

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
SOBRE LA NUTRICIÓN FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR;

INGENIO PANTALEÓN, ESCUINTLA  
TESIS DE GRADO

**JARHII LIHONARDO ORDOÑEZ RIVERA**  
CARNET 27004-03

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2015  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
SOBRE LA NUTRICIÓN FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR;

INGENIO PANTALEÓN, ESCUINTLA  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**JARHII LIHONARDO ORDOÑEZ RIVERA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2015  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

ING. OVIDIO PEREZ IXCHOP

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ

MGTR. LUIS AMÉRICO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ

Guatemala, 27 de agosto de 2015

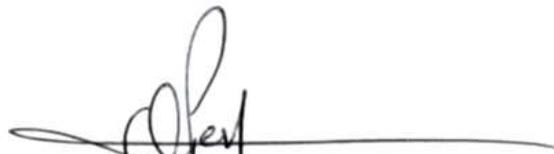
Consejo de la Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

Estimados Miembros del Concejo

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Jarhii Lihonardo Ordóñez Rivera, carné 2700403, titulado: "EFECTO DE INOCULOS DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA NUTRICION FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZUCAR; INGENIO PANTALEON, ESCUINTLA".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización para impresión.

Atentamente:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ovidio Perez', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Agr. Ovidio Perez  
Colegiado No. 639  
Cod. URL 13996

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JARHII LIHONARDO ORDOÑEZ RIVERA, Carnet 27004-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0669-2015 de fecha 13 de junio de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
SOBRE LA NUTRICIÓN FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR;  
INGENIO PANTALEÓN, ESCUINTLA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 21 días del mes de agosto del año 2015.



---

ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Ovidio Perez, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

## DEDICATORIA

A:

Dios. Por su bendición, sabiduría y guía en todo momento de mi vida.

Mi madre: Yolanda Rivera de Ordoñez  
Por darme la vida, por su sacrificio y trabajo duro, por sus consejos, por su confianza y esperanza puesta en mí y su apoyo incondicional en todo momento de mi vida y en especial durante mi formación como profesional.

Mi esposa: Damari Maldonado  
Por su apoyo y comprensión incondicional a lo largo de mi formación académica

Mi hija: Katherine Ordóñez Maldonado  
Por ser la razón de mí esfuerzo, mi alegría y la motivación constante de superación

Mi Familia. Hermanos, primos, sobrinos y cuñados que de una u otra forma han contribuido en mi formación

## INDICE GENERAL

	Pagina
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCION	1
II MARCO TEORICO	3
2.1. MICORRIZAS	3
2.1.1. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de las plantas	4
2.1.2. Beneficios de las micorrizas para las plantas	5
2.1.3. Etapas en la formación de micorrizas	6
2.1.4. Tipos de micorrizas	6
2.1.5. Cepas y productos a utilizar	7
2.3. CAÑA DE AZUCAR	9
2.3.1. Descripción y clasificación taxonómica de la caña de azúcar	9
2.3.2. Fotosíntesis de la caña de azúcar	11
2.3.3. Requerimientos climáticos	11
2.3.3.1. Temperatura	11
2.3.3.2. Precipitación	11
2.3.3.3. Radiación	12
2.3.3.4. Requerimientos edáficos	12
2.4. FUNCIONES DEL FOSFORO	12
2.4.1. Absorción y transporte de fósforo	12
2.4.2. Reacciones de energía en la planta	13
2.4.3. Fotosíntesis	13
2.4.4. Transferencia genética	14
2.4.5. Transporte de nutrientes	14
2.5. ANTECEDENTES DE ASOCIACION DE CAÑA DE AZUCAR - MICORRIZA	14
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3.1. DEFINICION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL TRABAJO	16
3.1.1. Planteamiento del problema	16
3.1.2. Justificación del trabajo	17
IV. OBJETIVOS	18
4.1. GENERAL	18
4.2. ESPECIFICO	18
V. HIPÓTESIS	19
VI. MATERIALES Y METODOS	20
6.1. LOCALIZACION DEL TRABAJO	20

	Pagina	
6.2.	METERIAL EXPERIMENTAL	20
6.3.	FACTORES A ESTUDIAR	20
6.4.	DISEÑO DE TRATAMIENTO	21
6.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	21
6.6.	MODELO ESTADISTICO	21
6.7.	UNIDAD EXPERIMENTAL	22
6.8.	CROQUIS DE CAMPO	22
6.9.	ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO	22
6.9.1.	Aplicación de fertilizante	23
6.9.2.	Manejo agronómico del ensayo	23
6.10.	VARIABLES RESPUESTA	24
6.10.1.	Rendimiento de caña	24
6.10.2.	Concentración de sacarosa (pre cosechas de caña)	24
6.10.3.	Rendimiento de azúcar	24
6.10.4.	Altura de tallos	24
6.10.5.	Población (número de tallos por metro lineal)	24
6.11.	ANALISIS DE LA INFORMACION	25
6.11.1	Análisis estadístico	25
VII.	RESULTADOS Y DISCUSION	26
7.1.	MADIAS DE TONELADAS DE CAÑA POR HECTAREA, CONCENTRACION DE SACAROSA Y TONELADAS DE AZUCAR POR HECTAREA	26
7.2.	ALTURA DE TALLOS Y POBLACION DE TALLOS	33
7.3.	ANALISIS BENEFICIO/COSTO	36
VIII.	CONCLUSIONES	38
IX.	RECOMENDACIONES	40
X.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	41
XI.	ANEXOS	45

## INDICE DE CUADROS

	Pagina	
Cuadro 1	Efecto promedio de los bio-productos en el rendimiento de caña de azúcar en los dos sitios evaluados	15
Cuadro 2	Características químicas del suelo, fuente laboratorio de CENGICAÑA	20
Cuadro 3	Descripción de los tratamientos	21
Cuadro 4	Valores promedio de rendimiento de caña (TCH), concentración de sacarosa y toneladas de azúcar por hectárea (TAH).	27
Cuadro 5	Análisis de varianza para la variable toneladas de caña por hectárea (TCH)	28
Cuadro 6	Prueba de medias para la variable rendimiento de caña por hectárea (TCH)	29
Cuadro 7	Análisis de varianza para la variable concentración de sacarosa	30
Cuadro 8	Análisis de varianza para la variable toneladas de azúcar por hectárea.	32
Cuadro 9	Prueba de medias para la variable toneladas de azúcar por hectárea (TAH)	33
Cuadro 10	Valores de altura y población de tallos de caña de azúcar.	33
Cuadro 11	Análisis de varianza para la variable altura de tallos de caña de azúcar.	34
Cuadro 12	Análisis de varianza para la variable población de tallos.	35
Cuadro 13	Prueba de medias para las variables altura de tallos y población de tallos por metro lineal	36
Cuadro 14	Análisis económico de los tratamiento evaluados	36
Cuadro 15	Matriz de datos de campo.	45

## INDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1	Croquis de campo del ensayo	22
Figura 2	Medias de rendimiento de caña (TCH) según inóculo y dosis de P aplicado.	30
Figura 3	Porcentaje de sacarosa.	31
Figura 4	Diagrama de endomicorrizas.	47
Figura 5	Diagrama de ectomicorrizas	47
Figura 6	<i>Glomus etunicatum</i>	48
Figura 7	<i>Glomus clarum</i>	48
Figura 8	<i>Gygaspora</i>	49

# EFFECTO DE INÓCULOS DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA NUTRICION FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZUCAR, INGENIO PANTALEON, ESCUINTLA

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue la evaluación del efecto de cinco inóculos de micorriza arbusculares sobre el rendimiento y la producción de caña de azúcar (*Saccharum* sp.). La investigación se llevó a cabo en Finca San Vicente, ubicada en lo que anteriormente fue Ingenio El Baúl ahora Ingenio Pantaleón, Santa Lucia Cotzumalguapa. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar en arreglo bifactorial con 5 tratamiento más el testigo en el factor 1 y 2 niveles de fósforo en el factor 2 con 4 repeticiones. Los tratamientos utilizados fueron: tratamiento 1 Micoral con 0 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 2 Micoral con 80 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 3 *Glomus* sp. con 0 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 4 *Glomus* sp. con 80 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 5 *Glomus clarum* con 0 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 6 *Glomus clarum* con 80 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 7 *Gigaspora* sp. con 0 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 8 *Gigaspora* sp. con 80 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 9 *Glomus etunicatum* con 0 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 10 *Glomus etunicatum* con 80 kg de  $P_2O_5$ ; tratamiento 11 sin inóculo con 0 kg de  $P_2O_5$ , y tratamiento 12 sin inóculo 80 kg de  $P_2O_5$ . Las variables de respuesta fueron rendimiento de caña en toneladas por hectárea (TCH), concentración de sacarosa, rendimiento de azúcar en toneladas por hectárea (TAH), altura de tallos de caña y población de tallos por metro lineal. Los resultados obtenidos reflejan una diferencia estadística significativa para el caso de los inóculos *Glomus* sp. y *Gigaspora* sp. los cuales estuvieron sobre el testigo sin inóculo para las variable TCH, TAH, altura y población, para los niveles de fósforo no se reflejó diferencia estadística.

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS INOCULUMS ON  
PHOSPHATED NUTRITION AND THE OUTPUT OF SUGAR CANE, *PANTALEÓN*  
SUGAR MILL, ESCUINTLA, GUATEMALA

**SUMMARY**

The purpose of this research was to evaluate the effect of five arbuscular mycorrhizal fungus inoculums on the output and production of sugar cane (*Saccharum* sp.) The research was carried out at *Finca San Vicente*, located at *Pantaleón* sugar mill (formerly *El Baúl* sugar mill) in Santa Lucía, department [political division] of Cotzumalguapa, Guatemala. An experimental randomized block design with a two-way factorial arrangement was used with four replications. The first factor included five treatments in addition to the control plant, and the second factor included two levels of phosphorus. The treatments used were: 1) Mycoral with 0 kg of  $P_2O_5$ ; 2) Mycoral with 80 kg of  $P_2O_5$ ; 3) *Glomus* sp. with 0 kg of  $P_2O_5$ ; 4) *Glomus* sp. with 80 kg of  $P_2O_5$ ; 5) *Glomus clarum* with 0 kg of  $P_2O_5$ ; 6) *Glomus clarum* with 80 kg of  $P_2O_5$ ; 7) *Gigaspora* sp. with 0 kg of  $P_2O_5$ ; 8) *Gigaspora* sp. with 80 kg of  $P_2O_5$ ; 9) *Glomus etunicatum* with 0 kg of  $P_2O_5$ ; 10) *Glomus etunicatum* with 80 kg of  $P_2O_5$ ; 11) No inoculums with 0 kg of  $P_2O_5$ ; and 12) No inoculums with 80 kg of  $P_2O_5$ . The response variables were: output of cane in tons per hectare (TCH), sucrose concentration, output of sugar in tons per hectare (TAH), height of the cane stems, and population of stems per lineal meter. The obtained results reflect a significant statistical difference in the cases of inoculums *Glomus* sp. and *Gigaspora* sp., which were above the control plant without inoculums for the variables TCH, TAH, height, and population. No statistical difference was observed in the levels of phosphorus.

