

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE *Trichoderma*, EN LA  
PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*),  
VARIEDAD CG 9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO,  
RETALHULEU, GUATEMALA.**

**POR:**

**GERSON ESTUARDO AJTUN POJOY**

**QUETZALTENANGO, JULIO DEL 2017**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE AGRONOMÍA**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE *Trichoderma*, EN LA  
PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*),  
VARIEDAD CG 9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO,  
RETALHULEU, GUATEMALA.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Presentado a las autoridades de la División de Ciencia y Tecnología  
Del Centro Universitario de Occidente de la universidad de  
San Carlos de Guatemala

**POR:**

**GERSON ESTUARDO AJTUN POJOY**

Previo a conferírsele el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO  
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

En el grado académico de:

**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

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

**AUTORIDADES:**

Rector Magnífico: Dr. Carlos G. Alvarado Cerezo.  
Secretario General Dr. Carlos Enrique Cámeý Rodas.

**CONSEJO DIRECTIVO:**

Directora General del CUNOC: MSc. María del Rosario Paz Cabrera.  
Secretario Administrativo: MSc. Silvia del Carmen Recinos.

**REPRESENTANTES DE LOS DOCENTES:**

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.  
Ing. Edelman Monzón López.

**REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES:**

Br. Luis Ángel Estrada García.  
Br. Julia Hernández de Dominguez.

**REPRESENTANTE DE LOS EGRESADOS:**

Lic. Vilma Tatiana Cabrera Alvarado.

**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA:**

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA:**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN TÉCNICO PROFESIONAL**

**PRESIDENTE**

Lic. Q.F. Roberto Aroldo Méndez Sánchez.

**EXAMINADOR**

MSc. Floridalma Jacobs.

Ing. Agr. Wiliam Villatoro.

PhD. William de León.

**SECRETARIO**

Ing. Agr. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA:**

Ing. Agr. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

NOTA: “únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en el presente trabajo de graduación”. (Artículo 31 del reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente y Artículo 13 de la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Quetzaltenango, Julio del 2017

**HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO**

**HONORABLES AUTORIDADES DE LA DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**HONORABLE MESA DE ACTO DE GRADUACIÓN Y JURAMENTACIÓN**

De conformidad con las normas que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del reglamento general de evaluación y promoción del estudiante de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del normativo de evaluación y promoción del estudiante del Centro Universitario de Occidente: Tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE *Trichoderma*, EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), VARIEDAD CG 9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO, RETALHULEU, GUATEMALA.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente:

**GERSON ESTUARDO AJTUN POJOY**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

Quetzaltenango, 27 de marzo de 2,017

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director de la División de Ciencia y Tecnología  
Centro Universitario de Occidente CUNOC

Estimado Señor Director

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que he concluido la ASESORIA del trabajo de GRADUACIÓN del estudiante GERSON ESTUARDO AJTÚN POJOY, titulado:

EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE *Trichoderma*, EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), VARIEDAD CG 9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO, RETALHULEU, GUATEMALA.

Al respecto, me permito manifestarle que dicho trabajo de investigación cumple con los requisitos establecidos por la carrera de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por lo que RECOMIENDO SU PUBLICACIÓN.

Sin otro particular.

Atentamente

  
Dr. Luis Fernando Aldana  
Colegiado 549



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario de Occidente

Quetzaltenango, 5 de mayo de 2017.

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director División de Ciencia y Tecnología  
Centro Universitario de Occidente.

Distinguido Director:

En atención al nombramiento emitido por esa dirección, según Oficio No.045/ SDCyT/2017, me es grato informarle que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante **Gerson Estuardo Ajtun Pojoy**. Titulado:

“EVALUACION DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE *Trichoderma*, EN LA PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) VARIEDAD CG 9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO, RETALHULEU, GUATEMALA”.

Sobre el particular me permito manifestarle, que el estudio cumple con los requisitos necesarios que exige esta unidad académica para ser presentado como trabajo de graduación, además de ser un valioso aporte en la propuesta de nuevas alternativas para mejorar la productividad del cultivo de caña de azúcar con un enfoque ambiental. Por lo que recomiendo su aprobación.

De Usted, deferentemente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Agra. Florida Jacobs Reyes  
Revisora

*Centro Universitario de Occidente*  
*División de Ciencia y Tecnología*

El infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA** \_\_\_\_\_  
Del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. **006-AGR-2017** de fecha veinticinco de mayo del año dos mil diecisiete del (la) estudiante: GERSON ESTUARDO AJTUN POJOY con Carné No 2061423070101 Registro Académico No. 201032274 emitida por el Coordinador de la Carrera de AGRONOMIA \_\_\_\_\_, por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: **“EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DÓISIS DE TRICHODERMA, EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum), VARIEDAD CG9878, EN EL PARCELAMIENTO CABALLO BLANCO, RETALHULEU, GUATEMALA. ”**

Quetzaltenango, 05 de julio de 2017.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director de División de Ciencia y Tecnología

## **ACTO QUE DEDICO:**

**A DIOS:** Porque toda la gloria y honra sea para Jehová todo poderoso, por ser la fuente de sabiduría, por su amor, por ser la luz que alumbró mi camino y por la bendición que me ha regalado al cosechar este éxito en vida.

**A MI MADRE:** Julia Alicia Pojoy Sontay, por su gran amor, por su comprensión, por sus invaluable consejos que fortalecieron mi alma y encaminaron mi vida. Gracias por los grandes esfuerzos y sacrificios por brindarme la mejor herencia que pudo haberme dado y por estar en las buenas y en las malas. Te amo mamá.

**A MI ESPOSA:** Angela Cristina Ixchop Chapeth, por su profundo amor, por impulsarme a seguir adelante, por compartir conmigo mis triunfos y derrotas, por su paciencia y apoyo durante el tiempo que llevamos juntos.

**A MIS HIJOS:** Angel Estuardo y Jefferson David, por ser la bendición más grande que Dios me ha regalado, por darle sentido a mi vida y por ser la inspiración para seguir adelante y lograr este triunfo y muchos más.

**A MI ABUELA:** Carmen Sontay, por su amor, por estar a mi lado en todo momento y por inyectarme valor y fuerza en los momentos difíciles.

**A MI HERMANO:** Adrew Tomas [Q.E.P.D], porque a pesar de que ya no estés con nosotros, te doy gracias por llenar de felicidad a nuestra madre y familia.

**A MIS TIOS (A):** Emerson Sontay, Miguel Tzoy y Anabela Sontay, por la confianza, cariño y por estar siempre a mi lado.

**A MIS PRIMOS:** Por su apoyo incondicional.

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:** Por su amistad, por su invaluable apoyo moral y por todos los ejemplos profesionales durante mi etapa estudiantil.

## **AGRADECIMIENTO:**

A: Dios por darme la fuerza y sabiduría para seguir adelante en la vida.

A: Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mi eterna gratitud por formarme profesionalmente y brindarme la oportunidad de alcanzar el título de Ing. Agrónomo en sistemas de producción agrícola.

A: Ingenio Magdalena S.A. por contribuir a mi formación profesional y brindarme los recursos materiales y técnicos para desarrollar mi tema de investigación.

A: Ing. Agr. Ovidio Pérez, Dr. Fernando Aldana y al Ing. Agr. Carlos Gutiérrez, quiero agradecerles por la asesoría profesional, por su tiempo brindado y por compartirme sus conocimientos, que fueron de mucha relevancia para la elaboración de esta investigación.

A: Ing Agr. Joaquin Tayun por su asesoría profesional, por su orientación y su incondicional apoyo para la elaboración de esta investigación; por eso mis más grandes agradecimientos por creer en mí y por la confianza que me brindo para trabajar a su lado.

A: los integrantes de la terna evaluadora, MSc. Floridalma Jacobs, Ing. Agr. William Villatoro, PhD. William de León quienes mejoraron el trabajo con sus acertadas aportaciones, sugerencias y correcciones.

A: mis compañeros y equipo de trabajo, por su esfuerzo y apoyo brindado a lo largo de la ejecución de este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL.

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
RESUMEN.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. General.....	19
2.2. Específicos .....	19
3. HIPÓTESIS.....	20
3.1. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA.....	20
3.1.1. Alternativa.....	20
3.1.2. Nula.....	20
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1. Aspectos generales de <i>Trichoderma</i> .....	21
4.2. Uso de <i>Trichoderma</i> en la agricultura.....	23
4.3. Ventajas de <i>Trichoderma</i> .....	24
4.4. Estimulador del crecimiento de las plantas.....	24
4.5. El <i>Trichoderma</i> como agente para la biodegradación de agrotóxicos.....	26
4.6. El <i>Trichoderma</i> como alternativa para el ahorro de fertilizantes químicos y pesticidas.....	26
4.7. Resultados de otras evaluaciones con el uso de <i>Trichoderma</i> .....	27
4.8. Suelos vertisoles.....	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1. Ubicación del área de estudio.....	30
5.2. Características Físico-Biológicas.....	31
5.2.1. Altitud.....	31
5.2.2. Temperatura.....	31
5.2.3. Precipitación.....	31
5.2.4. Vientos.....	31
5.2.5. Zona de Vida.....	31
5.2.6. Recursos Naturales.....	32
5.2.7. Relieve y Topografía.....	32

5.2.8.	Clasificación de los Suelos.....	32
5.3.	METODOLOGÍA.....	33
5.3.1.	Descripción de la investigación.....	33
5.3.2.	Diseño experimental.....	35
5.3.3.	Descripción de los tratamientos.....	35
5.3.4.	Modelo Estadístico.....	38
5.3.5.	Croquis del ensayo de campo.....	38
5.3.6.	Unidad experimental.....	39
5.3.7.	VARIABLES DE RESPUESTA.....	39
5.3.8.	Manejo agronómico del cultivo.....	40
5.3.9.	Análisis de la investigación.....	42
5.3.10.	Recursos.....	42
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.1.	Análisis de varianza para la variable peso de raíces por m <sup>3</sup> .....	45
6.1.1.	Prueba de medias para la variable peso de raíces/m <sup>3</sup> .....	46
6.1.2.	Interacción cepa por dosis de <i>Trichoderma</i> en la variable peso de raíces por m <sup>3</sup> .....	47
6.2.	Análisis de varianza para la variable producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).....	49
6.3.	Análisis de varianza para la variable concentración de sacarosa (kg de azúcar por tonelada métrica de caña).....	51
6.3.1.	Prueba de medias en la Interacción cepa por dosis de <i>Trichoderma</i> para variable concentración de sacarosa (kg de azúcar/tonelada métrica de caña).....	52
6.4.	Análisis de varianza en la variable rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).....	53
6.4.1.	Prueba de medias LSD Fisher en el rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).....	54
6.4.2.	Interacción cepa por dosis de <i>Trichoderma</i> en la variable Toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).....	56
6.5.	Análisis económico.....	58
6.5.1.	Estimación del precio de los insumos relevantes.....	58
6.5.2.	Estimación de costos variables.....	59
6.5.3.	Precio del azúcar a nivel de fábrica.....	60

6.5.4.	Rendimientos ajustados y corregidos al 15% en toneladas métricas de azúcar por hectárea. ....	60
6.5.5.	Estimación de los beneficios brutos y netos. ....	61
6.5.6.	Análisis de dominancia. ....	62
6.5.7.	Tasa mínima de retorno (TAMIR). ....	64
6.5.8.	Calculo de la tasa de retorno marginal. ....	64
7.	CONCLUSIONES.....	66
8.	RECOMENDACIONES. ....	68
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	69
10.	ANEXOS.....	72

## Índice de cuadros.

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
CUADRO 1. Fertilización base complementaria. ....	34
CUADRO 2. Factor A (Cepas a evaluar). ....	35
CUADRO 3. Factor B (Dosis de <i>Trichoderma</i> ). ....	37
CUADRO 4. Combinación de los factores A y B (Tratamientos) .....	37
CUADRO 5. Presupuesto de la investigación.....	44
CUADRO 6. Análisis de varianza de peso de raíces.....	45
CUADRO 7. Análisis de varianza de producción de caña (TCH). ....	49
CUADRO 8. Análisis de varianza de concentración de sacarosa. ....	51
CUADRO 9. Análisis de varianza del rendimiento de azúcar (TAH).....	54
CUADRO 10. Precio de los insumos utilizados. ....	58
CUADRO 11. Estimación de los costos que varían.....	59
CUADRO 12. Precio del azúcar a nivel de fábrica.....	60
CUADRO 13. Cálculo de los rendimientos ajustados.....	61
CUADRO 14. Estimación de los Benéficos Brutos y Netos. ....	62
CUADRO 15. Análisis de dominancia.....	63
CUADRO 16. Cálculo de la tasa de retorno marginal (TRM) de rendimiento de azúcar....	64
CUADRO 17. Cronograma de actividades de la investigación. ....	72

## Índice de figuras.

Figura	Página
FIGURA 1. Conidios y conidióforos de <i>Trichoderma</i> sp. (400 x).....	22
FIGURA 2. Mapa Finca Arizona.....	30
FIGURA 3. Medias del factor cepas (factor A) en la variable peso de raíces/m <sup>3</sup> . .....	46
FIGURA 4. Peso de raíces por m <sup>3</sup> en la interacción Cepa*Dosis de <i>Trichoderma</i> .....	48
FIGURA 5. Concentración de sacarosa (Kg de azúcar/tonelada métrica de caña) en la interacción de cepa por dosis de <i>Trichoderma</i> .....	52
FIGURA 6. Toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH), Medias según LSD Fisher para el factor cepa de <i>Trichoderma</i> .....	55
FIGURA 7. Rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH) en la interacción de cepa*dosis de <i>Trichoderma</i> . .....	56
FIGURA 8. Corte de calles. ....	72
FIGURA 9. Calles de la investigación. ....	72
FIGURA 10. Rayado para fertilización .....	73
FIGURA 11. Fertilización base de N, P, K y S.....	73
FIGURA 12. Cepas de <i>Trichoderma</i> CG 14-01, CG 14-02, CG 14-10 Y CG 14-16.....	73
FIGURA 13. Materiales para aplicación. ....	74
FIGURA 14. Bomba de mochila .....	74
FIGURA 15. Hongo con temperatura .....	74
FIGURA 16. Dosis de 1x10 <sup>11</sup> conidios/ha .....	74
FIGURA 17. Dilución del hongo en agua.....	75
FIGURA 18. Aplicación del hongo. ....	75
FIGURA 19. Tapado del hongo.....	75
FIGURA 20. Muestreo de raíces.....	75
FIGURA 21. Muestreo de raíces en 0.30 m <sup>3</sup> .....	76
FIGURA 22. Lavado de raíces. ....	76
FIGURA 23. Pesaje de raíces. ....	76
FIGURA 24. Raíces de los tratamientos.....	76
FIGURA 25. Muestreo pre-cosecha. ....	77
FIGURA 26. Paquetes de pre-cosecha .....	77
FIGURA 27. Paquetes Pre-cosecha de RI.....	77
FIGURA 28. Corte de parcelas .....	77
FIGURA 29. Corte de parcelas .....	78
FIGURA 30. Maletas de los tratamientos .....	78
FIGURA 31. Pesaje de los tratamientos.....	78

## RESUMEN.

El azúcar es un recurso energético que las personas consumen diariamente, pero el proceso para obtener este producto inicia desde el campo, por eso la industria azucarera siempre busca nuevas prácticas agrícolas y tecnologías que permitan una alta productividad de la caña de azúcar por área, de una forma segura para el medio ambiente y la salud del ser humano. Esta investigación se desarrolló en finca Arizona en el parcelamiento de Caballo Blanco, Retalhuleu, con el objetivo de potencializar la productividad de la caña de azúcar en el Ingenio Magdalena S.A.

