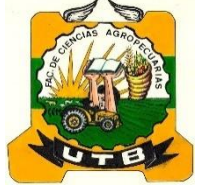




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo experimental, presentado al H. Consejo Directivo

De la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café
(*Coffea canephora*)”.

AUTOR:

Adrián Steffano Gavilanes Velasco

ASESOR:

Ing. Agr. Marlon López Izurieta, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo experimental, presentado al H. Consejo Directivo

De la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de
café (*Coffea canephora*)”.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN:

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MBA
PRESIDENTE

Ing. Agr. Álvaro Pazmiño Pérez, MSC
PRIMER VOCAL

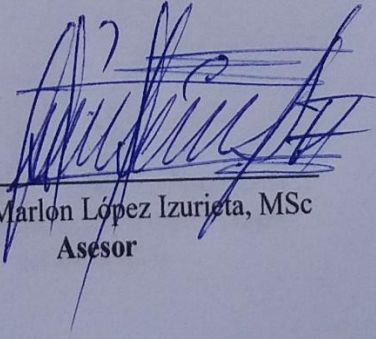
Ing. Agr. Yary Ruiz Parrales, MBA
SEGUNDO VOCAL

CERTIFICACIÓN

El suscrito certifica:

Que el trabajo titulado “Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café (*Coffea canephora*)”, realizado por el egresado Adrián Steffano Gavilanes Velasco; ha sido dirigido y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad Técnica de Babahoyo.

Babahoyo, 28 de Febrero del 2019

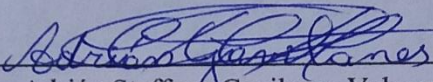


Ing. Agr. Marlon López Izurieta, MSc
Asesor

AUTORIZACIÓN

Yo, Adrián Steffano Gavilanes Velasco autorizo a la Universidad Técnica de Babahoyo, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución; el trabajo de grado titulado “Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café (*Coffea canephora*)”, cuyo contenido, ideas y criterios son de exclusiva responsabilidad y autoría.

Babahoyo, 29 de marzo del 2019


Adrián Steffano Gavilanes Velasco
120611032-0

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

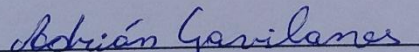
Adrián Steffano Gavilanes Velasco

Declaro que:

El trabajo de investigación “Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café (*Coffea canephora*)”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de esta investigación.

Babahoyo, 29 de marzo del 2019


Adrián Steffano Gavilanes Velasco
120611032-0

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación está dedicado principalmente a Dios quien ha sido mi guía en a lo largo de mi vida, a mis padres porque gracias a ellos con su esfuerzo y dedicación he logrado terminar mi carrera profesional.

A mi querida hermana Miller Gavilanes Velasco quien con sus deseos me ayudó a tomar decisiones correctas, proporcionándome un apoyo ético y moral compartiendo mis alegrías y tristezas.

A mis tíos, primos y otros familiares que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarnos por el camino del bien durante toda nuestra carrera universitaria.

A la Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias y el cuerpo docente que colaboraron en nuestra formación profesional.

Al personal administrativo de esta institución por su ayuda y amistad brindada.

A Todas las personas que me apoyaron en la realización de esta tesis como el Ing. Agr. Marlon López Izurieta, MSc, Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, MSc.

Mis amigos que siempre los tendré presentes y ahora los considero como mi familia.

A mi facultad de la cual me llevo gloriosos recuerdos y enseñanzas

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivos de la investigación.....	3
1.1.1.	Objetivo general.....	3
1.1.2.	Objetivos específicos	3
II.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.	Tipos de micorrizas.	5
2.2.	Morfología del hongo dentro de la raíz.....	7
2.3.	Principales géneros de hongos.	8
2.4.	Mecanismo de colonización.....	9
2.5.	Desarrollo del arbúsculo	10
2.6.	Acerca del inoculante.....	11
2.7.	Inóculo e inoculación.....	12
2.8.	Producción del inóculo.....	12
2.9.	Beneficios de la simbiosis	13
2.10.	Principales factores que afectan a las micorrizas arbusculares.....	20
2.11.	Micorrizas arbusculares en cafeto.....	20
2.12.	Productos biofertilizantes.....	23
2.12.1.	Mycopalm.....	23
2.12.2.	Micor	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1.	Ubicación y descripción del lote experimental.....	27
3.2.	Material y equipos.....	27
3.3.	Material genético.....	27
3.4.	Método	28
3.5.	Factores estudiados	28
3.6.	Tratamientos.....	28
3.7.	Diseño Experimental	29
3.7.1.	Características del área experimental	29
3.8.	Análisis de varianza.....	29
3.9.	Manejo del ensayo.....	29
3.9.1	Preparación de sustrato.....	30
3.9.2	Análisis de suelo.....	30
3.9.3	Siembra	30
3.9.3.1	Semillero	30

3.9.3.2	Trasplante	31
3.9.4	Aplicación de micorrizas.....	31
3.9.5	Control de malezas	31
3.9.6	Control Fitosanitario	31
3.9.7	Riego.....	31
3.9.8	Fertilización	32
3.9.9	Podas y deshojes	32
3.10.	Datos evaluados	32
3.10.1	Altura de Planta (cm)	32
3.10.2	Emisión foliar.....	32
3.10.3	Diámetro de tallo (cm)	32
3.10.4	Longitud de hoja (cm)	33
3.10.5	Área foliar	33
3.10.6	Longitud radicular.....	33
3.10.7	Biomasa Radical.....	34
3.10.8	Análisis económico	34
3.10.9	Porcentaje de colonización de micorrizas.....	34
3.10.10	Conteo de esporas de la micorriza	34
3.10.11	Análisis de población micorrízica	35
IV.	RESULTADOS.....	36
4.1.	Altura de planta	36
4.2.	Emisión foliar	36
4.3.	Diámetro del tallo	37
4.4.	Longitud de la hoja	38
4.5.	Área foliar.....	39
4.6.	Longitud radicular	40
4.7.	Biomasa radical.....	41
4.8.	Análisis económico.....	41
4.9.	Porcentaje de colonización de micorrizas	42
4.10.	Conteo de esporas de la micorriza.....	43
4.11.	Análisis de población micorrízica.....	43
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	RECOMENDACIONES.....	48
	RESUMEN.....	49
	SUMMARY	50
	LITERATURA CITADA	51

APÉNDICE	57
Longitud de la hoja	63
Área foliar.....	65
Longitud radicular	67
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del trabajo experimental.....	71
Figura 2. Preparación de sustrato	71
Figura 3. Siembra de semillero.....	72
Figura 4. Trasplante	72
Figura 5. Aplicación de los diferentes complejos micorrízicos	72
Figura 6. Control de malezas	72
Figura 7. Control Fitosanitario.	72
Figura 8. Riego.....	72
Figura 9. Fertilización	72
Figura 10. Poda.....	72
Figura 11. Altura de Planta.....	72
Figura 12. Emisión Foliar	72
Figura 13. Diámetro del tallo	72
Figura 14. Longitud de hoja.....	72
Figura 15. Área foliar.....	72
Figura 16. Longitud radicular	72
Figura 17. Biomasa Radical	72
Figura 18. Plántulas a los 30 días después del trasplante.....	72
Figura 19. Plántulas a los 60 días después del trasplante.....	72
Figura 20. Plántulas a los 90 días después del trasplante.....	72
Figura 21. Plántulas a los 120 días después del trasplante.....	72
Figura 22. Visita del tutor.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de altura de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	36
Cuadro 2. Número de hojas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	37
Cuadro 3. Promedio de diámetro de tallo de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	38
Cuadro 4. Longitud de hoja de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	39
Cuadro 5. Promedio de área foliar de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	40
Cuadro 6. Longitud radicular de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	40
Cuadro 7. Biomasa radical de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	41
Cuadro 8. Análisis económico con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas en plántulas de café.	42
Cuadro 9. Porcentaje de colonización de micorrizas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	42
Cuadro 10. Conteo de esporas de la micorriza y el análisis de población micorrízicas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.	43

I. INTRODUCCIÓN

El primer registro histórico del café se sitúa en la antigua región de Abisinia, actual estado de Etiopía, en el nororiente de África concretamente en la región de Kaffa, en torno al siglo X.