## I. INTRODUCCION

El cultivo de la caña de azúcar es una actividad de impacto social y económico en Guatemala, genera 85,000 empleos directos, y beneficia a 250,000 guatemaltecos. Las exportaciones de azúcar permiten el ingreso de divisas al país, las cuales en el año 2,013 fueron de US\$ 910 millones por exportaciones de azúcar y melaza, además la caña provee subproductos como energía eléctrica, abono, alcohol entre otros (Azúcar de Guatemala, 2014)

Este cultivo en Guatemala ocupa una extensión aproximada de 267,000 hectáreas según reportó el Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de azúcar. (Azúcar de Guatemala 2014). El incremento en la exportación ha colocado al azúcar como el segundo renglón más importante de la economía del país en cuanto a generación de divisas se refiere. En el 2,013 el azúcar y la melaza representaron el 7.90% de las exportaciones totales del país, lo que representó aproximadamente el 3% del Producto Interno Bruto de Guatemala (Azúcar de Guatemala, 2014)

La agroindustria azucarera guatemalteca tiene como propósito en el área agrícola optimizar los recursos existentes así como la aplicación de nuevas tecnologías que permitan reducir los costos de producción y el incremento sostenible en la producción (AZASGUA, 2005)

La fertilización constituye uno de los pilares fundamentales de la producción agrícola. Hoy no se concibe la explotación agrícola sin una adecuada fertilización que permita obtener del suelo toda la capacidad productiva dentro de las limitaciones que imponen las condiciones (Smart, 2014).

La cantidad de fósforo absorbido por las plantas, puede ser incrementada por mecanismos biológicos como la simbiosis de las raíces de las plantas superiores con hongos para formar micorrizas (López, Flores 1979). Hoy día está fuera de duda que

las micorrizas, en la mayoría de los casos, estimulan el crecimiento vegetal, y que esto ocurre por su efecto benéfico sobre la nutrición mineral de las plantas. La respuesta que más frecuentemente se ha descrito, y que es aceptada principalmente como responsable del efecto “micorrizas”, es el incremento de la concentración del contenido de fósforo en los tejidos vegetales. No obstante, se han encontrado también incrementos en el contenido y concentración de otros nutrientes en la planta: en algunos casos puede deberse al efecto directo de las micorrizas, aunque en otros puede ser una consecuencia de que la planta resuelve su demanda de fósforo y alcanza un equilibrio nutritivo más adecuado debido a que las raíces pueden captar más nutrientes (Bonilla, 1994).

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de 5 inóculos de hongos micorrizicos sobre el rendimiento de caña de azúcar en toneladas por hectárea, concentración de sacarosa, azúcar por tonelada de caña, altura y población de tallos de caña de azúcar. La evaluación se realizó en un suelo Andisol pobre en fósforo de la zona alta de la región cañera, en la finca San Vicente en el lote experimental 0601, ingenio Pantaleón S.A. municipio de Siquinala, Departamento de Escuintla.

Para el establecimiento del ensayo se utilizó la variedad de caña CP88-1165 la cual se cortó en secciones de tallo llamados toletes, la distancia entre surcos fue de 1.75 metros, el tamaño de la unidad experimental es de 10 metros lineales el cual constaba de un surco a cada lado de borda para un total de 12 parcelas y cuatro repeticiones para un total de 48 parcelas. La inoculación de los hongos micorrizicos se realizó al momento de la siembra en forma directa.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. MICORRIZAS

La palabra **micorriza**, de origen griego, define la simbiosis entre un hongo (*mycos*) y las raíces (*rhizos*) de una planta. Como en otras relaciones simbióticas, ambos participantes obtienen beneficios. En este caso la planta recibe del hongo principalmente nutrientes minerales y agua, y el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que la planta lo puede hacer gracias a la fotosíntesis y otras reacciones internas (Vacacela, 2009).

Muchas plantas presentan micorrizas para aumentar la absorción de agua y sales minerales del suelo. Las micorrizas son la asociación entre raíces de una planta y el micelio de un hongo, de forma que toda la extensión del micelio participa en la absorción de nutrientes para la planta (Vacacela, 2009).

En la Naturaleza esta simbiosis se produce espontáneamente. Se estima que entre el 90 y el 95% de las plantas superiores presentan micorrizas de forma habitual (Vacacela, 2009).

Es posible que un mismo hongo forme la micorriza con más de una planta a la vez, estableciéndose de este modo una conexión entre plantas distintas; esto facilita la existencia de plantas parásitas (algunas de las cuales ni siquiera realizan la fotosíntesis, como las del género *Monotropa*), que extraen todo lo que necesitan del hongo micobionte y las otras plantas con las que éste también establece simbiosis. Así mismo, varios hongos (en ocasiones de especies diferentes) pueden micorrizar una misma planta al mismo tiempo (Guerra, 2008).

Las ventajas proporcionadas por la **micorrización** para las plantas son numerosas. gracias a ella, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y agua del suelo. La

protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada (Vacacela, 2009).

Todo esto redundando en una mayor longevidad de la planta: de hecho, se ha comprobado que algunos árboles, como los pinos, son incapaces de vivir más de dos años cuando están sin micorrizar. En otras especies, esta unión es tan estrecha que sin ella la planta no puede subsistir, como es el caso de las orquídeas. Las plantas cuyas semillas carecen de endosperma (sustancias alimenticias de reserva) dependen completamente del hongo para alimentarse y germinar posteriormente (Guerra, 2008).

La infección de la raíz por el hongo se produce a partir de propágulos presentes en el suelo. Pueden ser esporas y trozos de hifas del hongo y también raíces ya micorrizadas. Con el fin de asegurar el éxito de la empresa, la siembra de la mayoría de plantas comestibles o de decoración y las repoblaciones forestales que se llevan a cabo en la actualidad acompañan las nuevas plantas y brotes con fragmentos del hongo más adecuado para establecer asociaciones micorrícicas con cada especie que se vaya a cultivar (Guerra, 2008).

### **2.1.1. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de las plantas**

Las micorrizas, en la mayoría de los casos, estimulan el crecimiento vegetal, y que esto ocurre por su efecto benéfico sobre la nutrición mineral de las plantas. La respuesta que más frecuentemente se ha descrito, y que es aceptada principalmente como responsable del efecto “micorrizas”, es el incremento de la concentración del contenido de fósforo en los tejidos vegetales. No obstante, se han encontrado también incrementos en el contenido y concentración de otros nutrientes en la planta: en algunos casos puede deberse al efecto directo de las micorrizas, aunque en otros puede ser una consecuencia de que la planta resuelve su demanda de fósforo y

alcanza un equilibrio nutritivo más adecuado debido a que las raíces pueden captar más nutrientes (Bonilla, 1994).

Así mismo, las micorrizas pueden ocasionar otros efectos estimuladores basados en mecanismos no mediados por el aporte directo de nutrientes.

Las micorrizas no solo incrementan la biomasa vegetal sino que también influyen en la proporción en la cual esta se distribuye entre parte aérea y las raíces. La estimulación de la captación de nutrientes y subsiguientes translocación de estos a la parte aérea ocasionan que se transfieran a la raíz relativamente menos productos de la fotosíntesis y una mayor producción de estos sea retenida en la parte aérea y utilizada en la producción de materia verde. Como consecuencia, la relación “peso seco de la parte aérea / peso seco de la raíz”, es mayor en plantas micorrizadas (Bonilla, 1994).

### **2.1.2. Beneficios de las micorrizas para las plantas**

Franco (2008) menciona que los principales beneficios de las micorrizas son:

- Mayor tolerancia a factores de estrés: sequía, desequilibrios en el pH, altos contenidos de sales y más.
- Mayor resistencia frente a organismos patógenos.
- Sumamente importante para el crecimiento de las plantas en regiones donde los factores para la producción se encuentran por debajo del estado óptimo.
- Ahorro de fertilizante y mejor protección del medio ambiente.
- Incremento en los procesos de absorción, asimilación y translocación de nutrientes como: N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mo, Fe y Mn.
- Las micorrizas desempeñan un importante papel en la absorción del fósforo, principalmente en zonas tropicales donde las cantidades asimilables son frecuentemente bajas.
- Mayor resistencia de las plantas a las toxinas.
- En suelos afectados por metales pesados, las plantas micorrizadas poseen mayor resistencia, gracias a la capacidad para inmovilizar los metales en la raíz, impidiendo que estos pasen a la parte aérea de las plantas.

### 2.1.3. Etapas en la formación de micorrizas

Primer paso: identificación mutua planta hongo / hongo-planta, en la rizósfera, o en regiones próximas a los pelos radicales. El reconocimiento es facilitado por sustancias exudadas o emitidas por la raíz, que provocan el crecimiento del micelio y un biotropismo positivo del hongo a la raíz (Franco, 2008).

Segundo paso: acoplamiento gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular, al formarse una estructura que comunica ambas biomásas (Franco, 2008).

Tercer paso: colonización, produciéndose cambios morfológicos y estructurales en los tejidos colonizados por el hongo, se crea una integración fisiológica de ambos simbioses y alteración de las actividades enzimáticas, que se coordinan para integrar los procesos metabólicos del hongo y la planta (Franco, 2008).

### 2.1.4. Tipos de micorrizas

La mayoría de las plantas terrestres presentan micorrizas, y lo más probable es que las restantes descendan de plantas micorrizadas que han perdido secundariamente esta característica. En el caso de los hongos, la mayor parte de las 5000 especies identificadas en las micorrizas pertenece a la división *Basidiomycota*, mientras que en casos más excepcionales se observan integrantes de *Ascomycota*. La tercera división que se ha observado formando micorrizas es *Glomeromycota*, un grupo que, de hecho, sólo se conoce en asociación micorrizógena y cuyos integrantes mueren cuando se les priva de la presencia de raíces (Franco, 2008).

Según su morfología, las micorrizas se dividen en distintos grupos entre los que cabe destacar dos principales: las **ectomicorrizas** y las **endomicorrizas** (Franco, 2008).

Las ectomicorrizas se caracterizan porque las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista y presentan la llamada **Red de Hartig**. Este tipo de micorrización es el que predomina entre los árboles de zonas templadas, siendo

especialmente característico en hayas, robles, eucaliptus y pinos. Los hongos son tanto *Basidiomycota* como *Ascomycota* (Franco, 2008).

En las endomicorrizas, en cambio, no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y *arbúsculos*. Por ello se las conoce también como **micorrizas VAM** o **micorrizas vesículoarbusculares**. Los hongos pertenecen a la división *Glomeromycota* y se dan en todo tipo de plantas, aunque con predominio de hierbas y gramíneas. Abundan en suelos pobres como los de las praderas y estepas, la alta montaña y las selvas tropicales. En el bosque atlántico aparecen junto a las ectomicorrizas (Franco, 2008).