Se evaluaron cuatro cepas nativas de la zona cañera de Guatemala aisladas por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA); la cepa CG 14-01, CG 14-02, CG 14-10 y CG 14-16, con dos dosis de *Trichoderma* de  $1 \times 10^{11}$ ,  $1 \times 10^{12}$  conidios por hectárea y un testigo sin aplicación para cada cepa, en un ciclo del cultivo de segunda soca. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, las parcelas grandes fueron conformadas por las cepas y la parcela pequeña por las dosis de *Trichoderma*. Las variables de respuesta para analizar los factores fueron el peso de raíces por metro cúbico, producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH), concentración de sacarosa (kg az/tmc) y rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).

La cepa CG 14-01 con la dosis de  $1 \times 10^{11}$  conidios por hectárea presentó el mayor rendimiento de azúcar con 18.24 TAH y la cepa CG 14-02 con la dosis  $1 \times 10^{12}$  conidios por hectárea fue el tratamiento que presentó mayor cantidad de sistema radicular con 483.15 gramos de raíz por metro cúbico y también presentó 16.16 TAH siendo el segundo tratamiento en tener más rendimiento de azúcar.

De acuerdo al análisis económico de presupuestos parciales se determinó que con la aplicación de la cepa CG 14-01 con la dosis de  $1 \times 10^{11}$  conidios por hectárea, por cada quetzal invertido se tiene una ganancia de Q. 11.69, esto se realizó en relación a su respectivo testigo sin aplicación.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La caña de azúcar comenzó a cultivarse en Guatemala en 1,536, los primeros trapiches de Guatemala se fundaron en el valle central de Guatemala y en el valle de Salamá durante el XVI. En el siglo XVII creció el número de trapiches, los más importantes estaban en manos de las órdenes religiosas. Fue hasta mediado del siglo XIX que Guatemala comenzó a exportar azúcar en cantidades menores. (1)

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es de gran importancia económica para el país, ya que se utiliza para la producción de recursos energéticos como el azúcar. En los últimos años la expansión de la industria azucarera ha sido grande debido a la demanda y a la rentabilidad del cultivo; Guatemala se encuentra dentro de los primeros cinco países exportadores y productores del mundo y el departamento de Retalhuleu es uno de los principales lugares del país donde se produce la caña de azúcar.

La evaluación se realizó en la finca Arizona, esta se localiza en el parcelamiento de Caballo Blanco, del departamento de Retalhuleu a 21 msnm, por lo que se encuentra en el estrato altitudinal litoral. Dicha finca tiene un área de siembra de 457.60 hectáreas, el área es utilizada para la producción extensiva en monocultivo de la caña de azúcar. El agua para el cultivo se extrae de pozos presentes en la finca y los sistemas de riego que se utilizan son el mini aspersión y el sistema por pivote.

El uso de productos químicos en la agricultura, para incrementar los rendimientos de los cultivos, ha causado que la actividad microbiana y fertilidad de los suelos se pierda paulatinamente, por lo cual se buscan alternativas amigables, que contribuyan a disminuir el efecto negativo que estos productos causan al medio ambiente y a la salud de los seres humanos. Este deterioro ambiental ha estimulado la búsqueda de nuevas alternativas que contribuyan a la reducción de los efectos provocados por los productos químicos.

Se han realizado evaluaciones en distintos cultivos que evidencian que existen microorganismos benéficos que estimulan el crecimiento de las plantas y que controlan hongos fitopatógenos. Gracias a la capacidad que tienen estos microorganismos, son utilizados como una alternativa que permite incrementar las producciones en los cultivos y reducir el uso de productos a base de químicos.

*Trichoderma* es un hongo que coloniza las raíces, estimulando el crecimiento de la planta y tiene la capacidad de movilizar nutrientes del suelo mediante excreción de enzimas extracelulares que transforman compuestos nitrogenados orgánicos en nitrógeno inorgánico, fundamentalmente amonio y compuestos fosforados orgánicos en fósforo inorgánico, entre otros. Esta solubilización de nutrientes permite su utilización por las plantas. (16)

Debido a que se tiene la necesidad de potencializar la productividad de la caña de azúcar, se practican buenas labores agronómicas y se buscan nuevas tecnologías que permitan alcanzar una alta productividad de la forma más rentable, segura para el medio ambiente y la salud del ser humano; por lo tanto se realizó la evaluación de cuatro cepas y dos dosis de *Trichoderma* nativas de la zona cañera de Guatemala, en un cultivo de segunda soca para determinar el efecto sobre la producción de caña y rendimiento de azúcar. Para realizar dicha evaluación se tomó en cuenta que las aplicaciones por hectárea del hongo *Trichoderma* no representan un costo elevado.

De acuerdo a resultados obtenidos en esta evaluación se encontraron diferencias estadísticas en las diferentes variables de respuesta, como en el peso de raíz por m<sup>3</sup>, concentración de sacarosa (kg az/tc) y rendimiento de azúcar (TAH); aunque en la variable producción de caña (TCH) no se tuvo diferencias significativas, dos tratamientos aplicados con el hongo *Trichoderma* mostraron un incremento de TCH en relación a sus respectivos testigos sin aplicación. El análisis de estas variables de respuesta permitió determinar el efecto que tuvo en la planta la aplicación de estos tratamientos. Y por medio del análisis de presupuestos parciales se determinó el tratamiento económicamente más rentable.

## 2. OBJETIVOS.

### 2.1. General

- 2.1.1. Potencializar la productividad de caña de azúcar en el Ingenio Magdalena S.A.

### 2.2. Específicos

- 2.2.1. Determinar el efecto de la aplicación de cuatro cepas y dos dosis de *Trichoderma* en el peso seco de raíces producidas por la caña de azúcar.
- 2.2.2. Evaluar cuál de las cepas y dosis de *Trichoderma* tiene un efecto en la producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH)
- 2.2.3. Cuantificar el efecto producido por la aplicación de cuatro cepas y dos dosis de *Trichoderma* en el rendimiento de toneladas métricas de azúcar por ha (TAH) en la variedad CG 9878.
- 2.2.4. Encontrar el tratamiento de *Trichoderma* económicamente más rentable en la producción del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

### 3. HIPÓTESIS.

#### 3.1. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA.

##### 3.1.1. Alternativa.

HA1. Al menos uno de los tratamientos de *Trichoderma* (cepa y dosis) tendrá un efecto sobre el peso seco de las raíces por metro cubico.

HA2. Al menos una de las cepas y dosis de *Trichoderma* causará un efecto en la producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

HA3. Al menos una de las cepas y dosis de *Trichoderma* causará un efecto en el rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea en la variedad CG 9878.

HA4. Al menos uno de los tratamientos de *Trichoderma* usados se podrá considerar más rentable en la producción de caña y rendimiento de azúcar.

##### 3.1.2. Nula.

Ho1. Ninguno de los tratamientos de *Trichoderma* (Cepas y dosis) tendrá un efecto en el peso seco de raíces producidas por la caña de azúcar.

Ho2. Ninguna de las cepas y dosis de *Trichoderma* causará un efecto en la producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH)

Ho3. Ninguna de las cepas y dosis de *Trichoderma* causará un efecto en el rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea en la variedad CG 9878.

Ho4. Ninguno de los tratamientos de *Trichoderma* usados se considerará como cepa y dosis económicamente rentable en la producción de caña y rendimiento de azúcar.

## 4. MARCO TEÓRICO.

### 4.1. Aspectos generales de *Trichoderma*.

Las especies pertenecientes al género *Trichoderma* se caracterizan por ser hongos saprófitos, que sobreviven en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica, los cuales son capaces de descomponerla y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, lo que les permite mostrar una mayor plasticidad ecológica. Las especies de *Trichoderma* se encuentran presentes en todas las latitudes, desde las zonas polares hasta la ecuatorial. Esta distribución tan amplia y su plasticidad ecológica están estrechamente relacionadas con la alta capacidad enzimática que poseen para degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos. No obstante, se han realizado pocos estudios acerca de la sobrevivencia, establecimiento y proliferación de este antagonista en la rizosfera de la planta (3).

El género *Trichoderma* es un excelente modelo para ser estudiado debido a su fácil aislamiento y cultivo, rápido desarrollo en varios sustratos. *Trichoderma* se ubica taxonómicamente según Villegas en (3):

Reino: Fungi.

División: Mycota

Subdivisión: Eumycota

Clase: Hyphomycetes.

Orden: Moniliales.

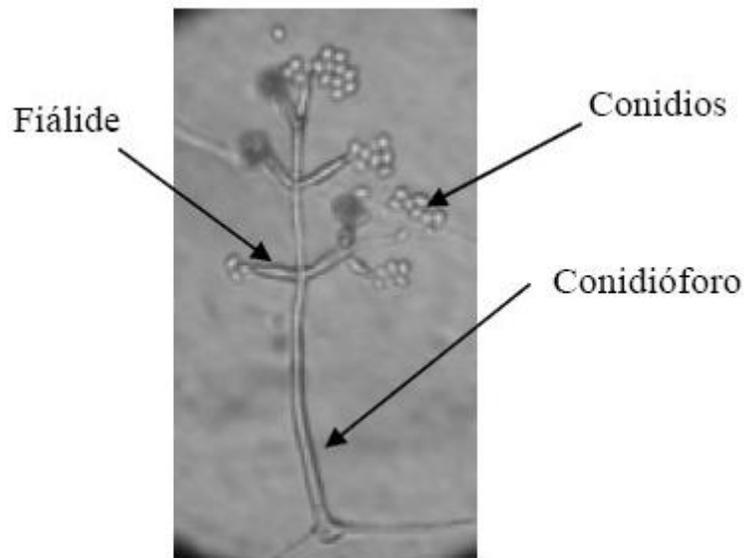
Familia: Moniliaceae.

Género: *Trichoderma*.

La mayoría de las colonias de *Trichoderma* en su inicio tienen color blanco, que se tornan a verde oscuro o amarillento, con esporulación densa. El micelio es ralo en su mayoría y visto al microscopio es fino, los conidióforos son ramificados, parecen un árbol pequeño. Los mismos se presentan como penachos compactados que forman anillos con un sistema de ramas irregular de manera piramidal (Figura 1). Estos terminan en fiálides donde

se forman las esporas asexuales o conidios, de gran importancia para la identificación taxonómica a nivel de especies. Los conidios aseguran las generaciones del hongo durante gran parte del período vegetativo de las plantas. Son haploides y su pared está compuesta por quitina y glucanos. Además de los conidióforos, estas se pueden producir sobre fiálides que emergen directamente del micelio (3).

**FIGURA 1.** Conidios y conidióforos de *Trichoderma sp.* (400 x)



Fuente: revista de protección vegetal (3).

La mayoría de las especies de *Trichoderma* presentan clamidosporas, las cuales pueden ser intercalares y en ocasiones terminales. Las clamidosporas toleran condiciones ambientales adversas, son estructuras de sobrevivencia y permiten que el Hongo pueda perdurar a través del tiempo. No obstante, las clamidosporas recién formadas presentan más de 75% de germinación, bajo condiciones óptimas de humedad (> 75%) y temperatura (28-30°C). (3)

#### **4.2. Uso de *Trichoderma* en la agricultura.**

Este hongo toma nutrientes de los hongos que degrada y de materiales orgánicos ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostaje lo favorecen; también requiere de humedad para poder germinar, la velocidad de crecimiento de este organismo es bastante alta, por esto es capaz establecerse en el suelo rápidamente y controlar las enfermedades. Probablemente sea el hongo beneficioso, más versátil y polifacético que abunda en los suelos. (11)

Todos los mecanismos de acción de *T. harzianum* se basan en el principal papel como promotor de crecimiento vegetal que tiene, el cual se manifiesta desde las primeras fases de la plántula, y que le confiere mayores ventajas a la hora del trasplante. *T. harzianum* se asocia a las raíces de la planta proporcionándole un mayor vigor y crecimiento. Este hongo crece a medida que lo hace el sistema radicular del vegetal con el que se encuentra asociado, alimentándose de los productos de desecho y de exudados que excreta la planta. Ésta a su vez se beneficia al poder colonizar mayor cantidad de suelo gracias al sistema de hifas del hongo, aumentando considerablemente de esta manera el crecimiento de la planta. Por ello, se produce un aumento de la captación de nutrientes y de agua en las raíces, ya que explora mayor volumen de suelo, y a su vez, incrementa la solubilización de nutrientes orgánicos como el fósforo. Este mayor vigor a su vez le proporciona a la planta una mayor tolerancia frente a diferentes tipos de estrés tanto abióticos (causado por fertilización, salinidad, riegos y condiciones climáticas no-óptimas como sequía, temperaturas altas, etc.) como bióticos (ataques de patógenos). (12)

Estos microorganismos benefician directamente el crecimiento de la planta por la producción de ácido indolacético, citoquinas, auxinas, giberelinas, aminoácidos y vitaminas; que ayudan en el crecimiento de la raíz de la planta, que a su vez facilitan la captación de agua y nutrientes; e

indirectamente por su capacidad de fijar nitrógeno y de producir agentes de biocontrol contra patógenos del suelo. (4)

#### **4.3. Ventajas de *Trichoderma*.**

- Posee un amplio rango de acción. Se propaga en el suelo, ejerciendo un control duradero tiene un marcado efecto preventivo de enfermedades de la raíz y el follaje.
- Protege las semillas agrícolas y botánicas de fitopatógenos.
- Controla patógenos de la raíz (*Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*) y del follaje (*Botritis* y *Mildew*) antes que puedan ser los detectados y evita el ataque de (*Phytophthora*).
- Disminuye o elimina la dependencia de fumigantes químicos y actúa como biodegradante de agrotóxicos
- Promueve el crecimiento de raíces y pelos absorbentes, moviliza nutrientes en el suelo para las plantas, mejorando la nutrición y la absorción de agua.
- Es compatible con Micorrizas, *Azotobacter*, otros biofertilizantes y con bioagentes controladores de plagas y enfermedades.
- Acelera la descomposición de la materia orgánica, puede ser empleado en el proceso de compostaje donde también cumple funciones de biofungicida.
- Estimula el crecimiento de los cultivos al producir metabolitos que promueven los procesos de desarrollo en las plantas.
- Favorece la proliferación de organismos benéficos en el suelo, como otros hongos antagónicos.
- No necesita plazo de seguridad para recolección de la cosecha. (11)

