplicaciones, en días intercalados, de Bayfolan, calcio, hierro, Sulfato de amonio y Acido sulfúrico. Las plantas fueron podadas cada 15 días desde de los 45 días de aclimatación.

#### 1.14.4.3 Variables respuestas

##### A. Supervivencia

Se calculó el porcentaje de supervivencia, el cual corresponde a la cantidad de plantas vivas por cada 100 plantas sembradas inicialmente por unidad experimental. El porcentaje de supervivencia representa a la cantidad de plantas que se adaptaron a las condiciones del ensayo. El dato se tomó contando el total de plantas muertas por unidad experimental y se cálculo de la siguiente manera:

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{PV * 100}{TP}$$

Donde

PV: Cantidad de plantas vivas en parcela experimental (TP- PM)

TP: Total de plantas sembradas inicialmente por parcela experimental

PM: Cantidad de plantas muertas en parcela experimenta.

## B. Prevalencia e incidencia de enfermedades.

Consiste en detectar la aparición de enfermedades en el tiempo identificando la causa de la misma. La toma de datos se llevo a cabo identificando características de enfermedades en las plantas y tomando muestras de las mismas, cada toma de datos (a los 15, 45 y 75 días de aclimatación) se contó la cantidad de plantas por unidad experimental que presentaron dichas características. Las muestras se analizaron en laboratorio. El cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Plantas Sanas} = \frac{PS * 100}{TP}$$

Donde

PS: Cantidad de plantas sanas que no presentaron síntoma de enfermedad (TP-PE)

TP: Total de plantas sembradas inicialmente por parcela experimental

PE: Plantas que presentaron síntomas de enfermedad (Cuadro 42)

## C. Índice de crecimiento foliar

Representa la longitud del tallo a los 90 días de aclimatación. La longitud del tallo fue medida desde la base hasta la primera lígula visible. El dato fue tomado en 9 plantas por tratamiento.

## D. Índice de crecimiento radicular

Representa el tamaño de la raíz que alcanzó la planta a los 90 días de aclimatación. La longitud radicular fue medida desde la base del tallo hasta la punta de la raíz más larga. El dato fue tomado en 9 plantas por tratamiento.

## E. Biomasa radicular

Es el peso seco de la raíz de la planta, en gramos, el cual fue tomado después de haber puesto a secar las raíces para eliminar el contenido de agua en ellas. El dato fue tomado en 9 plantas.

## **F. Análisis de información**

Se realizaron cálculos de porcentajes, promedios y generación de graficas. El análisis de varianza se realizo en el programa para computadora INFOSTAT versión estudiantil, en el cual se realizo el análisis de varianza y prueba de Duncan para las variables que presentaron diferencias significativas en por lo menos uno de los dos factores evaluados.

## 1.15 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de productos inoculantes a base de microorganismos benéficos se desarrolló durante tres meses, en los cuales las plantas recibieron riegos diarios, fertilizaciones y podas, manejo que se da normalmente a las vitroplantas de caña de azúcar en su fase de aclimatación. La evaluación se planteó para evaluar productos inoculantes a base de *Trichoderma* spp., *Glomus mosseae* y *Glomus intraradices* aplicados a tres diferentes tamaños iniciales de planta, siendo estos: Grandes, medianos y pequeños. La clasificación de las plantas fue fundamental ya que además de facilitar el manejo de las unidades experimentales, también se observó la diferencia de biometría entre cada uno de los tamaños evaluados. Dicha diferencia se ve reflejada al analizar las variables de respuesta planteadas, las cuales fueron: Supervivencia, prevalencia e incidencia de enfermedades, índice de crecimiento foliar (Longitud y diámetro del tallo), Índice de crecimiento radicular (longitud radicular) y biomasa radicular (Peso seco radicular).

Los datos tomados a los 90 días de aclimatación reflejan que en supervivencia los mejores tratamientos fueron el producto inoculante a base de *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) aplicado a plantas medianas y el producto inoculante a base de *Trichoderma atroviride* a concentración alta (cóndor) aplicado a plantas pequeñas.

Durante toda la evaluación se observó la diferencia en grosor de plantas que fueron inoculadas con *Trichoderma atroviride* en ambas concentraciones (Cóndor y Tifi). Las plantas bajo este tratamiento desarrollaron tallos de mayor grosor, lo cual se refleja en la toma de datos realizada a los 90 días. También se observó que las plantas que fueron inoculadas con *Glomus* spp. en ambas concentraciones (Aegis irriga y Aegis microgránulo) fueron las más vigorosas, lo cual se observó en las variables longitud del tallo y diámetro del tallo. El desarrollo radicular a los 90 días se determinó utilizando las variables longitud radicular y peso seco radicular. Se observó que las raíces de las plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena tuvieron mayor desarrollo.

La prevalencia e incidencia de enfermedades fue evaluada con el dato "Porcentaje de plantas sanas" a los 75 días de aclimatación. Con el apoyo del Centro de Diagnostico

Parasitológico de la FAUSAC se detectó la presencia del hongo *Curvularia* spp. en muestras de plantas que presentaron los siguientes síntomas y signos: Mancha negra, micelio de hongo, hoja amarilla, hojas secas y mancha roja. Para determinar el porcentaje de plantas sanas se realizó un conteo de las plantas que presentaron los síntomas anteriormente mencionados y se procedió a calcular el porcentaje.

### 1.15.1 Sobrevivencia

Se determinó que a los 90 días las plantas de tamaño inicial grande tuvieron la mayor cantidad de plantas vivas, mientras que las plantas de tamaño inicial pequeño fueron las de menor sobrevivencia. Al observar la Figura 4 se observa que las plantas de tamaño inicial grande presentaron sobrevivencia de 87.7%, las de tamaño inicial mediano presentaron el 86.6% de sobrevivencia y las de tamaño inicial pequeñas el 84.4%. La diferencia entre plantas de tamaño grande y plantas de tamaño pequeño fue de 3.3% de plantas vivas, ya que no es dato elevado y la diferencia de sobrevivencia entre tamaños es mínima, se concluye en que se debe seguir sembrando los tres tamaños de planta clasificados.

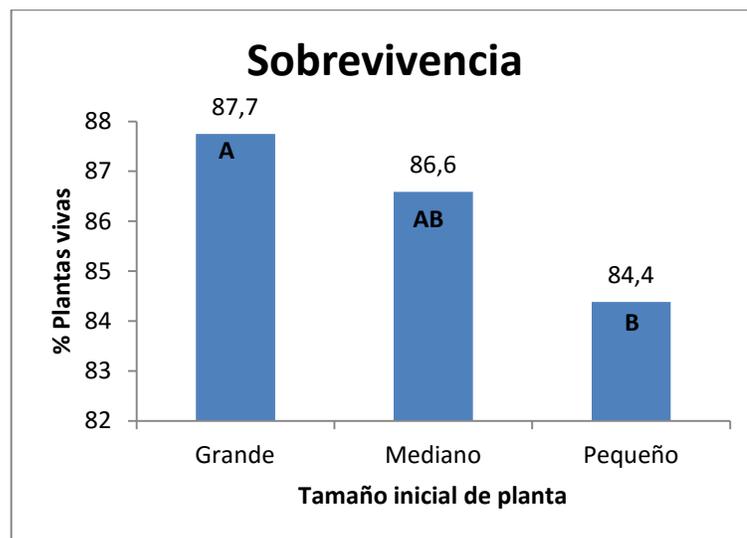


Figura 4 Gráfico de sobrevivencia para factor “tamaño inicial de plantas” a 90 días de aclimatación, en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Los productos que dieron mejor resultado de sobrevivencia fueron el testigo y el inoculante a base de *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi). En la Figura 5 se observa

que a los 90 días de aclimatación hubo mayor sobrevivencia en los tratamientos Testigo (88.2%), *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi, 88.1%) y *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis Microgránulo, 87.4%). Estancio (2013) obtuvo como resultado que los mejores tratamientos para sobrevivencia a 60 y 120 días de aclimatación fueron el tratamiento testigo y el producto inoculador de *Glomus* spp. los cuales al realizar la prueba post varianza fueron colocados en el nivel A. Estancio indica que uno de los factores que puede influir en la sobrevivencia de las vitroplantas de caña de azúcar es la conductividad eléctrica del sustrato. Las plantas de caña de azúcar soportan hasta 4mmhos/cm (Estancio, 2013).

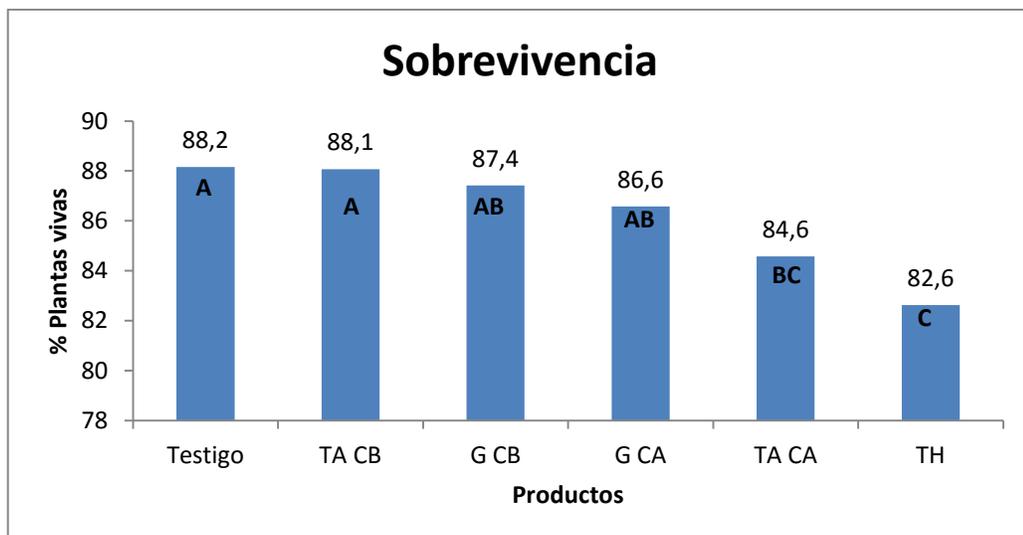


Figura 5 Gráfico de sobrevivencia para Factor “productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación, en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

La interacción entre factores “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “Tamaño inicial de plantas” dio como resultado que los tratamientos con mayor sobrevivencia fueron *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) aplicado en plantas de tamaño inicial mediano (90.3%) e inoculante a base de *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) en plantas de tamaño inicial pequeño (88.7%). En la Figura 6 se observa que existe cierta estabilidad en cuanto a sobrevivencia de las plantas de tamaño inicial grande. La sobrevivencia para las plantas de tamaño inicial pequeño tienden a ser menores en general, lo cual indica el tamaño inicial de la planta es un factor influyente en la sobrevivencia y se confirma al hacer el análisis de la

Figura 4 en donde se observa que hubo mayor sobrevivencia en las plantas de tamaño grande.

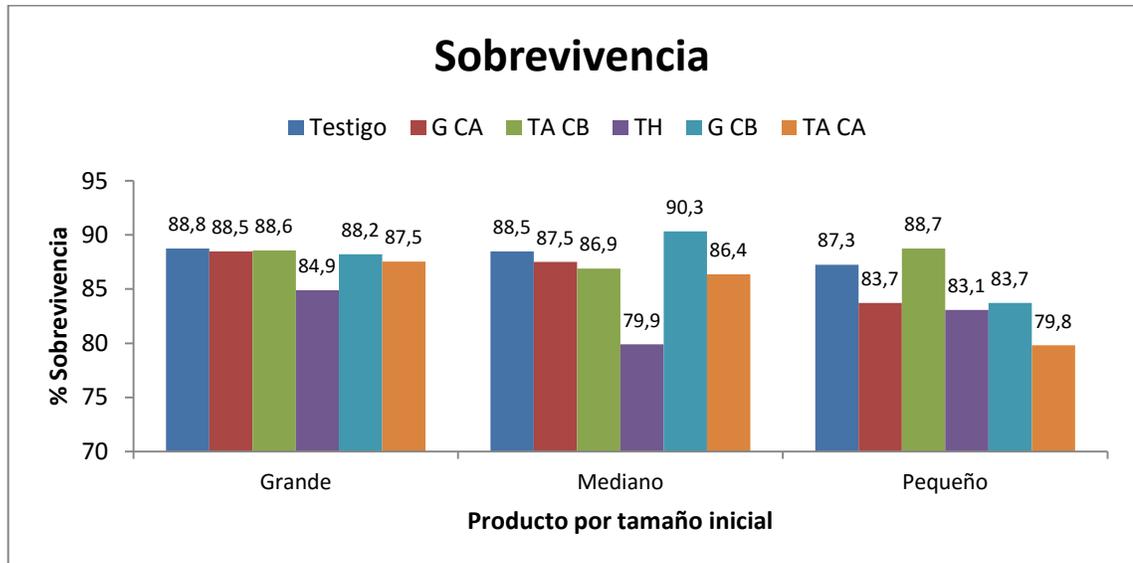


Figura 6 Gráfico de porcentaje de sobrevivencia para interacción entre factores “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de planta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis de varianza ANDEVA a un nivel de significancia de 0.05, presentado en el Cuadro 12, indicó que con el coeficiente de variación de 4.45 existe diferencia significativa en el factor “productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” ( $p=0.0038<0.05$ ) y el factor “tamaño inicial de vitroplantas” ( $p=0.0124<0.05$ ). Sin embargo, no existe diferencia significativa en la interacción de ambos factores cuya probabilidad del valor ( $p=0.2042$ ) es mayor a 0.05.

La prueba de Duncan coloca las plantas de tamaño inicial grande en el nivel A (Cuadro 13), siendo este el tamaño inicial con mejor sobrevivencia.

**Cuadro 12 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R2</b>	<b>R2 AJ</b>	<b>CV</b>
%Sobrevivencia	72	0.45	0.27	4.45

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	639.97	17	37.65	2.56	0.0046
Factor A: Inoculantes	293.32	5	58.66	3.99	0.0038
Factor B: Tamaño inicial	140.23	2	70.12	4.77	0.0124
Interacción factores A y B	206.42	10	20.64	1.4	0.2042
Error	794.53	54	14.71		
Total	1434.51	71			

**Cuadro 13 Resultado del análisis estadístico de medias del % de sobrevivencia para factor “Tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Tamaño inicial de vitroplantas	Promedio del % de sobrevivencia a 90 días	DE
Grande	87.75 A	3.42
Mediano	86.59 AB	4.04
Pequeño	84.38 B	5.32

p=0.0124 CV 4.45

La prueba de Duncan realizada a los productos con microorganismos benéficos indica que los mejores tratamientos para sobrevivencia fueron el Testigo e inoculante a base de *Trichoderma atroviride* a concentración baja. La prueba coloca a ambos tratamientos en el nivel A, como se observa en el Cuadro 14.

**Cuadro 14 Resultado del análisis estadístico de las medias del % de sobrevivencia para el factor “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Producto con microorganismo benéfico	Promedio del % de sobrevivencia a 90 días	DE
Testigo	88.16 A	2.47
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja.	88.08 A	2.79
<i>Glomus</i> spp. Concentración baja.	87.42 AB	4.18
<i>Glomus</i> spp. Concentración alta.	86.58 AB	3.97
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta	84.58 BC	6.54
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa Magdalena	82.62 C	3.72

p=0.0038 CV 4.45

### 1.15.2 Prevalencia y causa de enfermedades

La prevalencia de enfermedades se evaluó con el porcentaje de plantas Sanas. A los 75 días de aclimatación, las plantas con mayor porcentaje de plantas sanas fueron las de tamaño inicial grande (88%), las de tamaño inicial pequeño (86.8%) ocuparon el segundo lugar y el ultimo las de tamaño inicial mediano (85.6%), lo cual puede ser observado en la Figura 7.

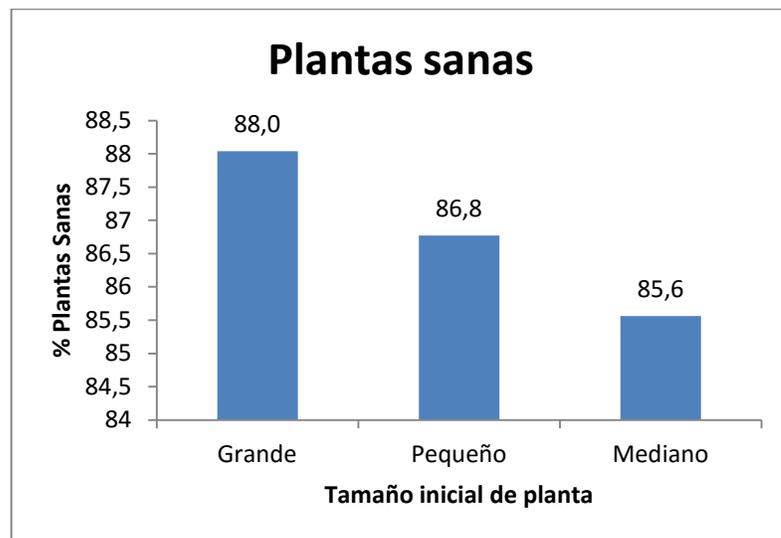


Figura 7 Gráfico de prevalencia de enfermedades para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

La Figura 8 muestra que el porcentaje de plantas sanas fue mayor en las plantas inoculadas con *Glomus* spp. a concentración alta. (Aegis irriga, 89%) y el tratamiento testigo (88.3%). Guilcapi (2009) obtuvo como resultado que en plantas de café a nivel de invernadero la menor incidencia de las enfermedades Ojo de Gallo y Mancha de Hierro se dio en los tratamientos inoculados con *Trichoderma* spp. Tanto *Trichoderma* spp. como *Glomus* spp. tienen la capacidad de competir contra microorganismos patógenos y causar un efecto benéfico en la planta al disminuir la infección por los mismos. Además, el aporte de nutrientes las hace más vigorosas y resistentes a enfermedades.