La producción global de café 2017-18 fue de 159,9 millones de sacos de 60 kilogramos, el consumo tuvo un récord de 158,5 millones de sacos. El USDA también calculó que la producción en Brasil el mayor productor fue de 51,2 millones de sacos. Mientras que Vietnam el segundo mayor productor tuvo un record de 29,9 millones de sacos (Reuters, 2017).

En el Ecuador, el café es un producto que tiene relevante importancia en los órdenes económico y social para el sector agropecuario por la generación de divisas e ingresos que implica su exportación. Además, durante los últimos 15 años se ha ubicado entre los primeros nueve cultivos con mayor superficie cosechada y es producido en 19 provincias del país.

El cultivo de café se encuentra ampliamente distribuido particularmente ocupa considerables superficies en hectáreas: Manabí 54 247 ha, Sucumbíos 5 728 ha, Orellana 10 075 ha, Loja 7 580 ha, otros 8989 ha. La producción fue de 24 686 t. La especie de café Robusta constituyó el 35 % de la producción nacional es decir 8 640,1 t. El 48 % de los agricultores produce café Robusta. El rendimiento promedio a nivel nacional de café Robusta para el año 2017 fue de 0,49 t/ha. La provincia de Guayas fue la zona productora de mayor rendimiento (1,30 t/ha); mientras que Cotopaxi (0,05 t/ha), fue la de menor productividad (Sipa, 2018)

El cultivo del café, es un cultivo conservacionista, los cafetales robustas, conforman variados sistemas agroforestales que se localizan en amplias zonas agro ecológicas, constituyendo hábitat apropiado para la sobrevivencia de muchas especies de la fauna y flora nativas. (Duicela, y otros, 1985)

Hoy en día es prioritario la búsqueda de alternativas nutricionales que disminuyan el impacto de los fertilizantes químicos en la agricultura, constituyendo la

actividad biológica del suelo y los microorganismos un aspecto muy importante, debido a que incrementan la eficiencia en la absorción de nutrientes, formando parte de los sistemas integrales de nutrición vegetal (Rivera & Fernández, 2003).

Dentro de éstos se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), los cuales establecen asociaciones mutualistas con el 85 % de las plantas con interés agronómico, presentando una alta especificidad con el suelo en donde se desarrolla y a su vez le confiere a las plantas ventajas tales como: mayor capacidad de absorción radical, también pueden mejorar la toma de agua en condiciones de poca disponibilidad y cierta protección contra nemátodos y enfermedades radicales (Azcón & Barea, 1996).

El sistema radical del cafeto se asocia a diversos microorganismos del suelo, como el caso de los hongos micorrízicos. El cafeto es un cultivo micótrofo obligado y en consecuencia con alta dependencia micorrízica, y su principal beneficio a la planta es el transporte de nutrientes, especialmente fósforo (P). En caso de que el P no está disponible para el desarrollo inicial de las plántulas se convierte en un nutriente limitante y al ser un ion de baja movilidad, cuando se desarrolla la zona de agotamiento cerca de la raíz, la hifa puede ser el puente para la suplementación de P y al suministrarlo, se influye significativamente su crecimiento (Andrade, Mazzafera, Schiavinato, & Silveira, 2009).

La colonización radical por los hongos micorrízicos permite a la planta ampliar la exploración del sustrato a través del micelio y transportar nutrientes a la raíz y el incremento de la superficie de absorción de la planta (Sylvia, 2005).

Se ha determinado que el comportamiento de las poblaciones micorrízicas es modulado por diversos factores ambientales y existe evidencia de que estas asociaciones presentan especificidad ecológica y preferencia por el hospedero, ya sea con hongos micorrizicos aplicados a *C. canephora*. Las plantas micorrizadas con frecuencia son más competitivas y tolerantes del estrés (Pérez, y otros, 2002).

1.1. Objetivos de la investigación

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar los complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café (*Coffea canephora*).

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer el comportamiento agronómico de café, a la aplicación de biofertilizantes micorrízicos.
- Determinar el efecto de las cepas de micorrizas.
- Analizar económicamente el costo de los tratamientos.

II. MARCO TEÓRICO

Camargo, Montaña, De la Rosa, & Montaña (2012), manifiestan que la micorriza es una asociación constituida por un conjunto de hifas fúngicas (micelio) que, al entrar en contacto con las raíces de las plantas, las pueden envolver formando un manto y penetrarlas intercelularmente a través de las células del córtex, como en el caso de la ectomicorriza o, como en el caso de la micorriza arbuscular, penetran la raíz, pero no se forma ningún manto.

Al mismo tiempo, las hifas se ramifican en el suelo, formando una extensa red de hifas capaz de interconectar, subterráneamente, a las raíces de plantas de la misma o de diferentes especies. Esta red de micelio permite, bajo ciertas condiciones, un libre flujo de nutrimentos hacia las plantas hospederas y entre las raíces de las plantas interconectadas, lo que sugiere que la micorriza establece una gran unión bajo el suelo entre plantas que, a simple vista, podrían parecer lejanas y sin ninguna relación.

Popoff (2006), establece que el nombre micorriza hace referencia a la simbiosis hongo-raíz ("myces-rhiza"). Esta simbiosis es un fenómeno general en los vegetales.

Las micorrizas fueron descubiertas por el botánico alemán Frank en 1885, en las raíces de algunos árboles forestales; recién en 1900 el francés Bernard puso de manifiesto su importancia estudiando las orquídeas.

Las micorrizas eran consideradas excepciones, pero ahora se sabe que casi la totalidad de las plantas verdes, con algunas excepciones, viven en simbiosis con hongos. Y esto es así para musgos, helechos y Fanerógamas.

Las primeras que despertaron interés fueron las micorrizas de los árboles forestales, y aunque las de las plantas cultivadas comenzaron a estudiarse en 1910.

2.1. Tipos de micorrizas.

Endomicorrizas.

González (2008), menciona que las endomicorrizas, están presentes en el 80% de las plantas vasculares. Entre las Gimnospermas sólo presentan endomicorrizas las plantas *Taxus baccata*, *Sequoia sempervirens*, *Sequoia gigantea* y *Ginkgo biloba*.

Los hongos más frecuentes en las endomicorrizas son generalmente Zygomycetes, con hifas no septadas y las asociaciones hongo/hospedante no son muy específicas. En varias gramíneas como *Andropogon*; *Bromus*; *Festuca*; *Panicum*; *Poa*; *Saccharum*; *Sorghum*; *Sporobolus*; *Stipa* y *Zea mays* se presentan este tipo de micorrizas, que son muy beneficiosas para las plantas.

Micorriza arbuscular

Andrade (2010), señala que la micorriza arbuscular o micorriza vesículo-arbuscular es clasificada como endomicorriza. El complejo micorrizico es una asociación obligada para los hongos que la forman, pero no para las plantas. En este caso no se forman la red de Hartig ni su manto, y se caracteriza porque las hifas penetran la raíz, se introducen en las células y pueden formar dos tipos de estructuras.

Su principal característica es la estructura denominada arbusculo, la cual se origina cerca del cilindro vascular de la planta mediante numerosas ramificaciones dicotómicas sucesivas de una hifa, y tiene la función de transferir nutrientes desde y hacia la planta. La segunda estructura es llamada vesícula, y puede o no estar presente, dependiendo del hongo. Es de forma ovalada a esférica; puede formarse entre o dentro de las células radicales, y funciona como almacén de nutrientes.