#### **4.4. Estimulador del crecimiento de las plantas.**

Se ha comprobado que el *Trichoderma* produce sustancias estimuladoras del crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas sustancias actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios (los

que tienen potencial de formar nuevas raíces) en las partes jóvenes de éstas, acelerando su reproducción celular, logrando que las plantas alcancen un desarrollo más rápido que aquellas plantas que no hayan sido tratadas con dicho microorganismo.(2)

Algunas especies de *Trichoderma* han sido reportadas como estimuladoras de crecimiento en especies tales como clavel, crisantemo, petunia, pepino, berenjena, arveja, pimienta, rábano, tabaco, tomate, lechuga, zanahoria, papa, algodón, frijol y pastos ornamentales.(2)

Las semillas de pepino inoculadas germinan dos días antes que aquellas que no han sido inoculadas con el hongo. La floración de *Pervinca rosea*, se acelera el número de botones por planta. En crisantemo se incrementa también el número de botones, la altura y el peso de plantas son mayores que aquellas no tratadas. Tales respuestas han ocurrido consistentemente a concentraciones de 10<sup>8</sup> unidades formadoras de colonias por gramo de suelo, estas densidades de población son fácilmente aplicables al suelo en formulaciones, las cuales favorecen a su vez el incremento de la población de *Trichoderma* en el medio. (2)

Se han realizado algunos estudios preliminares con *Trichoderma* para la estimulación del crecimiento sobre plantas de frijol, donde los aislamientos seleccionados estimularon la germinación y presentaron un aumento en la altura de las plantas entre el 70 y 80% y una ganancia en peso de un 60% aproximadamente, ello supone un incremento en los rendimientos de este cultivo. (2)

Un ensayo similar realizado sobre pasto Estrella demostró que la ganancia en peso seco con algunos aislamientos es cercana al 23%, en longitud de las raíces y de estolones este incremento fue de un 30%. (2)

*Trichoderma* contribuye al crecimiento en cuanto a profundidad de las raíces de las plantas, haciendo que estos cultivos sean más resistentes a la sequía. Las raíces colonizadas por *Trichoderma* requieren un 40% menos de fertilizantes nitrogenados con relación a las raíces que no se encuentran colonizadas. (2)

#### **4.5. El Trichoderma como agente para la biodegradación de agrotóxicos.**

Dentro de los organismos utilizados para la biodegradación se ha estudiado el género *Trichoderma* el cual puede degradar pesticidas organoclorados, clorofenoles y otros insecticidas como DDT, endosulfán, pentacloronitrobenceno, aldrin y dieldrin, herbicidas como trifluralin y glifosato. Este hongo posee enzimas tales como celulasas, hemicelulasas y xylanasas que ayudan a la degradación inicial del material vegetal y por último enzimas de mayor especialización que contribuyen a la simplificación de moléculas complejas como son las de biopesticidas. (2)

Se han realizado experimentos donde se ha comprobado que la aplicación del *Trichoderma* degrada algunos grupos de pesticidas de alta persistencia en el ambiente. Esto abre las puertas hacia la descontaminación de extensas áreas de suelos que se han contaminado por el uso irracional e indiscriminado de pesticidas de un alto efecto residual, causantes de grandes daños para la salud animal y humana. (2)

#### **4.6. El Trichoderma como alternativa para el ahorro de fertilizantes químicos y pesticidas.**

Investigaciones recientes han demostrado que la aplicación del *Trichoderma* en el cultivo del maíz y cuyas raíces han sido colonizadas por dicho microorganismo, requieren menos fertilizante nitrogenado, que el maíz no tratado; lo cual implica un ahorro del 35 al 40% de fertilizante. Conociendo que dicho cultivo demanda mucho Nitrógeno, existe la posibilidad real que las aplicaciones de nitrógeno químico, sean disminuidas, disminuyendo así los costos de aplicación y una mejora apreciable del medio ambiente. El empleo del *Trichoderma* puede beneficiar a los productores agrícolas en sus propósitos de lograr cosechas más sanas y con mayor productividad. (2)

Está comprobado el efecto que hace el *Trichoderma* en la solubilización de los fosfatos insolubles del suelo, facilitando su asimilación por los cultivos.

*Trichoderma* forma asociaciones con Micorrizas, aumentando de manera significativa la rizósfera del suelo, permitiéndole a las plantas hacer una mayor extracción de nutrientes y con un alto grado de asimilación. (2)

#### **4.7. Resultados de otras evaluaciones con el uso de *Trichoderma*.**

Se han realizado estudios con el hongo *Trichoderma* en cultivo como el café y se ha determinado que este a los 45 días de la siembra, se obtuvieron los datos donde se concluyó que el tratamiento con *T. harzianum* con una dosis baja tuvo el 97.9 % con el mayor número de plántulas emergidas, mientras el testigo finca obtuvo el 83.8 % con el índice más bajo de emergencia, los demás tratamientos presentaron porcentajes intermedios entre estos. (13)

Lo cual muestra que al incorporar *T. harzianum* y *T. viride* en el sustrato con dosis de 10gr/m<sup>2</sup>, estimula el proceso de emergencia, esto concuerda con lo manifestado por BENAVIDES (2006), que al aplicar *Trichoderma* se obtiene altos rendimientos a nivel de semillero en lo que corresponde a la etapa de emergencia; también mencionado por SANTANA R. (2003), que al analizar el comportamiento de la germinación en café, apareció los mayores porcentajes en los tratamientos con el hongo *Trichoderma*, al mostrar diferencias significativa en relación con los testigos. (13)

En cuanto a tamaño de raíz en plantas de café al momento del repique, no presento diferencias significativas en las distintas dosis e interacción productos por dosis, encontrándose diferencias altamente significativas para el factor productos (*Trichoderma*) y Testigo finca vs resto. Por lo que al realizar las pruebas de medias el tratamiento de *T. harzianum* con dosis baja tuvo una media de 7.10 cm ubicándose en el grupo "A", teniendo la mayor longitud, mientras que el testigo finca con una media de 5.23 cm, estando en el grupo "C", siendo el de menor longitud. (13)

En altura de la planta de café a los 30 días después del repique no presenta diferencia significativa para factor productos e interacción productos por dosis, encontrándose diferencia altamente significativa para factor dosis y testigo finca vs resto. En el grupo “A” se ubicó el tratamiento *T. Harzianum* dosis baja con una media de 5.66 cm con la mayor altura; mientras que el testigo finca con una media de 4.49 cm con la menor altura, en el grupo “C”; los restantes tratamientos se encontraron en rangos intermedios. (13)

Efecto en la promoción de crecimiento en plántulas de *C. chinense Jacq.* A los 45 días después de la siembra, la altura de plántula de las cepas nativas de *Trichoderma spp.* registradas como Th05-02, Th27-08, Th09-06, Th02-01 y Th07-04, promovieron los mayores promedios con rangos que oscilaron entre 11,01 y 13,82 cm. Con la cepa Th05-02 se estimó el mayor promedio con un incremento de al menos 55,57% respecto al testigo sin hongos, el cual alcanzó el valor más bajo con 6,14 cm. (14)

En relación a la ganancia de biomasa seca aérea (tallos y hojas) de *C. chinense Jacq.*, no se mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos. Sin embargo, los mayores promedios se obtuvieron con las cepas Th05-02, Th07-05 y Th09-06, con 0,34; 0,32, y 0,32 g/planta, respectivamente. Esto representó un 41,17 y 47,05% más en la ganancia de biomasa aérea respecto al testigo. (14)

Los tratamientos biológicos que incluyeron las cepas nativas Th07-04, Th02-01 y Th05-02 provenientes de patosistemas agrícolas y silvestres promovieron incrementos en el crecimiento de raíces en plántulas de *Capsicum chinense Jacq.* Sin embargo, aun cuando no se detectaron diferencias estadísticas, permitieron aumentos del 26,49 al 29,50% en la longitud de la raíz con respecto al testigo que presentó un escaso crecimiento con 8,25 cm. En el volumen radical la Th02-01 fue superior al resto de los tratamientos (84,61% de incremento). Luego se encontraron

Th07-04, Th07-05, Th20-07, Th27-08 y Th05-02 con valores que oscilaron entre 26,92 y 39,74% más en relación al testigo sin inoculantes. Dicho testigo tuvo el valor más bajo con 0,12 cm<sup>3</sup> en el volumen radical. Al estimar la biomasa seca de la raíz, las cepas Th07-05, Th02-01, Th09-06, Th05-02, Th07-04 y Th20-07 fueron estadísticamente iguales, con incrementos del 37,50 al 62,50% en la ganancia de biomasa seca de raíz comparado con el resto de los tratamientos. El tratamiento testigo, sin inoculantes, alcanzó los promedios más bajos en la biomasa seca de la raíz con 0,03 g/planta. (14)

#### **4.8. Suelos vertisoles.**

Los Vertisoles son suelos de arcillas pesadas revueltas con una alta proporción de arcillas expandibles. En estos suelos forman profundas y anchas grietas (las cuales se abren y cierran periódicamente) desde la superficie del suelo cuando se seca, lo cual sucede la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del L. *vertere*, dar la vuelta) se refiere a los constantes movimientos internos del material del suelo. (5)

La colonización del suelo por las cepas de *Trichoderma* llega a 7 cm de profundidad, mientras las raíces de las plántulas alcanzan un tamaño de 3,5-5 cm en pimiento y de 1,5-3,5 cm en tomate. (7)

El hongo *Trichoderma* tiene una buena compatibilidad con los plaguicidas y fertilizantes inorgánicos de mayor empleo en hortalizas y tabaco, y con los biofertilizantes y bioestimulantes aplicados a estos cultivos. (7)

Según investigaciones que se han realizado con *Trichoderma* en el control de nematodos fitoparásitos la efectividad técnica de las aplicaciones de *Trichoderma* alcanza valores elevados con dosis mayores de 10<sup>13</sup> con/ha cuando las poblaciones del parásito no exceden de grado 3. (7)

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 5.1. Ubicación del área de estudio.

La Finca Arizona está ubicada en el área sur-occidente en el parcelamiento de Caballo Blanco, del departamento de Retalhuleu, a una distancia de 216 kilómetros de la ciudad capital, a 35 kilómetros de la cabecera departamental.

Geográficamente la finca “Arizona” está ubicada en las coordenadas:

- Latitud: 14° 27' 33.4" Norte
- Longitud: 91° 57' 86.7" Oeste
- Msnm: 21 metros

La finca Arizona al Norte colinda con la Finca Zaragoza, al Este con Santa Eulalia, al Sur con la finca Bélgica y al Oeste con la finca el Castaño, tal y como lo muestra la figura 2.

**FIGURA 2.** Mapa Finca Arizona.



Fuente: Ingenio Magdalena S.A.

La evaluación de cuatro cepas y dos dosis de *Trichoderma* fue establecida en el lote 630-01-07 en el pante 30 de la finca Arizona del ingenio Magdalena S.A.

## **5.2. Características Físico-Biológicas.**

### **5.2.1. Altitud.**

La finca Arizona está en el estrato altitudinal litoral ya que se encuentra a 21 msnm.

### **5.2.2. Temperatura.**

Las temperaturas en finca Arizona son altas. Se tienen una temperatura mínima de 24 °C, media de 27 °C, y una máxima de 33 °C en promedio.

### **5.2.3. Precipitación.**

La precipitación pluvial en finca Arizona varía desde 1,500 y 2000 mm al año, esto si no se tiene la incidencia de algún fenómeno climático que pueda aumentar o disminuir la precipitación. La estación húmeda va de mayo a octubre.

### **5.2.4. Vientos.**

La velocidad de estos es de 13.8 kilómetros/hora. Con dirección noreste a suroeste.

### **5.2.5. Zona de Vida.**

La región en estudio se encuentra ubicada en la zona de vida bosque húmedo subtropical.

### **5.2.6. Recursos Naturales.**

#### **a) Recursos Hídricos.**

La finca es abastecida por agua de pozos, la cual se extrae por medio de bombas. Esta agua es utilizada para realizar labores de campo y también se emplea para la higiene personal de los colaboradores de la finca.

#### **b) Forestales**

- Conacaste (*Entherolobium ciclocarpum L.*)
- Sauce (*Silix chilensis L.*)
- Palo blanco (*Koeiodendrumdonnell-smithu*)

#### **c) Flora**

- Limón (*Citrus limón L.*)
- Aguacate (*Persea americana L.*)
- Mango (*Mangifera indica.*)
- Caminadora (*Rothboelia cochinchinensis L.*)
- Kikuyu (*Penicilium clandestinum L.*)

### **5.2.7. Relieve y Topografía.**

Según observaciones realizadas, el tipo predominante de relieve es plano, teniendo el 2 a 3% de pendiente, para lo cual no es necesario la implementación de estructuras de conservación de suelos, tales como: curvas a nivel, terrazas y barreras vivas.

### **5.2.8. Clasificación de los Suelos.**

Los Vertisoles son suelos de arcillas pesadas revueltas con una alta proporción de arcillas expandibles. En estos suelos forman profundas y anchas grietas (las cuales se abren y cierran periódicamente) desde la superficie del suelo cuando se seca, lo cual sucede la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del L. vertere, dar la vuelta) se refiere a los constantes movimientos internos del material del suelo. (5)

### 5.3. METODOLOGÍA.

#### 5.3.1. Descripción de la investigación.

En esta investigación se evaluaron cuatro cepas nativas de *Trichoderma*, producidas por el Ingenio Magdalena S.A. estas fueron las que presentaron mayor capacidad de adaptabilidad y de reproducirse en laboratorio. Las cepas de *Trichoderma* CG 14-01, CG 14-02, CG 14-10 y CG 14-16 fueron evaluadas por primera vez en campo bajo las condiciones de un suelo vertisol, en una plantación de segunda soca, es decir que lleva tres cortes después de la siembra. Así mismo cada cepa de *Trichoderma* fue evaluada con dos dosis y un testigo sin aplicación. Las dosis de *Trichoderma* evaluadas fueron: 0,  $1 \times 10^{11}$  y  $1 \times 10^{12}$  conidios/ha.

Las cepas de *Trichoderma* se aplicaron encima de la fertilización base complementaria, la aplicación se realizó con bomba de mochila con capacidad de 16 lts. Con boquilla TF 2.5 V.S. Con un volumen de mezcla de 200 lts/ha, en la hora fresca del día (4:00 Pm). Esto se realizó a los 43ddc (Días después del corte)

También se aplicó la fertilización base complementaria que consistió en la aplicación de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y azufre, la aplicación de estos elementos fue de forma uniforme en todas las parcelas, la cantidad de nitrógeno fue de 120 kg/ha de la fuente Urea (46%), en fósforo fue 40 kg/ha de la fuente Triple superfosfato (46%), en potasio fue 100 kg/ha de la fuente muriato de potasio (60%) y en azufre fue 40 kg/ha de la fuente sulfato de amonio (21% N y 24 S).