En la Figura 9 se observa que el mayor porcentaje de plantas sanas se dio en *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena (90.9%) y *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga, 90%) en plantas de tamaño inicial grande, Testigo (88.7%) y *Glomus* spp. a

concentración alta (Aegis irriga 88.4%) en plantas de tamaño inicial mediano y testigo (89.6%) y *Glomus* spp. concentración alta (Aegis irriga, 88.7%) en plantas de tamaño inicial pequeño. En este gráfico no se mantiene la tendencia de las plantas pequeñas a ser más susceptibles que las plantas de tamaño inicial grande y mediano, pues el más susceptible fue el tamaño inicial mediano.

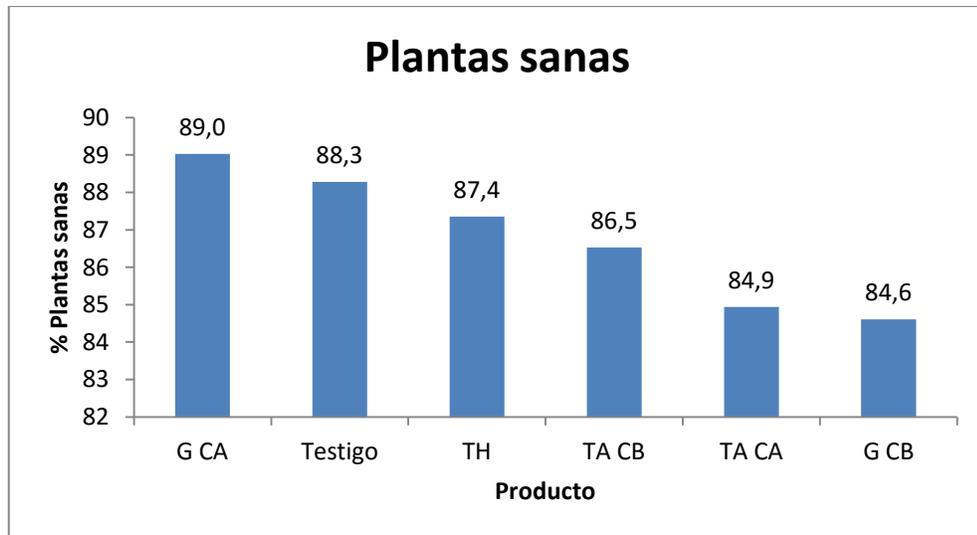


Figura 8 Gráfico de prevalencia de enfermedades para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015

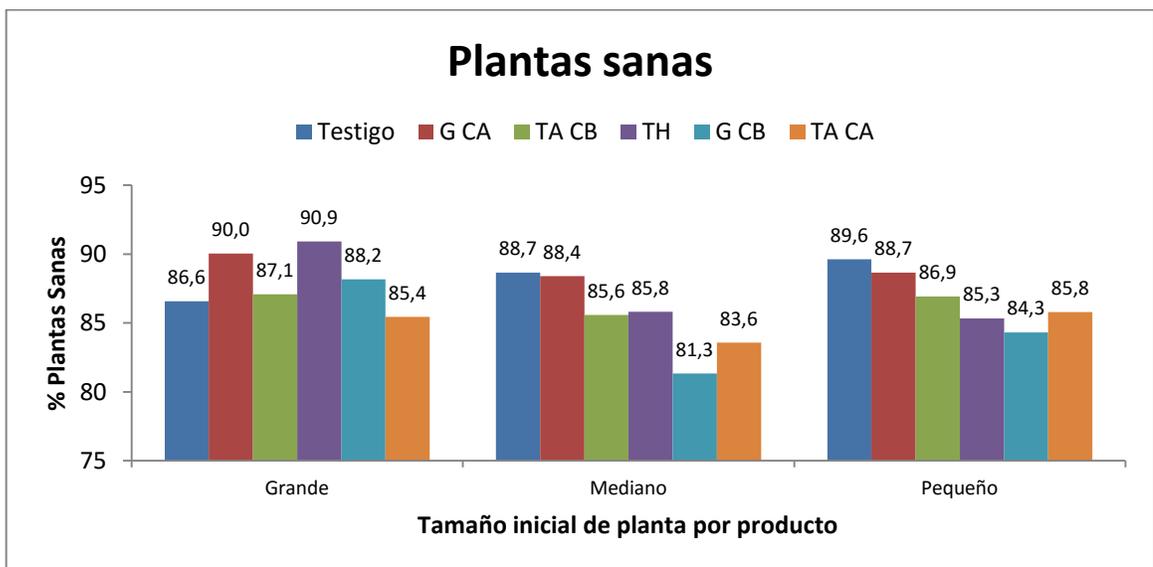


Figura 9 Gráfico de porcentaje de plantas sanas para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitropantás” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis de varianza ANDEVA a un nivel de significancia de 0.05, presentado en el Cuadro 15, indicó que con el coeficiente de variación de 6.02 no existe diferencia significativa para el factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” ( $p=0.2422>0.05$ ), factor “tamaño inicial de vitroplantas” ( $p=0.2677>0.05$ ) e interacción de ambos factores ( $0.8748>0.05$ ).

**Cuadro 15 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para porcentaje de plantas sanas a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R2</b>	<b>R2 AJ</b>	<b>CV</b>
% Plantas Sanas	72	0.21	0.00	6.02

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	402.69	17	23.69	0.87	0.6109
Factor A: Microorganismos	189.68	5	37.94	1.39	0.2422
Factor B: Tamaño inicial	73.64	2	36.82	1.35	0.2677
Interacción factores A y B	139.37	10	13.94	0.51	0.8748
Error	1472.30	54	27.26		
Total	1874.99	71			

### 1.15.3 Índice de crecimiento foliar

#### 1.15.3.1 Longitud del tallo

Las plantas de tamaño inicial grande tuvieron mejor desarrollo de la longitud foliar al obtener tallos con longitud de 11.8cm. En la Figura 10 se observa que las plantas de tamaño inicial grande fueron por 0.5cm mayores que las de tamaño inicial mediano y por 2cm mayores que las de tamaño inicial pequeño. La diferencia entre los tamaños es mínima, sin embargo existe la tendencia de que el desarrollo de la planta sea de acuerdo al tamaño inicial en el que se seleccionaron las plantas.

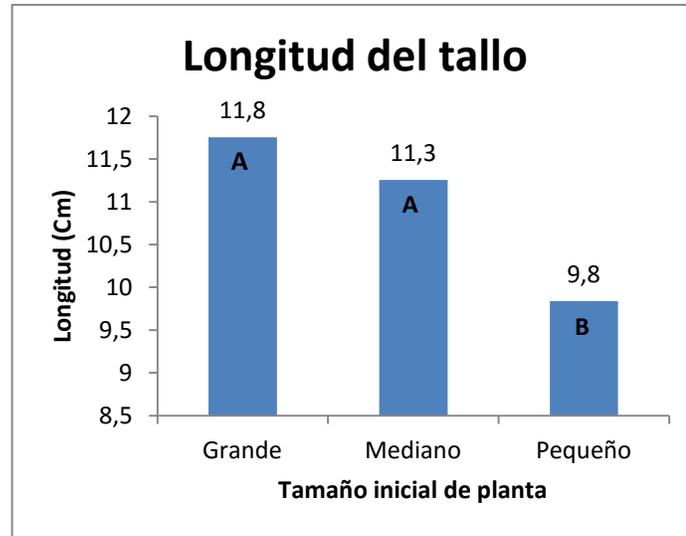


Figura 10 Gráfico de longitud del tallo (cm) para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

En la Figura 11 se observa que la longitud de tallo según productos con microorganismos benéficos indica que el mejor tratamiento fue *Glomus* spp. Concentración baja (Aegis microgránulo) con una longitud de 11.6cm, el segundo mejor fue el tratamiento testigo con 11.1cm de longitud y el tercero mejor fue *Trichoderma harzianum* cepa magdalena con longitud de 11cm. La diferencia entre el promedio más alto y el promedio más bajo fue de 1.1cm, siendo *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga) el producto con menos longitud de tallo. El producto *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo), tuvo un efecto positivo en la longitud del tallo de las plantas de caña de azúcar, resultado que fue obtenido también por Soria quien encontró que la altura de vitroplantas fue mayor al inocular *Glomus* spp. Mezclado al sustrato e indica que el efecto de la micorrización sobre el crecimiento y altura de vitroplantas ya ha sido demostrado en otros cultivos (Soria et al., 2001).

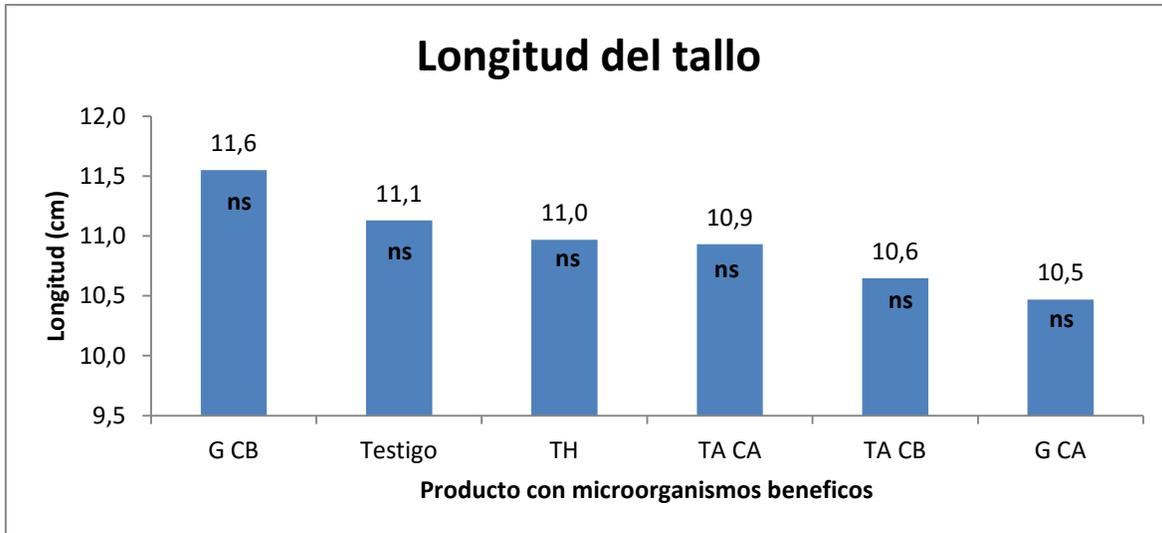


Figura 11 Gráfico de longitud del tallo (cm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Al evaluar la longitud del tallo según interacción entre productos con microorganismos benéficos y tamaño inicial de plantas, se obtuvo que el mejor tratamiento fue *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) tanto en las plantas de tamaño inicial grande (12.3cm), de tamaño inicial mediano (11.8cm) y tamaño inicial pequeño (10.5cm). La longitud del tallo estuvo mayormente influenciada por el tamaño inicial de la planta, ya que las plantas de tamaño inicial grande se desarrollaron de mejor forma y las de tamaño inicial pequeño tuvieron menor desarrollo, visible en la Figura 12. Las micorrizas arbuscular como *Glomus* spp. incrementan la superficie de absorción, solubilizan minerales y disminuye el estrés causado por factores ambientales. *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) pudo haber tenido menor desarrollo radicular que *Trichoderma* spp. pero el aporte de nutrientes tuvo que ser mayor para que los tallos crecieran y desarrollaran de mayor longitud.

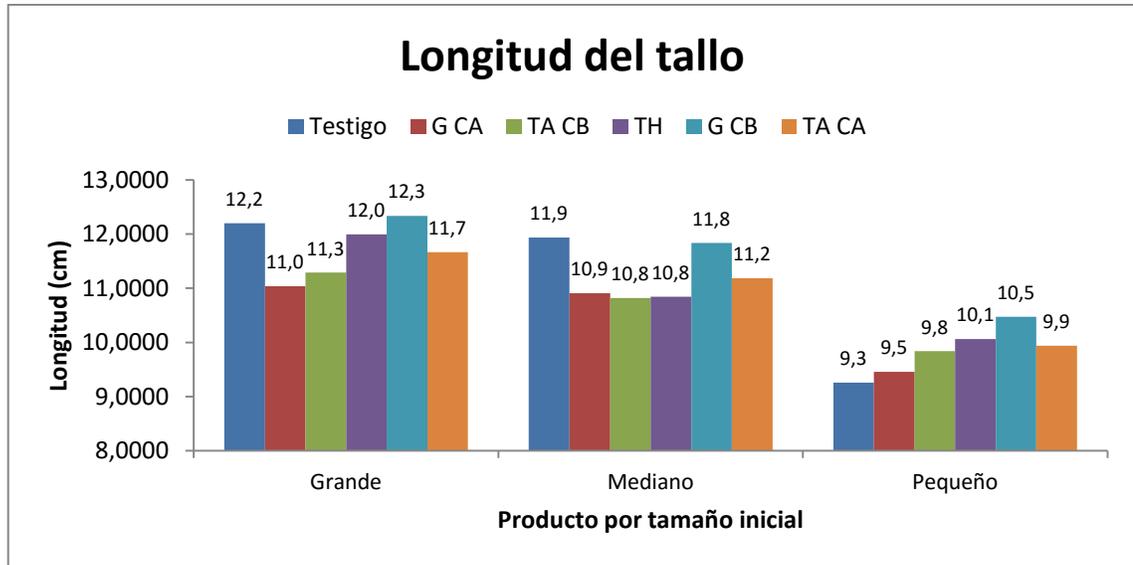


Figura 12 Gráfico de longitud del tallo para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 16 muestra que a un nivel de significancia de 0.05 existió diferencia significativa únicamente en el factor “tamaño inicial de vitroplantas” y el coeficiente de variación obtenido fue de 11. Aunque *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) obtuvo mejor resultado en longitud del tallo (cm) el análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa entre los productos evaluados, lo que confirma que la mayor influencia fue del factor “tamaño inicial de vitroplanta”.

Cuadro 16 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para longitud del tallo a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Variable	N	R2	R2 AJ	CV
Longitud del tallo (cm)	72	0.45	0.27	11

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62.68	17	3.69	2.56	0.0046
Factor A “Microorganismos”	9.83	5	1.97	1.36	0.2523
Factor B “Tamaño Inicial”	49.05	2	24.53	17.02	<0.0001
Interacción Factor A y B	3.79	10	0.38	0.26	0.9866
Error	77.83	54	1.44		
Total	140.51	71			

Se realizó la prueba de Duncan para la longitud del tallo del factor “Tamaño inicial de vitroplantas” La prueba realizada coloca a las plantas de tamaño inicial grande y mediano en el nivel A y a las de tamaño inicial pequeño en el nivel B. lo cual puede ser observado en el Cuadro 17.

**Cuadro 17 Resultado del análisis estadístico de las medias de la longitud del tallo para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Tamaño inicial de plantas	Promedio de longitud del tallo 90 días	DE
Grande	11.69 A	1.32
Mediano	11.27 A	1.07
Pequeño	9.77 B	1.03

p<0.0001 CV 11

### 1.15.3.2 Diámetro del tallo

El diámetro del tallo fue mayor en las plantas de tamaño inicial grande (4.5mm), seguido de las de tamaño inicial pequeño (4.3mm) y por último las plantas de tamaño inicial mediano (4.2mm), como se observa en Figura 13. La diferencia entre las plantas de tamaño inicial grande y las de tamaño inicial pequeño fue de 0.2mm de diámetro. La diferencia entre las plantas de tamaño inicial grande y las de tamaño inicial mediano fue de 0.3mm de diámetro. Si bien la diferencia se observa mínima, el dato podría resultar significativo ya que se habla de milímetros desarrollados durante los primeros 90 días ex vitro, pero que al ser llevadas a campo el desarrollo podría ser mayor debido a la reserva nutricional expresada en grosor de tallo.

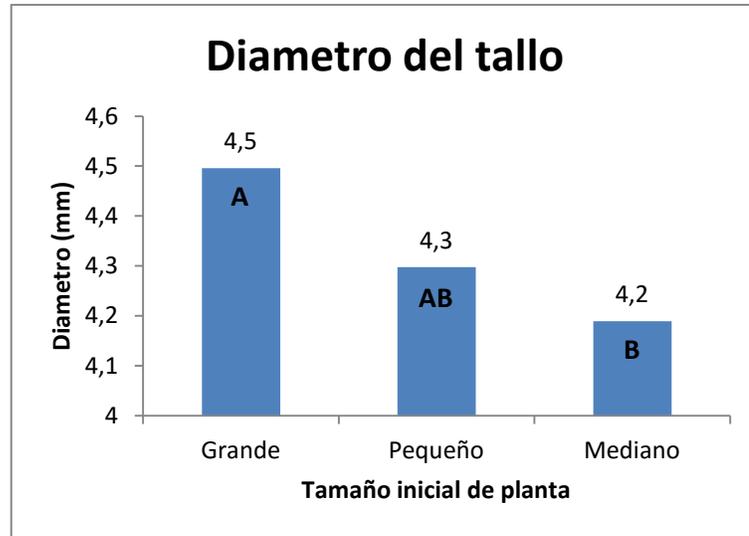


Figura 13 Gráfico de diámetro del tallo (mm) para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación.