Franco (2008) menciona además de los dos grandes grupos anteriores, que se distinguen los siguientes tipos menores:

- **Ectendomicorrizas:** presentan manto externo, como las ectomicorrizas, pero también penetran en el interior de las células, como las endomicorrizas. No existen vesículas ni arbúsculos. Se observan tanto en *Basidiomycota* como *Ascomycota* y son más abundantes en angiospermas que en gimnospermas.
- **Orquidooides o micorrizas de oville:** Micorrizas de orquídeas, imprescindibles para su desarrollo y vida juvenil. En estado adulto, la planta puede llegar a independizarse algunos casos.
- **Ericoides:** tipo más sencillo y simple. Penetra en las células para formar ovillos.
- **Arbutoides:** manto externo y penetración en las células, donde forman *rulos*.
- **Monotropoides:** la forma de penetración en las células es algo diferente.

#### 2.1.5. Cepas y productos a utilizar

- ***Glomus* sp.:** Esporas formadas blásticamente sobre una hifa de sostén, solitarias, en agregados laxos o en esporocarpos. Vesículas de pared delgada y elipsoides. Hifas intrarradicales raramente enrolladas, conectada a una hifa ramificada. La micorriza se tiñe muy oscuro. Arbúsculos con troncos aplanados o cilíndricos adelgazándose sucesivamente en las ramificaciones. Esporas con

la pared esporal formada por un número variable de capas todas originadas a partir de la hifa de sostén. No se observan paredes germinales diferenciadas. Germinación a través del lumen de la hifa de sostén o a través de la pared de la espora (Bagyaraj y Sturmer, 2008)

- ***Glomus clarum***: Esporas solitarias o agrupadas en el suelo. Hialinas, globosas a subglobosas, de 68-290  $\mu\text{m}$  de diámetro. Contenido de la espora hialino con gúttulas de tamaño variable. *Pared compuesta*, formada por varias capas en 2 grupos, de 7-31  $\mu\text{m}$  de espesor. El grupo A formado por una capa externa (capa 1) de 5-20  $\mu\text{m}$  de espesor que no se separa claramente. El grupo B, 2-9  $\mu\text{m}$  de espesor presenta de 2 a 5 capas, cada capa de 0,5-2,0  $\mu\text{m}$  de espesor. Algunas esporas presentan una cubierta mucilaginosa hialina (5-20  $\mu\text{m}$ ) que con la edad se torna verrucosa o rugosa. Hifa sustentora 15-80  $\mu\text{m}$  de ancho, con paredes gruesas de 7-39  $\mu\text{m}$  hasta 400  $\mu\text{m}$  cerca de la espora, afinándose al aumentar la distancia a la misma. *Apertura del poro* a la espora es de 3-5  $\mu\text{m}$  de ancho con un septo que separa el contenido de la espora a la hifa sustentora (Irrazabal, Schalamuk, Velázquez y Cabello, 2005).
- ***Glomus etunicatum*** (Soil Restore): tiene grandes esporas multinucleadas, como muchos otros hongos micorrizicos. Produce ronda, esporas de paredes gruesas (clamidosporas) que son 68 a 144 micras de diámetro. Estas esporas tienen dos capas, y la capa exterior es efímera debido a la descomposición por microorganismos del suelo. Esta es la razón por *Glomus etunicatum* tiene su nombre: 'etunicatus' en latín significa 'privado de su abrigo'. La pared exterior rara vez se encuentra intacto en las esporas maduras. La pared interior se oscurece a medida que envejece esporas. Una vez que las esporas germina, el crecimiento de las hifas del hongo se produce y comienza a buscar una planta cuyas raíces autotrófica son adecuadas para colonizar, estas son capaces de anastomosis, o la fusión de hifas, con individuos estrechamente relacionadas (Irrazabal, Schalamuk, Velázquez y Cabello, 2005).

- ***Gigaspora sp.***: Esporas formadas terminalmente sobre una célula esporógena bulbosa; células auxiliares finamente papiladas o equinuladas. No se forman vesículas. Hifas intrarradicales frecuentemente enrolladas, especialmente, cerca de los puntos de entrada; a menudo nodosas o con proyecciones. Arbúsculos con troncos hinchados angostándose abruptamente en las ramificaciones. Esporas con la pared esporal formada por dos capas permanentes, no se diferencian paredes germinales. Al germinar, se diferencia una capa delgada con verrugas esparcidas y crece un tubo germinativo a través de la pared esporal (Bagyaraj y Sturmer, 2008).
- **Micoral**: el cual contiene tres cepas seleccionadas (por el Dr. Erich Raddatz, profesor adjunto de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano) de hongos tipo micorriza vesículo-arbusculares (VAM), altamente eficaces en la formación de asociaciones simbióticas. Las micorrizas que componen **Mycoral®** son del género: *Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*. **Mycoral®** es un producto biológico, 100% natural. Está compuesto por un sustrato orgánico- mineral que contiene esporas e hifas de micorrizas y segmentos de raicillas infectadas, además contiene > 8 esporas por gramo de sustrato, con un porcentaje de infección de raíces > 30%.

## 2.3. CAÑA DE AZÚCAR

### 2.3.1. Descripción y clasificación taxonómica de la caña de azúcar

Es una gramínea gigante, perenne, con la característica de ser una de las mejores captadoras de energía y transformadoras de carbohidratos en azúcares (Humbert, 1974).

Las raíces permanentes se pueden dividir en tres tipos: absorbentes o superficiales, de anclaje o sostén y profundas. Las raíces superficiales predominan en los primeros 60 centímetros de profundidad y distribución horizontal pudiendo alcanzar hasta dos metros de largo. Es difícil distinguir entre éstas raíces y las de sostén. En cambio las raíces profundas son relativamente escasas. En forma general, entre el 80 a 90 % de

las raíces se desarrollan en los primeros 40 a 60 cm de profundidad, por lo que, las prácticas de manejo del cultivo deben concentrarse en esa zona (CINCAE 2004)

El tallo se origina en la yema de los rizomas o tallos subterráneos, constituye la parte de valor económico en la caña de azúcar, debido a que en él se almacenan los azúcares, son cilíndricos, más o menos erectos, de longitud y color variable, está formado por secciones sucesivas denominadas entrenudos, divididos por zonas más duras y prominentes llamadas nudos (Humbert, 1974).

El limbo de las hojas suele alcanzar un metro de longitud, sus bordes son duros y aserrados con una nervadura principal y longitudinal convexa hacia arriba. Las hojas poseen bordes duros y aserrados, se originan en forma alterna en cada entrenudo, están formadas por lámina foliar y vaina, la unión entre ambas se le llama lígula, están cubiertas de pelos caducos que alcanzan hasta 5 mm. de longitud principalmente en la línea media a los cuales se les llama ahuates (Humbert, 1974).

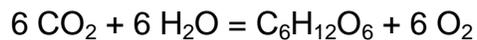
La planta llega a tener un máximo de 12 a 15 hojas de color verde por tallo, están colocadas más o menos en el mismo plano de adherencia al nudo, estando constituida por un anillo basal que rodea, traslapa estrechamente el tallo. La adherencia de las vainas al tallo difieren en las diferentes variedades de caña, en algunas al morir las hojas se secan y se separan soltándose del tallo, dejando limpio el nudo (Humbert, 1974).

La caña de azúcar forma parte de la familia de las poáceas del género *Saccharum*, donde tiene 6 especies, de las cuales 4 son domesticadas y 2 silvestres. Las domesticadas corresponden a *S. edule*, *S. barberi*, *S. sinensi* y *S. officinarum*; las silvestres *S. spontanaum* y *S. robustum*. La especie *S. officinarum* es la que se siembra comercialmente y se deduce que fue domesticada a partir de la *S. robustum* (Victoria, Guzman y Ange, 1995).

### **2.3.2. Fotosíntesis de la caña de azúcar**

El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz del sol, razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado. La clorofila existente en las células de las hojas de la caña absorbe la energía de la luz solar, la cual sirve como combustible en la reacción entre el dióxido de carbono que las hojas toman del aire y el agua que junto con varios minerales las raíces sacan de la tierra, para formar sacarosa que se almacena en el tallo y constituye la reserva alimenticia de la planta, a partir de la cual fabrican otros azúcares, almidones y fibra.

Dióxido de carbono + agua = sacarosa + oxígeno.



La caña de azúcar se encuentra dentro del grupo más eficiente de convertidores de la energía solar que existen (Che, 1997).

### **2.3.3. Requerimientos climáticos**

#### **2.3.3.1. Temperatura**

La temperatura óptima para la germinación de las yemas y el desarrollo del cultivo, se ubica entre los 27 °C y 33 °C. A valores de 20 °C el crecimiento disminuye notoriamente y si la temperatura disminuye más, el crecimiento prácticamente se paraliza (Subiros, 1995).

Cuando la temperatura es mayor a los 35 °C aumenta la respiración y disminuye la tasa fotosintética, lo que ocasiona una reducción en el crecimiento y por lo tanto, una menor acumulación de materia seca. La temperatura afecta otros procesos como la floración. En zonas más calientes la floración es mucho mayor (Subiros, 1995).

#### **2.3.3.2. Precipitación**

El suministro de agua, es necesario durante todo el periodo de crecimiento. En promedio, se requiere de 1200 a 1500 mm anual, distribuidos de la mejor forma posible

durante el periodo vegetativo. La demanda aumenta en relación con el crecimiento de la planta, debido a que la transpiración se incrementa (Subiros, 1995).

### **2.3.3.3. Radiación**

Según Subiros citado por Montenegro 2000, menciona que la radiación solar es la principal fuente de energía de las plantas. La caña de azúcar pertenece al grupo de las plantas que posee un sistema fotosintético C4 capaz de fijar CO<sub>2</sub> de manera más eficiente. Cuanta mayor radiación exista, mayor será la eficiencia fotosintética, aspecto muy relacionado con la producción y acumulación de carbohidratos (Subiros, 1995).

### **2.3.3.4 Requerimientos edáficos**

La caña de azúcar crece bien en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los francos o franco-arcillosos, bien drenados y profundos. El pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 (ligeramente ácido), aunque tolera suelos ácido hasta alcalinos. Con un pH próximo o menor a 4.5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta (Quintero, 1995).

## **2.4. FUNCIONES DEL FÓSFORO**

El fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El fósforo participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos (Smart, 2014).

El fósforo se encuentra en el suelo en compuestos orgánicos y en minerales. Sin embargo, la cantidad del fósforo disponible en el suelo es muy baja en comparación con la cantidad total del fósforo en el suelo. Por lo tanto, en muchos casos, los fertilizantes de fósforo deben ser aplicados para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo (Smart, 2014).

### **2.4.1. Absorción y transporte de fósforo**

El P penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz. La absorción también se produce a través de las

micorrizas, que son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos. El P es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ), pero también se absorbe como ion fosfato secundario ( $\text{HPO}_4$ ), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que se sube el pH (Polania, 2001).