Estas se aplicaron de forma manual al pie de la macolla de la caña de azúcar. Esto se realizó a los 43 ddc (Días después del corte).

**CUADRO 1.** Fertilización base complementaria.

<b>Fertilizante</b>	<b>Fuente</b>	<b>Dosis</b>
Nitrógeno	Urea	120 kg/ha
Fósforo	Triple superfosfato	40 kg/ha
Potasio	Muriato de potasio	100 kg/ha
Azufre	Superfosfato de amonio	30 Kg/ ha

Fuente: investigación de campo año 2,016.

### **MUESTREOS**

- **Peso de raíces (m<sup>3</sup>).**

Se realizó el muestreo de peso de raíces a los 158 días después del corte (ddc), se extrajo toda la cantidad de tierra que había dentro de 0.027 m<sup>3</sup>, la tierra se sacó a un lado del pie de la macolla de la caña de azúcar, extrayendo el total de tierra de esa área, luego se separó con agua la raíz de los restos de suelo.

Después de haber separado las raíces de los restos del suelo, se dejó que se secaran las raíces y se procedió a pesar en una balanza analítica en gramos el total de raíces de cada tratamiento. Se calculó el peso de raíz para un 1 m<sup>3</sup> en base a la cantidad de raíz que salió en 0.027 m<sup>3</sup>.

- **Muestreo pre cosecha.**

Este muestreo se realizó un día antes de la cosecha, el cual consistió en cortar 5 tallos molederos o primarios de los 3 surcos centrales de cada parcela, para determinar el porcentaje de sacarosa, brix y pureza de cada uno de los tratamientos. Estas determinaciones se realizaron en el laboratorio agronómico del Ingenio Magdalena S.A.

- **Peso total de caña.**

Se cosecho de forma manual la totalidad de tallos de cada parcela. Todos los tallos de cada parcela se pesaron con una balanza digital de campo y los pesos se expresaron en Toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

### 5.3.2. Diseño experimental.

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Estas principalmente se emplean en experimentos factoriales en los que la naturaleza del material experimental dificulta el manejo de todas las combinaciones de factores en una misma forma. (6)

### 5.3.3. Descripción de los tratamientos.

Las parcelas grandes fueron conformadas por las cepas de *Trichoderma* en cada una de las cuatro repeticiones y fueron el factor A. Las cepas de *Trichoderma* quedaron de la siguiente forma:

**CUADRO 2.** Factor A (Cepas a evaluar).

No. Tratamiento	Cepas
1	CG 14-01
2	CG 14-02
3	CG 14-10
4	CG 14-16

Fuente: investigación de campo año 2,016.

**Cepa CG 14-01:** esta Cepa fue aislada de la estación experimental Camantulul de CENGICAÑA. Del lote 21. Las identificaciones preliminares han determinado como *Trichoderma viride*. (10)Se caracteriza por presentar hifas hialinas septadas, conidioforos, fiálides y conidios. Los conidioforos son hialinos, ramificados y pueden

ocasionalmente disponerse en forma piramidal. Las fiálides son en forma de botella unidas a los conidioforos en ángulo recto. Las fiálides pueden encontrarse solitarias o en dispuestas en grupo. Las conidias miden 3  $\mu\text{m}$  de diámetro aproximadamente de forma redonda u ovalada. (9)

**Cepa CG 14-02:** aislada de la estación Camantulul de CENGICAÑA. Del lote 3. Sin identificación de especie. (10)

**Cepa CG 14-10:** aislada de la estación Experimental Camantulul de CENGICAÑA. Lote 21. La Identificación preliminar ha determinado como *Trichoderma atroviride*. (10) Es un hongo filamentosos cosmopolita, se encuentran comúnmente en el suelo. (8)

**Cepa CG 14-16:** aislada de la finca Polonia de la administración Buganvilia, de la región central norte del ingenio Magdalena S.A. las identificaciones preliminares ha determinado como *Trichoderma aggressivum*. (10)

Las cepas de *Trichoderma* con las diferentes dosis se aplicaron con bomba de mochila con capacidad de 16lts. Con boquilla TF 2.5 V.S. Con un volumen de mezcla de 200 lts/ha, en la hora fresca del día (4:00 Pm). Esto se realizó a los 43ddc (Días después del corte). Fueron dos dosis de *Trichoderma* y un testigo sin aplicación. Estas fueron las que ocuparon las parcelas pequeñas y fueron consideradas como el factor B.

**CUADRO 3.** Factor B (Dosis de *Trichoderma*).

Dosis	Dosis/ha.
1	Testigo sin aplicación
2	1X10 <sup>11</sup> con/ha
3	1X10 <sup>12</sup> con/ha

Fuente: investigación de campo año 2,016.

Siendo de esta forma cada Cepa de *Trichoderma* (parcela grande) fue evaluada con las diferentes dosis y su testigo sin aplicación (parcelas pequeñas) en cada una de las repeticiones, interaccionando el factor A y B.

**CUADRO 4.** Combinación de los factores A y B (Tratamientos)

No. Tratamiento	Cepa	Dosis
1	CG 14-01	Testigo sin aplicación
2	CG 14-01	1X10 <sup>11</sup> con/ha
3	CG 14-01	1X10 <sup>12</sup> con/ha
4	CG 14-02	Testigo sin aplicación
5	CG 14-02	1X10 <sup>11</sup> con/ha
6	CG 14-02	1X10 <sup>12</sup> con/ha
7	CG 14-10	Testigo sin aplicación
8	CG 14-10	1X10 <sup>11</sup> con/ha
9	CG 14-10	1X10 <sup>12</sup> con/ha
10	CG 14-16	Testigo sin aplicación
11	CG 14-16	1X10 <sup>11</sup> con/ha
12	CG 14-16	1X10 <sup>12</sup> con/ha

Fuente: investigación de campo año 2,016.

### 5.3.4. Modelo Estadístico.

El modelo Estadístico utilizado fue: (6)

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + E_{ij} + B_k + AB_{jk} + E_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = variable de respuestas

$\mu$  = valor de la media general

$R_i$  = efecto del i-esimo bloque

$A_j$  = efecto del j-esimo nivel del Factor A

$E_{ij}$  = Error experimental asociado al ij-esimo Factor A

$B_k$  = Efecto del k-esimo nivel del Factor B

$AB_{jk}$  = interacción dentro del j-esimo nivel del Factor A con el k-esimo nivel del Factor B

$E_{ijk}$  = Error experimental asociado a la ijk-esimo Factor B

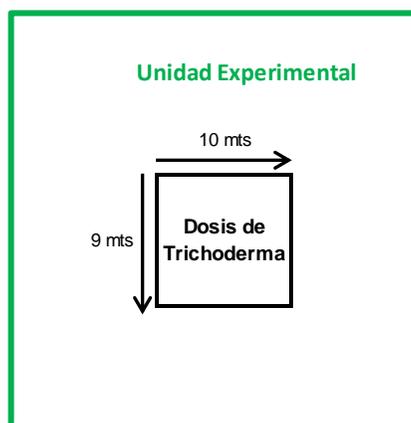
### 5.3.5. Croquis del ensayo de campo.



EVALUACIÓN DE CUATRO CEPAS Y DOS DOSIS DE TRICHODERMA.																									
		RI			RII			RIII			RIV														
BORDE DE 10 MTS	Calle de 2 mts.	CG 14-01	2	Calle de 2 mts.	CG 14-02	6	Calle de 2 mts.	CG 14-16	10	Calle de 2 mts.	CG 14-10	8	Calle de 2 mts.	CG 14-10	7	Calle de 2 mts.	CG 14-16	11	Calle de 2 mts.	CG 14-16	12	Calle de 2 mts.	CG 14-02	5	CAÑA COMERCIAL
			1			4			11			9			9			10			11			6	
			3			5			12			7			8			12			10			4	
	Calle de 2 mts.	CG 14-10	9	Calle de 2 mts.	CG 14-16	10	Calle de 2 mts.	CG 14-02	4	Calle de 2 mts.	CG 14-01	3	Calle de 2 mts.	CG 14-02	5	Calle de 2 mts.	CG 14-10	2	Calle de 2 mts.	CG 14-01	1	Calle de 2 mts.	CG 14-10	9	
			7			12			5			1			6			3			2			8	
			8			11			6			2			4			1			3			7	

### 5.3.6. Unidad experimental.

La unidad Experimental (UE) fue conformada por 5 surcos con un distanciamiento de 1.8 metros entre surco y una longitud de 10 metros, haciendo un total de 90 m<sup>2</sup> por parcela pequeña y 270 m<sup>2</sup> por parcela grande, cada repetición estuvo conformada por 4 parcelas grandes que fue 1080 m<sup>2</sup> por repetición.



### 5.3.7. Variables de respuesta.

- **Peso de raíces (m<sup>3</sup>).**

Esta se obtuvo de la raíz que había en un área de 0.027 m<sup>3</sup> que se sacó a la par de la macolla de la caña de azúcar y luego se procedió a calcular el peso por m<sup>3</sup>

- **Rendimiento de azúcar.**

Se obtuvo del muestreo de pre-cosecha donde el laboratorio del Ingenio Magdalena determinó la cantidad de azúcar y en base a eso se calcularon las toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).

- **Producción de caña.**

Se determinó por medio del peso total de cada parcela (UE) y se calcularon las toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

### 5.3.8. Manejo agronómico del cultivo.

- **Subsolado o descarne.**

Esta labor consiste en romper la capa superficial del suelo a los 0.35 a 0.40 metros de profundidad, para poder inducir a un buen desarrollo radicular y airear el suelo, permitir la permeabilidad del agua y así que la planta tenga un buen soporte.

- **Riego.**

Esta se inicia a los 3 a 6 días después del corte se aplica una lámina de 5.5 mm por día, se riega con una frecuencia de 4.08 días normalmente ya que se riega con un sistema de riego con pivote a una velocidad de 27%, este sistema riega 1.8 hectáreas/hora, se aplica en total una lámina de 22 mm para que logre cerrar el ciclo de 4.08 días, este sistema de riego con pivote trabajo por 23.3 hora al día.

- **Aplicación de herbicidas pre-emergentes.**

Esta labor se lleva a cabo a los 3 a 6 días después del corte y se realiza de forma mecanizada con aguilón. Se utiliza una mezcla de herbicidas pre-emergentes para control de hoja ancha y gramínea. Por lo general esta aplicación se realiza con una buena humedad y antes de que la caña rebrote.

- **Resiembra.**

Esta se realiza a los 20 a 25 días después del corte. Los criterios que se utilizan para resembrar una determinada área son: se espera que la caña brote para determinar en donde existen espacios vacíos (donde la caña no brotó) y se procede a determinar el porcentaje de espacios vacíos. Se toma como espacios vacíos a aquellos que midan 0.60 m en adelante.

- **Fertilización.**  
Esta se realizó a los 35 a 40 días después del corte. Se realiza de forma mecanizada, la fertilización consiste en la mezcla de los elemento Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Azufre.
- **Control de plagas y enfermedades.**  
Esta labor se llevó acabo a base de los monitores quincenales que se realizan dentro de la finca. Se empiezan a monitorear a los 25 a 35 días después del corte. Las principales plagas que se controlan son la rata cañera a través de cebos o trampas a base de bolsitas de granos que se colocan 5 por hectárea, con la chinche salivosa se controlan con trampas y aplicaciones aéreas de insecticidas y de la misma forma con el barrenador.
- **Arranque de malezas.**  
Esta labor se realizó en las áreas donde se tiene mayor presencia de malezas. Y se lleva acabo de forma manual a los 45 a 60 días después del corte.
- **Aplicación de herbicidas post-emergentes.**  
Se llevó a cabo a los 90 a 120 días después del corte, se aplica en áreas donde la presencia de malezas sea mucha y donde si amerite la aplicación de herbicidas post-emergentes. La aplicación se hizo de forma manual con bombas de aplicación constante y se aplica una mezcla de herbicidas post-emergentes selectivos para control de hojas anchas y gramíneas.
- **Aplicación de madurantes.**  
La aplicación de madurantes se realizó de forma aérea, 8 semanas antes de la cosecha con el fin de que la planta aumente su concentración de azúcar.

- **Cosecha.**

Esta es la última labor en campo que se realizó dentro del ciclo de la caña de azúcar, esta se cosecha a la edad de 9 a 12 meses, y se puede realizar de forma manual o mecanizada. El tipo de cosecha depende del área si es plana se puede cosechar de forma mecanizada y si el área es irregular en topografía se cosecha de forma manual. Después del corte se procede a alzar la caña en jaulas que son transportadas por un cabezal con destino a la fábrica del Ingenio Magdalena donde se le extraerá el jugo para ser procesado y tener el producto final que es el azúcar.

### **5.3.9. Análisis de la investigación.**

- El análisis estadístico se realizó según el análisis de varianza para el diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas para las variables de peso de raíz, concentración de sacarosa, producción de caña (TCH) y de rendimiento de azúcar (TAH).
- Se utilizó la prueba de medias LSD Fisher (0.10) para la comparación de medias entre las cepas y dosis de *Trichoderma*.
- Se determinó el tratamiento económicamente más rentable a través del análisis de presupuestos parciales. (6)
- Se utilizó el programa estadístico Infostat.

### **5.3.10. Recursos.**

- **Humanos**

- Asesor de investigación
- Practicante de EPSA
- Supervisor de labores varias
- Supervisor de investigación agrícola

- Peones de investigación agrícola
- Peones de riego
  
- **Físicos**
- Estacas
- Pita
- Rótulos de identificación de tratamientos
- Bolsas plásticas
- Balanza
- Cinta métrica
- Metros.
- Vernier
- Bomba de mochila
- Pala
- Azadón
- Cubetas
- Costales
- Machetes
- Cámara fotográfica
- Hojas papel bond
- Computadora
- Impresora
- Área (0.58 ha) de plantación de caña de azúcar en soca
- 4 Cepas de Trichoderma (CG 14-01, CG 14-02, CG 14-10 Y CG 14-16).
- Urea (46-0-0)
- Triple superfosfato (0-46-0)
- Muriato de potasio (0-0-60)
- Sulfato de amonio (21-0-0-24)

- Económico

**CUADRO 5.** Presupuesto de la investigación.

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD (Q)	CANTIDAD	TOTAL (Q)
Estacas	Unidad	0.50	115	57.50
Jornales	Unidad	81.87	48	3,929.76
Cepas de Trichoderma CG 14-01	1x10 ala 11 conidios/ha	30.00	1x36 a la 8 conidios/ha	1.08
Cepas de Trichoderma CG 14-01	1x10 ala 12 conidios/ha	35.00	1x36 a la 9 conidios/ha	1.26
Cepas de Trichoderma CG 14-02	1x10 ala 11 conidios/ha	30.00	1x36 a la 8 conidios/ha	1.08
Cepas de Trichoderma CG 14-02	1x10 ala 12 conidios/ha	35.00	1x36 a la 9 conidios/ha	1.26
Cepas de Trichoderma CG 14-10	1x10 ala 11 conidios/ha	30.00	1x36 a la 8 conidios/ha	1.08
Cepas de Trichoderma CG 14-10	1x10 ala 12 conidios/ha	35.00	1x36 a la 9 conidios/ha	1.26
Cepas de Trichoderma CG 14-16	1x10 ala 11 conidios/ha	30.00	1x36 a la 8 conidios/ha	1.08
Cepas de Trichoderma CG 14-16	1x10 ala 12 conidios/ha	35.00	1x36 a la 9 conidios/ha	1.26
Urea (46-0-0)	qq	144.33	2	288.66
Triple super fosfato (0-46-0)	qq	206.98	1	206.98
Muriato de potasio (0-0-60)	qq	148.15	2	296.30
Sulfato de amonio (21-0-0-24)	qq	73.93	2	147.86
Impresiones	Unidad	1.00	100	100.00
Internet	hora	5.00	20	100.00
Hojas	Unidad	0.10	20	2.00
Bolsas	Unidad	0.25	250	62.50
Rotulos	Unidad	1.00	50	50.00
			<b>TOTAL</b>	<b>5,250.92</b>

Fuente: investigación de campo año 2,016.