El diámetro de tallo presenta mayor desarrollo en las plantas inoculadas con *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor, 4.6mm), *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo, 4.5mm) y *Trichoderma harzianum* cepa magdalena (4.4mm). En la Figura 14 se observa que el tratamiento con menor desarrollo radicular fue *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) con una diferencia de 0.5mm de diámetro. Dicho resultado coincide con el logrado por Guilcapi, quien obtuvo que el mejor tratamiento para diámetro de plantas de café a nivel de vivero fue el que contenía *Trichoderma harzianum* (Guilcapi 2009). Andrade (2012) indica que la acción de *Trichoderma* spp. se da cuando existe algún patógeno afectando las funciones de absorción de la planta, en donde por competencia *Trichoderma* spp. logra que la planta pueda nutrirse. La absorción de nutrientes de la planta se ve reflejada en este caso en el diámetro del tallo, el cual fue favorecido al utilizar *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor)

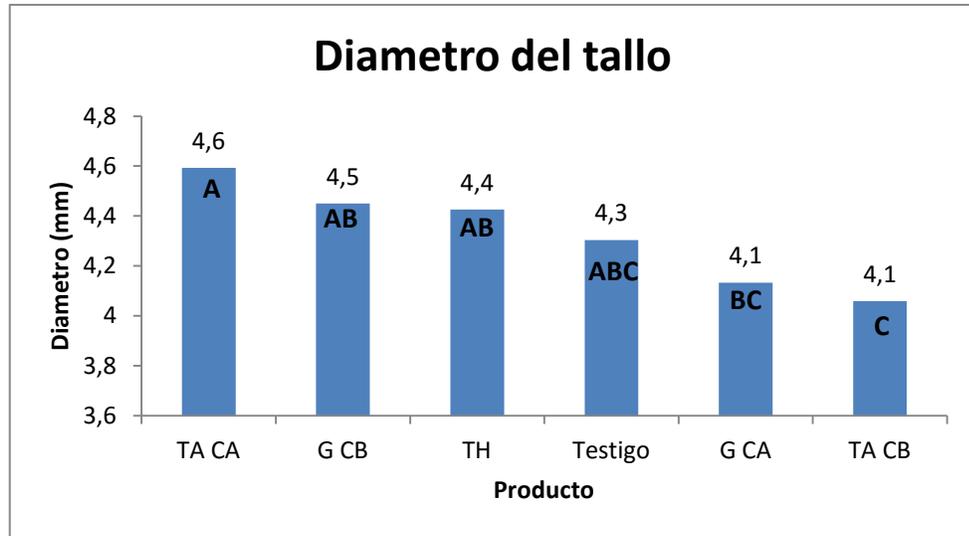


Figura 14 Gráfico de diámetro del tallo (mm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Las plantas que desarrollaron mayor grosor de tallo fueron las del tratamiento *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor), tanto en plantas de tamaño inicial grande (4.7mm), como en las de tamaño inicial mediano (4.5mm) y pequeño (4.6mm), como se puede observar en la grafica que presenta la Figura 15. En dicha grafica también se puede observar que *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena y *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga) también desarrollaron plantas con mayor diámetro. *Trichoderma* spp. Además de haber desarrollado un buen sistema radicular en las plantas, generaron plantas de mayor grosor, sin embargo estas plantas no tuvieron mayor longitud de tallo.

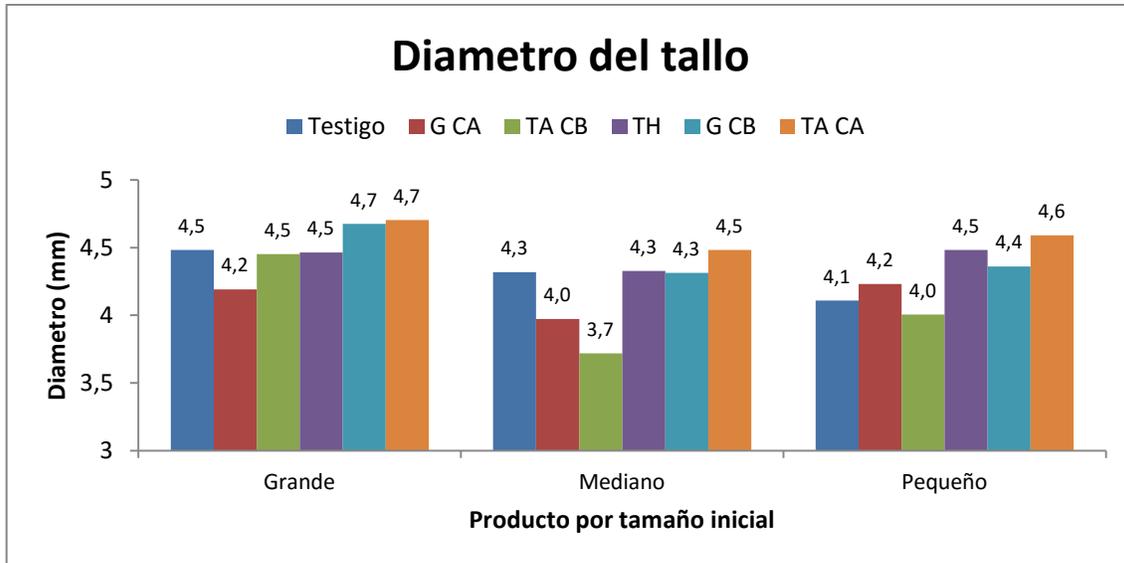


Figura 15 Gráfico de diámetro del tallo para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplanta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis ANDEVA presentado en el Cuadro 18 para diámetro de tallo dio como resultado que existe diferencia significativas tanto en el factor A “inoculantes a base de microorganismos benéficos” ( $0.0135 < 0.05$ ) y factor B “tamaño inicial de vitroplantas.” ( $0.0301 < 0.05$ ). Sin embargo, la interacción entre los Factores A y B no obtuvo diferencia significativa ya que la probabilidad de valor fue de 0.8541, menor a 0.05.

Cuadro 18 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Variable	N	R2	R2 AJ	CV
Diámetro (mm)	72	0.35	0.14	9.10

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.47	17	0.26	1.7	0.0722
Factor A: “microorganismos”	2.47	5	0.49	3.19	0.0135
Factor B: “tamaño inicial de vitroplantas”	1.16	2	0.58	3.74	0.0301
Interacción Factores A y B	0.84	10	0.08	0.54	0.8541
Error	8.37	54	0.16		
Total	12.84	71			

La prueba de Duncan realizada al factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” coloca a las plantas de tamaño inicial Grande en el nivel A, las de tamaño inicial pequeño en el nivel AB y las de tamaño inicial mediano en el nivel B. Dichos resultados indica que las plantas de tamaño inicial grande tienen diferencias significativas con respecto a los demás tamaño, el tamaño inicial que presenta mejor resultado en diámetro del tallo (Cuadro 19).

**Cuadro 19 Resultado del análisis estadístico de las medias del diámetro del tallo para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Tamaño inicial de plantas	Promedio del diámetro del tallo a 90 días	DE
Grande	4.50 A	0.35
Pequeño	4.30 AB	0.43
Mediano	4.19 B	0.45

$p=0.0301$  CV 9.10

La prueba de Duncan realizada al factor “tamaño inicial de vitroplantas” coloca al inoculante a base de *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) en el nivel A, seguido de *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) y *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena en el nivel AB. La prueba indica que el tratamiento con mejor resultado fue *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) ya que presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 20).

**Cuadro 20 Resultado del análisis estadístico de las medias del diámetro del tallo para el factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Producto con microorganismo benéfico	Promedio del diámetro del tallo 90 días	DE
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta	4.59 A	0.39
<i>Glomus</i> spp. concentración baja	4.45 AB	0.38
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa Magdalena	4.43 AB	0.25
Testigo	4.3 ABC	0.44
<i>Glomus</i> spp. concentración alta	4.13 BC	0.43
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja	4.06 C	0.45

$p=0.0135$  CV 9.10

#### 1.15.4 Índice de crecimiento radicular

En el crecimiento radicular las plantas de tamaño inicial grande fueron una vez más las que mejor resultado obtuvieron, con una longitud de 12.2cm. La diferencia entre las plantas de tamaño inicial grande y las de tamaño inicial mediano fue de 0.6cm; mientras que la diferencia entre las plantas de tamaño inicial grande y las de tamaño inicial pequeño fue de 0.9cm de longitud (Figura 16).

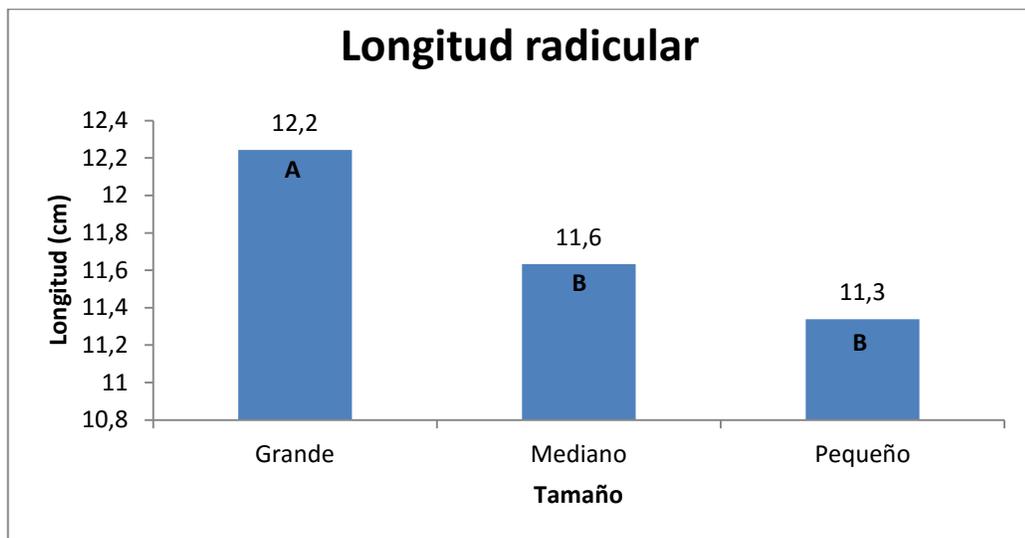


Figura 16 Gráfico de longitud radicular (cm) para el factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

En la figura Figura 17 se observa que los tratamientos con mejor resultado para el factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” fue el Testigo (12cm), *Trichoderma harzianum* cepa magdalena (11.9cm) y *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor, 11.9cm). La diferencia entre estos tratamientos es de 0.1cm, mientras que la diferencia entre el testigo y *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Cóndor) es de 0.6cm de longitud. La longitud radicular pudo estar limitada a la celda de cada bandeja en la cual fueron sembradas las vitroplantas, por lo cual la diferencia entre longitudes fue mínima.

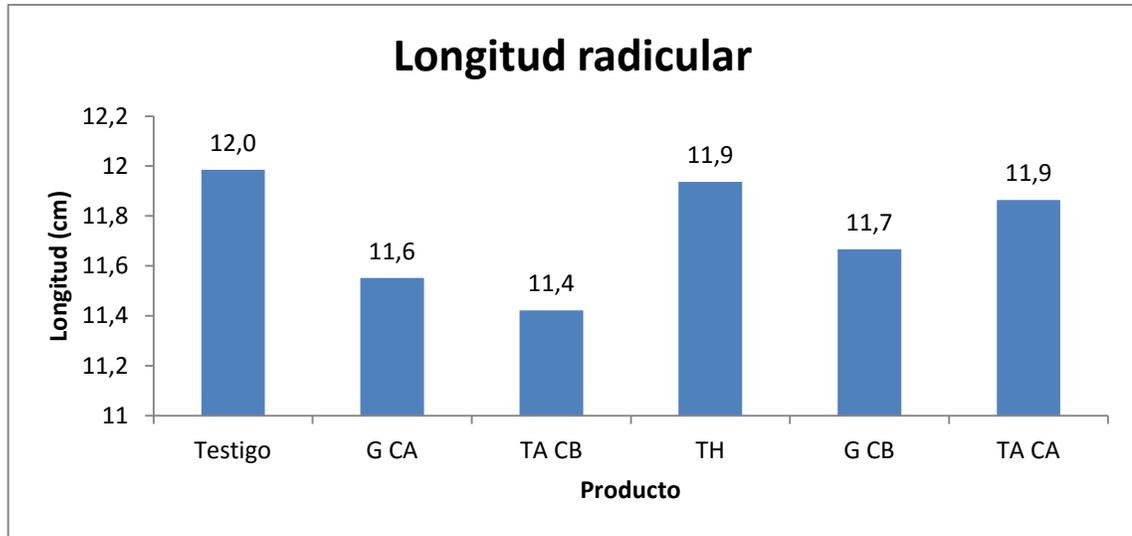


Figura 17 Gráfico de longitud radicular (cm) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 18 las raíces con mayor longitud se desarrollaron en el tratamiento testigo en plantas de tamaño inicial mediano (12.7cm) y en *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) en plantas de tamaño inicial grande (12.6 cm). Aunque el tratamiento testigo tuvo mejor resultado en las plantas de tamaño inicial mediano, las plantas inoculadas con *Trichoderma* spp. notablemente tuvieron buen efecto tanto en plantas de tamaño inicial grande (Tifi y *Trichoderma harzianum* cepa magdalena) y de tamaño inicial pequeño (*Trichoderma harzianum* cepa magdalena y Cóndor), en donde el crecimiento de la raíz pudo haber sido favorecida por la capacidad que tiene *Trichoderma* spp. para mejorar la solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos, la capacidad de resistir estrés y la capacidad de adaptarse a diferentes sustratos, lo cual se refleja de igual manera en el peso seco radicular.

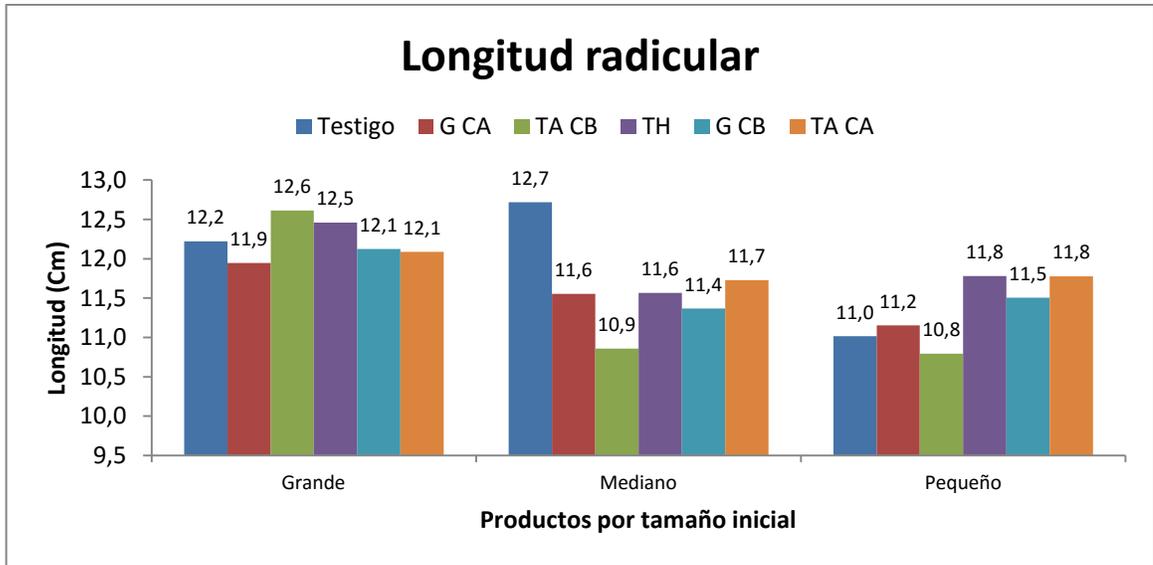


Figura 18 Gráfico de longitud radicular para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis estadístico para la longitud del tallo indicó que a un nivel de significancia de 0.05 solo existe diferencia significativa en el factor “tamaño inicial de vitroplantas”. la probabilidad de valor del nivel B fue de 0.0138 menor a 0.05. El tamaño inicial de planta influyó en la longitud radicular que alcanzaron las plantas de cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro 21 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para longitud radicular a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Variable	N	R2	R2 AJ	CV
Longitud radicular (cm)	72	0.27	0.04	8.94

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22.33	17	1.31	1.19	0.3011
Factor A “microorganismos”	3.07	5	0.61	0.56	0.7310
Factor B “Tamaño inicial de vitroplantas”	10.22	2	5.11	4.64	0.0138
Interacción factores A y B	9.03	10	0.90	0.82	0.6107
Error	59.43	54	1.10		
Total	81.76	71			

La prueba de Duncan para la longitud radicular del factor “tamaño inicial de vitroplantas” coloca a las plantas de tamaño inicial grande en el nivel A, siendo este estadísticamente significativo con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 22).

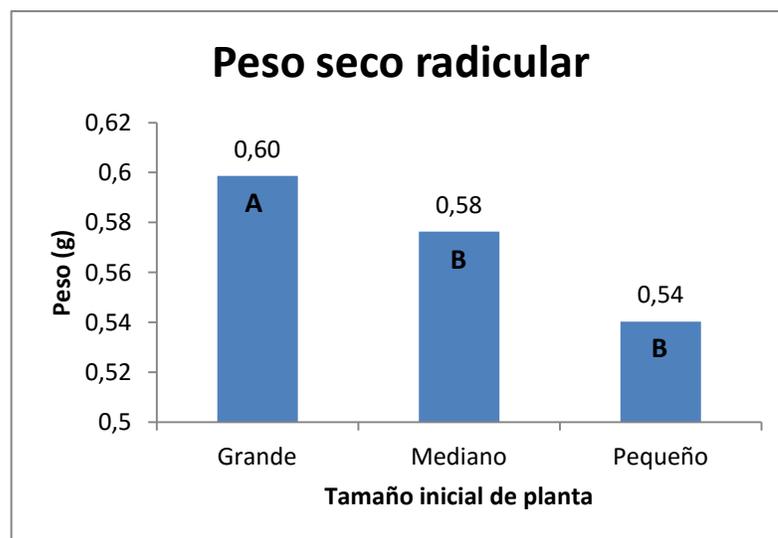
**Cuadro 22 Resultado del análisis estadístico de las medias de la longitud radicular para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Tamaño inicial de plantas	Promedio del % de sobrevivencia a 90 días	DE
Grande	12.24 A	0.84
Mediano	11.63 B	1.19
Pequeño	11.34 B	0.99

$p=0.0138$  CV 8.94

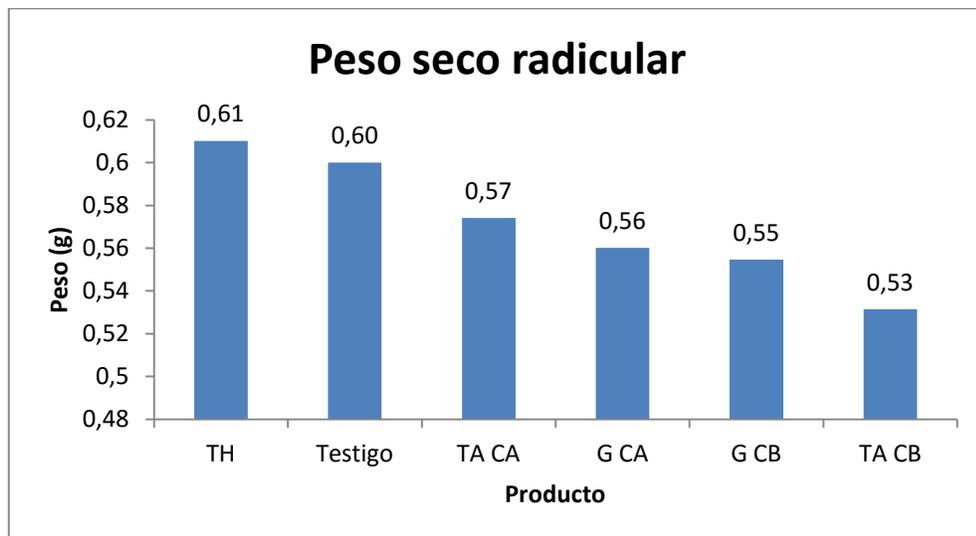
#### a. Biomasa radicular

En el peso seco radicular, las vitroplantas de tamaño inicial grande tuvieron mejor resultado, siendo estas de 0.6g de peso. Las vitroplantas de tamaño inicial mediano llegaron a pesar 0.58g siendo diferentes por 0.02g de las plantas de tamaño inicial grande, y las plantas de tamaño inicial pequeño con 0.54g tuvieron una diferencia de 0.06g de las plantas de tamaño inicial grande (Figura 19).