Una vez dentro de la raíz, el P puede quedarse almacenado en esta área o puede ser transportado a las partes superiores de la planta. A través de varias reacciones químicas el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como la adenosina trifosfato (ATF). El P se mueve en la planta en forma de iones ortofosfato y como P incorporado en los compuestos orgánicos formados. De esta forma el P se mueve a otras partes de la planta donde estará disponible para más reacciones (Polania, 2001).

#### **2.4.2. Reacciones de energía en la planta**

El P juega un papel vital virtualmente en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADP) y de la ATP, son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta. La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADP y ATP a otras moléculas (proceso denominado fosforilación), desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta (Polania, 2001).

#### **2.4.3. Fotosíntesis**

La reacción química más importante en la naturaleza es la fotosíntesis. Esta reacción utiliza energía luminosa, en presencia de clorofila, para combinar el dióxido de carbono y el agua en azúcares simples. En este proceso, la energía solar es capturada en la ATF e inmediatamente este compuesto está disponible como fuente de energía para muchas otras reacciones dentro de la planta (Che, 1997).

Por otro lado, los azúcares formados se usan como bloques para construir otras células estructurales y compuestos para almacenamiento.

#### **2.4.4. Transferencia genética**

El P es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas. De esta forma, este elemento es parte esencial de los procesos que transfieren el código genético de una generación a la siguiente, proveyendo el mapa genético para todos los aspectos de crecimiento y reproducción de la planta (Polania, 2001).

El adecuado suplemento de P es esencial para el desarrollo de nuevas células y para la transferencia del código genético de una célula a otra, a medida que se desarrollan nuevas células (Polania, 2001).

Abundante cantidad de P se acumula en las semillas y en el fruto donde es esencial para la formación y desarrollo de la semilla (Polania, 2001).

El P es también parte de la fitina, que es la principal forma de almacenamiento de P en la semilla (Polania, 2001).

Alrededor del 50% del P total en las semillas de las leguminosas y del 60 al 70% en los cereales se almacena como fitina o compuestos muy parecidos. Un mal suplemento de P puede reducir el tamaño, número y viabilidad de las semillas (Better, 2009).

#### **2.4.5. Transporte de nutrientes**

Polania (2001), indica que las células de las plantas pueden acumular nutrientes en concentraciones mayores a las que están presentes en la solución del suelo que les rodea. Esta condición permite que las raíces extraigan nutrientes de la solución del suelo donde se encuentran en concentraciones muy bajas. El movimiento de nutrientes dentro de la planta depende en mucho del transporte a través de las membranas de las células, proceso que requiere de energía para contrarrestar las fuerzas de osmosis.

### **2.5. ANTECEDENTES DE ASOCIACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR – MICORRIZA**

Esporas de los géneros *Glomus* y *Gigaspora* recolectadas de suelo rizosférico de caña de azúcar en la región del piedemonte muestran bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Beijerinckia*, colonizando el interior de las mismas (Sarquiz, Quintana y Taboada, 2008).

Se muestran las medias de las toneladas de caña por hectárea (TCH) de los tratamientos de los dos ensayos. En estos dos ensayos el análisis de varianza para el factorial base (4 x 2) indico que no hubo diferencias estadísticas entre los bio-fertilizantes, ni entre los niveles de los porcentajes de la fertilización química y que ambos factores tuvieron efectos independientes en el rendimiento de caña, de tal manera que en el Cuadro 1, se presentan los efectos promedio de los bio-productos evaluados (Alfaro y Perez, 2013)

En promedio ninguno de los tres bio-productos evaluados superaron al testigo sin aplicación en términos de rendimiento de caña en los dos sitios.

**Cuadro 1: Efecto promedio de los bio-productos en el rendimiento de caña de azúcar en los dos sitios evaluados**

<b>BIO-PRODUCTO</b>	<b>RENDIMIENTO DE CAÑA (TCH)</b>	
	<b>NUEVA PROVIDENCIA</b>	<b>RIO AZUL</b>
Micoral	184.4 (a)	201.9 (a)
Biofertilizante	184.6 (a)	215.2 (a)
Soil restore	185.8 (a)	211.2 (a)
Testigo sin aplicación	185.8 (a)	218.2 (a)
<b>CV</b>	<b>11.70</b>	<b>9.90</b>

(Alfaro y Perez 2013)

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

##### **3.1.1. Planteamiento del problema**

Frente a las transformaciones del suelo y competencias entre plantas, es muy importante el uso de herramientas biológicas que aseguren la producción. Desde la perspectiva de una producción agrícola sostenible, es muy importante conocer la forma en que se ve frenada la efectividad de la micorriza hongo-planta por los sistemas de labranza utilizados actualmente.

Las micorrizas son órganos formados por la raíz de una planta y el micelio de un hongo, funciona como un sistema de absorción que se extiende por el suelo y es capaz de proporcionar nutrientes minerales principalmente fósforo a la planta y proteger a las raíces de algunas enfermedades. El hongo por su parte recibe de la planta compuestos de carbono elaborados proveniente de la fotosíntesis.

Los suelos de la región cañera principalmente la zona alta son Andisoles los cuales tienen la característica de presentar problemas con la disponibilidad de fósforo, por lo que se hace necesario realizar aplicaciones de fertilizante fosforado.

Esta misma característica de los suelos Andisoles, hace que gran parte del fertilizante aplicado sea fijado en el suelo debido a que la fracción de humus forma fácilmente complejos con los metales como el aluminio, de modo que no puede ser absorbido fácilmente por la planta, por lo cual se debe aumentar la cantidad de fertilizante aplicado. El costo de fertilizante fosforado es de \$0.44 por kilogramo, por lo que aumentar la dosis de fertilizante nos implica un aumento en el costo de fertilización.

Por lo que las condiciones de cultivos extensivos e intensivos sumado a las labores mecánicas y fertilizaciones químicas que se realizan en cada ciclo tienen repercusiones negativas en el suelo, ya que los microorganismos responsables de muchas actividades químicas tienden a desaparecer.

### **3.1.2. Justificación del trabajo**

CENGICAÑA (2008), Guatemala ocupa el segundo lugar en la exportación de azúcar en Latinoamérica con 1,300,000 toneladas métricas de azúcar, además ocupa el segundo lugar en la eficiencia de producción a nivel mundial, su producción comprende un área de más de 250 mil hectáreas ubicadas en cuatro departamentos de la costa sur del país.

Guatemala reportó una productividad de 101,68 toneladas de caña de azúcar por hectárea, seguido de Honduras y El Salvador, que alcanzaron niveles de 93,47 y 89,94, respectivamente.

En la actualidad se buscan nuevas tecnologías que constituyan nuevas opciones para aumentar el rendimiento de toneladas métricas por hectárea, teniendo en cuenta que no existan repercusiones negativas para el suelo.

Debido a que los suelos que se encuentran en la zona alta de la región cañera son Andisoles con problemas de disponibilidad de fósforo, se requiere mejorar la cantidad de fósforo absorbido por las plantas, utilizando mecanismos biológicos como la simbiosis de las raíces de las plantas superiores con hongos para formar micorrizas, estos hongos se asocian a las raíces, colonizándolas, y a través de su micelio externo producido, aumentan el área de absorción de las raíces.

Se pretende conocer más acerca del potencial nutricional de las micorrizas arbusculares como otra alternativa para incrementar la disponibilidad de fósforo para la planta, de una manera amigable al suelo, esto por la necesidad de buscar vías que mejoren la eficiencia en utilización de los nutrientes que se encuentran en el suelo de una forma no disponible y tener un mayor aprovechamiento de las fertilizaciones que se realizan.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. GENERAL**

- ✓ Evaluar el efecto de la inoculación con hongos micorrizicos bajo dos niveles de fósforo sobre la producción de caña de azúcar en finca San Vicente ubicado en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

### **4.2. ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar el efecto de cinco cepas de hongos micorrizicos en la concentración de sacarosa y toneladas azúcar por hectárea.
- ✓ Determinar si el efecto de las micorrizas en el rendimiento de caña y concentración de sacarosa es afectado por los dos niveles de fósforo.
- ✓ Determinar el efecto de cinco cepas de micorrizas y la interacción micorriza por fósforo en las variables altura y población de tallos.

## **V. HIPÓTESIS**

- ✓ Al menos uno de los tratamientos evaluados presentara diferencia significativa en el rendimiento de caña en toneladas por hectárea, concentración de sacarosa, azúcar por tonelada, altura y población de tallos de caña de azúcar.

## VI. MATERIALES Y METODOS

### 6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

La evaluación se realizó en un suelo andisol pobre en fósforo de la zona alta de la región cañera, en la finca San Vicente en el lote experimental 0601, ingenio Pantaleón S.A. municipio de Siquinala, Departamento de Escuintla. Las características químicas del suelo se muestran en el cuadro No.2.

**Cuadro 2: características químicas del suelo, fuente laboratorio de CENGICAÑA**

TEXTUR A	pH H <sub>2</sub> O	MO %	meq / 100g				Ppm				
			Ca	Mg	K	Na	P	Cu	Zn	Fe	Mn
Franco Arenoso	6.26	4.33	4.56	0.75	0.02	0.05	0.57	0.26	2.36	3.82	16.56

### 6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

- ✓ Cepa de *Glomus* sp.
- ✓ Cepa de *Glomus clarum*.
- ✓ Cepa de *Gigaspora* sp.
- ✓ Micoral.
- ✓ Soil Restore (*Glomus etunicatum*).
- ✓ Fertilizante fosfatado (18-46-0).
- ✓ Semilla de la variedad CP88-1165.

### 6.3. FACTORES A ESTUDIAR

En esta evaluación se estudiaron dos factores: Inóculos (con 6 niveles "inóculo") y fósforo (con 2 niveles) para determinar el efecto en cada tratamiento.

#### 6.4. DISEÑO DE TRATAMIENTO

Los tratamientos fueron arreglados en un bifactorial 6 \* 2 correspondiendo con seis niveles de inóculo y dos niveles de fósforo, generando 12 tratamientos que se describen en el cuadro 3.

**Cuadro 3: Descripción de los tratamientos**

Tratamientos	Inóculo	Dosis Inóculo (gr / m lineal)	P (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha)
1	Micoral	100	0
2	Micoral	100	80
3	<i>Glomus</i> sp.	100	0
4	<i>Glomus</i> sp.	100	80
5	<i>Glomus clarum</i>	100	0
6	<i>Glomus clarum</i>	100	80
7	<i>Gigaspora</i> sp.	100	0
8	<i>Gigaspora</i> sp.	100	80
9	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	150 ml/ha	0
10	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	150 ml/ha	80
11	Sin aplicación de inóculo		0
12	Sin aplicación de inóculo		80

#### 6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con doce tratamientos y cuatro repeticiones.

#### 6.6. MODELO ESTADÍSTICO

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

Y<sub>ij</sub> = variable respuesta

U = media general

A<sub>i</sub> = efecto i-ésimo del inóculo

B<sub>j</sub> = efecto j-ésimo del fósforo

A<sub>i</sub>B<sub>j</sub> = Interacción i-ésimo A y j-ésimo B

R<sub>k</sub> = k-esima bloque

E<sub>ijk</sub> = Error experimental del inóculo i fósforo j bloque k.