## 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 6.1. Análisis de varianza para la variable peso de raíces por m<sup>3</sup>.

A continuación se presenta el cuadro 6 del análisis de varianza para la variable peso de raíces por m<sup>3</sup>, dicho análisis se realizó en base a los datos tomados en el muestreo de raíces que se realizó a los 158 días después del corte.

**CUADRO 6.** Análisis de varianza de peso de raíces.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Repetición	7,618.36	3	2,539.45	0.64	0.60
Cepa	79,306.32	3	26,435.44	5.37	0.02*
Error (A)	44,310.27	9	4,923.36		
Dosis	113,799.78	2	56,899.89	14.27	0.0001**
Cepa*Dosis	311,084.98	6	51,847.50	13.00	<0.0001**
Error (B)	95,695.66	24	3,987.32		
Total	651,815.38	47			

CV= 16.81

Fuente: investigación de campo año 2,016.

De acuerdo al análisis de varianza para peso de raíces por m<sup>3</sup>, se obtuvo diferencia significativa para el factor cepa de *Trichoderma* con una probabilidad de  $p < 0.02$ , esto indica que los datos de los tratamientos tienen un 98% de confiabilidad o de probabilidad de funcionar, esto también muestra que los resultados de la evaluación no son por efectos por el azar y que solo existe un 2% de que esto no funcione, mientras en el factor dosis también se presentó diferencia significativa alta con una probabilidad de  $p < 0.0001$  y de la misma manera se tuvo una alta diferencia estadística en la interacción cepa por dosis de *Trichoderma* de  $p < 0.0001$ .

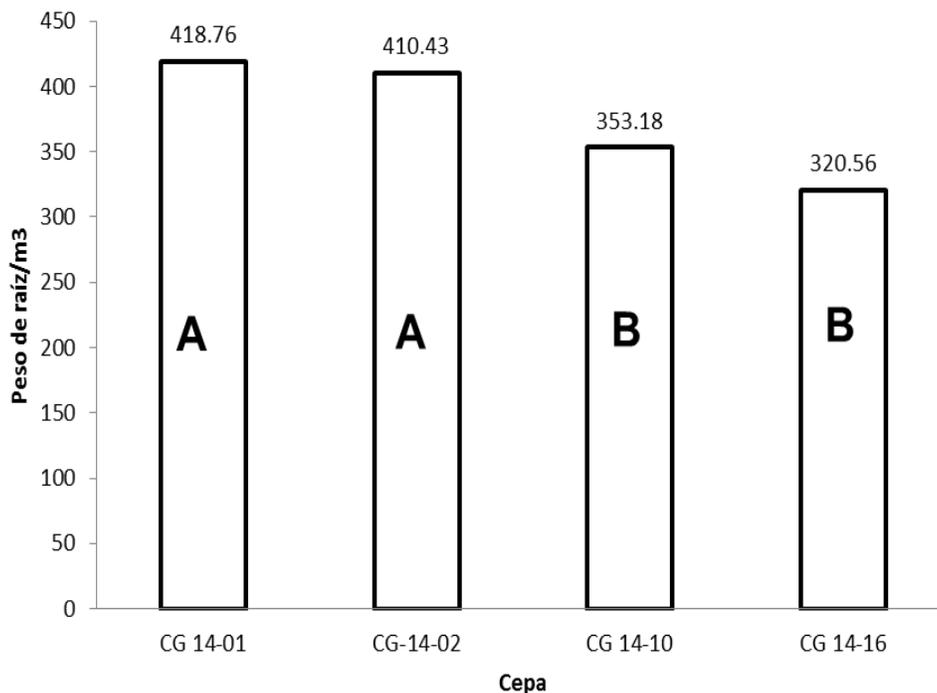
Para esta variable se tuvo un coeficiente de variación de 16.81 por lo que es aceptable; esto nos quiere decir que la evaluación de campo se ejecutó de forma correcta, ya que el coeficiente de variación nos permite cuantificar en

porcentajes la variabilidad que existió en cada unidad experimental, producido por el efecto de la aplicación de los tratamientos.

### 6.1.1. Prueba de medias para la variable peso de raíces/m<sup>3</sup>.

Los resultados mostraron diferencia estadística significativa tanto en el factor cepa, dosis e interacción cepa por dosis de *Trichoderma* por lo que les práctico la prueba de medias LSD Fisher a un nivel de significancia del 10%. Estos muestran el efecto que se tuvo a la aplicación del hongo *Trichoderma*.

**FIGURA 3.** Medias del factor cepas (factor A) en la variable peso de raíces/m<sup>3</sup>.



Fuente: investigación de campo año 2,016

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

LSD= 52.51

En la figura 3 se observa que según las pruebas de medias de LSD Fisher se formaron dos grupo estadísticos; el grupo "A" formado por las cepas CG 14-01 con 418.76 gramos de raíces por m<sup>3</sup> y la cepa CG 14-

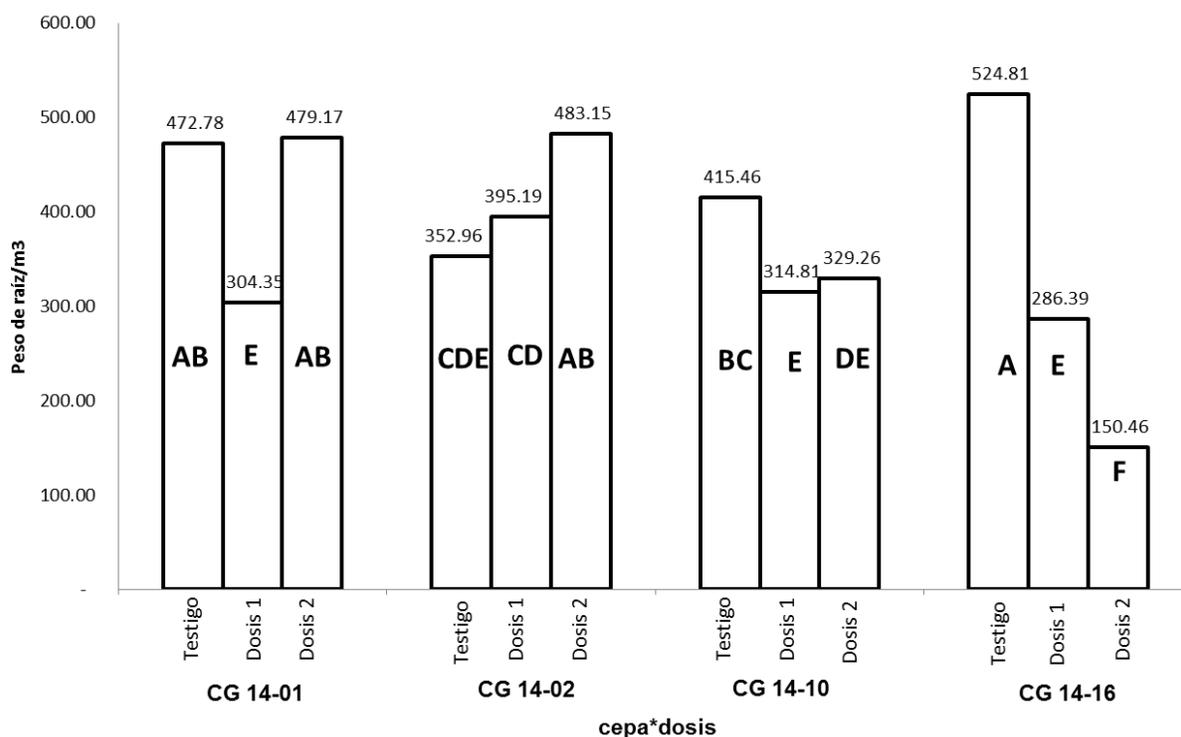
02 con 410.43 gramos de raíz/m<sup>3</sup>, seguido por el grupo “B” que estuvo formado por las cepas CG 14-10 y CG 14-16, con 353.18 y 320.56 gramos de raíz por m<sup>3</sup> respectivamente.

De acuerdo a estos resultados se observa que en promedio las cepas CG 14-01 y CG 14-02 fueron las que tuvieron mayor cantidad de sistema radicular, como también muestra que cada cepa de *Trichoderma* presentó un efecto diferente al incrementar la cantidad del sistema radicular de la planta. Así mismo la habilidad a colonizar fuertemente raíces de la planta depende de la capacidad de cada especie o cepa del hongo *Trichoderma* y de la misma forma cada especie de *Trichoderma* tiene una habilidad diferente para sobrevivir en varios nichos ecológico, dependiendo de las condiciones que prevalezcan y sobre las especies involucradas. (15)

#### **6.1.2. Interacción cepa por dosis de *Trichoderma* en la variable peso de raíces por m<sup>3</sup>.**

En lo referente a la interacción cepa por dosis (figura 4) muestran que la cepa CG 14-02 con la dosis 2 ( $1 \times 10^{12}$  conidios/ha) está en el grupo AB con 483.15 gramos de raíz/m<sup>3</sup> y su testigo sin aplicación está en el grupo “CDE” con 352.96 gramos de raíz/m<sup>3</sup>, por lo que existe diferencia estadística entre estos dos tratamientos. Siendo este tratamiento el mejor comparado con su respectivo testigo sin aplicación.

**FIGURA 4.** Peso de raíces por m<sup>3</sup> en la interacción Cepa\*Dosis de *Trichoderma*.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

LSD= 76.39158 Gr raíz/m<sup>3</sup>

La cepa CG 14-02 presentó un incremento de raíces con forme se aumentó las dosis de conidios por hectárea, siendo su dosis 2 ( $1 \times 10^{12}$  conidios/ha) la que presentó el mayor incremento de raíces con 130.19 gramos más que su testigo sin aplicación. Pero las dosis de las otras cepas no superaron a sus testigos sin aplicación. Según la literatura la capacidad de colonizar y de incrementar la cantidad del sistema radicular de la planta depende de la especie o cepa del hongo *Trichoderma* que se utilice. (15)

Debido a la aplicación del tratamiento CG 14-02 con la dosis 2 la planta tuvo un efecto positivo a la aplicación del hongo *Trichoderma* ya que al tener una mayor cantidad de sistema radicular permite que

sea más eficaz la captación de nutrientes y agua disponible en el suelo, para que después se dirija al desarrollo de la parte aérea de la planta y de esta manera se logra tener una mayor producción de caña por hectárea y también un mejor rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea. Esto muestra la importancia del uso de algunas especies o cepas de *Trichoderma* con fines de producción agrícola.

Como también las cepas CG 14-01, CG 14-10 y CG 14-16 no tuvieron un efecto positivo en el incremento de la masa radicular de la planta y que estas cepas de *Trichoderma* no cumplieron esta función por lo cual se determinó en esta evaluación que las especies de estas cepas no influyeron en el crecimiento de raíces de la planta de la caña de azúcar.

## 6.2. Análisis de varianza para la variable producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

El cuadro 7 muestra el análisis de varianza de producción de caña que se obtuvo del pesaje de la caña de cada unidad experimental el cual fue calculado en toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

**CUADRO 7.** Análisis de varianza de producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH).

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Repetición	601.03	3	200.34	1.85	0.17
Cepa	2,270.78	3	756.93	2.64	0.11 NS
Error (A)	2,580.65	9	286.74		
Dosis	154.30	2	77.15	0.71	0.50 NS
Cepa*Dosis	1,201.37	6	200.23	1.85	0.13 NS
Error (B)	2,602.43	24	108.43		
Total	9,410.56	47			

CV=6.58

Fuente: investigación de campo año 2,016.

Según el análisis de varianza para los factores cepa, dosis e interacción cepa por dosis de *Trichoderma* no presentaron ninguna diferencia significativa en ninguno de sus factores, por lo que ninguno de sus tratamientos son estadísticamente diferentes.

Sin embargo la cepa CG 14-01 con su dosis 1 tuvo 177.83 toneladas métricas de caña por hectárea, siendo este el mejor tratamiento comparado con todos los demás tratamientos; mientras que su respectivo testigo tuvo 167.16 TCH, esto muestra que la cepa CG 14-01 con su dosis 1 presentó un incremento de 10.67 TCH más que su respectivo testigo. De la misma manera la cepa CG 14-02 con su dosis 2 presentó 163.22 TCH, mientras que su testigo 154.80 TCH, logrando un incremento de 8.42 TCH. El coeficiente de variación es 6.58 lo cual es aceptable.

Aunque no existió diferencia estadística en esta variable, pero las cepas CG 14-01 con su dosis 1 y la cepa CG 14-02 con su dosis 2 lograron incrementar las toneladas métricas de caña por hectárea en relación a sus testigos sin aplicación, esto se debe a que este hongo es capaz de movilizar nutrientes del suelo mediante excreción de enzimas extracelulares que transforman compuestos nitrogenados orgánicos en nitrógeno inorgánico, fundamentalmente amonio y compuestos fosforados orgánicos en fósforo inorgánico, entre otros. Esta solubilización de nutrientes permite su utilización por las plantas, para trasladarlo a la parte aérea, de esta forma permite obtener una mejor producción de caña y un incremento en el rendimiento de azúcar por hectárea (16); como también estos microorganismos benefician directamente el crecimiento de la planta por la producción de hormonas como el ácido indolacético, citoquinas, auxinas, giberelinas, aminoácidos y vitaminas; que ayudan en el crecimiento de la raíz de la planta, permitiendo una mayor captación de agua y nutrientes. (4)

### 6.3. Análisis de varianza para la variable concentración de sacarosa (kg de azúcar por tonelada métrica de caña).

Se realizó el análisis de varianza para la variable de concentración de sacarosa, tomado en base al muestreo de pre-cosecha y al análisis que se realizó a la pre-cosecha en el laboratorio agronómico del ingenio Magdalena S.A.