**Figura 19 Gráfico para peso seco radicular (g) para factor “tamaño inicial de vitroplanta” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Para el factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos”, las plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena tuvieron el mayor peso seco radicular con 0.61g, seguido del tratamiento testigo con 0.60g y *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) con 0.57g. La diferencia que existe entre el tratamiento con menor peso radicular y *Trichoderma harzianum* cepa Magdalena fue de 0.08g. Dichos resultados son similares a los obtenidos por Estancio (2013), quien obtuvo que a los 120 días de haberse sembrado el experimento, las plantas inoculadas con micorrizas dieron como resultado el menor aumento de peso, en comparación con el testigo. Estancio (2013) menciona que García et al. (2011) indica que la textura y la poca retención de humedad del sustrato, pueden estimular la iniciación de raíces laterales aumentando también su diámetro y elongación de la misma.



**Figura 20** Gráfico para peso seco radicular (g) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla.

En la Figura 21 se puede observar que el mayor peso seco radicular lo obtuvo el tratamiento testigo en plantas de tamaño inicial mediano (0.65g) y el tratamiento *Trichoderma harzianum* cepa magdalena en plantas de tamaño inicial grande (0.64g), sin embargo se sigue observando que los inoculantes a base de *Trichoderma* spp. Tuvieron buen efecto en el peso seco radicular.

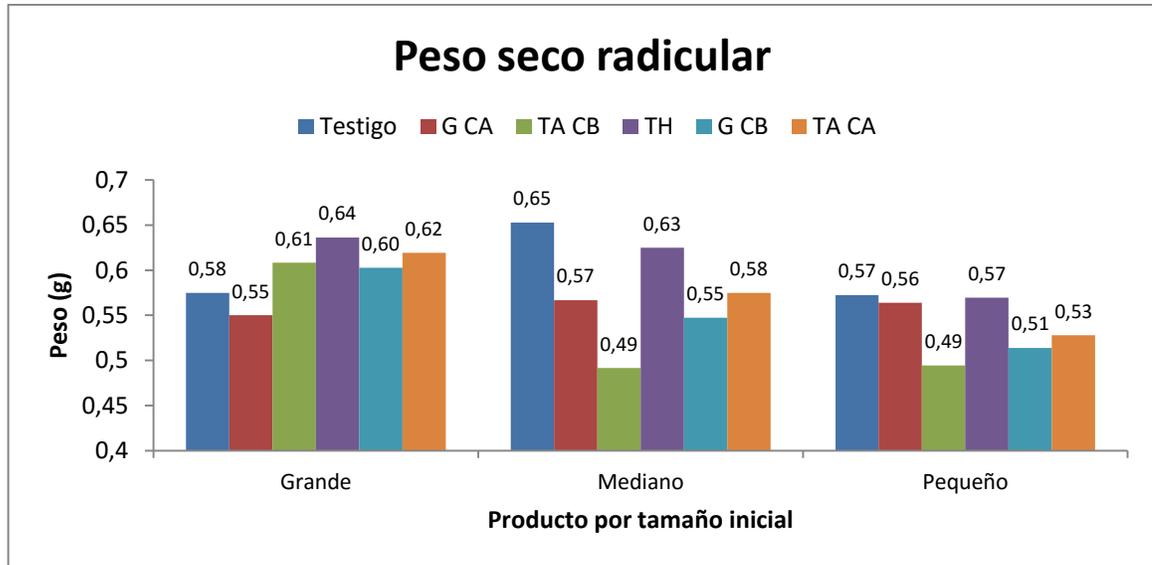


Figura 21 Gráfico de peso seco radicular para interacción entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

El análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 indica que no existió diferencia significativa entre los factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos”, “tamaño inicial de vitroplantas” y la interacción de ambos factores.

Ya que estadísticamente ninguno de los factores fue influyente en los resultados de peso seco radicular, este pudo haber sido influenciado por el tamaño de la celda en la que se encontraba cada planta como fue mencionado anteriormente.

Cuadro 23 Análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05 para peso seco radicular a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Variable	N	R2	R2 AJ	CV
Peso seco raíz (g)	72	0.22	0.00	17.04

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.15	17	0.01	0.92	0.5590
Factor “microorganismos”	0.05	5	0.01	1.09	0.3739
Factor “tamaño inicial de vitroplantas”	0.04	2	0.02	2.19	0.1216
Interacción factores A y B	0.05	10	0.01	0.57	0.8287
Error	0.51	54	0.01		
Total	0.66	71			

En resumen, se obtiene que los microorganismos benéficos *Trichoderma* spp. y *Glomus* spp. en alta y baja concentración tuvieron diferente efecto sobre las plantas de caña de azúcar bajo los diferentes tratamientos. *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) demostró tener efecto sobre el diámetro de tallo obteniendo plantas con 4.6mm de grosor de tallo. *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) demostró tener efecto sobre la sobrevivencia en donde se obtuvo 88% de plantas vivas. *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga) demostró tener efecto sobre la prevalencia e incidencia del hongo *Curvularia* spp. dando como resultado el 89% de plantas sanas. *Glomus* spp. a concentración baja demostró tener efecto sobre la longitud del tallo con el cual se obtuvo plantas con tallos de 11.6cm de longitud. Por último, *Trichoderma harzianum* demostró tener efecto sobre el desarrollo radicular ya que se obtuvo plantas con 0.61g de biomasa radicular.

El análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa en la interacción de los factores “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” y el factor “Tamaño inicial de vitroplantas”. Sin embargo al analizar el factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” se encuentra que hubo diferencia significativa únicamente en las variables sobrevivencia y diámetro del tallo. Y al analizar el factor “Tamaño inicial de vitroplantas” se encuentra que el tamaño inicial grande tuvo diferencia significativa en todas las variables evaluadas colocándose en el nivel A, a excepción de la variable prevalencia y causa de enfermedades.

## 1.16 CONCLUSIONES

1. Estadísticamente no hubo diferencia significativa en la interacción de los factores “Productos inoculantes a base de microorganismos benéficos” y el factor “Tamaño inicial de vitroplantas”, sin embargo, al analizar el factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” se encuentra que hubo diferencia significativa únicamente en las variables sobrevivencia y diámetro del tallo; y al analizar el factor “Tamaño inicial de vitroplantas” se encuentra que el tamaño inicial grande tuvo diferencia significativa en todas las variables evaluadas colocándose en el nivel A, a excepción de la variable Incidencia y prevalencia de enfermedades.
2. El tamaño que dio como resultado la mayor sobrevivencia fue el tamaño inicial grande con 87.7%. Las plantas bajo el tratamiento testigo y las inoculadas con *Trichoderma atroviride* a concentración baja (Tifi) dieron como resultado mayor efecto sobre la sobrevivencia, dando como resultado 88.2% y 88.1%, respectivamente.
3. Se determinó que las plantas inoculadas con *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) presentaron mayor longitud del tallo siendo esta de 11.6cm y las plantas inoculadas con *Trichoderma atroviride* concentración alta (Cóndor) presentaron mayor diámetro de tallo siendo este de 4.6mm; así también, *Trichoderma harzianum* demostró tener efecto sobre el desarrollo radicular dando como resultado plantas con 0.61g de biomasa radicular.
4. Se determinó la prevalencia e incidencia del hongo *Curvularia* spp., el cual a los 75 días de aclimatación presentó que las plantas de tamaño inicial grande fueron las que tuvieron mayor porcentaje de plantas sanas con 88% y las inoculadas con *Glomus* spp. a concentración alta (Aegis irriga) con 89%.

## 1.17 RECOMENDACIONES

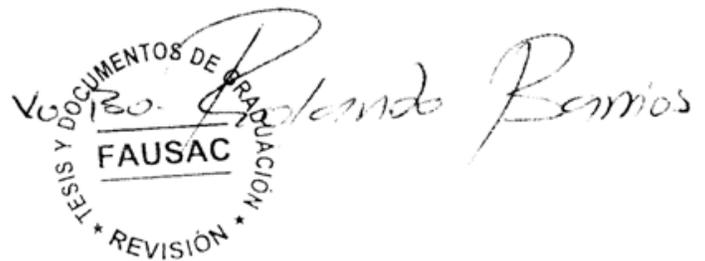
1. Con fines de producción se recomienda seguir tomando en cuenta los tres tamaños iniciales de vitroplantas ya que se cuenta con una mínimo el 82.6% de sobrevivencia, la cual se dio en el tratamiento evaluado con menor sobrevivencia.
2. Se recomienda evaluar los microorganismos *Trichoderma* spp. y *Glomus* spp. realizando tres aplicaciones de los inoculantes durante los tres meses de aclimatación.
3. Se recomienda evaluar diferentes concentraciones de los productos esperando encontrar mayor efecto de dichos productos en el desarrollo de las vitroplantas de caña de azúcar.
4. Se recomienda la evaluación de diferentes combinaciones entre *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma harzianum* cepa magdalena y *Glomus* spp. con el fin de encontrar una combinación en la cual se potencialice el efecto que tubo individualmente cada uno de los inoculantes.
5. Se recomienda la evaluación de los inoculantes a base de microorganismos benéficos *Trichoderma* spp. y *Glomus* spp. bajo la influencia de programas de nutrición elaborados tomando en cuenta los requerimientos tanto de las plantas como de los microorganismos benéficos a evaluar.

## 1.18 BIBLIOGRAFÍA

1. Cano, MA. 2011. Interacción de microorganismos benéficos plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión (en línea). Colombia, UCDA (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambiente). Consultado 25 set 2014. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a03>
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). Guatemala, Artemis Edinter. 512 p.
3. Chávez, MP. 2006. Producción de *Trichodermas* spp. y evaluación de su efecto en cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) (en línea). Colombia, Pontificia Universidad Javeriana. Consultado 24 set 2014. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis286.pdf>
4. Cruz Sic, MM. 2004. Efecto de la 6-bencilaminopurina en la proliferación de brotes *in vitro* de tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 88 p.
5. Díaz, LL; Portocarrero, ET. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (en línea). Honduras, Escuela Agrícola Panamericana “El Zamorano”. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://teca.fao.org/sites/default/files/technology\\_files/T1639.pdf](http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1639.pdf)
6. Estacio Arcos, RA. 2013. Aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar -variedad CP 73-1547-. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana “El Zamorano”. 18 p.
7. Flores, JI. 2012. Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San Patricio en el municipio de La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A. (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2731.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2731.pdf)
8. Gilman, JC. 1945. Manual de los hongos del suelo. Estados Unidos, The Iowa State University Press. 572 p.
9. Guilcapi, E. 2009. Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride*, en la producción de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad Caturra a nivel de vivero. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 95 p.

10. Hernández, CA. 2001. Efecto del hongo micorriza (*Glomus intraradices* Shenk & Smith) en el crecimiento del portainjerto mexicolá (*Persea americana* Mill.) cultivado bajo cinco tratamientos de fertilización (en línea). Chile, Universidad Católica de Valparaíso. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/G-H-I/HernandezClaudio2001.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/G-H-I/HernandezClaudio2001.pdf)
11. Holguin, G; Bashan, Y; Puente, E; Carrillo, Á; Bethlenfalvay, G; Rojas, A; Vázquez, P; Toledo, G; Bacilio Jiménez, M; Glick, BR; González de Bashan, L; Lebsky, V; Moreno, M; Hernández, JP. 2003. Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizófera (en línea). México, CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste). Consultado 24 set 2014. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60829210>
12. Holt, J. 2013. Subkingdom Dikarya (en línea). Diversity of Life. Consultado 24 set 2014. Disponible en <http://comenius.susqu.edu/biol/202/fungi/default.htm>
13. ITALPOLLINA, IT. Beneficial microbials (en línea). Italia. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://www.italpollina.com/en/Product/85/BENEFICIAL\\_MICROBIALS](http://www.italpollina.com/en/Product/85/BENEFICIAL_MICROBIALS)
14. ITIS (Integrated Taxonomic Information System, US). *Saccharum officinarum* L. taxonomy and nomenclature (en línea). US. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=42058](http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42058)
15. James, YT; Kauff, K; Scoch, CL; Matheny, PB; Hofstetter, V; Cox, CJ; Celio, G; Gueidan, C; Fraker, E; Miadlikowska, J; Lumbsch, HT; Rauhut, A; Reeb, V; Arnold, AE; Amtoft, A; Stajich, JE; Hosaka, K; Sung, GH; Johnson, D; O'Rourke, B; Crockett, M; Binder, M; Curtis, JM; Slot, JC; Wang, Z; Wilson, AW; Schüssler, A; Longcore, JE; O'Donnell, K; Mozley-Standridge, S; Porter, D; Letcher, PM; Powell, MP; Taylor, JW; White, MM; Griffith, GW; Davies, DR; Humber, RA; Morton, JB; Sugiyama, J; Rossmann, AY; Rogers, JD; Pfister, DH; Hewitt, D; Hansen, K; Hambleton, S; Shoemaker, RA; Kohlmeyer, J; Volkmann-Kohlmeyer, B; Spotts, RA; Serdani, M; Crous, PW; Hughes, KW; Matsuura, K; Langer, E; Langer, G; Untereiner, WA; Lücking, R; Büdel, B; Geiser, DM; Aptroot, A; Diederich, P; Schmitt, I; Schultz, M; Yahr, R; Hibbett, DS; Lutzoni, F; McLaughlin, DJ; Spatafora, JW; Vilgalys, R. 2006. Glomeromycota (en línea). US. Consultado 24 set 2014. Disponible en <http://comenius.susqu.edu/biol/202/fungi/glomeromycota/default.htm>
16. Martin, A. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. México, Libros y Editoriales. 491 p.
17. Ortiz, R. 2000. Factores que afectan el desarrollo de vitroplantas de caña de azúcar en la fase adaptativa (en línea). Cuba, INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/factores\\_afectan.pdf](http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/factores_afectan.pdf)

18. Sheng Gerald, LT. 2011. Biofabrica de plantas: produçao industrial de plantas *in vitro*. Sao Paulo, Brasil, Antiqua. 490 p.
19. SIVICAÑA (Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la Caña de Azúcar, MX). 2014. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar (en línea). México. Consultado 24 set 2014. Disponible en [http://nutriciondebovinos.com.ar/MD\\_upload/nutriciondebovinos\\_com\\_ar/Archivos/Fil e/CA%C3%91A\\_DE\\_AZ%C3%9ACAR,\\_FICHA\\_T%C3%89CNICA.pdf](http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/Fil e/CA%C3%91A_DE_AZ%C3%9ACAR,_FICHA_T%C3%89CNICA.pdf)
20. Soria Arteaga, EM; Jiménez Terri, F; Pinea Ruiz, E; Pereira Marín, CA. 2001. Bioestimulación a vitroplantas de caña de azúcar en la fase de aclimatación (en línea). Cuba. Consultado 27 set 2015. Disponible en <http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/ciencia/179-01-04-13.pdf>
21. Subiros, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar (en línea). Costa Rica, EUNED. Consultado 25 set 2014. Disponible en [https://books.google.com.gt/books/about/Cultivo\\_de\\_la\\_Ca%C3%B1a\\_de\\_Az%C3%BAcar.html?hl=es&id=2wpC1j2AmkAC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.gt/books/about/Cultivo_de_la_Ca%C3%B1a_de_Az%C3%BAcar.html?hl=es&id=2wpC1j2AmkAC&redir_esc=y)
22. Vela, TP. 2012. Trabajo de graduación realizado en Biotecnología Magdalena (BIOMAG), División de Investigación y Desarrollo Agrícola, Ingenio Magdalena, La Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 139 p.



## 1.19 ANEXOS



Figura 22A Meristemo de caña de azúcar en tubo de ensayo del Área de Biotecnología del Ingenio Magdalena, S.A.



Figura 23A Vitroplantas de caña de azúcar en diferentes etapas de micropropagación del Laboratorio de Biotecnología del Ingenio Magdalena, S.A.

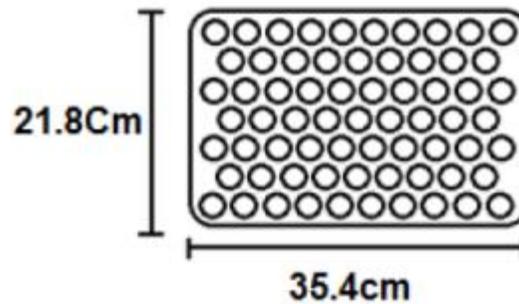


Figura 24A Dimensiones de una bandeja múltiple de 67 celdas.



**Figura 25A** Establecimiento de la evaluación dentro del invernadero en Ingenio Magdalena, S.A. , La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.