Nardini, Di Salvo, & García (2011), establecen que dentro de la gran diversidad de microorganismos del suelo, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) son de gran importancia agrícola y ambiental. Estos hongos pertenecen a la clase Zygomycetes, orden Glomerales. Se caracterizan por producir

estructuras típicas que, a diferencia de otras asociaciones micorrízicas tales como las ectomicorrizas en plantas arbóreas, no se pueden ver a simple vista.

Entre las estructuras típicas, los arbuscúlos poseen forma de árbol y constituyen ramificaciones de las hifas dentro de las células vegetales. Allí tiene lugar el intercambio de nutrientes y metabolitos entre el hongo y la planta. Las vesículas, a menudo ovoides, pueden formarse inter o intracelularmente. Ellas constituyen el sitio de almacenamiento de sustancias de reserva y polifosfatos. Sin embargo, algunos hongos formadores de micorrizas arbuscular (HFMA) no forman vesículas. Las esporas de forma globosa, extracelulares, cumplen la función de almacenamiento y propagación. Al germinar éstas, las hifas generadas exploran el suelo.

Al encontrar raíces de una planta potencialmente hospedante generan un apresorio o ensanchamiento en su extremo, a partir del cual comienza la infección. La capacidad exploratoria del suelo por parte de las raíces se ve incrementada significativamente cuando la asociación micorrícica se establece.

Micorriza ericoide

Espinoza (2018), menciona que es una endomicorriza específica de las angiospermas pertenecientes al orden Ericales y hongos del grupo de los ascomicetos. Se ha observado de igual manera en algunos musgos.

Ectendomicorrizas

Micorriza intermedia entre las ectomicorrizas y las endomicorrizas, en ellas se produce un manto (aunque más delgado) y una red de Harting, pero también las hifas son capaces de introducirse internamente a nivel celular en la epidermis de la raíz. Los organismos fúngicos que forman estas micorrizas son los basidiomicetos y ascomicetos, junto a plantas principalmente gimnospermas del grupo de las coníferas.

Micorriza arbutoide

Ectendomicorriza que se produce entre hongos basidiomicetos y plantas angiospermas del orden Ericales.

Ectomicorriza

Inecol (2008), señala que este tipo de micorriza encontrada en plantas angiospermas y gimnospermas se distingue porque el micelio del hongo al invadir la raíz forma un manto o vaina sobre ella, el hongo se introduce entre los espacios intersticiales de las células, es decir, no perfora la pared para penetrar a la célula vegetal sino intercelularmente forma un sistema llamado red de Hartig que es justo la red laberíntica del hongo donde se lleva principalmente la transferencia de nutrientes.

De manera que, en la ectomicorriza, la raíz de la planta se percibe como un hinchamiento al estar cubierta por el micelio de los macrohongos, según las especies involucradas producen tal estructura que por la forma, textura y color que adquieren se ha denominado morfotipo.

2.2. Morfología del hongo dentro de la raíz.

Las tres estructuras características son. Hifas, arbuscúlos y vesículas.

Hifas

Duchicela (2001), indica que provienen de esporas germinadas, penetran en la raíz y forman y apresorio en las capas más internas del parénquima cortical. Nunca penetran la epidermis, tejidos vasculares, meristemas, tejidos estacales, clorofílicos, partes viejas de la raíz, o en sistemas especializados de órganos vivos.

Cuando la infección se va desarrollando en el interior de la corteza ocurre un crecimiento exterior de las hifas (micelio externo) estableciéndose nuevos puntos de entrada y originándose un densa red de hifas externas que avanzan por el suelo varios centímetros.

Arbúsculos

Roman (2003), manifiesta que son estructuras del tipo de haustorios que se originan partir de la ramificación dicotómica repetida de una hifa al interior de una célula vegetal. Las finas ramificaciones de los arbúsculos realmente no entran en contacto con el protoplasma de las células, sino que penetran como de dedos en un guante denominándose invaginaciones de la membrana celular. De esta forma se produce una extensa superficie de contacto a través de la cual se lleva a cabo el intercambio de nutrientes minerales y carbohidratos entre el hongo y la planta. Los arbúsculos son de corta vida, cuya presencia es indicativa de la actividad metabólica asociada al transporte de sustancias a través de membranas.

Vesículas

Hernández (1999), menciona que son estructuras ovoides, se forman generalmente en los extremos de las hifas del hongo y pueden producirse a lo largo de toda el parénquima cortical colonizado; suelen aparecer más tarde que los arbúsculos y son consideradas órganos de reserva, principalmente de lípidos.

Micorrizas (2009), señala que la utilización de hongos simbióticos se ha convertido desde no hace muchos años en una técnica para estimular el crecimiento y la floración de las plantas y árboles de una forma puramente biológica, natural y ecológica mediante la utilización de micorrizas.

2.3. Principales géneros de hongos.

En las Ectomicorrizas *Suillus*, *Cortinarius*, *Rhizopogon*, *Cenococcuym*, *Thelepora*, *Pisolithus*.

En las Orquideomicorrizas: *Armillariella*, *Gymnopilus*, *Marasmius*, *Fomes*, *Xerotus*, *Ceratobasidium*, *Corticium*, *Sebacina*, *Tulasnella*.

En las Ericomicorrizas: *Pezizella*.

En las Micorrizas arbusculares: *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora*.

En las Ectendomicorrizas: *Endogone*.

2.4. Mecanismo de colonización.

Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras (2007), menciona que las esporas pueden considerarse solamente uno de los tipos de propágulos de los hongos endomicorrízicos debido a que las raíces de las plantas se colonizan también por trozos de micelio activo que se ramifica para desarrollar la infección. En las micorrizas arbusculares existen dos fases del sistema micelial: un micelio interno en la corteza de la raíz de la planta y un micelio externo en el suelo, que varía en extensión y volumen.

El inicio de la colonización de la planta y con ello la formación de la simbiosis comienza con la germinación de las esporas de resistencia en el suelo cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables o bien mediante el crecimiento de hifas a partir de propágulos del suelo que se encuentran cerca del sistema radical susceptible.

El mismo autor indica que el crecimiento del micelio se incrementa algunas veces debido a que los exudados de la raíz pudieran proporcionar sustratos adecuados para el desarrollo de las hifas después de que las reservas de nutrimentos sobre todo en las esporas, se hubieran agotado. Sin embargo, a pesar del crecimiento micelial en presencia de raíces, las hifas no parecen tomar una dirección hacia ellas, sino hasta que se encuentran muy cerca, es decir unos pocos milímetros.

La hifa finalmente tiene contacto con la célula epidérmica o un pelo radical y produce un apresorio ligeramente engrosado, a partir del cual se desarrollan ramificaciones infectivas cortas. Posteriormente se produce la penetración de la epidermis o del pelo radical mediante la presión ejercida por la hifa en crecimiento

sobre la pared celular, lo cual hace que esta última se forme alrededor de la hifa y se vuelva mucho más delgada en las células corticales.

Una vez que la hifa penetra la raíz, generalmente entre las células epidérmicas, se dispersa también intercelularmente a lo largo de la corteza, alcanzando la segunda capa de células corticales. La colonización se vuelve intracelular cuando la hifa degrada la pared de la célula e invagina la membrana para ramificarse luego dicotómicamente muchas veces y formar una estructura parecida a un arbusto, denominada arbusculo, dentro de la célula.

González (2005), indica que este es el sitio donde se lleva a cabo el intercambio de nutrimentos entre ambos simbios. Otras ramificaciones de las hifas intraradicales en algunos géneros de hongos endomicorrízicos, forman vesículas intercelulares que parecen ser reservorios de nutrimentos dado que presentan gran cantidad de lípidos.

La vida media de un arbusculo en actividad es muy corta y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasma lema de la célula vegetal, siendo encapsulado por material depositado en la zona interfacial proveniente presumiblemente del hospedero.