**CUADRO 8.** Análisis de varianza de concentración de sacarosa (kg azúcar por tonelada métrica de caña).

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Repetición	136.60	3	45.53	1.34	0.29
Cepa	114.39	3	38.13	1.33	0.32 NS
Error (A)	257.92	9	28.66		
Dosis	61.88	2	30.94	0.91	0.41 NS
Cepa*Dosis	563.24	6	93.87	2.76	0.03*
Error (B)	816.90	24	34.04		
Total	1,950.94	47			

CV=6.04

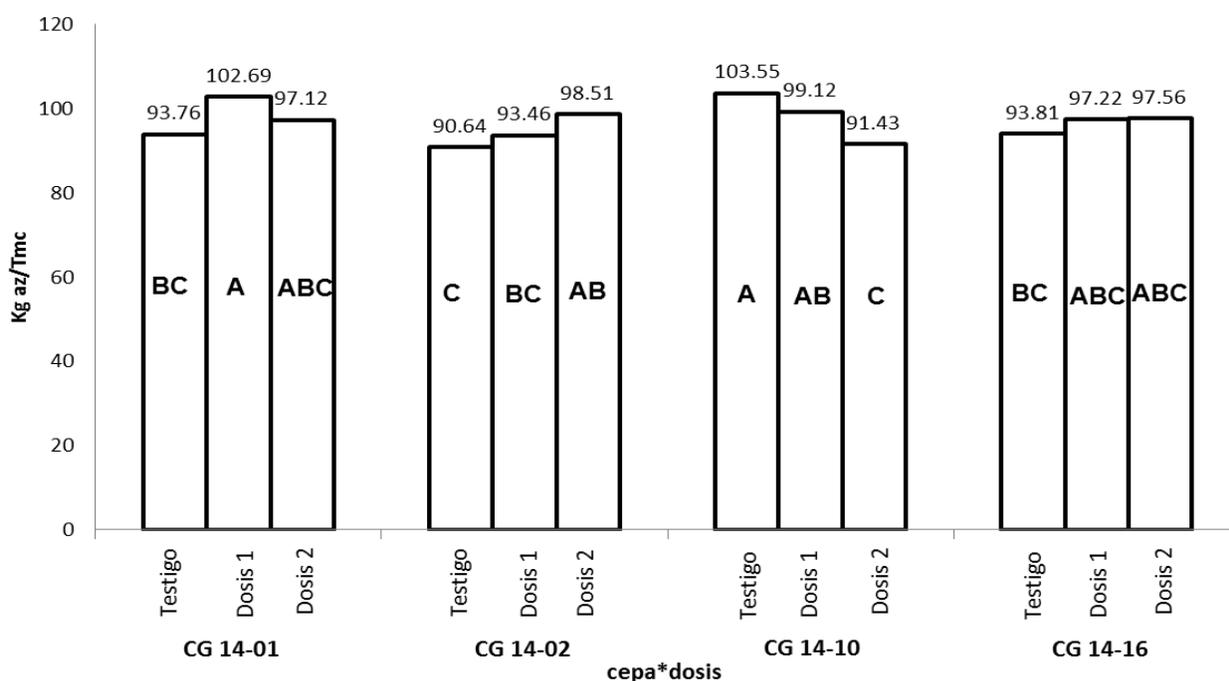
Fuente: investigación de campo año 2,016.

El Cuadro 8 muestra que en los factores cepa y dosis de *Trichoderma* no existió diferencia estadística significativa, pero al momento de combinar la cepa por la dosis de *Trichoderma* se logra una diferencia significativa de  $p < 0.03$ , por lo que al menos uno de los tratamientos es estadísticamente diferente. El coeficiente de variación fue de 6.04 lo cual es aceptable y muestra que la investigación se realizó de forma correcta.

**6.3.1. Prueba de medias en la Interacción cepa por dosis de *Trichoderma* para variable concentración de sacarosa (kg de azúcar/tonelada métrica de caña).**

La Figura 5 muestra la prueba de medias de LSD Fisher, para la interacción de cepa por dosis de *Trichoderma* a un nivel de significancia del 10% de probabilidad.

**FIGURA 5.** Concentración de sacarosa (Kg de azúcar/tonelada métrica de caña) en la interacción de cepa por dosis de *Trichoderma*.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

LSD= 7.05805 Kg Az/Tmc

La cepa CG 14-01 con su testigo tuvo 93.76 kilos de azúcar por tonelada métrica de caña, su dosis 1 ( $1 \times 10^{11}$  conidos/ha) presentó un aumento de kg az/tmc con 102.69 y su dosis 2 ( $1 \times 10^{12}$  conidos/ha) también presentó un ligero aumento con 97.12 kg az/tmc. La cepa CG 14-02 incrementó la concentración de sacarosa con relación a su testigo correspondiente y conforme se incrementó la dosis de *Trichoderma* sus kg az/tmc paso de

90.64 a 93.46 y 98.51 respectivamente con su dosis 1 y 2. La sacarosa de la cepa CG 14-10 disminuyo con la aplicación de la misma en sus dos dosis. La cepa CG 14-16 con su testigo tuvo 93.81 kg az/tmc, y un aumento ligero en su dosis 1 con 97.22 kg az/tmc y 97.56 kg az/tmc en su dosis 2.

La cepas CG 14-01 con la dosis 1 con 102.69 kg az/tmc fue el mejor tratamiento, comparado con su testigo, existiendo diferencia estadística entre estos dos ya que pertenecen al grupo "A" y "BC" respectivamente. Seguido por la cepa CG 14-02 con sus dosis 2 con 98.51 Kg az/tmc comparado con su testigo, existe diferencia significativa, ya que pertenecen al grupo "AB" y "C" respectivamente. La cepa CG 14-01 con la dosis 1 ( $1 \times 10^{11}$  conidos/ha) logro 8.93 kilos de azúcar por tonelada métrica de caña más que su testigo. Y La cepa CG 14-02 con su dosis 2 logro 7.87 Kg az/tmc más que su testigo.

Debido a que la fotosíntesis es un proceso que utiliza la energía que aporta luz y la transforma en energía estable; y que este proceso combina el dióxido de carbono y el agua, esto permite la elaboración de azúcares simples; En base a esto y que *Trichoderma* tiene la habilidad de poner disponible los nutrientes del suelo a la planta como el fosforo que contribuye a tener más área foliar, que el nitrógeno que es fundamental en el proceso de la fotosíntesis y que la citoquininas también promueven el proceso de la fotosíntesis. Esto permite que las cepas de *Trichoderma* CG 14-01 con su dosis 1 y la CG 14-02 con su dosis 2, sean los tratamientos de este hongo que muestren un mejor efecto en la concentración de kilos de azúcar por tonelada de caña.

#### **6.4. Análisis de varianza en la variable rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).**

El cuadro 9 representa el análisis de varianza de los 12 tratamientos evaluados, para la variable rendimiento de azúcar.

**CUADRO 9.** Análisis de varianza del rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Repetición	17.93	3	5.98	2.32	0.10
Cepa	25.33	3	8.44	2.89	0.09*
Error (A)	26.29	9	2.92		
Dosis	2.08	2	1.04	0.40	0.67 NS
Cepa*Dosis	38.98	6	6.50	2.52	0.05*
Error (B)	61.82	24	2.58		
Total	172.45	47			

CV=10.49

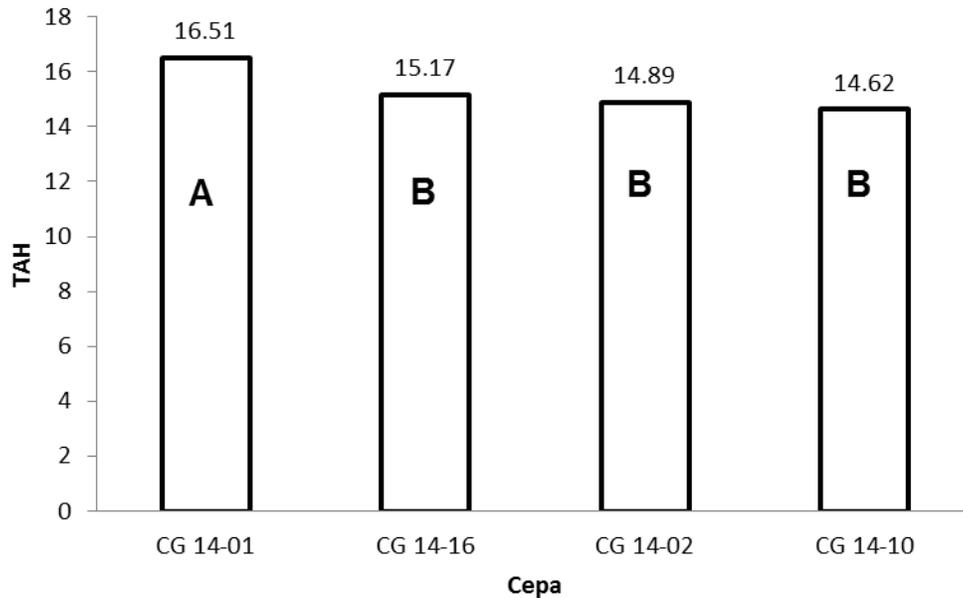
Fuente: investigación de campo año 2,016.

El análisis de varianza muestra que existe diferencia significativa en el factor cepa e interacción cepa por dosis con  $p < 0.09$  y  $p < 0.05$  respectivamente, lo cual es aceptable. Mientras que en el factor dosis no existió diferencia significativa con  $p > 0.67$ . El coeficiente de variación es aceptable con 10.49.

#### **6.4.1. Prueba de medias LSD Fisher en el rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).**

Los resultados mostraron diferencia estadística en el factor cepa, por lo que se realizó las pruebas de medias a un nivel de significancia del 10% de probabilidad.

**FIGURA 6.** Toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH), Medias según LSD Fisher para el factor cepa de *Trichoderma*.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

LSD=1.27915

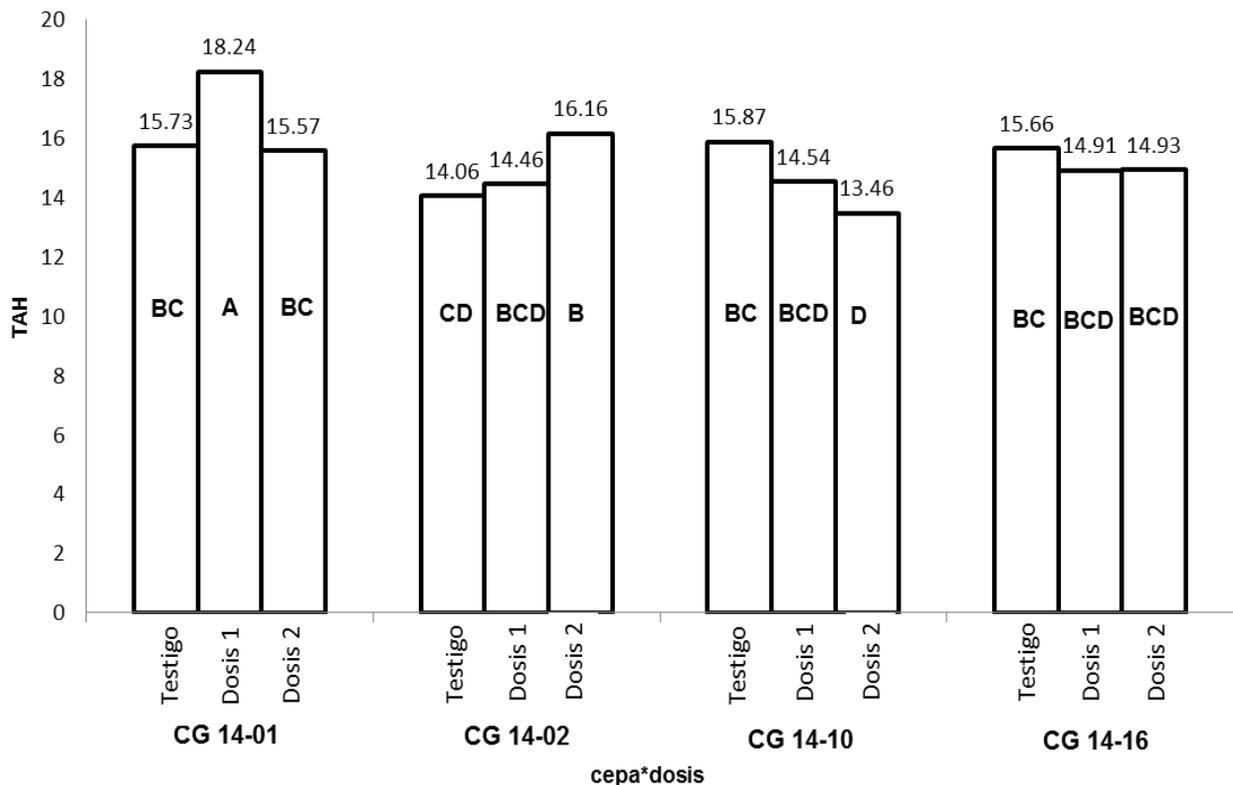
La figura 6 muestra que existe diferencia significativa entre las cepas de *Trichoderma*; formando dos grupos. La cepa CG 14-01 se encuentra en el grupo "A" con 16.51 TAH y en el grupo "B" se encuentra la cepa CG 14-16 con 15.17 TAH, la cepa CG 14-02 con 14.89 TAH y la cepa CG 14-10 con 14.62 TAH.

La cepa CG 14-01 fue la que presentó mayor toneladas métricas de azúcar por hectárea, eso debe a que las especies de *Trichoderma* presentan diferentes capacidades para colonizar el sistema radicular de la planta y esto también se ve reflejado en las dosis de esta cepa, tal como lo muestra a continuación la figura 7.

**6.4.2. Interacción cepa por dosis de *Trichoderma* en la variable Toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH).**

La figura 7 presenta el efecto que tuvo cada cepa de *Trichoderma* con sus dosis  $1 \times 10^{11}$  y  $1 \times 10^{12}$  con relación a sus testigos.

**FIGURA 7.** Rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH) en la interacción de cepa\*dosis de *Trichoderma*.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

LSD= 1.94167

La cepa CG 14-01 su testigo tuvo 15.73 toneladas métricas de azúcar por hectárea (TAH), su dosis 1 ( $1 \times 10^{11}$  conidios/ha) presentó un incremento de TAH con 18.24, con la aplicación de la dosis 2 ( $1 \times 10^{12}$  conidios/ha) bajo el rendimiento de TAH con 15.57 esto es en relaciona su respectivo testigo. La cepa CG 14-02 incremento su rendimiento de

azúcar con relación a su testigo correspondiente y paso de 14.06 a 14.46 y 16.60 TAH respectivamente con su dosis 1 y 2. Las TAH de las cepas CG 14-10 y CG 14-16 disminuyó con la aplicación de la misma en sus dos dosis.