**Figura 26A** Aplicación drench de los productos evaluados utilizando bomba de mochila en Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014



**Figura 27A** Vitroplantas de caña de azúcar fuera de invernadero a 90 días de aclimatación en Ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

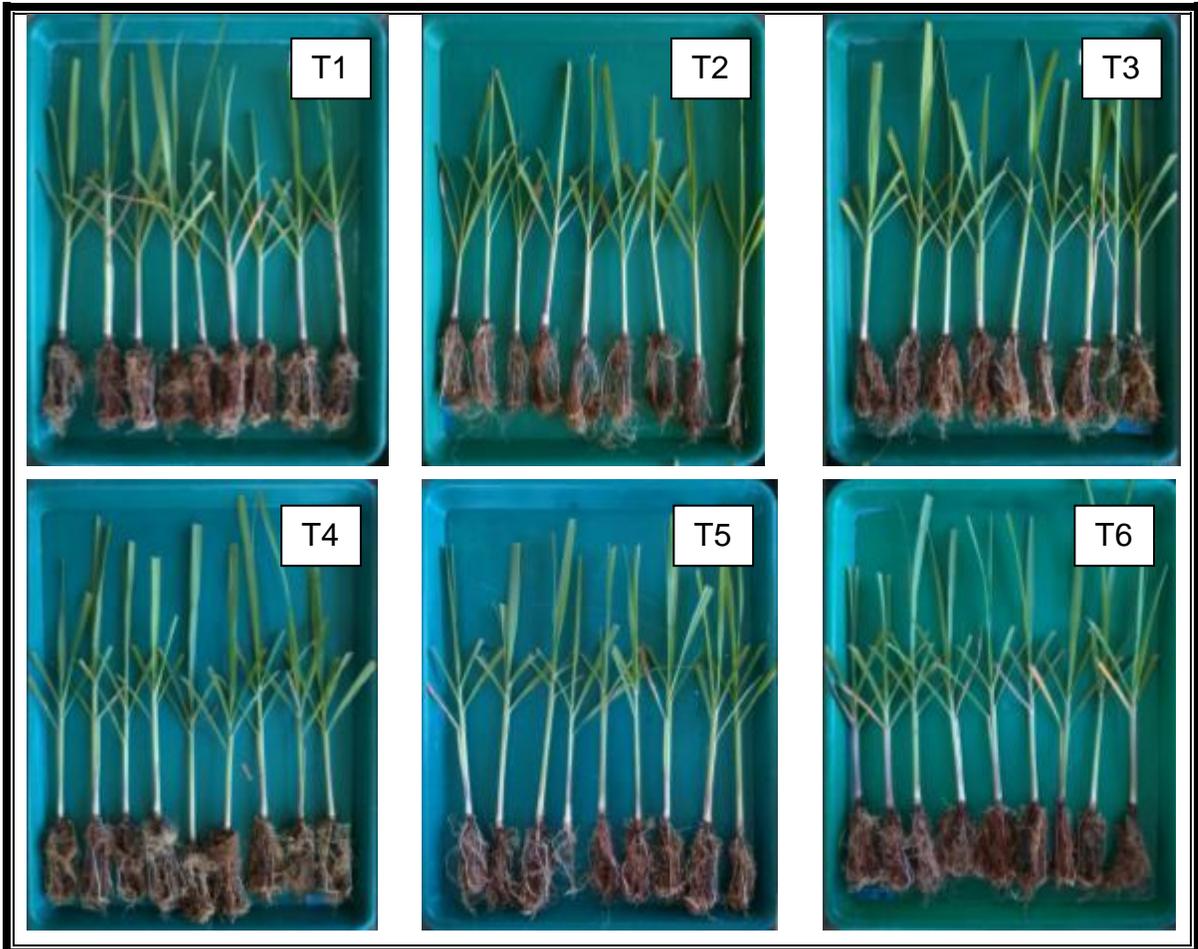


Figura 28A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial grande a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

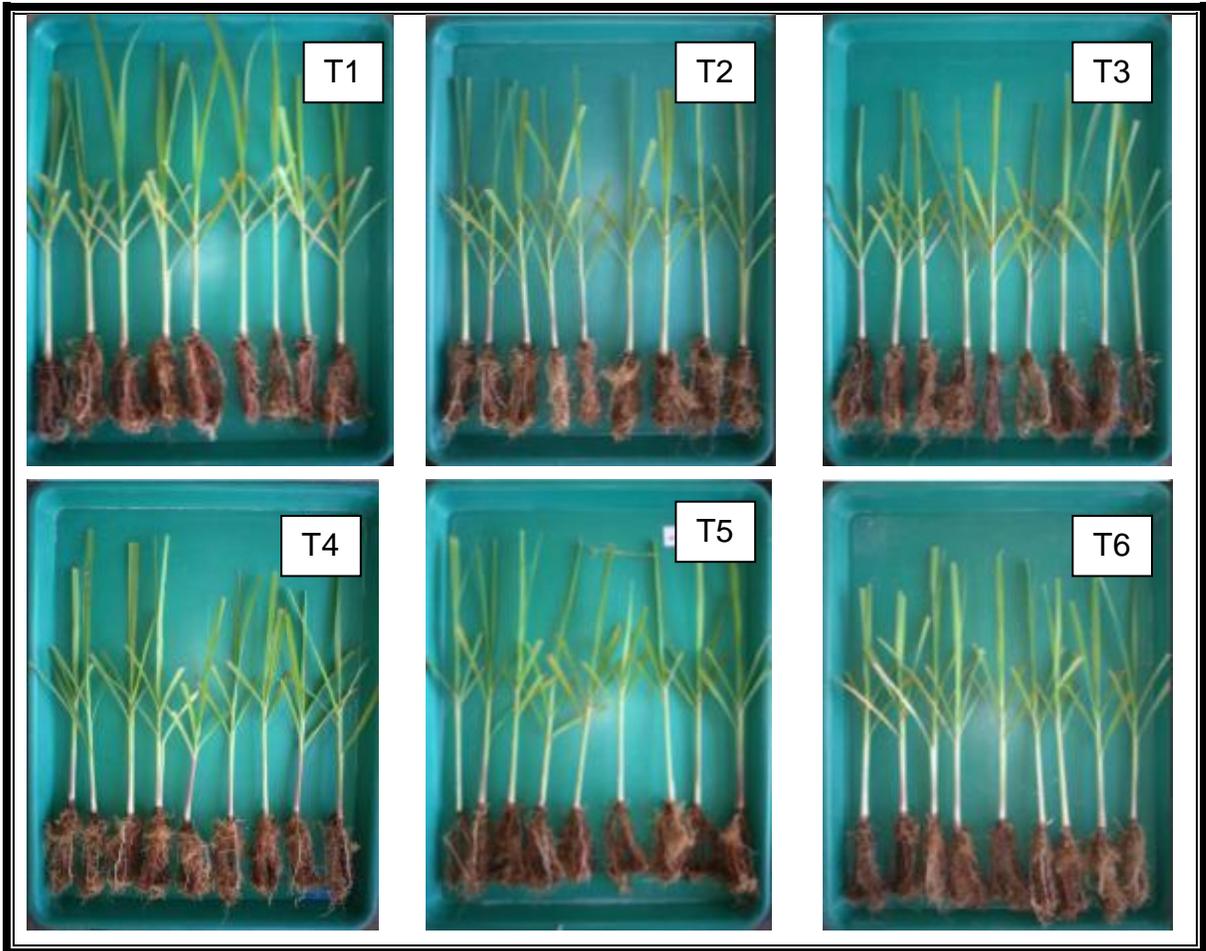


Figura 29A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial mediano a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

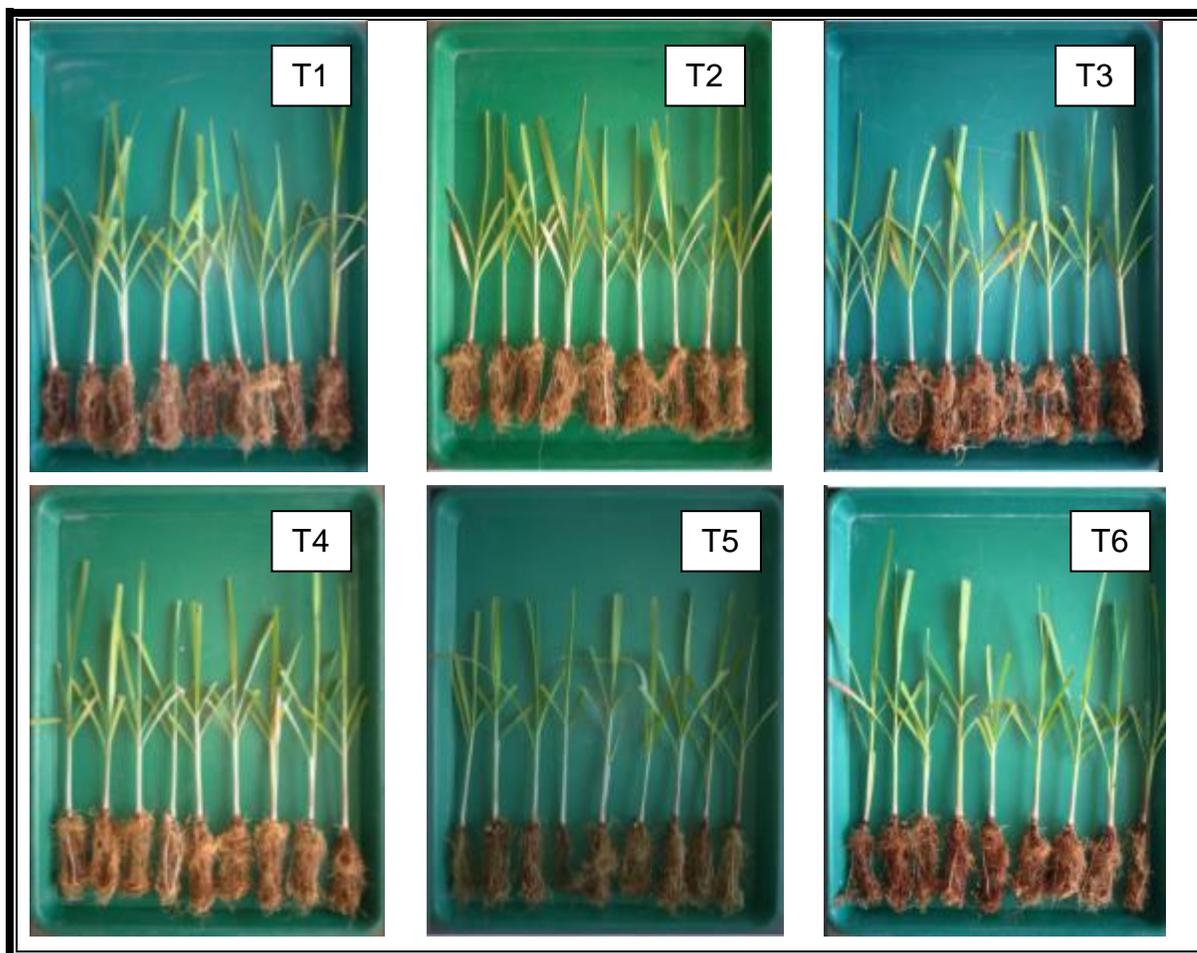


Figura 30A Vitroplantas de caña de azúcar de tamaño inicial pequeño a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

**Cuadro 24A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia del factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Medias	n	E.E			
Testigo	88.16	12	1.11	A		
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	88.08	12	1.11	A		
<i>Glomus</i> spp. Concentración baja (Aegis microgránulo)	87.42	12	1.11	A	B	
<i>Glomus</i> spp. Concentración alta (Aegis irriga)	86.58	12	1.11	A	B	
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	84.58	12	1.11		B	C
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa Magdalena	82.62	12	1.11			C

**Cuadro 25A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para sobrevivencia del factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor B	Medias	n	E.E		
Grande	87.75	24	0.78	A	
Mediano	86.59	24	0.78	A	B
Pequeño	84.38	24	0.78		B

**Cuadro 26A sobrevivencia de interacciones entre factores “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Tamaño inicial de planta	Medias
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	90.34
Testigo	Grande	88.76
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	88.74
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	grande	88.58
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Grande	88.49
Testigo	Mediano	88.48
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	88.21
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	87.55
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Mediano	87.52
Testigo	Pequeño	87.25
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	86.90
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	86.38
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Grande	84.9
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Pequeño	83.72
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	83.71
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Pequeño	83.07
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Mediano	79.89
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Condor)	Pequeño	79.81

**Cuadro 27A Porcentaje de plantas sanas para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Medias
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	89.03
Testigo	88.28
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	87.35
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	86.53
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	84.94
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	84.61

**Cuadro 28A Porcentaje de plantas sanas para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor B	Medias
Pequeño	88.04
Grande	86.77
Mediano	85.56

**Cuadro 29A porcentaje de plantas sanas para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 75 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Tamaño inicial de planta	Medias
<i>Trichoderma harzianum</i> cepa Magdalena	Grande	90.91
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis Irriga)	Grande	90.05
Testigo	Pequeño	89.61
Testigo	Mediano	88.66
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis Irriga)	Pequeño	88.66
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis Irriga)	Mediano	88.39
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	88.17
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Grande	87.09
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	86.93
Testigo	Grande	86.97
<i>Trichoderma harzianum</i> cepa Magdalena	Mediano	85.82
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Pequeño	85.80
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	85.60
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	85.40
<i>Trichoderma harzianum</i> cepa Magdalena	Pequeño	85.32
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	84.32
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	83.58
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	81.34

**Cuadro 30A Longitud radicular (cm) para factor “Inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Medias
Testigo	11.99
<i>Trichoderma harzianum</i> cepa Magdalena	11.94
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	11.86
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	11.67
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	11.55
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	11.42

**Cuadro 31A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para longitud radicular (cm) para factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor B	Medias	n	E.E		
Grande	12.24	24	0.21	A	
Mediano	11.63	24	0.21		B
Pequeño	11.34	24	0.21		B

**Cuadro 32A Longitud radicular (cm) de interacciones entre Factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Tamaño inicial de planta	Medias
Testigo	Mediano	12.72
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Grande	12.61
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Grande	12.46
Testigo	Grande	12.22
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	12.12
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	12.09
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Grande	11.95
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Pequeño	11.78
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Pequeño	11.78
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	11.73
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Mediano	11.57
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Mediano	11.55
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	11.51
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	11.37
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Pequeño	11.16
Testigo	Pequeño	11.02
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	10.86
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	10.79

**Cuadro 33A Longitud del tallo (cm) para factor “Inoculante a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en la Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor A	Medias
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	11.55
Testigo	11.09
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	10.95
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	10.91
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	10.58
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	10.39

**Cuadro 34A Longitud el tallo (cm) a un nivel de significancia de 0.05 para el factor “Tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

Factor B	Medias	n	E.E		
Grande	11.69	24	0.25	A	
Mediano	11.27	24	0.25	A	
Pequeño	9.77	24	0.25		B

**Cuadro 35A** Longitud de tallo para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, Febrero, 2015.

Factor A	Factor B	Medias
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	12.36
Testigo	Grande	12.01
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	11.91
Testigo	Mediano	11.91
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Grande	11.81
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	11.68
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Grande	11.32
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	11.21
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Mediano	11.00
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Grande	10.99
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Mediano	10.91
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	10.71
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	10.39
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Pequeño	10.04
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Pequeño	9.84
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	9.72
Testigo	Pequeño	9.35
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Pequeño	9.28

**Cuadro 36A** Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo (mm) del factor “inoculante a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Factor A	Medias	n	E.E			
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	4.59	12	0.11	A		
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	4.45	12	0.11	A	B	
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	4.43	12	0.11	A	B	
Testigo	4.3	12	0.11	A	B	C
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	4.13	12	0.11		B	C
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	4.06	12	0.11			C

**Cuadro 37A** Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para diámetro del tallo (mm) del factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Factor B	Medias	n	E.E		
Grande	4.50	24	0.08	A	
Pequeño	4.30	24	0.08	A	B
Mediano	4.19	24	0.08		B

**Cuadro 38A Diámetro del tallo (mm) para interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>	<b>Medias</b>
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	4.7
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	4.68
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Pequeño	4.59
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	4.48
Testigo	Grande	4.48
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Pequeño	4.48
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Grande	4.47
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Grande	4.45
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	4.36
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Mediano	4.33
Testigo	Mediano	4.32
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	4.31
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Pequeño	4.23
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Grande	4.19
Testigo	Pequeño	4.11
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	4.00
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Mediano	3.97
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	3.72

**Cuadro 39A Peso seco radicular (g) para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

<b>Factor A</b>	<b>Medias</b>
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	0.61
Testigo	0.60
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	0.57
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	0.56
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	0.55
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	0.53

**Cuadro 40A Prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para peso seco de la raíz (g) de factor “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.**

<b>Factor B</b>	<b>Medias</b>
Grande	0.60
Mediano	0.58
Pequeño	0.54

Cuadro 41A Peso seco de la raíz (g) de interacciones entre factores “inoculantes a base de microorganismos benéficos” y “tamaño inicial de vitroplantas” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

Factor A	Factor B	Medias
Testigo	Mediano	0.65
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Grande	0.64
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Mediano	0.63
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Grande	0.62
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Grande	0.61
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Grande	0.60
Testigo	Grande	0.58
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Mediano	0.58
Testigo	Pequeño	0.57
<i>Trichoderma harzianum</i> Cepa magdalena	Pequeño	0.57
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Mediano	0.57
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Pequeño	0.56
<i>Glomus</i> spp. concentración alta (Aegis irriga)	Grande	0.55
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Mediano	0.55
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración alta (Cóndor)	Pequeño	0.53
<i>Glomus</i> spp. concentración baja (Aegis microgránulo)	Pequeño	0.51
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Pequeño	0.49
<i>Trichoderma atroviride</i> concentración baja (Tifi)	Mediano	0.49