Este continuo proceso de degradación de arbusculos a la vez que se forman otros nuevos es ventajoso para la planta, un arbusculo en degradación, lleno de nutrimentos puede liberar su contenido a la célula de la raíz y a partir de allí distribuirse a toda la planta. La colonización del hongo puede extenderse también mediante hifas y hongos por la superficie de la raíz y penetrar en ésta a intervalos irregulares.

2.5. Desarrollo del arbusculo

Camarena (2012), manifiesta que simultáneamente el crecimiento inter o intracelular de la hifa del hongo micorrízico arbuscular, la hifa terminal se diferencia en arbusculos dentro de ciertas células corticales. Se ha sugerido que el desarrollo

de arbusculos en estas células puede ser regulado por un gradiente de carbono debido a la proximidad con el sistema vascular.

Aun cuando la colonización de las células corticales es esencial para la diferenciación del arbusculo, no se conocen las señales que disparan las ramificaciones dicotómicas de la hifa para formarlo. La diferenciación del arbusculo está acompañada de varios cambios fisiológicos en la célula de la planta, cuyas vacuolas se fragmentan aumentando el volumen de citoplasma y el número de organelos. Las células que contienen arbusculos muestran un núcleo hipertrofiado, número mayor de mitocondrias y niveles ligeros de actividad transcripcional.

El carbono de la planta es transportado al hongo a través de dos membranas en la interfase simbiótica. Este carbono primero es liberado en el espacio periarbuscular, probablemente en la forma de sacarosa, después se fracciona en hexosas y es tomado por el hongo micorrízico arbuscular (MA) a través del transporte por la membrana del hongo. En el citoplasma del hongo, las hexosas son convertidas en grânulos de glucógeno y gotas de triglicéridos, que sirven como unidades disponibles para el transporte a larga distancia a través de la red de hifas.

2.6. Acerca del inoculante

Sanchez, Posada, Velasquez, & Narvaez (2010), establece que como inoculante del hongo micorrízico arbuscular (HMA), se pueden utilizar las esporas y micelio de HMA identificado o por identificar, raíces micorrizadas y también una mezcla de suelo + raíces + esporas de HMA. Esta última es la más común cuando se trata de realizar cultivos trampa en forma rápida, con muestras provenientes de campo. Igualmente, cuando se desea propagar especies que constituyen inoculantes comerciales, propagadas y comercializadas en sustratos.

En cuanto al control de calidad, se considera que un inóculo bruto (entero, con todos los componentes: suelo + raíces + esporas) es adecuado, cuando se observa alrededor del 70 al 90% de colonización por HMA en los trozos de raíces y/o de 50 - 100 propágulos infectivos/100 ml de producto ó 5 g de suelo. La dosis de 100 Kg / ha

de inoculante se ha utilizado cotidianamente en Colombia en varios cultivos en el campo (maíz, café, pastos y frutales establecidos, entre otros).

El inoculante se localiza por surco o sitio, para evitar la biofertilización de las plantas acompañantes del cultivo. En el caso de inoculación en materos, puede disponerse de 1 g (aproximadamente 20 ml) de inoculante. Cuando este consiste de sólo esporas de HMA se pueden utilizar 50 – 100 esporas/matero.

2.7. Inóculo e inoculación

Montero (2015), señala que el inóculo vendrá directamente del laboratorio con la concentración adecuada y la dosis calculada, por lo que únicamente se debe disponer del sistema de inoculación más adecuado al número de plantas que se quiera inocular.

Generalmente se utiliza una concentración de entre 5×10^5 y 5×10^6 esporas/ml, dependiendo de la dosis de riego, esto es, del número de ml a dispensar por planta.

2.8. Producción del inóculo

Cruz (1999), indica que para el área forestal resulta de gran interés la producción de inóculo, pues esto facilitaría el incremento en el crecimiento y supervivencia de las plántulas de coníferas que se cultivan en vivero para fines de plantaciones masivas en sitios con suelos pobres, erosionados o que han sido abandonados después de prácticas agrícolas improductivas.

Actualmente, en países como Estados Unidos, Alemania y Japón se trabaja en el establecimiento de tecnología para la producción de inóculo a gran escala, cultivando el micelio ectomicorrícico seleccionado, que sirve para la micorrización de plántulas en los viveros y garantiza su supervivencia una vez trasplantadas en sitios deforestados. Así que el éxito de estos programas de inoculación tendría que basarse en la selección de los hongos simbiotes que sean efectivos y benéficos en la asociación, campo poco explorado todavía en nuestro país.

2.9. Beneficios de la simbiosis

Modificaciones fisiológicas de la planta

Barrera & Arango (2016), establece que las micorrizas pueden ser analizadas en función a la relación suelo planta y hongo. Se presentan modificaciones fisiológicas en la penetración y distribución del hongo en las raíces tales como:

- Aumento de la actividad nuclear de la masa citoplasmática, generación de nuevos organelos y del grado de vacuolación de las células corticales.
- Aumento de la diferenciación de los tejidos vasculares.
- Aumento de la tasa fotosintética.
- Incremento de la síntesis de proteínas, de clorofila y de sustancias de crecimiento y metabolitos secundarios.
- Activación de los sistemas enzimáticos.
- Favorecimiento de la absorción y traslocación de nutrientes y agua.

El establecimiento del hongo representa un drenaje de fotosintatos desde la parte aérea hasta la zona radical, donde la mayor parte es tomada por el simbiote para la obtención de energía metabólica, asegurando a través de esta vía su mantenimiento y desarrollo.

Las hifas absorben el Fósforo (P) del suelo a través de un proceso activo el cual después de ser transferido para la planta es transportado hasta el xilema y traslocado hacia las otras partes del vegetal, principalmente a las hojas donde desempeña un papel importante en la nutrición.

Efectos nutricionales.

Este efecto nutricional es muy complejo y pueden resultar diversos mecanismos:

- Aumento de la superficie de absorción y exploración de suelo físico.

- Aumento de la capacidad absorbente de la raíz (fisiológico).
- Absorción de nutrientes disponibles no accesibles a raíces no micorrizadas directamente por las hifas, o indirectamente a través del desarrollo de las raíces.
- Almacenamiento temporal de nutrientes en la biomasa fúngica o en las raíces evitando su inmovilización química, biológica o lixiviación de estos nutrientes.
- Favorecimiento de la actividad de MOSP (Microorganismos Solubilizadores de Fósforo), MECV (Microorganismos Estimuladores de Crecimiento Vegetal) a través de la rizosfera.
- Ayuda a la toma de Nitrógeno por vía asociativa con MFBN (Microorganismos Formadores de Bacterias Nitrificantes).

Barrer (2009), menciona que la planta puede absorber y asimilar más agua, minerales (nitrógeno y fósforo) e iones poco móviles (ácido fosfórico, amoníaco, zinc, cobre), favoreciéndose su nutrición vegetal y si tener un mayor desarrollo.

(Peña, Cardona, Mazorra, Arguelles, & Arcos (2006), asimismo, en los ecosistemas tropicales la absorción del fósforo ocurre pobremente sobre la superficie del suelo, por lo cual las plantas y los microorganismos son los encargados de inmovilizar este elemento. Por ejemplo, los hongos saprófitos se encargan de la fase no soluble del fósforo en la materia orgánica, compuesta por ácidos nucleicos, fosfolípidos y fosfoproteínas; más adelante, esta labor es continuada por los hongos de crecimiento lento.

Efectos protectantes contra patógenos

Ejerce un control preventivo de la severidad de la infección por distintos patógenos a través de la disminución o erradicación en algunos casos de los daños provocados por estos. Esta respuesta pudiera estar indirectamente relacionada con el estado nutricional de la planta así como el vigor en su crecimiento.