Las cepas CG 14-01 con su dosis 1 con 18.24 TAH fue el mejor tratamiento en relación a su testigo existiendo diferencia estadística ya que se encuentran en el grupo "A" y "BC" respectivamente; también es importante destacar que este tratamiento comparado con todos los tratamientos fue el mejor, Seguido por la cepa CG 14-02 con su dosis 2 con 16.16 TAH superando a su respectivo testigo sin aplicación existiendo diferencia estadística ya que se encuentran en el grupo "B" y "CD"

El rendimiento de azúcar (TAH) es la combinación de la producción de caña (TCH) por la concentración de sacarosa (kg az/tc). Y en base a los resultados por estos tratamientos en tener mayor cantidad de raíz se debe a que la capacidad de colonizar la raíz de la planta depende de la especie o cepa de *Trichoderma*, por lo cual estas especies de estos tratamientos fueron los mejores en cuanto a cantidad de raíces, esto permitió que las plantas con estos tratamientos aprovecharan mayor extracción de nutriente y agua en el suelo por lo cual se vio reflejado en que estos tratamientos fueran los que tuvieron mayor producción de caña y de la misma forma fueron los tratamientos que tuvieron mayor concentración de sacarosa debido a las capacidades que tiene el hongo para mejorar la extracción de elementos y hormonas que ayudan a un buen proceso de fotosíntesis el cual consiste en la elaboración de azúcares a partir de dióxido de carbono. Por dicha razón las cepa CG 14-01 con su dosis 1 que tuvo 2.51 TAH más que su respectivo testigo. Seguido por la cepa CG 14-02 con su dosis 2 que logro 2.1 TAH más que su respectivo testigo.

## 6.5. Análisis económico.

Se realizó el análisis económico de presupuestos parciales para los tratamientos aplicados dentro de la evaluación de cuatro cepas y dos dosis de *Trichoderma*. Dicho análisis económico se hizo con el fin de determinar el tratamiento más económicamente rentable. En este análisis económico solo se consideraron los costos relacionados con la decisión de aplicar o no aplicar un tratamiento, en esta evaluación fueron los costos de los insumos, mano de obra, maquinaria e implementos para la aplicación de los tratamientos de forma comercial. Siendo estos los costos que varían en la evaluación ya que los costos fijos no influyen porque son los mismos para todos los tratamientos.

### 6.5.1. Estimación del precio de los insumos relevantes.

Estos costos son aquellos que se utilizaron para llevar a cabo la aplicación de los tratamientos evaluados, son prácticamente los insumos (dosis de *Trichoderma*) utilizados para una hectárea del cultivo de caña de Azúcar.

**CUADRO 10.** Precio de los insumos utilizados.

Tratamientos	Cepa	Dosis de conidios/ha	Precio de tratamientos (Q)
T1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	-
T2	CG 14-01	1E+11	30.00
T3	CG 14-01	1E+12	35.00
T4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	-
T5	CG 14-02	1E+11	30.00
T6	CG 14-02	1E+12	35.00
T7	CG 14-10	Testigo sin aplicación	-
T8	CG 14-10	1E+11	30.00
T9	CG 14-10	1E+12	35.00
T10	CG 14-16	Testigo sin aplicación	-
T11	CG 14-16	1E+11	30.00
T12	CG 14-16	1E+12	35.00

Fuente: investigación de campo año 2,016.

El precio entre cepa de *Trichoderma* es el mismo, lo que si varia es el precio con las dosis de *Trichoderma*, ya que la dosis 1 (1X10<sup>11</sup>conidios/ha) tiene un precio de Q.30.00 y la dosis 2 (1X10<sup>12</sup>conidios/ha) es de Q.35.00.

### 6.5.2. Estimación de costos variables.

Estos se calcularon de los costos que se generan para la aplicación de los tratamientos, siendo esta para un área de una hectárea llevando la aplicación de forma comercial dentro del cultivo de la caña de azúcar, en este se consideraron únicamente los precios de campo que son prácticamente la suma de los costos de las dosis de *Trichoderma* aplicados, los costos de mano de obra, costo del tractor y el costo del implemento (aguilón), todos estos son costos para la aplicación de una hectárea.

**CUADRO 11.** Estimación de los costos que varían de acuerdo a los 12 tratamientos, evaluados en la investigación de cuatro cepas y dosis de *Trichoderma* en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Tratamientos	Cepa	Dosis de conidios/ha (Q)	Costo dosis/ha (Q)	Costo jornales/ha (Q)	Costo de tractor /ha (Q)	Costo de aguilon/ha (Q)	Total C.V. (Q)
T1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	-	-	-	-	-
T2	CG 14-01	1E+11	30.00	16.00	30.09	8.11	84.20
T3	CG 14-01	1E+12	35.00	16.00	30.09	8.11	89.20
T4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	-	-	-	-	-
T5	CG 14-02	1E+11	30.00	16.00	30.09	8.11	84.20
T6	CG 14-02	1E+12	35.00	16.00	30.09	8.11	89.20
T7	CG 14-10	Testigo sin aplicación	-	-	-	-	-
T8	CG 14-10	1E+11	30.00	16.00	30.09	8.11	84.20
T9	CG 14-10	1E+12	35.00	16.00	30.09	8.11	89.20
T10	CG 14-16	Testigo sin aplicación	-	-	-	-	-
T11	CG 14-16	1E+11	30.00	16.00	30.09	8.11	84.20
T12	CG 14-16	1E+12	35.00	16.00	30.09	8.11	89.20

Fuente: investigación de campo año 2,016.

### 6.5.3. Precio del azúcar a nivel de fábrica.

Para estimar el precio de una tonelada métrica de azúcar a nivel de fábrica fue necesario tomar en cuenta el costo de producción y comercialización. El cuadro 12 muestra que el precio de una tonelada métrica de azúcar es de Q. 2,508.00, este precio menos los costos de producción y comercialización que es de Q. 2,006.40/tmc y nos da el precio a nivel de fábrica que fue Q. 501.60 por tonelada métrica de azúcar.

**CUADRO 12.** Precio del azúcar a nivel de fábrica.

<b>Precio de la tonelada métrica de azúcar</b>	<b>Costo de producción y comercialización</b>
Q. 2,508.00	Q. 2,006.40
Precio de fábrica de la Tonelada métrica de azúcar Q. 501.60	

Fuente: investigación de campo año 2,016.

### 6.5.4. Rendimientos ajustados y corregidos al 15% en toneladas métricas de azúcar por hectárea.

Los rendimientos ajustados se llevaron a cabo debido a que los rendimientos de toneladas de azúcar por hectárea de cada unidad experimental (90 m<sup>2</sup>) fueron mayores a los obtenidos por la finca Arizona, debido a que las labores de manejo realizadas en el área experimental fueron más homogéneas.

En el cuadro 13 se realizó los ajustes al 15% de los rendimientos de TAH de todos los tratamientos aplicados y los testigos sin aplicación. Estos rendimientos ajustados se realizaron en base a los promedios de los tratamientos obtenidos por la prueba de medias de LSD Fisher analizadas al 10% de probabilidad como se puede observar en la figura 7. Este ajuste nos permite tener un dato de los rendimientos más apegado a la realidad.

**CUADRO 13.** Calculo de los rendimientos ajustados de acuerdo a los tratamientos aplicados.

No. Trat.	Cepas	Dosis/ha	Media	LSD Fisher 10%	Rendimiento TAH	15% Ajuste	Rendimiento ajustado
1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	15.73	BC	15.73	2.36	13.37
2	CG 14-01	1E+11	18.24	A	18.24	2.74	15.50
3	CG 14-01	1E+12	15.57	BC	15.57	2.34	13.23
4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	14.06	CD	14.06	2.11	11.95
5	CG 14-02	1E+11	14.46	BCD	14.46	2.17	12.29
6	CG 14-02	1E+12	16.16	B	16.16	2.42	13.74
7	CG 14-10	Testigo sin aplicación	15.87	BC	15.87	2.38	13.49
8	CG 14-10	1E+11	14.54	BCD	14.54	2.18	12.36
9	CG 14-10	1E+12	13.46	D	13.46	2.02	11.44
10	CG 14-16	Testigo sin aplicación	15.66	BC	15.66	2.35	13.31
11	CG 14-16	1E+11	14.91	BCD	14.91	2.24	12.67
12	CG 14-16	1E+12	14.93	BCD	14.93	2.24	12.69

Fuente: investigación de campo año 2,016.

#### 6.5.5. Estimación de los beneficios brutos y netos.

La estimación de los beneficios brutos y netos se llevó a cabo por los rendimientos ajustados multiplicados por el precio a nivel de fábrica de la tonelada métrica de azúcar (Q. 501.60), este nos da el beneficio bruto; a esta se le resto los costos que varían y se obtuvo los beneficios netos.

Los beneficios netos de cada cepa se calcularon en base a su propio testigo de cada cepa (cuadro 14). Tomando en cuenta el mayor beneficio neto lo obtuvo el tratamiento 2 que es la cepa CG 14-01 con su dosis 1 con Q. 7,690.60. Seguido por el tratamiento 6 cepa CG 14-02 con su dosis 2 con Q. 6,802.78. Mientras que el tratamiento 9, cepa CG 14-10 con su dosis 2 tuvo el beneficio neto más bajo con Q. 5,649.10.

**CUADRO 14.** Estimación de los Benéficos Brutos y Netos.

No. Trat.	Cepas	Dosis/ha	Rendimiento ajustado	Beneficio bruto (Q)	Costo que varían (Q)	Beneficio Neto (Q)
1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	13.37	6,706.39	-	6,706.39
2	CG 14-01	1E+11	15.50	7,774.80	84.20	7,690.60
3	CG 14-01	1E+12	13.23	6,636.17	89.20	6,546.97
4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	11.95	5,994.12	-	5,994.12
5	CG 14-02	1E+11	12.29	6,164.66	84.20	6,080.46
6	CG 14-02	1E+12	13.74	6,891.98	89.20	6,802.78
7	CG 14-10	Testigo sin aplicación	13.49	6,766.58	-	6,766.58
8	CG 14-10	1E+11	12.36	6,199.78	84.20	6,115.58
9	CG 14-10	1E+12	11.44	5,738.30	89.20	5,649.10
10	CG 14-16	Testigo sin aplicación	13.31	6,676.30	-	6,676.30
11	CG 14-16	1E+11	12.67	6,355.27	84.20	6,271.07
12	CG 14-16	1E+12	12.69	6,365.30	89.20	6,276.10

Fuente: investigación de campo año 2,016.

#### 6.5.6. Análisis de dominancia.

Este análisis se llevó a cabo para determinar cuál de los tratamientos puede llegar a representar una mayor ganancia y en base a esto ser elegido como una alternativa para poder aplicarse de forma comercial en el cultivo de caña de azúcar. Por lo que se ordenaron los tratamientos de forma ascendente, para este se tomaron en cuenta los costos que varían y los beneficios netos. Se determinó que los tratamientos de igual o menor rendimiento que sus respectivos testigos son dominados ya que los testigos no generaron ningún costo extra, mientras que los que tuvieron un rendimiento mayor o considerablemente aceptables se les nombro no dominado.

**CUADRO 15.** Análisis de dominancia.

No. Trat.	Cepas	Dosis/ha	Costo que varían (Q)	Beneficio Neto (Q)	Cambio	Observacion
1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	-	6,706.39	---	No dominado
2	CG 14-01	1E+11	84.20	7,690.60	T1-T2	No dominado
3	CG 14-01	1E+12	89.20	6,546.97	T1-T3	Dominado
4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	-	5,994.12	---	No dominado
5	CG 14-02	1E+11	84.20	6,080.46	T4-T5	No dominado
6	CG 14-02	1E+12	89.20	6,802.78	T4-T6	No dominado
7	CG 14-10	Testigo sin aplicación	-	6,766.58	---	No dominado
8	CG 14-10	1E+11	84.20	6,115.58	T7-T8	Dominado
9	CG 14-10	1E+12	89.20	5,649.10	T7-T9	Dominado
10	CG 14-16	Testigo sin aplicación	-	6,676.30	---	No dominado
11	CG 14-16	1E+11	84.20	6,271.07	T10-T11	Dominado
12	CG 14-16	1E+12	89.20	6,276.10	T10-T12	Dominado

Fuente: investigación de campo año 2,016.

De acuerdo al cuadro 15 se puede observar que el tratamiento 1, 4, 7 y 10 fueron los testigos sin aplicación por lo que estos son no dominados por lo que no generaron un costo adicional que los aplicados, por lo que no hay otros tratamientos que tengan un costo menor a estos.

También se puede observar que al comparar el tratamiento T1 con el T2 presento un aumento en los beneficios netos por lo que este tratamiento es no dominado. De igual forma el tratamiento 6 comparado con su testigo (T4) también aumento los beneficios netos por lo que también es no dominado y el tratamiento 5 comparado con el tratamiento 4 aumento los beneficios netos lo cual es no dominado, pero este tratamiento sus beneficios netos fueron muy bajos por lo que no se considerara como una alternativa para las recomendaciones de aplicaciones comerciales dentro del cultivo de la caña de azúcar.

Mientras que el resto de los tratamientos comparados con sus respectivos testigos no presentaron ningún aumento en los benéficos netos por lo que se les considero dominados.

#### 6.5.7. Tasa mínima de retorno (TAMIR).

Debido a que la tasa de interés en el mercado financiero de Guatemala es del 60% por temporada de cultivo y al sumarle el 40% de retorno mínimo que se exige en la agricultura, nos da el total de la TAMIR del cultivo que es el 100%. Esto nos indica que para que el cultivo de la caña de azúcar sea rentable en el tema económico, debe obtenerse el 100% como mínimo de la inversión realizada y esto nos lleva a que si un cultivo no cumple con dicho porcentaje, este no debería realizarse.

#### 6.5.8. Calculo de la tasa de retorno marginal.

En base al cuadro 15 se determinaron los tratamientos no dominados, por lo que estos cumplen con la TRM y siendo estos tratamiento que presentaron los mayores beneficios netos por capital invertido.

**CUADRO 16.** Calculo de la tasa de retorno marginal (TRM) del rendimiento de toneladas métricas de azúcar por hectárea.

No. Trat.	Cepas	Dosis/ha	Beneficio Neto (Q)	Costo que varían (Q)	Diferencia Beneficio Neto (Q)	Cambio costo que varían (Q)	TRM% (BN/CV)100
1	CG 14-01	Testigo sin aplicación	6,706.39	---	---	---	---
2	CG 14-01	1E+11	7,690.60	84.20	984.21	84.20	1,168.90
4	CG 14-02	Testigo sin aplicación	5,994.12	---	---	---	---
6	CG 14-02	1E+12	6,802.78	89.20	808.66	89.20	906.57

Fuente: investigación de campo año 2,016.