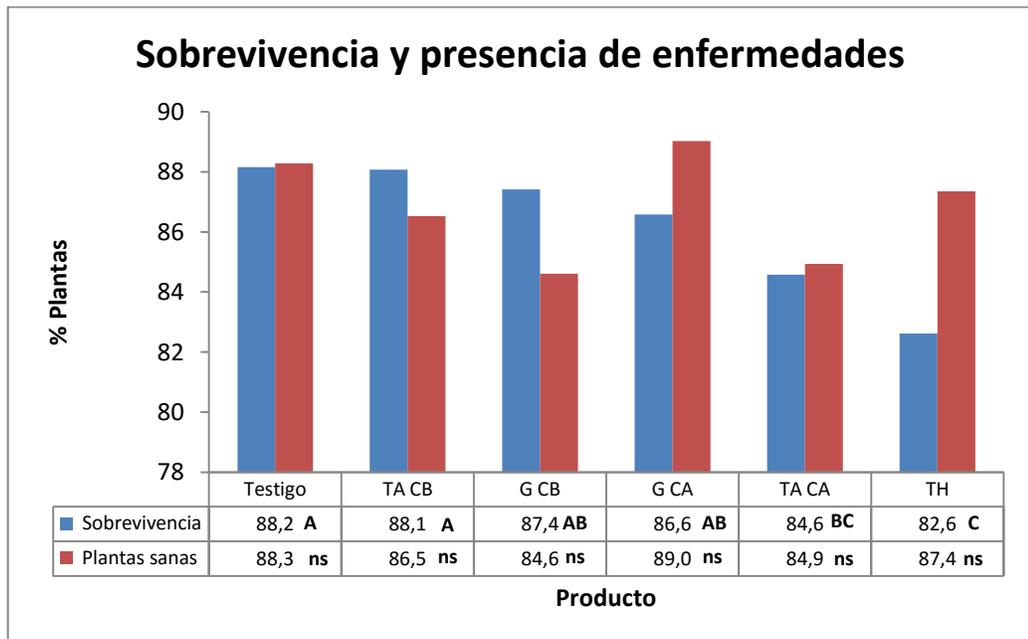


Figura 31A Gráfico de sobrevivencia y presencia de enfermedades para factor “inoculantes a base de microorganismos benéficos a los 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

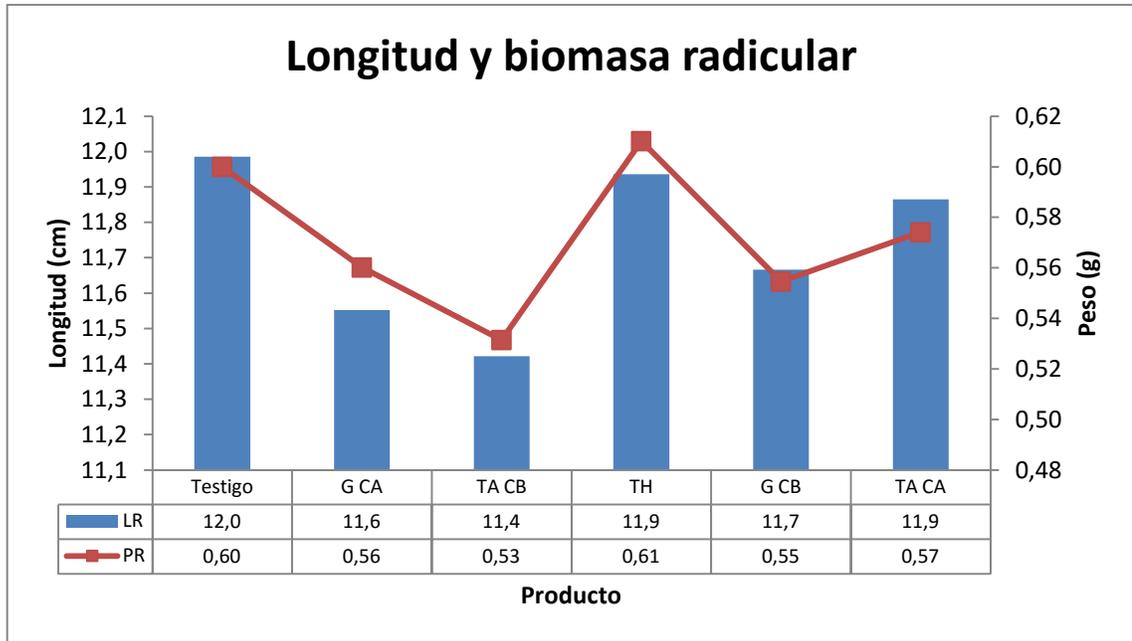


Figura 32A Gráfico de longitud (cm) y biomasa (g) radicular para factor “inoculantes de microorganismos benéficos” a 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla, febrero, 2015.

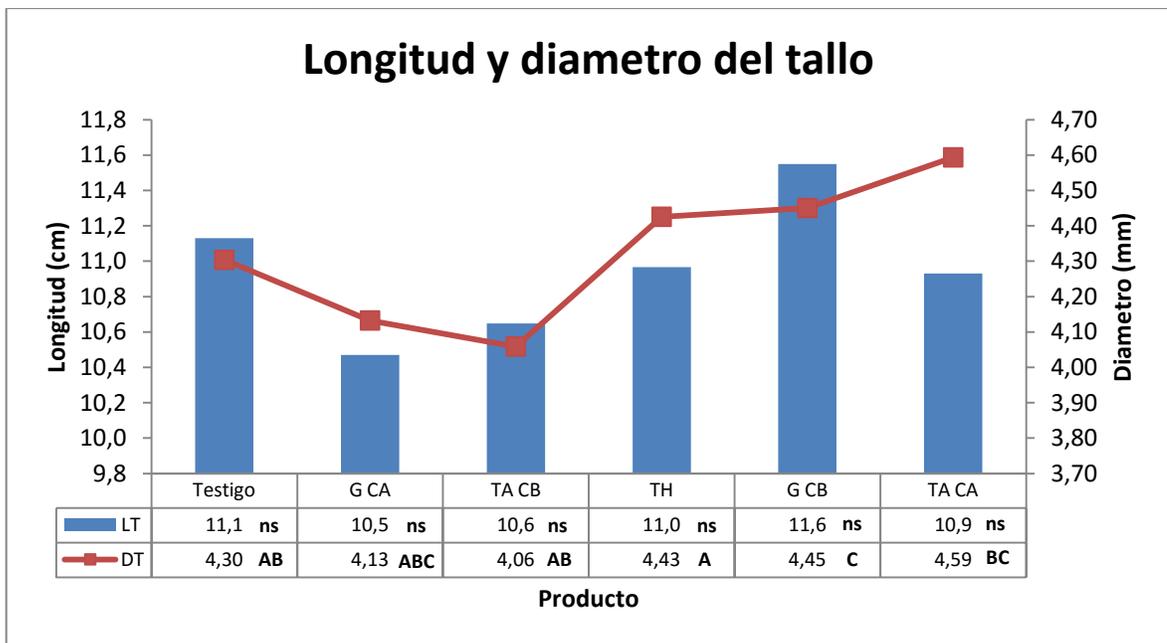


Figura 33A Gráfico de longitud (cm) y diámetro (mm) del tallo para factor “inoculante a base de microorganismos benéficos” 90 días de aclimatación en La Democracia, Escuintla.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO



INFORME DE RESULTADOS

<b>CORRELATIVO</b> 0420 -2014	<b>FECHA DE INGRESO</b> 12/12/2014	<b>FECHA DE EMISION</b> 08 /01/2015	<b>ANALISIS REALIZADO</b> Fitopatológico
<b>MUESTRA</b> Caña de Azúcar	<b>PROCEDENCIA</b> Ingenio Magdalena, Escuintla	<b>EMPRESA</b> EPS	<b>SOLICITANTE</b> Evelin García

<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Mancha negra-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Mancha (Hoja deforme)-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Bacteria-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>No presenta agentes fitopatógenos</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Mancha roja-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Hoja Pálida-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>No presenta agentes fitopatógenos</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Hojas secas-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Planta muerte T1R1G-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>No presenta agentes fitopatógenos</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Hoja amarilla-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Hongo-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Sin identificación 1-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>
<b>Muestra analizada</b>	Follaje –Sin identificación 2-
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>

Figura 34A Análisis fitopatológico de muestras de plantas que presentaron síntomas de enfermedades realizado en el Centro De Diagnostico Parasitológico de la USAC, Ciudad de Guatemala. Enero,2015.

		<b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>FACULTAD DE AGRONOMÍA</b> <b>CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO</b>			
<b>INFORME DE RESULTADOS</b>					
<b>CORRELATIVO</b> 0403 -2014	<b>FECHA DE INGRESO</b> 25/11/2014	<b>FECHA DE EMISION</b> 08 /01/2015	<b>ANALISIS REALIZADO</b> Fitopatológico		
<b>MUESTRA</b> <i>Caña de Azúcar</i>	<b>PROCEDENCIA</b> Ingenio Magdalena, Escuintla	<b>EMPRESA</b> EPS	<b>SOLICITANTE</b> Evelin García		
<b>Muestra analizada</b>	Raíz				
<b>AGENTE DETECTADO</b>	<i>Curvularia sp.</i>				
<b>OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES</b>					

Figura 35A Análisis fitopatológico de raíces de plantas que presentaron síntomas de enfermedad, realizado en el Centro De Diagnostico Parasitológico de la USAC, Ciudad de Guatemala. Enero, 2015.

**Cuadro 42A Síntomas de enfermedades de vitroplantas de caña de azúcar observadas durante aclimatación en La Democracia, Escuintla. Diciembre, 2014.**

Descripción	Ilustración
<p>Micelio de Hongo en vitroplanta de caña de azúcar.</p>	
<p>Mancha negra en vitroplanta de caña de azúcar</p>	
<p>Hojas secas de vitroplantas de caña de azúcar</p>	
<p>Mancha roja de vitroplanta de caña de azúcar.</p>	



### **CAPÍTULO III**

**SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA  
MAGDALENA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA,  
INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**



## 1.20 PRESENTACIÓN

Los servicios realizados en el Departamento de Biotecnología Magdalena se llevaron a cabo con el objetivo principal de aportar a la solución de los principales problemas identificados durante el diagnóstico del Área de Aclimatación de Plantas. Como servicios se realizaron tres evaluaciones, las cuales son un aporte a las investigaciones de biotecnología realizada en Ingenio Magdalena, S.A.

El Área de Invernaderos cuenta con pacas de siete sustratos comerciales diferentes de las cuales solo se utilizan dos para la aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar y no se tiene un registro del efecto de cada uno de los sustratos en las plantas de caña de azúcar durante su fase de aclimatación. Tomando en cuenta lo anterior se realizó el primer servicio: Evaluación de sustratos comerciales para aclimatación de vitroplantas de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Dicha evaluación se llevó a cabo durante la fase de aclimatación de vitroplantas la cual dura tres meses, de los cuales, el primer mes pasa dentro del invernadero y los dos siguientes fuera del invernadero en condiciones más rústicas.

El segundo servicio realizado fue la evaluación de la emergencia de yemas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para extracción de meristemos utilizando como sustratos Perlita, Vermiculita y Piedra Pómez. Esto ya que la biofábrica del Departamento de Biotecnología del Ingenio Magdalena requiere hacer más eficiente el proceso de preparación del material madre, el cual debe de ser vigoroso, libre de patógenos y ser obtenido en el menor tiempo posible.

Como tercer servicio se llevó a cabo la evaluación de la acción de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes de caña de azúcar sembrados en campo. Con esta evaluación se buscó determinar el efecto de los productos con microorganismos benéficos sobre la siembra que se lleva directamente en campo utilizando una variedad de caña comercial. La evaluación se realizó utilizando unidades experimentales de 3 surcos de 9m de largo.

## **1.21 Evaluación de sustratos comerciales para aclimatación de vitroplantas de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).**

### **1.21.1 Objetivos**

#### **1.21.1.1 Objetivo general**

- Determinar el efecto de diferentes sustratos comerciales en vitroplantas de caña de azúcar durante su fase de aclimatación.

#### **1.21.1.2 Objetivos específico**

- Determinar el efecto de los sustratos comerciales en la sobrevivencia las vitroplantas de caña de azúcar en fase de aclimatación.
- Determinar el efecto de los sustratos comerciales sobre la biometría de las vitroplantas de caña de azúcar en fase de aclimatación.
- Determinar el efecto de los sustratos comerciales sobre la cantidad de brotes en vitroplantas de caña de azúcar en fase de aclimatación.

### **1.21.2 Metodología**

#### **1.21.2.1 Tratamientos**

En total se evaluaron siete tratamientos de los cuales seis fueron sustratos comerciales puros, versus el testigo que consiste en una mezcla de los sustratos Pinstrup + BM2 en una proporción de (2.8:1) al cual también se le adiciona fertilizantes de liberación lenta Osmocote y Basacote. Los tratamientos se describen en el Cuadro 43.

Cuadro 43 Nombre y descripción de tratamientos evaluados.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nombre sustrato</b>	<b>Descripción Sustrato</b>
T1	ProMoss	Turba de sphagnum rubia
T2	BM2	Turba de sfagnofina (70-80%) perlita y vermiculita
T3	Projar	Turba rubia
T4	Pinstrup	Materia seca
T5	Blonde Golden	Turba rubia
T6	Kekkila	turba rubia / parda tipo Sphagnum (H 2-5 Von Post) turba negra tipo Sphagnum (H 4-6 Von Post)
T7	Pinstrup + BM2 (2.8:1)	

### 1.21.2.2 Establecimiento de la investigación

La evaluación se estableció en el invernadero del Departamento de Biotecnología del Ingenio Magdalena. El establecimiento consistió en la preparación de bandejas y siembra de las vitroplantas de caña de azúcar. Se llenaron 5 bandejas múltiples de 67 celdas con cada sustrato, cada bandeja correspondiente a una repetición. Las vitroplantas se desinfectaron y se sumergieron en el enraizador Radix antes de ser sembradas en las bandejas múltiples de 67 celdas.

### 1.21.2.3 Manejo de la evaluación

Los primeros 30 días estuvieron dentro del invernadero y los siguientes 40 días se trasladaron al Área de Aclimatación fuera del invernadero. El manejo fue el que se le da normalmente a las vitroplantas durante la fase de aclimatación.

#### **1.21.2.4 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue uno completamente al azar. Los datos fueron ingresados al software Microsoft Excel y fueron analizados en el software estadístico INFOSTAT versión estudiantil.

#### **1.21.2.5 Variables de respuesta**

Las variables de respuesta medidas se describen a continuación:

##### **A. Porcentaje de sobrevivencia**

La sobrevivencia fue medida a los 15, 30, 45 y 60 días después del establecimiento de la evaluación. Se contó el número de plantas muertas en cada unidad experimental cada 15 días durante los 3 meses de aclimatación, dato con el cual se calculó el porcentaje de sobrevivencia de las vitroplantas para cada tratamiento.

##### **B. Longitud foliar.**

A los 30 días (traslado de invernadero a exterior) y a los 70 días (fin de la evaluación) se midió la longitud de las vitroplantas desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más larga.

##### **C. Longitud radicular**

Se midió a los 70 días de aclimatación desde la base del tallo hasta la raíz más larga.

##### **D. Ancho de hojas**

Se midió a los 70 días de aclimatación, midiendo el ancho en la parte media de la hoja.

##### **E. Cantidad de hojas**

Se midió a los 70 días de aclimatación contando la cantidad de hojas promedio por tallo

## F. Cantidad de brotes

Se midió a los 70 días de aclimatación contando el número de brotes o hijos en las muestras tomadas.

### 1.21.3 Resultados

Se midió el porcentaje de sobrevivencia de vitroplantas de caña de azúcar para cada sustrato, el promedio que dio mejor resultado fue el sustrato Projar, el cual tuvo una sobrevivencia de 90.45% a un pH de 6.29 y una conductividad eléctrica de 689.2 micro siemens/cm<sup>2</sup> (Cuadro 44). El rango de pH entre el cual se dio una mejor sobrevivencia estuvo entre 5.35 y 6.29, relación que no fue observada en conductividad eléctrica.

Cuadro 44 Porcentaje de sobrevivencia, pH y conductividad eléctrica obtenido para cada sustrato. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.

	<b>%Sobrevivencia</b>	<b>pH</b>	<b>μ</b>
<b>t1</b>	57.01	3.67	856.00
<b>t2</b>	83.58	5.97	733.20
<b>t3</b>	90.45	6.29	689.20
<b>t4</b>	66.57	7.19	386.40
<b>t5</b>	55.22	4.11	1018.00
<b>t6</b>	71.34	5.84	566.00
<b>t7</b>	71.34	5.35	976.80

Los sustratos encontrados entre el rango de pH anteriormente mencionados son BM2, Projar, Kekkila y el testigo; como se puede observar en la Figura 36.

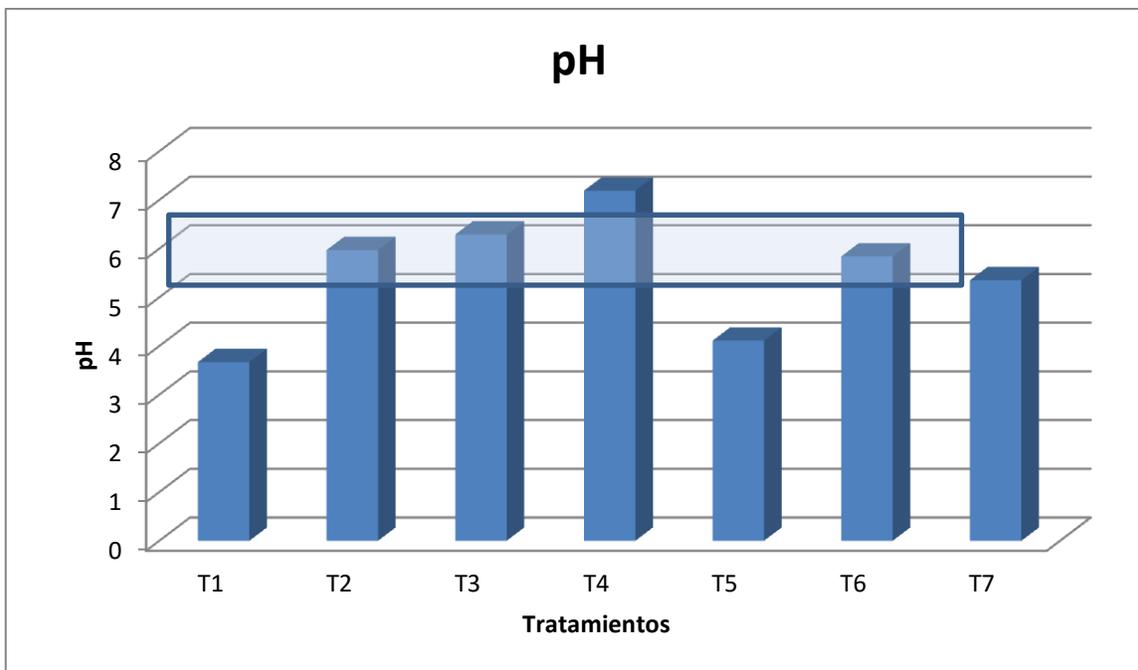


Figura 36 pH de sustratos a los 70 días después de establecimiento del ensayo. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.