## 6.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental que se utilizó fue un surco de caña con diez metros de longitud y 1.75m entre surco, dejando dos surcos borde entre las parcelas, por lo que el tamaño del ensayo fue de 2520 m<sup>2</sup> (12 tratamiento \* 3 surcos \* 1.75 metros entre surco \* 10 metros \* 4 repeticiones)

## 6.8. CROQUIS DE CAMPO

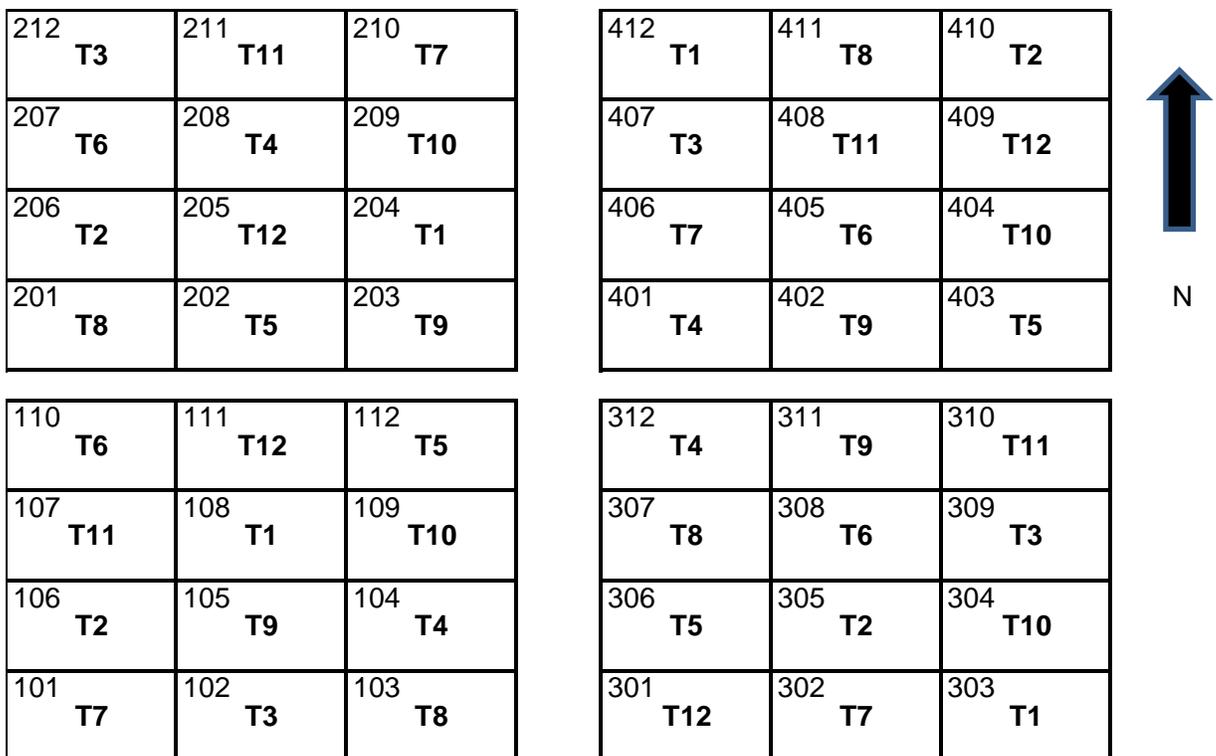


Figura 1: Croquis de campo del ensayo

## 6.9. ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

1. Se cortaron sección de semilla de caña de la variedad CP88-1165 en toletes de 20 a 30 centímetros de largo con 2 a tres yemas por tolete.

2. Se transportó al área experimental previamente surqueada.
3. Para la siembra se dejaron 20 yemas por metro lineal.
4. Cada uno de los inóculos fueron aplicados sobre los esquejes de caña al fondo del surco central, luego se cubrió con tierra.

### **6.9.1. Aplicación de fertilizante**

Como fuente de fósforo se utilizó 18-46-0, se aplicaron 30.4 gramos de 18-46-0 por metro al fondo del surco central lo que equivale a 80 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea. Debido a que se adiciono parte del nitrógeno, se aplicaron 16 gramos de nitrato de amonio (31.5-0-0) por metro al surco central de las parcelas que no llevan fósforo, lo que equivale a 31 kilogramos de nitrógeno por hectárea, esto con el fin de no tener variaciones por el fertilizante nitrogenado, el resto del fertilizante se aplicó a los 45-60 días después de la siembra, además se aplicó 60 Kg de  $K_2O$  por hectárea, 105 gr de  $K_2O$  por metro y uniformemente en todas las parcelas.

### **6.9.2. Manejo agronómico del ensayo**

Las actividades que se realizaron después de la inoculación y siembra del ensayo son las siguientes.

- Primera aplicación de herbicida pre emergente, un día después de la siembra (fecha de realización 14/03/2009).
- Fertilización con nitrógeno y potasio, esta se realizó por surco (fecha de realización 13/07/2009)
- Paso de cultivo 60 días después de la labor anterior (fecha de realización 13/07/2009).
- Segunda aplicación de herbicida post emergente, 70 días después de la labor anterior (fecha de realización 21/09/2009).
- Parchoneo con herbicida 75 días después de la labor anterior (fecha de realización 05/12/2009).
- No se aplicó ningún riego debido a que la finca se maneja con humedad residual.

## **6.10. VARIABLES RESPUESTA**

Las variables que se evaluaron fueron:

### **6.10.1. Rendimiento de caña**

La cosecha se realizó a la edad de 11 meses de la siguiente manera: se cortó y se pesó el surco central de las parcelas experimentales, luego este peso se transformó para expresarlo en toneladas de caña por hectárea (TCH), tomando en cuenta que la unidad experimental era de 17.5 m<sup>2</sup>.

### **6.10.2. Concentración de sacarosa (pre cosechas de caña)**

Se sacaron 5 tallos molderos al azar por parcela del surco central cortándolos en trozos de 60 a 80 cm, para hacer paquetes que luego se llevaron al laboratorio de caña del ingenio Pantaleón.

### **6.10.3. Rendimiento de azúcar**

El rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) se determinó a partir de la concentración de sacarosa multiplicada por las toneladas de caña por hectárea.

### **6.10.4. Altura de tallos**

La altura de tallos se realizó a los 11 meses de edad, Para el muestreo de altura se seleccionaron 10 tallos al azar del surco central, luego se midió cada tallo desde su base hasta el último cuello visible de la vaina de la hoja, para esto se utilizó una vara con cinta métrica.

### **6.10.5. Población (número de tallos por metro lineal)**

Se realizó a los 11 meses de edad, para el muestreo de población se contaron todos los tallos a lo largo de los 10 metros del surco central, luego se dividió entre 10 para sacar los tallos por metro lineal.

## **6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACION**

### **6.11.1. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio del método de análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño experimental bifactorial para las variables toneladas de caña por hectárea, concentración de sacarosa, toneladas de azúcar por hectárea, altura de tallos y población por metro lineal. La prueba de comparación de medias se hizo utilizando Tukey (P: 0.10).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con la evaluación realizada en el campo para conocer el efecto de la inoculación con hongos micorrizicos y dos niveles de fósforo en la producción de caña de azúcar, se presentan las medias de las variables obtenidas en todos los tratamientos, el análisis de varianza y las pruebas múltiples de medias para cada variable respuesta evaluada.

### 7.1. MEDIAS DE TONELADAS DE CAÑA POR HECTAREA, CONCENTRACION DE SACAROSA Y TONELADAS DE AZUCAR POR HECTAREA

El rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea (TCH), concentración de sacarosa en porcentaje y toneladas de azúcar por hectárea (TAH) se presenta en el Cuadro 4.

Además en el cuadro 4 se puede observar un comportamiento no esperado para el caso de Micoral y *Glomus etunicatum*, ya que los tratamientos, donde no se aplicó fertilizante fosforado presentaron un mayor rendimiento de toneladas de caña de azúcar por hectárea, caso contrario los testigos presentan una diferencia de 10.60 toneladas de caña de azúcar más en el tratamiento con 80 kg de fósforo comparado contra el de 0 kg de fósforo, esto es lo comúnmente esperado para estos suelos con menos de 1 ppm de P, según el análisis de suelos (Perez, 2015).

Este puede deberse a algún error experimental ocasionado por el mayor número de tallos en el tratamiento 1, siendo Micoral el que presenta la mayor diferencia con respecto al tonelaje (Perez, 2015).

Además podemos observar el testigo sin inóculo y sin fósforo con un rendimiento de 78.8 toneladas de caña por hectárea, lo cual es esperado tomando en cuenta el análisis de suelo realizado en el área del experimento con 0.57 ppm de fósforo lo cual es bajo ya que podríamos llegar a tener 10 ppm (Perez, 2015).

Nota: se observan los datos de TCH los cuales dependen tanto del inóculo como de la aplicación de fósforo, la concentración de sacarosa se refiere al porcentaje de azúcar

en cada tonelada de caña la cual podría o no tener efecto de los inóculos y la aplicación de fósforo, las TAH es la cantidad de azúcar en las TCH.

**Cuadro 4: Valores promedio de rendimiento de caña (TCH), concentración de sacarosa y toneladas de azúcar por hectárea (TAH)**

Tratamiento	Inóculo	Fósforo aplicado (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha)	TCH	Concentración sacarosa %	TAH
T1	Micoral	0	102.6	11.5	11.7
T2	Micoral	80	88.4	11.1	9.8
T3	<i>Glomus</i> sp.	0	102.7	11.7	12.0
T4	<i>Glomus</i> sp.	80	111.6	11.9	13.3
T5	<i>Glomus clarum</i>	0	95.5	11.4	10.9
T6	<i>Glomus clarum</i>	80	96.1	11.7	11.2
T7	<i>Gigaspora</i> sp.	0	104.0	12.1	12.5
T8	<i>Gigaspora</i> sp.	80	106.7	11.5	12.3
T9	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	0	96.8	11.6	11.3
T10	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	80	89.4	11.5	10.2
T11	Sin aplicación de inóculo	0	78.8	11.5	8.9
T12	Sin aplicación de inóculo	80	89.4	11.8	10.5

De acuerdo al análisis de varianza (cuadro 5) se observa que los inóculos tuvieron efectos estadísticamente significativos en la producción de caña (TCH) a una probabilidad de P = 0.07 (menor que 0.10) en tanto que los efectos de fósforo y de la interacción inóculo \* fósforo fueron no significativos en esta variable.