El tratamiento 1 (testigo sin aplicación de la cepa CG 14-01) sin ningún costo logro beneficios netos de Q. 6,706.39, mientras que el

tratamiento 2 (dosis 1 cepa CG 14-01) con un costo de Q. 84.20 alcanzo beneficios netos de Q. 7,690.60. El tratamiento 4 (testigo sin aplicación de la cepa CG 14-02) también sin ningún costo alcanzó beneficios netos de Q. 5,994.12 y el tratamiento 6 (dosis 2 cepa CG 14-02) con un costo de Q. 89.20 tuvo beneficios netos de Q. 6,802.78. Cada una de las dosis aplicadas fue comparada con su respectivo testigo absoluto.

En el cuadro 16 se observa que al pasar el tratamiento 1 al tratamiento 2 se obtiene una TRM de 1,168.90 %, lo que quiere decir que por cada quetzal invertido se logra recuperar el quetzal y se obtiene una ganancia de Q. 11.69 y al pasar el tratamiento 4 al tratamiento 6 también se logra alcanzar una TRM de 906.57 %, lo que indica que por cada quetzal invertido se recupera el quetzal y se tiene una ganancia de Q. 9.07. De acuerdo a lo indicado los tratamientos 2 y 6 si cumplen con la TRM ya que es mayor a la TAMIR por lo que demostraron que estos tratamientos en términos económicos la aplicación de estas dosis de *Trichoderma* son rentables.

## 7. CONCLUSIONES.

7.1. En relación a la formación de raíces por metro cubico la cepa que estimulo una mayor cantidad de raíces fue la CG 14-02 con su dosis 2, obteniendo 483.15 gramos de raíz/m<sup>3</sup>, demostrando que esta especie de *Trichoderma* tuvo un mayor efecto sobre la planta (por la aplicación del hongo), logrando una mayor colonización y estimulando el crecimiento de la raíz de la planta, lo que permite que al tener una mayor cantidad de raíces, la planta tenga una mayor captación o asimilación de los elementos minerales incorporados en la fertilización, también hay una mayor absorción de agua y nutrientes disponibles en el suelo, lo cual hace que exista un mejor desarrollo de la parte aérea y de la planta en su totalidad. Por lo que se acepta la hipótesis alternativa 1 planteada.

7.2. La evaluación reveló que en las toneladas métricas de caña por hectárea no existió diferencia estadística en ninguna de la aplicaciones de las cepas y dosis de *Trichoderma*, pero los tratamientos de la cepa CG 14-01 con sus dosis 1 y la CG 14-02 con su dosis 2 presentaron incrementos de TCH de 10.67 y 8.42 respectivamente; estos incrementos fueron en base a sus respectivos testigos sin aplicación; esto muestra que algunas especies de *Trichoderma* tienen un efecto positivo en la planta, logrando tener una mayor captación o asimilación de agua y nutrientes en el suelo, lo cual permite un mejor desarrollo de la planta de la caña de azúcar en la variedad CG 9878. Por lo tanto la aplicación de estas cepas pueden ser una alternativa potencial para hacer más eficiente la asimilación o captación de agua, nutrientes y de los elementos que se le incorporan al cultivo en la fertilización.

7.3. Se determinó que en la variable kilos de azúcar por tonelada de caña y en TCH las aplicaciones de *Trichoderma* de la cepa CG 14-01 con la dosis 1 y la CG 14-02 con su dosis 2, fueron los que presentaron mayores incrementos en relación a sus testigos y tomando en cuenta que la variable

de TAH es la combinación de las dos anteriores, esos resultados se vieron reflejado en que las cepas CG 14-01 con la dosis 1 logró el mejor rendimiento de azúcar con 18.24 toneladas métricas de azúcar por hectárea, seguido de la cepa CG 14-02 con su dosis 2 que presentó un rendimiento de 16.16 toneladas métricas de azúcar por hectárea, esto muestra que estas cepas de *Trichoderma* si tuvieron un efecto positivo, logrando un mejor desarrollo de la planta. Por lo que se acepta la hipótesis alternativa 3 planteada.

7.4. Se estimó en el análisis económico, que la cepa CG 14-01 con su dosis 1 fue la que tuvo el mayor beneficio neto con Q. 7,690.60/ha con una inversión de Q. 84.20/ha, por lo que se acepta la hipótesis alternativa 4 planteada.

## 8. RECOMENDACIONES.

- 8.1. Evaluar las cepas y dosis usadas en este experimento en otras etapas de desarrollo (socas) en el cultivo de caña.
- 8.2. Determinar las cepas y dosis usadas en el primer ciclo de cultivo de caña (plantía).
- 8.3. Seguir investigado otras especies del hongo *Trichoderma* junto con otras dosis, con el fin de ir encontrando nuevas alternativas que contribuya a incrementar las producciones en el cultivo de caña de azúcar, de una forma más segura para el medio ambiente y la salud del ser humano.
- 8.4. Llevar a aplicaciones semicomerciales y comerciales la cepa CG 14-01 con la dosis de  $1 \times 10^{11}$  conidios/ha, que presento el mayor rendimiento de azúcar.
- 8.5. Replicar esta investigación en otras áreas de la zona cañera para determinar si los tratamientos tiene el mismo efecto, bajo otras condiciones edafo-climatológicas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

1. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; espinoza, R. Guatemala. 512 p.
2. Fitosanitarios Ecológicos Cannabis, Esp. 2012. Agrobeta fertilizantes ecológicos (en línea). Málaga, Esp. Consultado 15 mar. 2015. Disponible en: <http://www.agrobeta.com/agrobetablog/2012/10/fitosanitarios-ecologicos-cannabis-trichodermas-harzanium/#.VQV3mo6G-LE>
3. Infante, Danay.; Martínez, B.; Gonzalez, Noyma.; y Reyes, Yusimy. (2,009). Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos. P.V. V.24 n.1. consultado 15 mar. 2,015. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522009000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002)
4. Serna-Cock, L; Arias-García, C; Valencia-Hernández, L. 2011. BIOFERTILIZACIÓN, UNA ALTERNATIVA AL USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS EN CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*). Revista de la asociación colombiana de ciencia y tecnología de alimentos 24(20):69-82.
5. Ibáñez, J.J.; y Manríquez, F. J. 2011. Vertisoles (en línea). Consultado 15 de mar. 2015. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/10/06/140062>
6. De Paz, R. 2014. Diseño y análisis de experimentos agrícolas 3ª. Ed. Quetzaltenango, Guatemala. 52-57 p y 78-81 p.

7. Marusia, S de. 2007. Introducción y eficiencia técnica del biocontrol de fitopatógenos con *Trichoderma* spp. en Cuba, Instituto de investigaciones de Sanidad Vegetal. Consultado 28 de abr. 2015. Disponible en: <http://www.inisav.cu/fitosanidad/2007/Revista%203-07.pdf>
8. Trichoderma antroviride.US 2014. The genome portal of the Department of Energy Joint Genome Institute (en línea) Washington D.C, US. Consultado 20 Ago. 2016. Disponible en <http://genome.jgi.doe.gov/Triat1/Triat1.home.html>
9. Trichoderma viride, Col. 2009. Biocultivos S.A. (en línea). Bogota, col. Consultado 24 ago. 2016. Disponible en <http://www.biocultivos.com.co/dctos/Ficha+Tecnica+Cientifica+del+Trifisol.pdf>
10. Ovalle, Gua. 2016. Información de cepas de Trichoderma. (correo electrónico. Guatemala, Gua, IICA.
11. Trichoderma spp, Cub. 2016. EcuRed (en línea). La Habana, Cub. Consultado 3 sep. 2016. Disponible en [http://www.ecured.cu/Trichoderma\\_spp](http://www.ecured.cu/Trichoderma_spp)
12. Departamento I+D. Koppert Biological Systems (2002) *Efecto de trichoderma harzianum rifai (cepa t-22) sobre cultivos hortícolas*. Extraído el 3 de septiembre de 2016. [https://www.koppert.es/fileadmin/Koppert/PDF/ES/trianum/HORTICOLAS\\_SE MILLEROS.pdf](https://www.koppert.es/fileadmin/Koppert/PDF/ES/trianum/HORTICOLAS_SE MILLEROS.pdf)
13. Guilapi. P, E.D. 2009. Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride*, en la producción de plantas de café (coffea arábica) variedad Caturra a nivel de vivero. Resultados y discusión. Ingeniero agrónomo. Riobamba, Ecuador. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 48-53 p.

14. Candelero. D.J<sup>1</sup>.; AJ Cristóbal<sup>1</sup> A.J.; Reyes<sup>1</sup> R.A.; Tun<sup>1</sup> S.J.M.; Gamboa<sup>2</sup> A.M.M.; Ruíz<sup>1</sup> S.E. 2015. *Trichoderma spp.* promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense Jacq.* Y antagonicas contra *Meloidogyne incognita*. Revista internacional de botánica experimental. 115-116 p.
15. Tovar. C, J. C. 2008. Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamiento de *Trichoderma spp.* frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. Marco teórico y estado del arte. Microbiólogo agrícola y veterinario. Bogota, Colombia. Pontificia universidad Javeriana. 19-24 p.
16. Castro. T, A. M.; y Rivillas. O, C.A. 2012. Boletín técnico cenicafe (en línea). *Trichoderma spp.* modos de acción, eficiencia y usos en el cultivo de café. Consultado 1 sep. 2016. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/577/1/038.pdf>

## 10. ANEXOS.

**CUADRO 17.** Cronograma de actividades de la investigación.

ACTIVIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.	2,015						2,016				
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Oct	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep
Planificación.	x										
Entrega del plan de investigación.	x										
Preparación del suelo.	x	x									
Aplicación de <i>Trichodermas</i> .			x								
Aplicación de fertilizantes.			x								
Riego	x	x	x	x	x						
Limpias.		x	x		x						
Muestreo de raíces						x					
Muestreo pre-cosecha							x				
Cosecha							x				
Análisis de resultados								x	x	x	x
Presentación de resultados.											x

Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 8.** Corte de calles.



**FIGURA 9.** Calles de la investigación.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 10.** Rayado para fertilización.

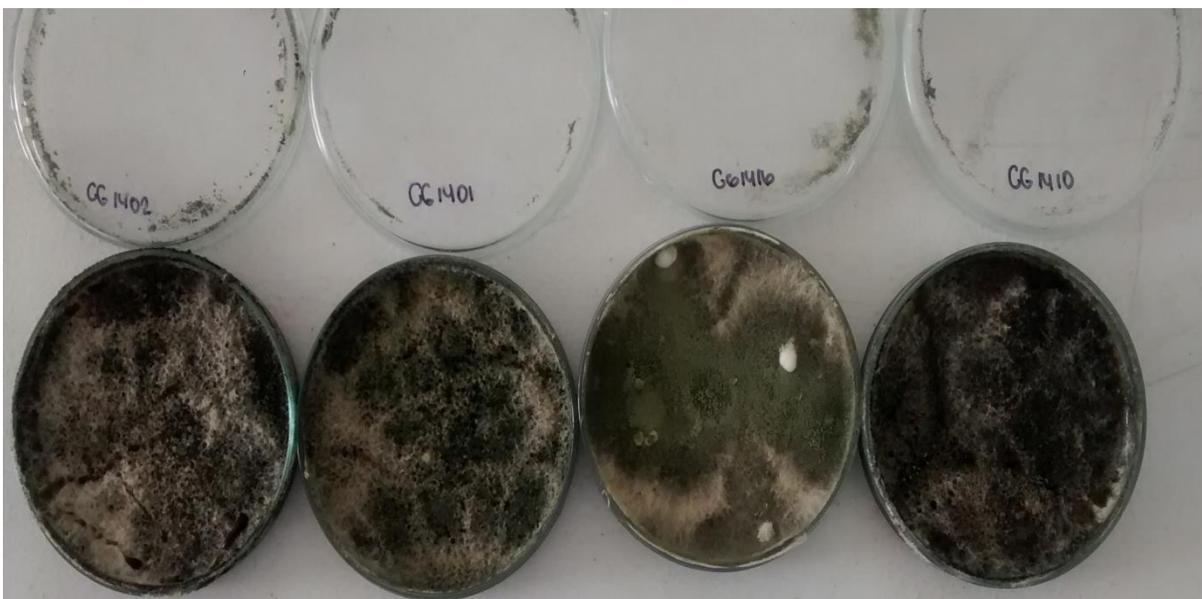


**FIGURA 11.** Fertilización base de N, P, K y S.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 12.** Cepas de *Trichoderma* CG 14-01, CG 14-02, CG 14-10 Y CG 14-16.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 13.** Materiales para aplicación.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 14.** Bomba de mochila.



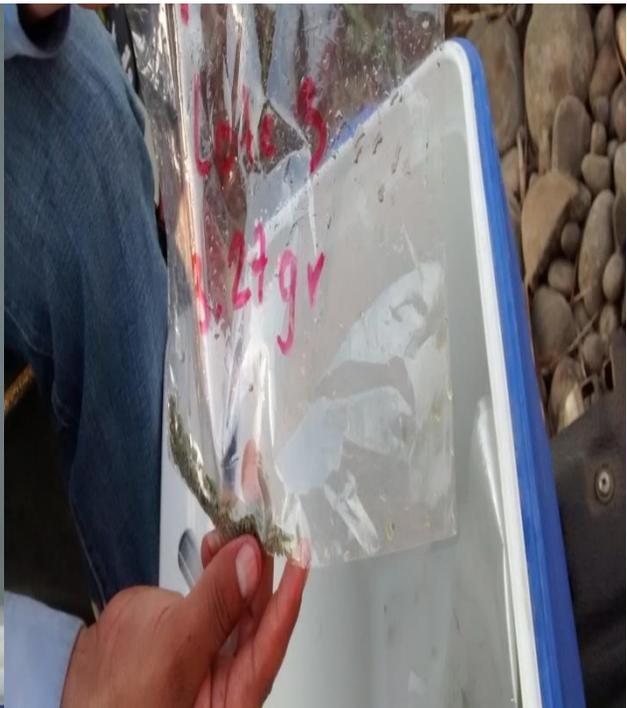
Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 15.** Hongo con temperatura Adecuada.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 16.** Dosis de  $1 \times 10^{11}$  conidios/ha



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 17.** Dilución del hongo en agua.



**FIGURA 18.** Aplicación del hongo.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 19.** Tapado del hongo.



**FIGURA 20.** Muestreo de raíces.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 21.** Muestreo de raíces. **FIGURA 22.** Lavado de raíces.  
en 0.30 m<sup>3</sup>



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 23.** Pesaje de raíces.

**FIGURA 24.** Raíces de los tratamientos.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 25.** Muestreo pre-cosecha.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 26.** Paquetes de pre-cosecha.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 27.** Paquetes Pre-cosecha de RI.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 28.** Corte de parcelas.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 29.** Corte de parcelas.



**FIGURA 30.** Maletas de los Tratamientos.



Fuente: investigación de campo año 2,016. Fuente: investigación de campo año 2,016.

**FIGURA 31.** Pesaje de los Tratamientos.



Fuente: investigación de campo año 2,016.