Cano (2011), manifiesta que esta actividad microbiológica edáfica puede ser llevada a cabo por asociaciones mutualistas entre hongos micorrízicos con otras especies de bacterias y hongos, por lo que de forma sinérgica pueden contribuir en el control biológico de fitopatógenos y en la estimulación del crecimiento vegetal.

Producción de agregados de suelo

A través de la producción de hifas externas se aportan considerables cantidades de agregados en el suelo por la producción de polisacáridos viscosos provenientes de la rizosfera.

Mejoramiento de las propiedades físicas de suelo

Barea, Azcón, & Azcón-Aguilar (2005), las micorrizas arbusculares participan en el formación de micro (2-200 μm de diámetro) y macroagregados estables (> 250 μm de diámetro), uniendo las partículas del suelo a través de un crecimiento intensivo del micelio; y bioquímicamente mejoran la calidad del suelo por la producción de una glicoproteína, la glomalina, una goma de naturaleza hidrofóbica, que actúa como un agente cementante.

Mejoramiento de la tolerancia al estrés hídrico

Las raíces pueden penetrar áreas más extensas y profundas del suelo; a través de las hifas que actúan como puentes que mantienen en contacto las raíces y el agua del suelo, haciendo más eficiente la extracción de este elemento vital. Esta función es muy importante para los cultivos que, en época seca o en ambiente áridos, están sometidos a escasez de agua por un determinado periodo.

Mejoramiento de la tolerancia a suelos contaminados con metales pesados

Turnau, Ryszka, Anielska, Gawronski, & Jukiewicz (2006), indica que por ejemplo Zn, Cu, Cd, a través de un mecanismo que estaría relacionado con la función de las vesículas, como órganos de almacenamiento de estos metales, y a la glomalina que se une a ellos, con lo cual se evidencia que las micorrizas

arbusculares filtran hacia el exterior los metales pesados manteniéndolos fuera del tejido vegetal.

Mejoramiento de la tolerancia a la acidez del suelo

Postma, Olsson, & Falkengren (2007), la asociación simbiótica con estos hongos confiere a las plantas el potencial para disminuir la toxicidad por Al, H, Mn, mediante la retención de estos elementos en las hifas y mejorando la absorción de nutrientes.

Mejoramiento de la tolerancia al estrés salino

Tian, Feng, Li, & Zhang (2004), señala que algunos experimentos han demostrado incrementos en el crecimiento de plantas inoculadas con micorrizas arbusculares en relación a plantas no inoculadas, bajo condiciones de estrés salino, es decir a altas concentraciones de NaCl.

Las micorrizas en la absorción de nutrientes

Duchicela (2001), la utilización de nutrientes por las plantas se determina por la capacidad de absorción de la raíz y por la difusión de nutrimentos, por ende, por la liberación de elementos de la solución de suelo. El micelio externo de los hongos arbusculares incrementa el volumen de suelo explorado y determinan la utilización de iones de baja velocidad de difusión como P, Zn y Mo.

Bernal & Morales (2006), señala las micorrizas son productoras de enzimas hidrolíticas como proteasas y fosfatasas, estas últimas necesarias en la solubilización del fósforo y mineralización del fósforo orgánico, incrementando los nutrientes disponibles para el mantenimiento de un sistema saludable suelo-planta. La absorción de los iones menos móviles depende del volumen de suelo explorado por el sistema de raíces absorbentes. En este contexto, la raíz micorrizada tiene ventaja sobre la raíz no micorrizada porque el micelio externo se extiende a mayor distancia que los pelos radicales. Visto desde el punto de vista nutricional, el mayor beneficio

que las plantas derivan de la micorriza es un mayor crecimiento debido a un incremento en la absorción de P cuando este elemento es limitante.

Cuando no hay limitaciones en la presencia de Fósforo el beneficio puede ser nulo o reducido, según el grado de dependencia micorrízica de la planta, pues altos niveles de P inhiben la simbiosis, además se conoce que las micorrizas influyen en forma directa o indirecta en la absorción de otros iones minerales (N, K, Ca, Mg, Fe, Mn).

Generalmente, una alta fertilización química con N, P y K en forma completa al suelo, conducen a una colonización mínima por parte de la micorriza arbuscular, a tal grado que difícilmente se encontrarán asociaciones simbióticas en suelos cultivados intensivamente, en donde la micorriza arbuscular tiende a extinguirse. La fertilización química aplicada puede disminuirse de un 50 a 80%, ya que la mejora la absorción de nutrientes del suelo.

Pérez, Rojas, & Montes (2011), establece que los altos niveles de nitrógeno en el suelo tienen efectos negativos sobre el desarrollo de las micorrizas arbusculares y la estimulación del crecimiento en las plantas, estos efectos pueden ser también influenciados por la disponibilidad del fósforo en el suelo.

Los altos y bajos niveles de fósforo y la fertilización nitrogenada disminuyen el porcentaje de infección de las micorrizas, mientras que niveles moderados de P incrementa los niveles de nitrógeno y la infección por estos hongos.

Nutrición con Fósforo (P)

Roman (2003), manifiesta que las formas existentes del fósforo en el suelo son pocas solubles en el agua y por ello su concentración es muy pequeña en la solución del suelo. Aproximadamente 95 a 99% del fósforo del suelo no está disponible para las plantas esto incluye las formas del fósforo inorgánico y el mineral insoluble, la concentración de fósforo en el micelio fúngico es 100 veces superior que en el suelo ya que se presenta mayor afinidad para la captación de fósforo que por la propia raíz.

Duchicela (2001), indica que el P, inorgánico tiene una velocidad de difusión de 2 mm h⁻¹ y en las hifas fúngicas el movimiento es de 2 cm h⁻¹, esto evidencia la eficiencia en la nutrición fosfórica. Algunos estudios realizados utilizando P indican que la micorriza transporta el P a la planta vía corriente citoplasmática en vacuolas que contienen cuerpos metacromáticos, los cuales parecen ser gránulos de polifosfato que posteriormente son hidrolizados y transferidos al hospedante, este proceso ocurre en los arbusculos. Globalmente el proceso de transporte de P en MVA puede desglosarse en tres subprocesos: Absorción, captación y transferencia al hospedero. Un exceso en la fertilización fosfórica limita la actividad de la micorriza, este efecto se produce debido a que un incremento de fósforo endurece la pared celular, dificultando la colonización micorrízica.

Nutrición de otros elementos

Duchicela (2001), menciona que la colonización micorrízica también puede incrementar la utilización de otros nutrimentos del suelo. Se han encontrado concentraciones mayores de nitrógeno (N) como efecto indirecto por la estimulación de la fijación simbiótica, potasio (K), hierro (Fe), manganeso (Mn), cloro (Cl), magnesio (Mg), y microelementos como Zinc (Zn), Azufre (S), Boro (B) y Molibdeno (Mo) en plantas micorrizadas.

Los elementos minerales que circulan con facilidad hacia la rizosfera, como nitratos y sulfatos, no suelen crear zonas de deficiencias alrededor de las raíces y la contribución de las hifas en la captación de ellos es limitada. Los iones fosfato y amonio que se difunden más lentamente en la solución del suelo son captados relativamente más por las hifas de los HMA. La captación de los micronutrientes es a veces contradictoria ya que se tiene evidencia consistente de un incremento en su captación por los HMA, solo para zinc y cobre.

La utilización de las micorrizas como biofertilizante no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar desde comúnmente 50-80% y en ocasiones hasta 100%. Se plantea que de las cantidades de fertilizantes aplicados sólo se aprovechan un 20%

mientras que normalmente el resto se fija o lixivia sin remedio, mientras que con la utilización de las micorrizas, pueden ser recuperados por las plantas porcentajes mayores.

Mientras que un pelo radical puede poner a disposición de una raicilla los nutrientes y el agua que se encuentren hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio externo (extramático) de las micorrizas vesículo arbuscular (M.V.A) pueden hacerlo hasta 80 mm., lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor.