**Cuadro 5: Análisis de varianza para la variable toneladas de caña por hectárea (TCH)**

F.V	G.L.	F	Pr > F	Significancia estadística
INÓCULO	5	2.24	0.0749	*
FÓSFORO	1	0.01	0.9271	NS
INÓCULO * FÓSFORO	5	0.71	0.6187	NS
REPETICION	3			
Error	31			
Total	45			
<b>CV % 15.10</b>				

\*= Diferencia significativa

NS = No diferencia significativa

En el cuadro 6 se presentan las medias de toneladas de caña por hectárea (TCH) para los diferentes inóculos de micorriza de acuerdo a la prueba de medias Tukey (P: 0.10). En él se observa que *Glomus* sp., en promedio superó estadísticamente al testigo sin inóculo, aunque no supero a los otros inóculos evaluados.

En el cuadro 6 se observa que en promedio la inoculación de *Glomus* sp., fue de 107.2 TCH superando en 22.7 TCH más que el testigo sin inoculación que tuvo un rendimiento de caña de 84.5 TCH. La inoculación de *Gigaspora* sp., también muy efectiva ya que produjo un rendimiento de caña de 105.3 TCH muy similar a *Glomus* sp., aunque en términos estadísticos no fue superior al testigo sin inocular.

Las inoculaciones de Micoral, *Glomus clarum* y *Glomus etunicatum* fueron similares entre si y estuvieron muy por debajo de *Glomus* sp., y *Gigaspora* sp., aunque en promedio estuvieron arriba del testigo.

Estos resultados indican las diferentes efectividades de las cepas y que hay cepas más eficientes como *Glomus* sp., y *Gigaspora* sp., Allen (1982), indica que las micorrizas

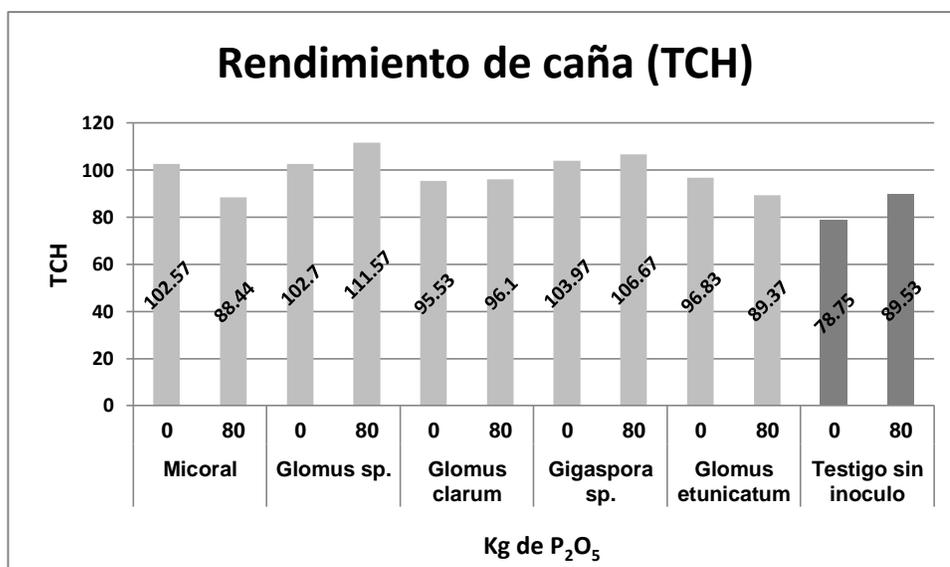
pueden incrementar los niveles de fitohormonas en los tejidos de las plantas y sus transportes de unas zonas a otras, es de señalar que el propio hongo exuda al medio sustancias con actividad auxínica, giberalina y citoquinina importante para el crecimiento de las plantas, además de aumentar el área de exploración de las raíces

**Cuadro 6: Prueba de medias para la variable rendimiento de caña por hectárea (TCH)**

INÓCULO	Medias de	
	TCH	LETRA
<i>Glomus</i> sp.	107.2	A
<i>Gigaspora</i> sp.	105.3	AB
Micoral	96.5	AB
<i>Glomus clarum</i>	95.8	AB
<i>Glomus etunicatum</i>	93.1	AB
Testigo sin inóculo	84.6	B

En cuanto a la interacción inóculo \* fósforo el análisis de varianza indicó que este efecto no fue significativo. Sin embargo hay una tendencia que muestra que el efecto de fósforo fue bajo cuando hubo inoculación con cualquiera de las cepas evaluadas en comparación al efecto que tuvo este nutriente cuando no se inóculo (testigo sin inóculo) tal como se observa en la figura 2.

Aunque no se determinó la cantidad de fósforo, fijado en este suelo, la aplicación de 80 Kg de  $P_2O_5$  sin inoculación incremento 10.7 TCH con respecto a cuándo no se aplicó, efecto que concuerda con lo esperado en estos suelos con bajas concentraciones de fósforo disponible ( $P < 10\text{ppm}$ ). Estos resultados indican que la inoculación de micorrizas podría mejorar la exploración del suelo por las raíces aumentando la absorción de fósforo (Roveda, 2008).



**Figura 2: Medias de rendimiento de caña (TCH) según inóculo y dosis de P aplicado**

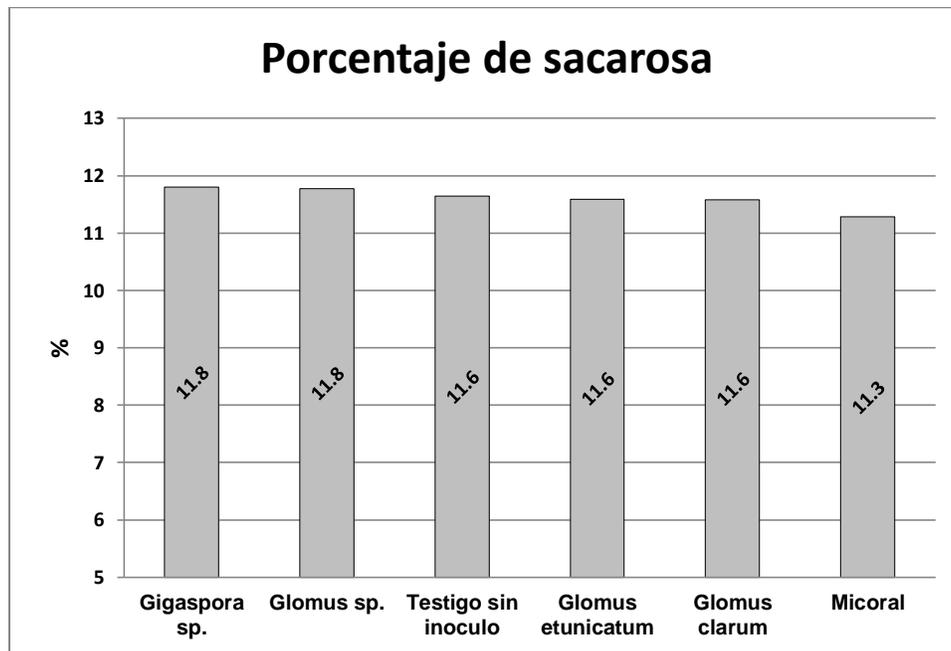
De acuerdo al análisis de varianza para la variable concentración de sacarosa no se encontraron diferencias significativas para los inóculos, el fósforo, y la interacción inóculo \* fósforo lo que indica que ninguno de los tratamiento tuvo efecto sobre la concentración de sacarosa, como se observa en el Cuadro 7.

**Cuadro 7: Análisis de varianza para la variable concentración de sacarosa**

F.V	G.L.	F	Pr > F	Significancia estadística
INÓCULO	5	0.74	0.5998	NS
FÓSFORO	1	0.04	0.8398	NS
INÓCULO * FÓSFORO	5	0.70	0.6243	NS
REPETICION	3			
Error	33			
Total	47			
<b>CV % 5.25</b>				

NS = No diferencia significativa

En la figura 3 se presentan las medias de los efectos de los diferentes inóculos independientemente de la dosis de P aplicada. En promedio se observa que la concentración de azúcar fue ligeramente más alta con los tratamiento *Gigaspora* sp., y *Glomus* sp., aunque como se indicó en términos estadísticos estas diferencias fueron no significativas.



**Figura 3: Porcentaje de sacarosa**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable rendimiento de azúcar (TAH) se encontró que el inóculo tuvo efecto estadísticamente significativo sobre esta variable, el fósforo y la interacción inóculo \* fósforo por el contrario no tuvieron diferencia estadísticamente significativa sobre el TAH, como se observa en el Cuadro 8.

**Cuadro 8: Análisis de varianza para la variable toneladas de azúcar por hectárea**

F.V	G.L.	F	Pr > F	Significancia estadística
INÓCULO	5	2.84	0.0316	*
FÓSFORO	1	0.03	0.8571	NS
INÓCULO * FÓSFORO	5	1.06	0.4025	NS
REPETICION	3			
Error	31			
Total	45			

**CV % 15.72**

\* = Diferencia significativa

NS = No diferencia significativa

En el cuadro 9 se presentan las medias de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) para los diferentes inóculos de micorriza y la prueba de comparación de medias Tukey (P: 0.10). En él se observa que *Glomus* sp., y *Gigaspora* sp., son los mejores inóculos con medias muy similares entre si y superando en términos estadísticos al testigo sin inóculo tal como se encontró para la variable rendimiento de caña y se confirma que los mejores inóculos fueron *Glomus* sp., y *Gigaspora* sp., Popoff (2007), indica que de acuerdo a todos los beneficios mencionados anteriormente se puede agregar que estas dos cepas pueden estar induciendo relaciones hormonales que producen que las raíces alimentadoras permanezcan fisiológicamente activas por periodos mayores que las raíces no micorrizadas.

**Cuadro 9: Prueba de medias para la variable toneladas de azúcar por hectárea (TAH)**

INÓCULO	Medias de	
	TAH	LETRA
<i>Glomus</i> sp	12.7	A
<i>Gigaspora</i> sp	12.4	A
<i>Glomus clarum</i>	11.1	AB
Micoral	10.8	AB
<i>Glomus etunicatum</i>	10.8	AB
Testigo sin inóculo	9.8	B

## 7.2. ALTURA DE TALLOS Y POBLACION DE TALLOS

La altura de tallos y población de tallos por metro lineal (TML) se presentan en el Cuadro 10.

**Cuadro 10: Valores de altura y población de tallos de caña de azúcar**

Tratamiento	Inóculo	(kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha)	Altura (m)	Población Tallos / ML
T1	Micoral	0	3.1	15
T2	Micoral	80	3.0	13
T3	<i>Glomus</i> sp	0	3.2	13
T4	<i>Glomus</i> sp	80	3.2	14
T5	<i>Glomus clarum</i>	0	3.1	12
T6	<i>Glomus clarum</i>	80	3.3	11
T7	<i>Gigaspora</i> sp	0	3.0	12
T8	<i>Gigaspora</i> sp	80	3.2	13
T9	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	0	3.2	12
T10	<i>Glomus etunicatum</i> (Soil restore)	80	3.1	12
T11	Sin aplicación de inóculo	0	3.0	11
T12	Sin aplicación de inóculo	80	2.9	12

De acuerdo al análisis de varianza si se encontraron diferencias significativas para los inóculos. Para el fósforo y la interacción inóculo \* fósforo no se encontraron diferencias estadística, como se observa en el Cuadro 11.