En el cuadro resumen se puede observar que los sustratos con mejor resultado fueron los que presentaron mayor longitud foliar, mayor longitud radicular, mayor ancho de hoja y mayor peso fresco, siendo estos Projar, Pinstrup, Kekkila y el testigo. Blonde golden tuvo como resultado mayor número de brotes, pero, presentó menor cantidad de hojas por planta y menor peso fresco, dicho sustrato no tuvo un efecto positivo ya que se obtuvieron plantas más pequeñas y presentó macollamiento. El pH para Blonde golden fue de 3.67, el cual es un pH ácido.

Cuadro 45 Cuadro resumen de variables de respuesta medidas en el cual el dato de mayor valor esta marcado con color obscuro y el dato de menor valor con color claro. La Democracia, Escuintla. Noviembre, 2014.

	Longitud foliar (cm)	Long raíz (cm)	Ancho Hoja (cm)	Cantidad Hojas/planta	Numero Brotes/planta	Peso Fresco Planta (g)
T1	25.86	13.66	0.64	4.36	3.6	3.04
T2	37.28	13	0.78	5.4	2.4	3.38
T3	39.84	13.02	0.78	5	2.8	4.18
T4	36.36	13.88	0.778	5	2.8	4.04
T5	26.16	13.06	0.64	3.8	4.6	2.76
T6	34.1	12.6	0.73	4.7	4.4	5.52
T7	37.96	13.6	0.79	4.8	3.8	4.44

El tipo de sustrato que se utiliza para la adaptación de vitro plantas al medio natural es uno de los factores determinantes para su sobrevivencia. Entre los factores que pueden afectar la fase de aclimatación de plantas esta el sustrato, dependiendo de sus características físicas, carga nutricional, pH, y estado biológico.

### 1.21.3.1 Evaluación

La evaluación tuvo los mayores resultados en los siguiente tratamientos: BM2 (t2) tuvo 5.4 hojas por planta, Projar (t3) tuvo 39.84cm de longitud foliar y 90.45% de sobrevivencia, Pinstруп (t4) tuvo 13.88cm de longitud foliar, Blonde Golden (t5) tuvo 4.6 brotes por planta, Kekkila (t6) tuvo 2.76g en peso fresco de planta y Pinstруп+BM2 (t7, testigo) tuvo 0.79cm de ancho de hoja.

Se concluye que el mejor tratamiento fue Projar ya que garantiza la mayor sobrevivencia de plantas y puede ser evaluado sustituyendo a Pinstруп o BM2 en el sustrato testigo que es el utilizado actualmente en la aclimatación de plantas de caña de azúcar en el Departamento de Biotecnología Magdalena.

## **1.22 Evaluación de los sustratos Piedra pómez, perlita y vermiculita para la emergencia de yemas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con fines de extracción de meristemas, en Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A.**

### **1.22.1 Objetivos**

#### **1.22.1.1 General**

- Determinar el sustrato que tiene mejor efecto sobre la emergencia de yemas de caña de azúcar para la extracción de meristemas.

#### **1.22.1.2 Específicos**

- Determinar en qué sustrato se da un mejor porcentaje de emergencia de yemas de caña de azúcar.
- Determinar en qué sustrato se da un mejor desarrollo de los brotes de yema de caña de azúcar.
- Determinar el sustrato con el cual se logra aprovechar la mayor cantidad de brotes para su ingreso a la Biofábrica.

### **1.22.2 Metodología**

Para el establecimiento de la evaluación se selecciono y desinfecto 24 canastas, cada una correspondiente a una unidad experimental, a cada canasta se le colocó tela antiviral 50 mesh y se colocó dentro la mitad de sustrato a utilizar de cada tratamiento. Dentro de cada canasta se sembró 30 semillas de caña de azúcar, previamente desinfectadas, y seguidamente se termino de cubrir las semillas (Figura 38).



Figura 37 Siembra de la semilla de caña de azúcar en los diferentes sustratos a evaluar.



Figura 38 Semilla de caña de azúcar ya cubierta por los diferentes sustratos.

El manejo del ensayo consistió únicamente en regar las canastas cada día haciendo uso de una bomba de mochila, con el objetivo de mantener la humedad de cada sustrato.

Los tratamientos evaluados se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 1 Descripción de tratamientos evaluados.

Tratamiento	Sustrato
T1	Vermiculita
T2	Perlita
T3	Vermiculita + Piedra Pómez 1:1
T4	Perlita + Piedra Pómez 1:1
T5	Vermiculita + Perlita 1:1
T6	Piedra Pómez (Testigo)



Cuadro 46 Fotografías sustratos evaluados según tratamiento.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

### 1.22.2.1 Variables de respuesta

Las variables de respuesta medidas se describen a continuación:

#### A. Emergencia de yemas

Conteo de yemas emergidas desde que se presenta la primera yema emergida hasta que se extraen los meristemos. En este caso, a los 4, 5, 6, 7, 10 y 11 días después de establecimiento de evaluación.

#### B. Longitud de brote

Se midió la longitud del brote (cm) desde la base hasta la punta del tallo a los 11 días (día en el que fueron extraídos los meristemos).

### C. Yemas ingresadas a Biofábrica

Se contó el número de yemas por unidad experimental que por su tamaño fueron seleccionadas para ser ingresadas a la biofábrica.

#### 1.22.3 Resultados

Se dio mayor emergencia de yemas en el tratamiento 3, el cual contiene vermiculita/perlita + piedra pómez en proporciones 1:1, seguido por el tratamiento 2 correspondiente al que contiene perlita. El tratamiento que tubo menor emergencia de yemas fue el testigo.

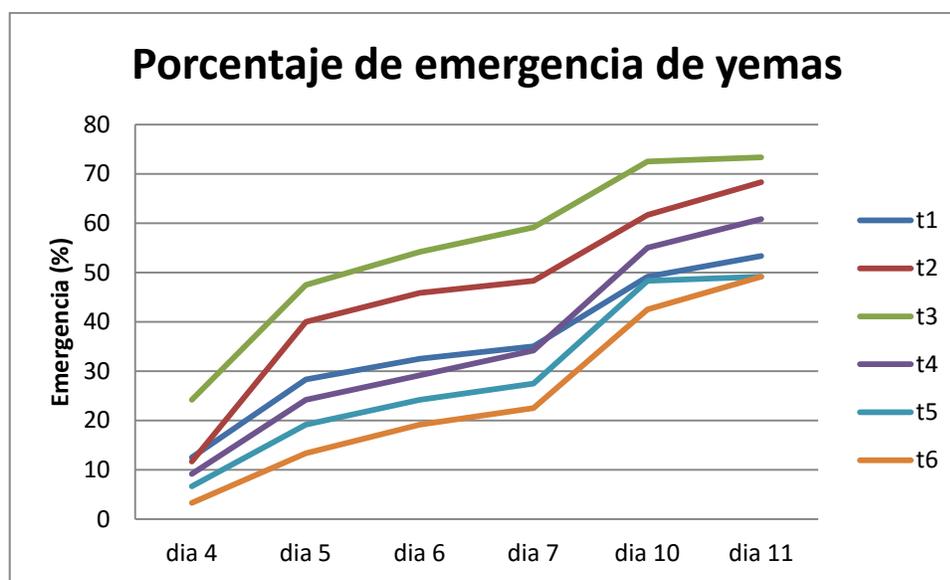


Figura 39 Porcentaje de emergencia de yemas por tratamiento a los 4, 5, 6, 7, 10, y 11 días después de la siembra. La Democracia, Escuintla.

A los 11 días después de la siembra el sustrato Vermiculita + Piedra Pómez presentó mayor longitud de brote, lo cual se debe a que en este tratamiento se dio una emergencia más temprana y dio lugar a que las plantas tuvieran más tiempo para crecer. Los dos siguientes con mayor longitud de brote fueron solo vermiculita y Perlita Piedra Pómez.

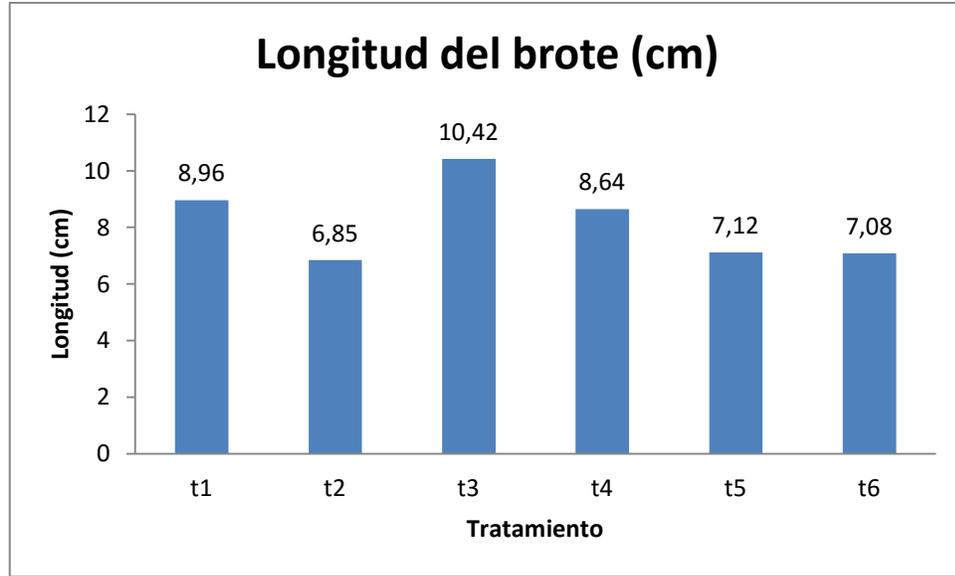


Figura 40 Longitud del brote (cm) por tratamiento a los 11 días después de la siembra.

El tratamiento del cual se ingresaron la mayor cantidad de brotes fue el correspondiente al sustrato Vermiculita+Piedra Pómez con promedio de 18 brotes ingresados por unidad experimental, le sigue el de Perlita + Piedra Pómez con un promedio de 16 brotes por unidad experimental. El tratamiento del cual se ingreso menor cantidad de brotes fue el testigo con un promedio de 7.75 brotes ingresados.

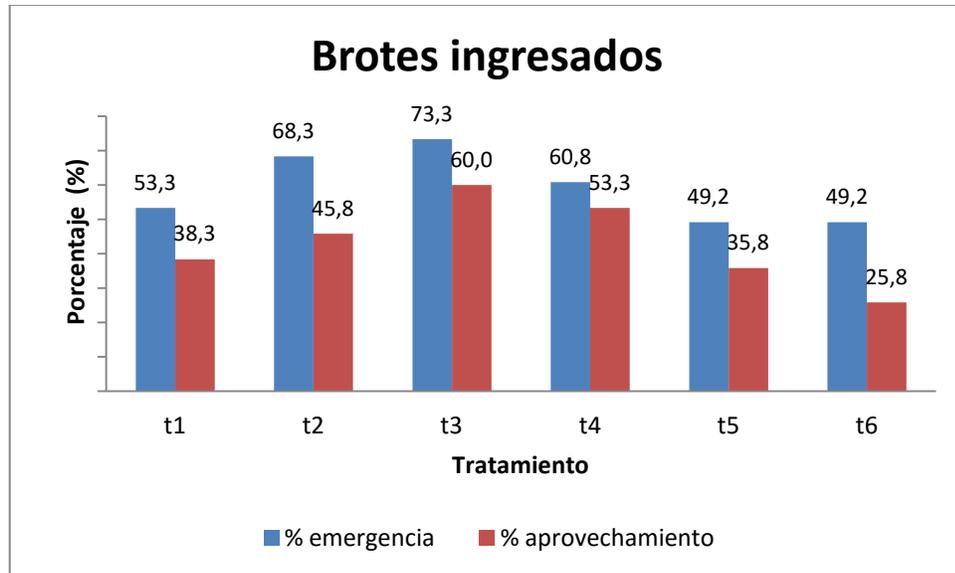


Figura 41 Porcentaje de emergencia vrs. Porcentaje de aprovechamiento (Brotes ingresados a biofábrica)

#### **1.22.4 Evaluación**

Vermiculita + Piedra Pómez en proporciones 1:1 fue el mejor tratamiento en cuanto a cantidad de yemas emergidas, longitud de brotes, y cantidad de meristemas ingresados a biofábrica para micropropagación. De dicho tratamiento emergió el 73.33% pero realmente fueron aprovechadas el 60%; a diferencia del testigo, del cual se emergió del 49.17% de las yemas sembradas y se aprovechó el 25.83%.

## **1.23 Evaluación de la acción de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes de caña de azúcar de la variedad comercial CP72 2086 en Biotecnología Magdalena, Ingenio Magdalena, S.A.**

### **1.23.1 Objetivos**

#### **1.23.1.1 Objetivo General**

- Conocer el efecto que tiene la aplicación de productos con microorganismos benéficos en siembra por esqueje de plantas de caña de azúcar.

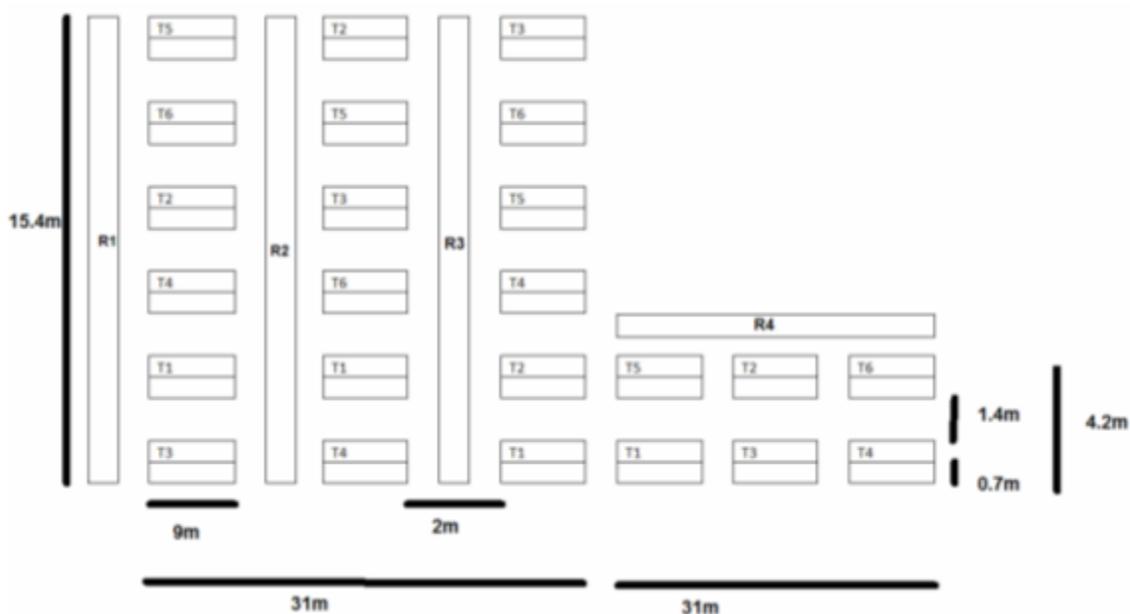
#### **1.23.1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la aplicación de productos con microorganismos benéficos en la emergencia de caña de azúcar sembrada por medio de esquejes.
- Determinar el efecto de la aplicación de productos con microorganismos benéficos en la población de caña de azúcar sembrada por esquejes.
- Conocer el efecto de la aplicación de productos con microorganismos benéficos en el desarrollo de plantas de caña de azúcar sembradas por esquejes.

### **1.23.2 Metodología**

El establecimiento de la evaluación se llevó a cabo en el Área de Ensayos de Biotecnología Magdalena, Finca San Patricio, Ingenio Magdalena, S.A.. Dos días antes de la siembra se preparó el suelo pasando una rastra para romper terrones, controlar maleza y terminar de emparejar el área. Un día antes de la siembra se aplicó riego y se realizó el trazado del ensayo según el croquis propuesto (Figura 42). Cada unidad experimental estuvo conformada de 3 surcos de 9m de largo y 0.7m de distanciamiento entre surco (18.9m<sup>2</sup> por unidad experimental). En cada surco se colocó 100 yemas viables, las cuales fueron seleccionadas con anterioridad.

Figura 42 Croquis para evaluación de productos con microorganismos benéficos aplicados a esquejes durante la siembra de caña de azúcar.



En total se evaluaron seis tratamientos (Cuadro 47) con cuatro repeticiones, de los cuales dos tratamientos fueron inoculantes a base de *Trichoderma atroviride*, otros dos inoculantes a base de micorrizas (*Glomus* spp.), uno fue *Trichoderma harzianum* spp. Cepa Magdalena y uno sin aplicación de microorganismos benéficos (testigo absoluto). Los productos fueron aplicados sobre los esquejes antes de ser cubierta por el suelo utilizando bomba de mochila, el producto Aegis Microgránulo se aplicó de forma manual sobre la semilla antes de ser cubierta.

Cuadro 47 Descripción y dosis de productos con microorganismos benéficos evaluados.

Tratamiento	Descripción	Dosis de producto
T1	Glomus spp. a concentración baja (Aegis microgránulo)	10kg/ha
T2	Glomus spp. a concentración alta (Aegis irriga)	1kg/ha
T3	Trichoderma atroviride a concentración baja (Tifi)	4kg/ha
T4	Trichoderma atroviride a concentración alta (Cóndor)	2kg/ha
T5	Trichoderma harzianum CEPA Magdalena	1X10 <sup>13</sup>
T6	Testigo	---

### 1.23.2.1 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

#### A. Emergencia

Cantidad de yemas emergidas a los 15 y 30 días después del establecimiento del ensayo, el conteo fue realizado en los tres surcos de cada parcela experimental.