Castro (2009), establece que en este sentido, la micorriza es una simbiosis mutualista que tiene como función aumentar la superficie de absorción de la raíz, por medio de un sistema de hifas extrarradicales.

Van der Heijden, Bardgett, & Van Straalen (2008), indica que la microbiota realiza una serie de funciones clave para mantener la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales en el planeta, puesto que actúa como una proveedora de nutrientes que son absorbidos por las plantas.

Ortaş & Varma (2007), señala que adicionalmente, el máximo beneficio de la inoculación con hongos micorrízicos eficientes se puede adquirir a partir de la selección cuidadosa de combinaciones genotípicas compatibles hongo-planta; ya que algunas especies fúngicas pueden tener mayor afinidad al compararse entre varios hospederos o incluso entre individuos de la misma especie pero de diferente linaje; razón por la cual se recomienda el uso de cepas nativas del suelo, que serían más eficientes bajo las condiciones agro-ecológicas locales.

Martínez & Pugnaire (2009), manifiesta que entre los organismos que habitan en el suelo se pueden destacar por su función ecológica los hongos formadores de micorrizas, los cuales pueden tener una alta incidencia en la estabilidad de ecosistemas donde las condiciones edáficas son extremas.

2.10. Principales factores que afectan a las micorrizas arbusculares

Aguirre (2006), establece que la temperatura del suelo está relacionada con la supervivencia de los propágulos y el funcionamiento de la simbiosis. En forma general la materia orgánica no afecta la colonización micorrízica.

El pH del suelo afecta cualitativa y cuantitativamente en la eficiencia de los hongos micorrizógenos. En general el encalado de los suelos ácidos favorece el establecimiento de los hongos, especialmente de aquellos del género *Glomus*.

Los niveles de humedad del suelo, aireación, inundación y compactación influyen sobre el funcionamiento de la simbiosis. Los suelos con alto contenido de humedad o inundados presentan bajos niveles de O₂ y están generalmente desprovistos de micorrizas.

Guerra (2008), indica que diversos factores pueden afectar el desarrollo, actividad y supervivencia de la micorriza arbuscular. Dentro de los más importantes, se encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y rotaciones de cultivos, la labranza y abono con cal afectan los niveles de la colonización de las raíces y el potencial de micorriza arbuscular en campo de igual forma los factores medioambientales son determinantes.

2.11. Micorrizas arbusculares en café

Barrera & Arango (2015), señala que en el año 1897 en la Isla de Java, Janse observó la ocurrencia de Micorrizas Arbusculares en café. Posteriormente se demostró experimentalmente su importancia para el crecimiento de los retoños (zocas) del café.

Recientemente en ensayos realizados en Sevilla (Valle) por la Cooperativa de Caficultores y Agrotecnia Ltda., se demostró que si se manejan micorrizas desde el germinador pasando por almácigos hasta sitio definitivo los ataques de Nemátodos (*Meloidogyne exigua*) y de Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola*) se disminuyen

en más del 70%. Se consiguieron plántulas más sanas con mayor zona radicular. Mayor altura y sin problemas fitosanitarios.

La colonización con M.V.A. de las raíces del cafeto posee aspectos anatómicos muy pocos conocidos. Las primeras investigaciones confirmaron la formación de protuberancias, posteriormente se confirmó la formación de otras estructuras como arbuscúlos y vesículas y así mismo la presencia de esporas intraradiculares.

Factores como edad del cultivo, condiciones edafoclimáticas, de suelo y de aplicación de correctivos (cal) influyen la colonización.

Los géneros de M.V.A. encontrados en mayor cantidad en cultivos de café han sido *Acaulospora*, *Glomus* y *Entrophospora*. Otros géneros han sido encontrados en menor cantidad.

Se han identificado 45 especies de Glomales en la rizosfera del cafeto siendo:

12 especies de *Acaulospora*

17 de *Glomus*

6 de *Scutellospora*

4 de *Gigaspora*

4 de *Sclerocystis*

2 de *Entrophospora*

Además de varias especies no descritas las modificaciones edáficas y el uso de pesticidas que alteren la población microbiana del suelo, pueden interferir indirectamente sobre los hongos micorrizógenos.

Los hongos micorrizógenos ejercen efectos nutricionales sobre el crecimiento de las plantas destacándose las alteraciones benéficas en las relaciones agua -

planta y patógeno. En numerosos ensayos realizados en zonas cafeteras del Valle del Cauca se encontraron que plantas inoculadas (géneros: *Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*) muestran una tendencia a incrementar producción (5- 15%) y absorción en más del 100% de P, Ca, K y Mg.

Para la utilización de M.V.A. es necesaria la selección de especies o agentes aislados eficientes y adaptados a las condiciones edafoclimáticas y de manejo del cultivo en que se pretende inocular.

Aguirre y otros (2011), manifiesta que el grosor del tallo también se incrementó en las plantas inoculadas con *G. intraradices* y cuando se aplicaron los dos microorganismos, *A. brasilense* y *G. intraradices*. El efecto se presentó estadísticamente diferente desde los 60, 120, 150 y 210 días después de la siembra.

Forero, Chaves, & Unigarro (1999), mencionan que los HMA no sólo incrementan la biomasa vegetal sino también que influyen la proporción a la cual esta se distribuye a la raíz cuyo efecto puede ser transitorio. Esto se puede dar probablemente debido a la competencia entre planta y hongo por fotosintatos en los estados iniciales de la infección cuando el hongo consume sin aportar beneficios o simplemente por las condiciones de invernadero.

Ibarra, Aguirre, Ley, Cadena, & Zavala (2014), indican que la colonización micorrízica fue superior en el sustrato suelo con pulpa de café en comparación con los tratamientos que crecieron en suelo y arena, La distribución de la colonización por micorriza en la raíz avanzó de la corona radical hacia la región media y al final a la inferior. Se observó mayor colonización de la micorriza en la región de la corona radical. El incremento en la producción de esporas en el sustrato con pulpa de café sugiere proveer un micro hábitat más favorable para la esporulación. Esta condición de mayor número de esporas está relacionada con mayor contenido de materia orgánica del sustrato, lo que ha sido interpretado como un mecanismo que favorecería la supervivencia de las esporas expuestas a condiciones adversas.

Rivera y otros 2007), plantean que el efecto de la simbiosis micorrízica en los agroecosistemas de especies perennes (café), permitirá extender a los mismos los efectos beneficiosos de la simbiosis micorrízica relacionados con los incrementos en la absorción de los nutrientes y agua y por tanto mayor capacidad para enfrentar estrés hídricos y nutricionales. En el caso específico de los viveros, tiene una mayor capacidad de adaptación de las posturas en el trasplante, porque se obtienen posturas más vigorosas.

Sánchez, Caballero, Rivera, & Cupull (2006), manifiesta que para los cultivos que inicialmente se propagan en viveros, como el cafeto, ésta es una fase adecuada para efectuar la inoculación con hongos micorrizógenos, donde se combinan cantidades bajas de cepas eficientes y altamente competitivas.

Feniagro (2010), menciona que ha reportado que en las plantaciones puede existir un rango que va del 4 % al 80 % de plantas colonizadas por micorrizas de eficacia variable. Por lo que su inoculación resulta interesante y conveniente.

La inoculación con propágulos de micorrizas tiene un papel muy importante en los viveros y en el trasplante. A los 90 días, la sobrevivencia de las plantas micorrizadas en un ensayo fue de 100%, en cambio para las plantas no micorrizadas se ubicó en 83% Las plantas inoculadas presentaron 100% de colonización en el momento del trasplante, lo cual indica que estas plantas tienen un alto grado de necesidad de las micorrizas.

2.12. Productos biofertilizantes

2.12.1. Mycopalm

Ancupa (2017), manifiesta que es un biofertilizante y bioprotectante natural rico en esporas de hongos del tipo micorriza vesículo- arbusculares, que incrementan la absorción de nutrientes del suelo favoreciendo el crecimiento de la planta en fase de vivero.