**Cuadro 11: Análisis de varianza para la variable altura de tallos de caña de azúcar**

<b>F.V</b>	<b>G.L.</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Significancia estadística</b>
INÓCULO	5	2.79	0.033	*
FÓSFORO	1	0.17	0.6827	NS
INÓCULO *	5	1.07	0.3973	NS
FÓSFORO				
REPETICION	3			
Error	33			
Total	47			
<b>CV % 5.32</b>				

\* = Diferencia significativa

NS = No diferencia significativa

El análisis de varianza para la población de tallos indico diferencias significativas para los inóculos. Para el fósforo y la interacción inóculo \* fósforo no se encontraron diferencias estadística, como se observa en el Cuadro 12.

**Cuadro 12: Análisis de varianza para la variable población de tallos**

<b>F.V</b>	<b>G.L.</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Significancia estadística</b>
INÓCULO	5	3.01	0.0239	*
FÓSFORO	1	0.03	0.8538	NS
INÓCULO * FÓSFORO	5	1.32	0.2809	NS
REPETICION	3			
Error	33			
Total	47			
<b>CV % 12.65</b>				

\* = Diferencia significativa

NS = No diferencia significativa

En el cuadro 13 se presentan las medias de altura y población de tallos para los diferentes inóculos de micorriza independientemente del nivel de fósforo aplicado. En este cuadro se observa que *Glomus* sp., fue el inóculo que tuvo las alturas mayores con 3.2 metros y significativamente al testigo sin inóculo el cual explica el mayor número de toneladas por hectárea promedio para el inóculo *Glomus* sp., Micoral presenta el mayor número de tallos por metro lineal para lo cual es estadísticamente similar a *Glomus* sp., *Gigaspora* sp., y *Glomus etunicatum* respectivamente y están por arriba de *Glomus clarum* y el testigo sin inóculo.

**Cuadro 13: Prueba de medias para las variables altura de tallos y población de tallos por metro lineal**

INÓCULO	ALTURA DE TALLOS (M)		TALLOS / ML	
	MEDIAS	LETRA	MEDIAS	LETRA
<i>Glomus</i> sp.	3.2	A	13.3	AB
<i>Glomus clarum</i>	3.2	A	11.4	B
<i>Glomus etunicatum</i>	3.1	AB	11.9	AB
Micoral	3.1	AB	13.6	A
<i>Gigaspora</i> sp.	3.1	AB	12.3	AB
Testigo sin inóculo	3.0	B	11.4	B

### 7.3. ANALISIS BENEFICIO/COSTO

Para la realización de este análisis se tomaron como base las toneladas de azúcar por hectárea del cuadro 4, el precio de la caña en campo es de \$23 por tonelada (según el precio al 20 de agosto de 2014)

**Cuadro 14: Análisis económico de los tratamiento evaluados**

Trat.	TCH	Costo trat.	BB	BB-CV	Costo prod. Ha	Beneficio	Beneficio derivado de testigos
T1	102.6	\$417.83	\$2,359.80	\$1,941.97	\$1,021.00	\$920.97	\$129.57
T2	88.4	\$499.47	\$2,033.20	\$1,533.73	\$1,021.00	\$512.73	-\$440.83
T3	102.7	\$417.83	\$2,362.10	\$1,944.27	\$1,021.00	\$923.27	\$131.87
T4	111.6	\$499.47	\$2,566.80	\$2,067.33	\$1,021.00	\$1,046.33	\$92.77
T5	95.5	\$417.83	\$2,196.50	\$1,778.67	\$1,021.00	\$757.67	-\$33.73
T6	96.1	\$499.47	\$2,210.30	\$1,710.83	\$1,021.00	\$689.83	-\$263.73
T7	104.0	\$417.83	\$2,392.00	\$1,974.17	\$1,021.00	\$953.17	\$161.77
T8	106.7	\$499.47	\$2,454.10	\$1,954.63	\$1,021.00	\$933.63	-\$19.93
T9	96.8	\$417.83	\$2,226.40	\$1,808.57	\$1,021.00	\$787.57	-\$3.83
T10	89.4	\$499.47	\$2,056.20	\$1,556.73	\$1,021.00	\$535.73	-\$417.83
T11	78.8	\$0.00	\$1,812.40	\$1,812.40	\$1,021.00	\$791.40	
T12	89.4	\$81.64	\$2,056.20	\$1,974.56	\$1,021.00	\$953.56	

En el cuadro 14 se observa el análisis económico realizado para los 12 tratamientos evaluados. Las abreviaciones contenidas en la tabla corresponden a los siguientes

significados: BB, es el beneficio bruto obtenido por cada tratamiento utilizado, en donde se multiplica el valor del precio de la tonelada de caña por las toneladas por hectárea obtenidas en cada tratamiento. BB-CV, es la resta del beneficio bruto obtenido menos el costo variable o el costo del tratamiento.

Se puede observar para algunos tratamientos que si existió un aumento en las toneladas de caña producidas, comparando los tratamientos testigos contra los demás. El que mayor beneficio obtuvo con relación a la cantidad de toneladas de caña por hectárea producidas y el costo del tratamiento fue el tratamiento 4 o *Glomus* sp con 80 kg de  $P_2O_5$ .

En la última parte del cuadro 14 se muestra el beneficio que cada tratamiento genera derivado del testigo absoluto con y sin fósforo respectivamente o tratamiento 11 y 12, mostrando que se obtiene un beneficio de \$161.77 por cada hectárea aplicada con el tratamiento 7 comparado contra el tratamiento 11 los cuales no fueron adicionados con fósforo.

## VIII. CONCLUSIONES

Respecto al rendimiento de caña, el análisis estadístico indicó que el efecto de los inóculos fue significativo por efecto del inóculo pero no por efecto del fósforo o de la interacción.

Se determinó que independientemente de los niveles de P el mejor inóculo fue *Glomus* sp., con un rendimiento de 107.2 TCH contra 84.4 TCH del testigo no inoculado. *Gigaspora* sp., tuvo un rendimiento muy similar a *Glomus* sp., con un rendimiento de 105.3 TCH.

En cuanto a la concentración de sacarosa los resultados indicaron que ninguna de las fuentes de variación tuvo efectos significativos sobre esta variable.

Para la variable rendimiento de azúcar (TAH) se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los inóculos. Pero no para fósforo ni para la interacción inóculo \* fósforo. Se determinó que *Glomus* sp., y *Gigaspora* sp., fueron superiores al testigo sin inoculación, por lo que son las mejores cepas.

Para las variables altura y población de tallos de la misma manera solo se encontraron diferencias estadísticas significativas a nivel de inóculo, destacando siempre *Glomus* sp., como el tratamiento que tuvo mayor altura de tallo y una población similar a Micoral que tuvo la mayor población de tallos.

En general el uso de micorrizas (*Glomus* sp., y *Gigaspora* sp.) para la producción de cultivos como la caña de azúcar, es una opción razonable ya que se puede incrementar los rendimientos de caña y azúcar especialmente en suelos con bajo contenido de fósforo como las de la zona alta de la zona cañera de Guatemala.

El análisis económico de los tratamientos evaluados, indica que el tratamiento con mayor beneficio económico es el que incluye *Gigaspora* sp más 0 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,

reflejando un beneficio económico de \$161.77 por hectárea aplicada esto comparada contra el testigo con 0 kg de  $P_2O_5$ .

## **IX. RECOMENDACIONES**

Realizar ensayos incluyendo análisis foliares, para determinar la cantidad de fósforo que está siendo extraído y fijado en el suelo.

Realizar ensayos para determinar la colonización radicular de las diferentes inóculos en las raíces de caña de azúcar y su relación con la concentración de fósforo en la planta.

Realizar ensayo exploratorios en la zona media y baja de la zona cañera de Guatemala con los inóculos evaluados en este ensayo.

Realizar ensayos tomando en cuenta los datos de varios años, ya que el costo de las aplicaciones de micorriza sería solo el año 1, y no se diluye en todo el periodo de producción de un cañal normal.

## X. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Azúcar de Guatemala. (2014). Uso de la tierra en Guatemala cuanto ocupa la caña de azúcar. 1ra edición, bifoliar.
- Azúcar de Guatemala. (2014). Nuestro compromiso responsabilidad social empresarial, 1ra edición, trifoliar.
- López, D.; D. Flores. (1979). La desorción de los fosfatos en suelos. Implicaciones fisiológicas en el proceso. Influencia de los hongos micorrícicos arbusculares sobre la producción de materia seca y absorción de fósforo por plantas de maíz fertilizadas con roca fosfórica. Editado por Ramírez R. XV Congreso Latinoamericano y V Congreso Cubano de la Ciencia del suelo.
- Bonilla, V. (1994). Micorriza en caña de azúcar. Procaña 26. Pag 13-14.
- Alfaro, M. A. (2008). Informe final de consultoría. Informe preliminar de consultoría, CENGICAÑA.
- Alfaro, M. y Perez O. (2013). Diagnóstico de la presencia de hongos micorrizicos arbusculares en suelos cultivados con caña de azúcar y evaluación preliminar de la inoculación a nivel de campo. Programa de Agronomía del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA. P. 200-207
- Vacacela, V. M. (2009). Tipos de micorrizas, 12 paginas. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/tipos-micorrizas/tipos-micorrizas.pdf>
- Guerra, B. E. (2008). Tecnología en marcha. Vol 21-1. P. 191-201. Disponible en:  
<http://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/micorriza-arbuscular-recurso-microbiologico-t4612/p0.htm>

- Franco, J. D. (2008). Efectos benéficos de las micorrizas sobre las plantas. Universidad de Sevilla. 27 paginas (en línea). Disponible en:  
[http://www.bioscripts.net/col/Apuntes/Nutricion Vegetal/Trabajo de nutricion vegetal.pdf](http://www.bioscripts.net/col/Apuntes/Nutricion_Vegetal/Trabajo_de_nutricion_vegetal.pdf)
- Estevez, A. Cock, J. H. Pilar, A. Irvine, J. H. (1995). Biología del cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. CENICANA. p. 31-62.
- ASAZGUA. (2005). Informe anual agroindustria guatemalteca. Guatemala 62 pp.
- Humbert, R. P. (1974). El cultivo de la caña de azúcar. Continental, México. 719 p  
Ingenio Pantaleón (Departamento de Investigación Agrícola, Ingenio Pantaleón S.A. 2009).
- CINCAE. (2004). Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. FIADE. Ecuador. 3ra publicación. Pag. 17
- Victoria, J., Guzmán, M., Ange, J. (1995). Enfermedades de la Caña de azúcar, En: Cassalet D. Torres J. e Isaacs C, El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia, p. 265-293.
- Che, M. (1997). Tecnología del azúcar – Guía de la fábrica de azúcar de caña de azúcar. V.1, p. 1-2.
- Subiros, F. (1995). El cultivo de la caña de azúcar. Ed. Universidad Estatal a Distancia, San José Costa Rica. 448 pág.
- Quintero, R. (1995). Fertilización y nutrición el cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. Pag. 153-177

Better, C. (2009). Functions of Phosphorus in Plants, potafos, (en línea), Disponible en:  
[http://www.potafos.org/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf](http://www.potafos.org/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf)

Smart. (2014). Fertilización inteligente (en línea). Interuse. Disponible en:  
<http://www.smart-fertilizer.com/articulos/fósforo>

Allen, M. (1982). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis* (H.B.K). Lax ex steud. New Phytol, 91: 191-196.