#### B. Yemas germinadas por esqueje

En un total de 10 esquejes seleccionados al azar se contó la cantidad de yemas emergidas, o sea, las yemas que lograron salir a la superficie y desarrollarse como una planta de caña de azúcar. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### C. Yemas no germinadas por esqueje

En un total de 10 esquejes seleccionados al azar se conto la cantidad de yemas no emergidas, o sea, las yemas que no lograron brotar porque no se encontraron viables desde un inicio. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### **D. Yemas germinadas no emergidas por esqueje**

En un total de 10 esquejes seleccionados al azar se conto la cantidad de yemas no emergidas, o sea, el numero de yemas que si brotaron pero no lograron salir a la superficie. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### **E. Población por surco**

Cantidad de tallos por surco a los 45, 60, 75 y 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### **F. Macollamiento por esqueje**

Se contó la cantidad de macollas formadas en un número total de 10 esquejes. el dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### **G. Población por esqueje**

Se contó el número total de tallos presentes en 10 esquejes. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### **H. Peso total surco**

Peso de los esquejes del surco central, peso Se levantó todos los esquejes del surco central, los cuales se pesaron planta, raíz y esqueje en conjunto, haciendo uso de una pesa digital. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

##### **a. Peso foliar surco**

Se pesó la parte aérea de las plantas de caña de azúcar presentes en los esquejes del surco central haciendo uso de una

### **I. Peso radicular surco**

Se pesó la parte radicular de las plantas de caña de azúcar presentes en los esquejes del surco central haciendo uso de una pesa digital. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

### **J. Longitud de tallo**

De cada surco central se seleccionó un total de 10 plantas a las cuales se les midió la longitud del tallo desde la base hasta la primera lígula visible. Dato tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

### **K. Diámetro de tallo**

Se midió el diámetro a 10cm de la base haciendo uso de un vernier digital. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

### **L. Longitud de Raíz**

Se midió la longitud radicular desde la base del tallo hasta la punta de la raíz más larga. El dato fue tomado a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

### **M. Numero de Hojas**

Se conto el número total de hojas en 10 plantas. El dato fue tomado a los 90 días del establecimiento del ensayo.

#### **1.23.2.2 Manejo del ensayo**

El manejo de ensayo consistió en la aplicación de riego dos veces por semana y desmalezado cada 15 días.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

### 1.23.3 Resultados

En la Figura 43 se puede observar que el tratamiento número uno tubo el mejor porcentaje de emergencia de inicio a fin, mientras que el numero 3 tubo el más bajo porcentaje de emergencia al final de la evaluación.

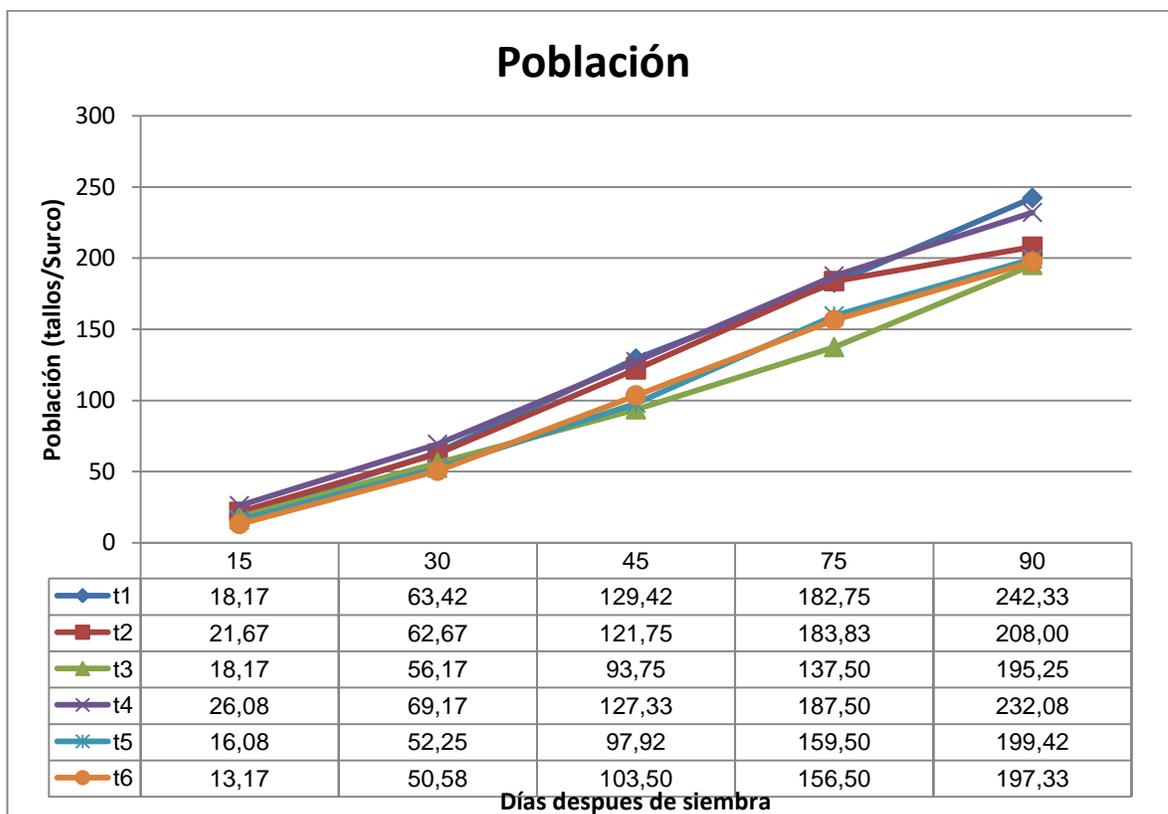


Figura 43 Población (tallos/surco) a los 15, 30, 45, 75 y 90 días después del establecimiento del ensayo.

La emergencia fue contada hasta los 30 días ya que a los 45 días se empezó a dar el macollamiento, por lo cual en esta toma de datos se realizó conteo de tallos por surco (población). El tratamiento cuatro presentó mayor porcentaje de emergencia a los 30 días siendo este de 69.2%, mientras que el tratamiento seis presentó menor porcentaje de emergencia con 50.6%.

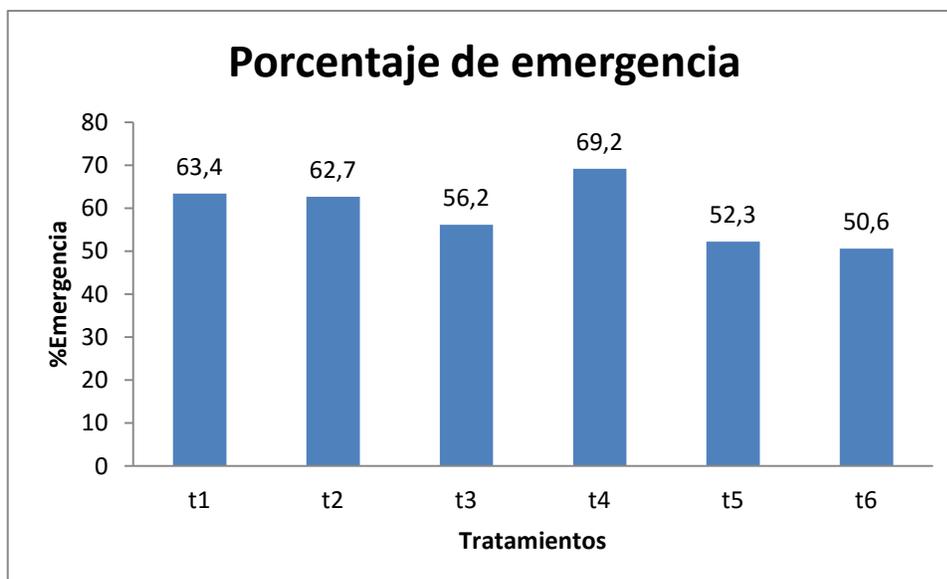


Figura 44 Porcentaje de emergencia a los 30 días después del establecimiento del ensayo.

La población por surco de 9m de largo a los 90 días del establecimiento del ensayo fue mayor en el tratamiento 1, con 242.33 tallos/surco siendo esto un 26.92tallos/m. la menor población fue en tratamiento 4 con 207.33tallos/surco equivalente a 23.04 tallos/metro lineal. El testigo obtuvo un promedio de 210tallos/ surco, lo cual es 23.33tallos/m siendo este el cuarto tratamiento con mejor mayor población.

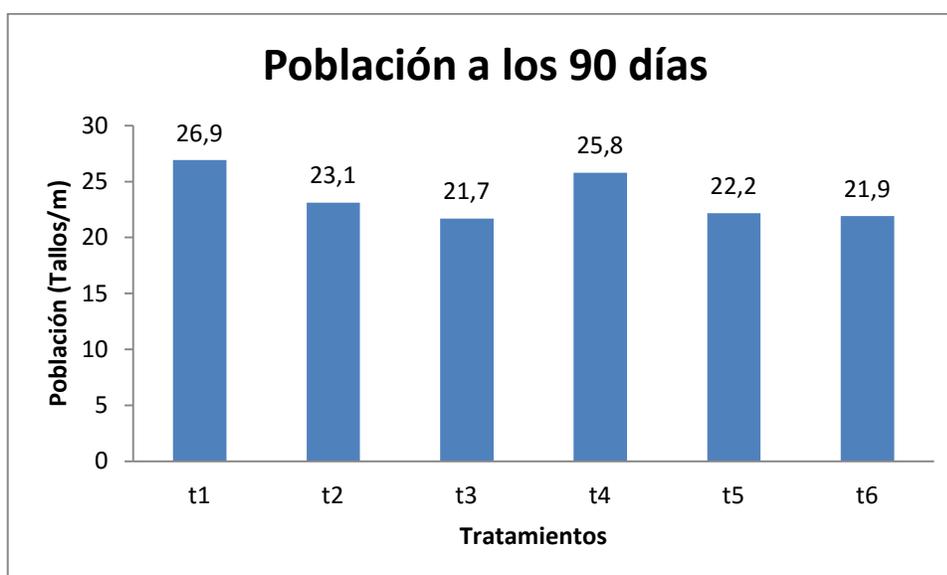


Figura 45 Población (tallos/metro lineal) a los 90días después del establecimiento del ensayo.

El tratamiento que presento mayor porcentaje de yemas germinadas y menor porcentaje de yemas no germinadas fue Cónдор, mientras que el tratamiento que presentó menor número de yemas germinadas no emergidas fue Aegis Microgránulo como se observa en la Figura 46.

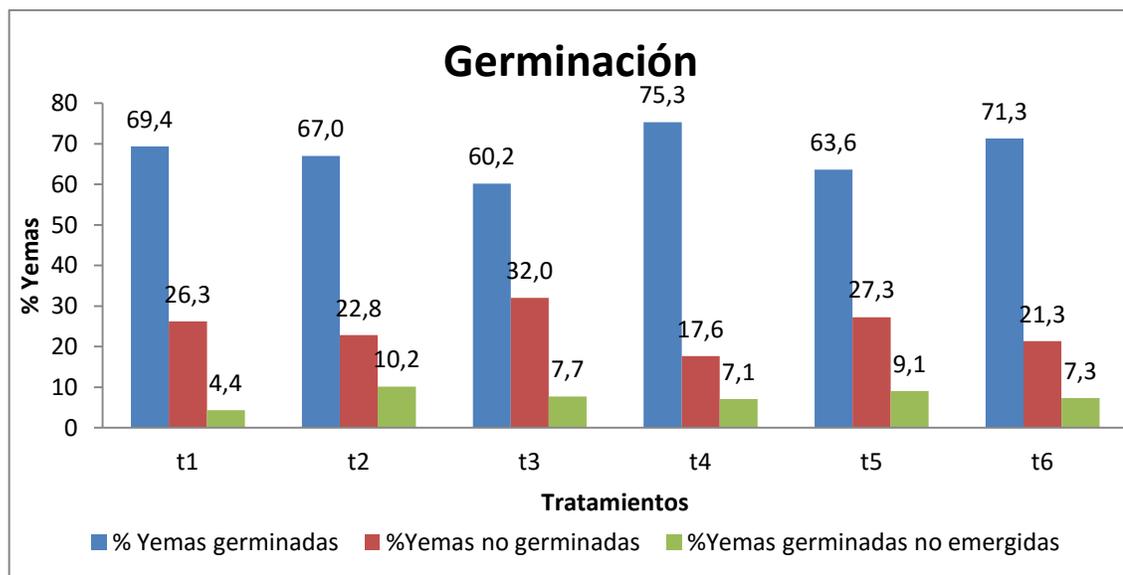


Figura 46 Porcentaje de yemas germinadas, no germinadas y germinadas no emergidas a los 90 días de la siembra.

Al realizarse el levantamiento del surco central se tomó el peso total el cual incluye los esquejes sembrados inicialmente, en el cual se ve que el mayor peso lo tuvo el tratamiento testigo con 66.06lb. Para tomar el peso foliar y radicular se separó las plantas de los esquejes y se dividió en parte aérea y raíz, en este caso el testigo también tuvo el mayor peso foliar con 35.64lb. Sin embargo Trichoderma cepa magdalena tuvo el mayor peso radicular con 4.74 lb en promedio.

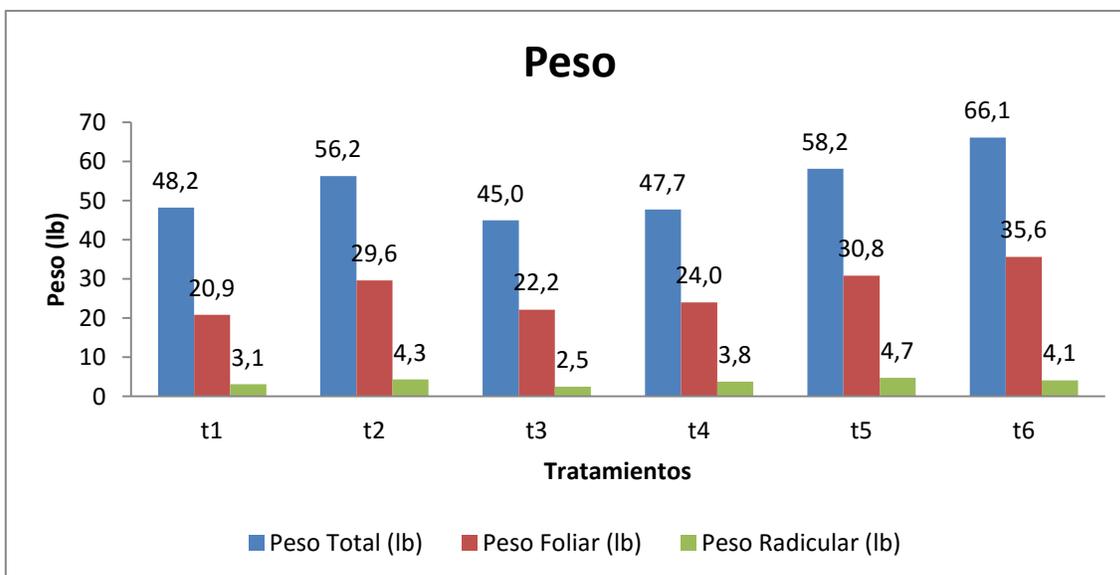


Figura 47 Peso total, peso foliar y peso radicular del surco central de cada parcela a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

Se midió la longitud de tallo y el tratamiento que tuvo mayor longitud de tallo fue el testigo con 44.05cm, el mayor diámetro de tallo se dio en el tratamiento testigo, la mayor longitud de raíz se dio en Cándor, y el mayor número de hojas se dio en Aegis Microgránulo.

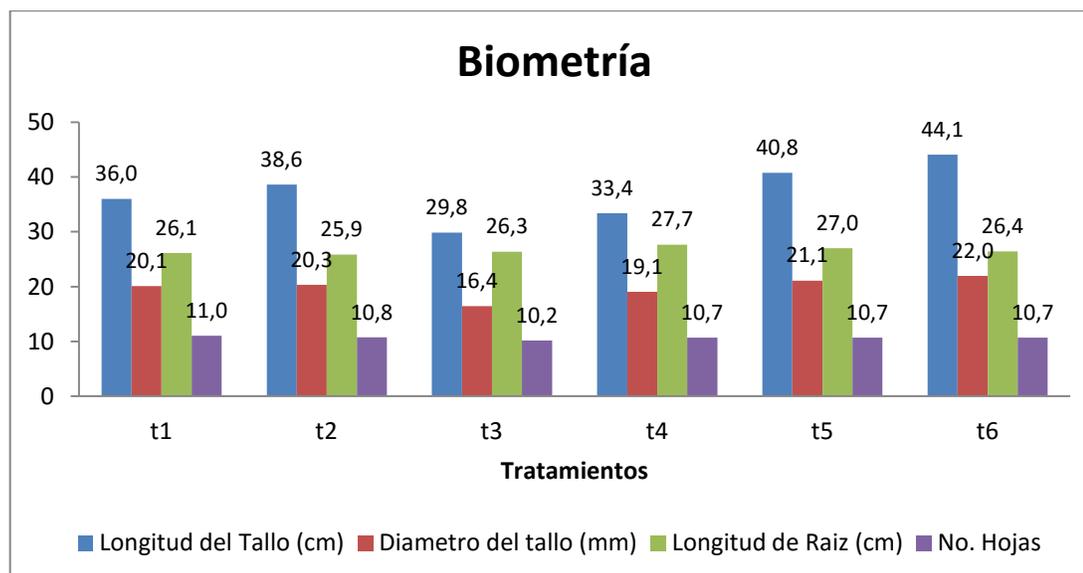


Figura 48 Biometría a los 90 días después del establecimiento del ensayo.

#### 1.23.4 Evaluación

En los resultados se obtuvo que los mayores resultados se dieron de la siguiente forma: *Glomus* spp. a concentración baja (Aegis microgránulo) a los 90 días presentó 242.3tallos/surco y plantas con 11hojas en promedio. *Trichoderma atroviride* a concentración alta (Cóndor) presentó emergencia del 69.2% a los 30 días después de la siembra, 75.3% de yemas germinadas y raíces de 27m de longitud. *Trichoderma harzianum* CEPA Magdalena obtuvo plantas con 4.7lb de peso fresco radicular. Por último, el tratamiento testigo obtuvo plantas con 44.1cm de longitud del tallo.