Los trabajos de investigación realizados por ANCUPA, demuestran que existe un alto grado de asociación entre las raíces de la planta y las micorrizas vesículo-arbusculares. Algunos efectos en el cultivo son: incremento de biomasa y mejor crecimiento de raíces, mayor tolerancia a enfermedades, mayor absorción de nutrientes, mejora la estructura del suelo y tolerancia a la falta de agua.

Instrucciones de uso dosis

La cantidad de producto por semilla o planta varía de acuerdo a la edad del cultivo. Al momento de la siembra usar 5 gramos/semilla En el trasplante de pre-vivero a vivero usar 30 gramos/planta En el trasplante de vivero a sitio definitivo usar 200 gramos/planta.

La forma de aplicación varía de acuerdo a la edad del cultivo. Al sembrar las semillas, colocar Mycopalm debajo y a los costados de ésta para favorecer su contacto con las raíces al momento de emerger. Cuando las plantas se llevan de pre-vivero a vivero, se abre un agujero a los costados de la planta y se aplica Mycopalm procurando su contacto con las raíces.

Si ha desinfectado su vivero con Furadan, deberá esperar tres semanas después del transplante y posteriormente realizar la inoculación con Mycopalm. Cuando las plantas se llevan al sitio definitivo, aplicar Mycopalm en el hoyo de siembra y en las paredes del “pan de tierra” procurando su contacto directo con las raíces.

2.12.2. Micor

Fenecsca (2013), indica que es un concentrado de endo y ectomicorrizas. Por cada litro de producto, tiene una concentración mínima garantizada de 8×10^{11} UFC (Unidades Formadoras de Colonias) de endomicorrizas y 7×10^{11} UFC de ectomicorrizas. Estas asociaciones son otro de los mecanismos con los cuales las micorrizas ayudan al control de enfermedades radiculares. Las micorrizas alimentan la red trófica del suelo al ser consumidas principalmente por lombrices, insectos y por otros hongos. Micor contiene esporas de nueve especies de micorrizas elegidas

por su compatibilidad con gran variedad de plantas, alto grado de colonización, adaptación a diversos suelos y a diferentes condiciones ambientales. Micor contiene 4 cepas de endomicorrizas (*Glomus* spp.) y 5 cepas de ectomicorrizas (*Pisolithus* spp. y *Rhizopogon* spp.).

Propiedades

El resultado de la inoculación con micorrizas depende según la especie de planta y característica del suelo. Micor coloniza el cortex de la raíz y desarrollan una matriz de micelio que se extiende en el suelo y puede incrementar hasta cien veces el área de absorción de las raíces.

Dispositivos utilizados MICOR para mejor los cultivos:

1. Producen sustancias que estimulan el crecimiento de raíces.
2. Mejoran la adquisición de nutrientes disponibles y nutrientes limitantes (P, Zn, Cu, Mn, Fe, B, etc.).
3. Mejoran la estructura del suelo, al producir glomalina.
4. Reducen los efectos estresantes causados por: Sequía, Sales, Pesticidas, Temperaturas extremas, Metales pesados (Al, Cd, Cu, Co, etc.), Organismos patógenos.
5. Mejoran adaptación de plántulas estériles micro-propagadas y plantas procedentes de viveros a las condiciones de campo
6. Estimulan la formación temprana de flores y frutos.
7. Incrementan uniformidad del cultivo.

Dosificación

Las micro partículas de MICOR lo hacen ideal para aplicaciones por rocío, por inmersión de raíces o por irrigación en suelos porosos.

Las formas de aplicación más efectivas son la inoculación de semillas, la inmersión de las raíces en una suspensión, o en plantaciones establecidas por goteo, inyección o drench a la pata, recomendamos inyectar la solución del producto en la tierra para una mejor función sobre las raíces.

Se recomienda inocular plantas que van a ser trasplantadas 2 semanas antes de la siembra para asegurar buena colonización y protección de las raíces al ser plantadas. MICOR puede ser mezclado con tierra. MICOR diluido en agua puede ser aplicado sobre semillas, semilleros, bandejas de propagación, raíces al transplante, inyectado o drench al suelo con plantas ya establecidas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del lote experimental

El presente trabajo experimental se llevó a cabo en la Finca “La Victoria” perteneciente al Sr. Segundo Velasco Veloz, ubicada en el Kilómetro 5 ½ de la Vía Montalvo – Carmen Rosa. La zona presenta un clima tropical húmedo según clasificación de Holdribge, con temperatura anual de 24,8° C, una precipitación de 2784,5 mm/año, humedad relativa de 88% y 796,5 horas de heliofanía de promedio anual. Con coordenadas geográficas UTM: X= 693953,5 Y= 9799140,2 y una altitud de 54 msnm.¹ (Tal como podemos observar en el anexo 1)

3.2. Material y equipos

Durante el desarrollo del trabajo experimental se utilizaron los siguientes materiales: caña, zaran, arena, machete, piola, alambre, fundas de polietileno, pala trasplantadora, pala, entre otros.

3.3. Material genético

Se trabajó con la variedad de café robusta (IBC, 1981) que posee las siguientes características:

- a. Tipo de planta árbol
- b. Copa irregular
- c. Hojas elípticas, oblongas de ápice agudo.
- d. Inflorescencias de 3 a 5 cimbras por axila.
- e. Los frutos son drupas elipsoidales o subglobosas.
- f. Tiene estructura genética diploide

¹ Fuente: Datos tomados de la estación meteorológica – INAHMI 2018

g. Número de cromosomas $2n = 22$

h. Contenido de cafeína 1,30 - 5,20

3.4. Método

Para el ensayo de campo emplearon los métodos: deductivo-inductivo, inductivo-deductivo y el diseño experimental.

Se tomará 10 plantas por cada unidad experimental.

3.5. Factores estudiados

Variable dependiente: comportamiento agronómico de plántulas de café.

Variable independiente: fuentes de micorrizas.

3.6. Tratamientos

Se utilizó la siguiente tabla:

Nº	Tratamiento	Dosis g/planta*
T1	Cepa BIOREMEC	3,0
T2	Cepa MICOBACTER	3,0
T3	Cepa MICOR	3,0
T4	Cepa MICOPALM	3,0
T5	Cepa FACIAG	3,0
T6	TESTIGO	5,0

(*) Se aplicaron los distintos biofertilizantes al momento del trasplante.

3.7. Diseño Experimental

El diseño que se utilizó para el desarrollo del ensayo fue de bloques completos al azar, con 6 tratamientos y 3 repeticiones.

Para la evaluación y comparación de medidas de los tratamientos se realizó con la prueba de Tukey al 95% de probabilidad.

3.7.1. Características del área experimental

Área del ensayo	.	64m ²
Total de plantas	.	540
Número de plantas por parcela	.	30
Número de parcelas		18

3.8. Análisis de varianza

El análisis de varianza se desarrolló bajo el siguiente esquema:

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	5
Repeticiones	2
Error experimental	10
Total	17

3.9. Manejo del ensayo

Durante el desarrollo del ensayo se efectuaron las siguientes labores:

3.9.1 Preparación de sustrato

El sustrato se realizó mezclando con una pala metálica dos porciones de suelo agrícola, una porción de tamo de arroz y una de arena, siendo este proceso realizado bajo sombra. El tamo de arroz se obtendrá de piladoras cercanas al lugar del ensayo, estuvo seco y libre de semillas de malezas. La arena de río lavada y tamizada para evitar piedras o grumos.