Barea, J. (1986). Importance of hormones and root exudates in mycorrhizal phenomea. INRA, París. p 177-187.

Roveda, G., Cabra L. (2008). Uso de microorganismos con potencial como fertilizantes en el cultivo de la mora, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Tibaitata, Colombia.

Rodriguez J. (2001). Efecto del biofertilizante Micoral (micorriza arbuscular) en el desarrollo del café (*Coffea arabica* L) en vivero, Zamorano, Honduras.

Wikipedia (2014), Glomus (hongos), consultado el 10 de marzo de 2015, disponible en:  
<http://translate.google.com.gt/translate?hl=es419&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Glomus&prev=search>

Polania F. (2001), Tecni-fenalce, boletín informativo de la subgerencia técnica, tomado de informaciones agronómicas INFOPOS No.36, 1999

Popoff O. (2007), Micorrizas, Instituto de botánica del noroeste, Argentina, consultado 10 de marzo de 2015, Disponible en:  
<http://www.biologia.edu.ar/fungi/micorrizas.htm>

Bagyaraj J., Sturmer S. (2008), Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), Manual de biología de suelos tropicales, Secretaria de medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología (INE), Mexico DF.

Irrazabal, G., Schalamuk, S., Velázquez, M., Cabello, M. (2005), Especies de hongos formadores de micorrizas arbusculares, Boletín de la sociedad Argentina de Botánica, Instituto de Botánica Spegazzini, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Sarquiz, A., Quintana, M., Taboada, M. (2008), AISLAMIENTO DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO ENDÓFITAS DE ESPORAS DE ENDOMICORRIZAS EN SUELO RIZOSFÉRICO DE CAÑA DE AZÚCAR, Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT.

Perez, O. (2015). Discrepancia en los rendimientos de caña de azúcar en evaluación de micorrizas (entrevista). Santa Lucia Cotzumalguapa, CENGICAÑA.

## XI. ANEXOS

Cuadro 15: Matriz de datos de campo.

REP.	TRATAMIENTO	INÓCULO	Fósforo	ALT	TML	TCH	AZ	TAH
1	1	Micoral	0	3.13	16	115.87	11.27	13.05
1	2	Micoral	80	2.99	15	89.47	10.35	9.26
1	3	<i>Glomus</i> sp.	0	3.01	12	127.47	12.98	16.54
1	4	<i>Glomus</i> sp.	80	3.21	17	108.13	11.65	12.59
1	5	<i>G. clarum</i>	0	3.26	14	86.53	11.56	10.00
1	6	<i>G. clarum</i>	80	3.21	11	105.60	10.74	11.34
1	7	<i>Gigaspora</i>	0	3.07	11	140.53	11.69	16.42
1	8	<i>Gigaspora</i>	80	3.05	13	98.67	10.53	10.39
		G.						
1	9	<i>etunicatum</i>	0	3.23	11	103.47	12.27	12.69
		G.						
1	10	<i>etunicatum</i>	80	3.53	13	120.00	11.30	13.56
1	11	Testigo	0	3.10	10		12.39	
1	12	Testigo	80	2.81	13	80.93	12.39	10.02
2	1	Micoral	0	3.19	12	83.20	11.68	9.71
2	2	Micoral	80	3.15	13	93.73	10.53	9.86
2	3	<i>Glomus</i> sp.	0	3.31	14	105.33	10.33	10.88
2	4	<i>Glomus</i> sp.	80	3.36	12	107.33	11.92	12.82
2	5	<i>G. clarum</i>	0	3.09	11	105.73	10.50	11.10
2	6	<i>G. clarum</i>	80	3.20	11	102.00	11.89	12.12
2	7	<i>Gigaspora</i>	0	2.78	13	95.47	12.45	11.88
2	8	<i>Gigaspora</i>	80	3.22	13	111.60	11.71	13.06
		G.						
2	9	<i>etunicatum</i>	0	3.25	13	87.33	11.06	9.65
		G.						
2	10	<i>etunicatum</i>	80	3.26	11	104.53	11.12	11.62
2	11	Testigo	0	2.93	12	75.60	11.30	8.54

2	12 Testigo	80	3.07	12	92.27	11.33	10.45
3	1 Micoral	0	3.08	15	118.53	11.15	13.21
3	2 Micoral	80	2.93	12	82.13	11.71	9.61
3	3 <i>Glomus</i> sp.	0	3.36	13	92.93	11.74	10.91
3	4 <i>Glomus</i> sp.	80	3.24	12	116.00	12.10	14.03
3	5 <i>G. clarum</i>	0	2.91	12	98.27	11.86	11.65
3	6 <i>G. clarum</i>	80	3.14	10	90.27	12.07	10.89
3	7 <i>Gigaspora</i>	0	3.03	11	92.13	12.01	11.06
3	8 <i>Gigaspora</i>	80	2.90	14	98.53	12.12	11.94
	G.						
3	9 <i>etunicatum</i>	0	3.06	12	96.80	11.42	11.05
	G.						
3	10 <i>etunicatum</i>	80	2.80	10	63.33	12.48	7.90
3	11 Testigo	0	3.00	10	64.53	10.83	6.98
3	12 Testigo	80	2.95	7	78.53	11.83	9.24
4	1 Micoral	0	3.01	15	92.67	11.77	10.90
4	2 Micoral	80	3.11	11		11.83	
4	3 <i>Glomus</i> sp.	0	3.16	12	85.07	11.56	9.83
4	4 <i>Glomus</i> sp.	80	3.10	14	114.80	11.89	13.64
4	5 <i>G. clarum</i>	0	3.27	11	91.60	11.80	10.80
4	6 <i>G. clarum</i>	80	3.47	11	86.53	12.21	10.56
4	7 <i>Gigaspora</i>	0	2.95	11	87.73	12.18	10.68
4	8 <i>Gigaspora</i>	80	3.45	12	117.87	11.74	13.83
	G.						
4	9 <i>etunicatum</i>	0	3.11	12	99.73	11.77	11.73
	G.						
4	10 <i>etunicatum</i>	80	2.85	13	69.60	11.27	7.84
4	11 Testigo	0	3.04	13	96.13	11.56	11.11
4	12 Testigo	80	2.76	14	106.40	11.56	12.29

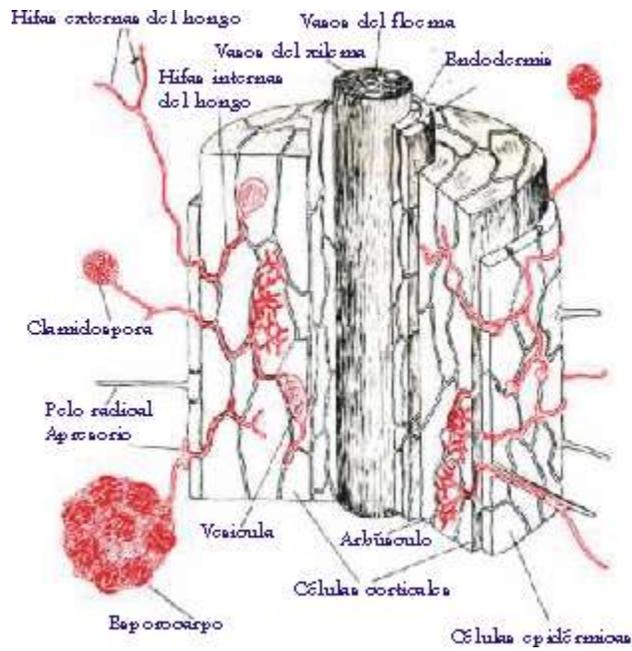


Figura 4: Diagrama de endomicorrizas.

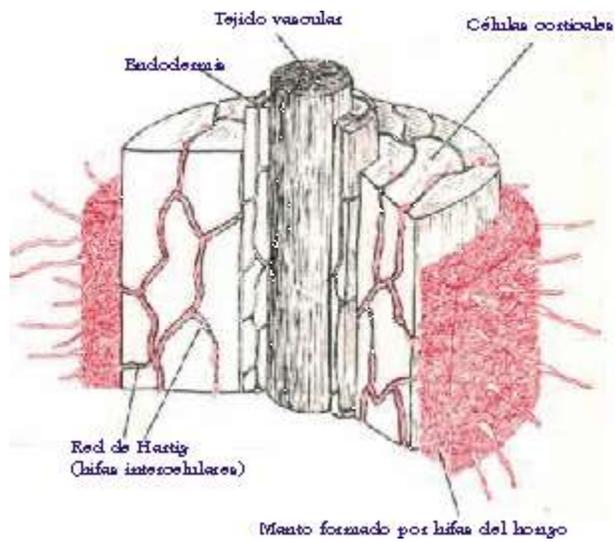


Figura 5: Diagrama de ectomicorrizas

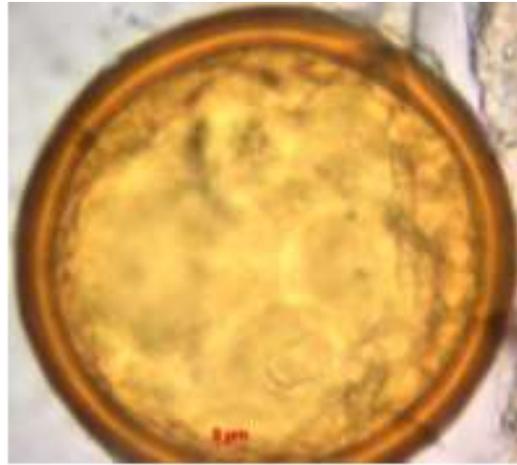
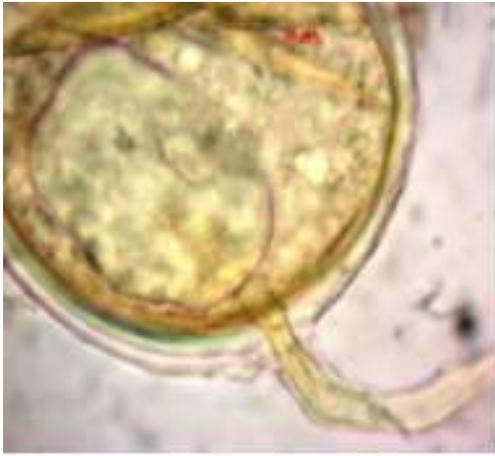


Figura 6: *Glomus etunicatum*



Figura 7: *Glomus clarum*



Figura 8: *Gygispora*