Para el llenado de fundas se utilizó una pala jardinera para completar el volumen totalmente hasta su borde. Luego se compactó con ligeros golpes para evitar bolsas de aire en su interior antes del riego, todo el material se llenó en seco para evitar que las fundas quedaran mal llenadas. Posteriormente se procedió a regar para que el aire existente disminuya y se compacte el sustrato. El espaciamiento entre cada bloque será de 1 metro para facilitar el trabajo de manejo agronómico. El distanciamiento entre tratamiento será de 50 cm. Cada tratamiento estará conformado por 30 fundas de polipropileno de 6" x 8" color negro para vivero con perforaciones de 1/2 cm de diámetro, para escurrir los excesos de agua. (Como se puede apreciar en el anexo 2)

3.9.2 Análisis de suelo

Previo a la preparación del sustrato y llenado de fundas se realizó un análisis químico-físico de suelo, opcional para determinar la cantidad de nutrientes presentes en el material utilizado.

3.9.3 Siembra

3.9.3.1 Semillero

Previo a la siembra se construyó la infraestructura del vivero. Se realizó una cama de arena de 10 cm de espesor para que la semilla germine. Para este proceso se utilizó semillas de buenas características las cuales fueron curadas con fungicida Vitavax a razón de 3 gr/ kg de semilla y posteriormente se insertaron en la arena. (Tal como podemos observar en el anexo 3)

3.9.3.2 Trasplante

Una vez germinadas las semillas se colocaron en las fundas con el sustrato, para lo cual se utilizó un palo con punta de unos 10 cm para realizar un hoyo, donde se colocó la plántula, labor que facilitó a éstas para que puedan crecer de manera extendida. (Como se puede apreciar en el anexo 4)

3.9.4 Aplicación de micorrizas

Se aplicaron los distintos complejos micorrízicos al momento del trasplante. Cuando se realizó el trasplante se colocó la dosis del producto micorrizico de cada tratamiento teniendo en cuenta que el producto entre en contacto con las raíces, posteriormente se compactó ligeramente para que mantengan contacto con el sustrato y puedan desarrollarse normalmente. (Ver en el anexo 5).

3.9.5 Control de malezas

El control de malezas se hizo de manera manual en cada una de las fundas. En los espacios entre bloques y tratamientos se realizó un control cultural con rabón. (Tal como podemos observar en el anexo 6)

3.9.6 Control Fitosanitario

Se aplicó Cipermetrina en dosis de 2 cc/ l de agua. No existió presencia de enfermedades foliares, por lo que no se aplicó fungicidas. (Como se puede apreciar en el anexo 7)

3.9.7 Riego

Esta labor se efectuó en función de las necesidades hídricas de las plántulas del cultivo y nivel de humedad del sustrato. Se realizará un riego semanal con aproximadamente 0,4 L/funda en horas de la mañana. (Ver en el anexo 8).

3.9.8 Fertilización

Con el fin de lograr un adecuado crecimiento se hizo la aplicación del fertilizante cuando las plantas se hayan enraizado en las fundas solamente al testigo. Esto hizo a los 15 días después del trasplante. Se aplicó 5g de 8-20-20 por planta al filo y alrededor de la funda, en suelo húmedo. (Tal como podemos observar en el anexo 9)

3.9.9 Podas y deshojes

Esta la labor se realizó para eliminar las plántulas que no presenten buenas características agronómicas en su enraizamiento. Se dejaron aquellas que por sus características estaban libres de daños, enfermedades, con buen crecimiento y coloración. (Como se puede apreciar en el anexo 10)

3.10. Datos evaluados

3.10.1 Altura de Planta (cm)

Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice o punto de crecimiento vegetativo (yema apical) con la ayuda de un regla, a partir de los 60 y 90 días después del trasplante en 10 plantas al azar por tratamientos. Los valores se expresaron en centímetros. (Ver en el anexo 11).

3.10.2 Emisión foliar

Se realizó en 10 planta al azar por tratamiento. Para el efecto se contó el número de hojas emitidas por la plántula en el vivero y el intervalo entre la aparición de una hoja nueva con una vieja, expresando el valor en días. Se evaluara a los 60 y 90 días después del trasplante. (Tal como podemos observar en el anexo 12)

3.10.3 Diámetro de tallo (cm)

Se tomó en el tercio medio de la planta a los 60 y 90 días después del trasplante, en 10 plantas al azar por tratamiento. Para el efecto se utilizó un

calibrador, expresando el valor obtenido en centímetros. (Como se puede apreciar en el anexo 13)

3.10.4 Longitud de hoja (cm)

Se tomó en el tercio medio de la planta a los 60 y 90 días después del trasplante en 10 plantas al azar por tratamiento. Para el efecto se utilizó una regla, expresando el valor obtenido en centímetros. (Ver en el anexo 14).

3.10.5 Área foliar

Se tomaron a los 60 y 90 días después del trasplante, midiendo la longitud y ancho de las hojas emitidas. Se hizo en 10 plantas al azar por tratamiento, calculando el área con la siguiente fórmula.

$$A = \pi x a x b$$

A: área foliar en centímetro cuadrado.

π : pi

a: largo de la hoja en cm.

b: ancho de la hoja en cm.

(Tal como podemos observar en el anexo 15)

3.10.6 Longitud radicular (cm).

Se evaluó a los 120 días después del trasplante, en 10 plantas al azar por tratamiento, la amplitud del crecimiento de la raíces. Se midió desde el cuello de la planta hasta la cofia. Para el efecto se utilizó la siguiente escala visual subjetiva utilizada por (ICO, 2010). (Como se puede observar en el anexo 16)

1= Longitud de raíz menor a 5 cm de profundidad, no ramificada.

2= Longitud de raíz menor a 5 cm de profundidad, ramificada.

3= Longitud de raíz de 6-10 cm de profundidad, no ramificada.

4= Longitud de raíz de 6-10 cm de profundidad, ramificada.

5= Longitud de raíz mayor 11 cm de profundidad, ramificada.

3.10.7 Biomasa Radical

Se tomó a los 120 días después del trasplante, midiendo con una probeta de 50 ml el volumen determinado en donde se sumergió la raíz y el volumen desplazado se lo registró como el volumen de la biomasa radical. (Ver en el anexo 17).

3.10.8 Análisis económico

El análisis económico se efectuó en función del costo de los tratamientos y el beneficio por crecimiento acelerado para venta de las plántulas.

3.10.9 Porcentaje de colonización de micorrizas.

Estuvo definido como el crecimiento de la micorriza en planta tratada a determinado proceso de biofertilización contra plantas no tratadas, para el efecto se utilizó la siguiente formula:

$$DM = (M - NM) / NM \times 100$$

M: Crecimiento de la planta

NM: Crecimiento de la planta no tratada

3.10.10 Conteo de esporas de la micorriza

Para la determinación de la población de esporas micorrízicas de suelo, se empleó el método de “tamizado en húmedo y decantación” de Gerdemann y Nicolson (CIAT, 1983), se expresó en g/100 gss (gramos de suelo seco). El método se detalla a continuación:

Se tomó una muestra de un kilogramo de suelo de los sitios de muestreo. Se secó a 17 °C durante 5 días.

Se tamizó el suelo para liberar materiales extraños (piedras, arenas), se mezcló y se tomó 50 g de suelo.

En 500 ml de agua corriente se licuó el suelo por espacio de 5 segundos y se dejó reposar por 30 segundos, repitiendo la operación 3 veces.

Se pasó esta suspensión a través de tres tamices en serie de 0,425, 0,25 y 0,045 mm. En este último se recogió el suelo limoso, mediante un chorro de agua que pasa el papel de filtro

De la cantidad de suelo obtenido se tomó un gramo de suelo el cual se repartió en 4 tubos de ensayo, se adicionó 300 ml de agua destilada y se centrifugó a 250 revoluciones por minuto durante 5 minutos.

La suspensión se pasó por un papel filtro y se observó al estereoscopio para realizar la respectiva lectura.

3.10.11 Análisis de población micorrízica

Previo al establecimiento del ensayo y al final del mismo se tomó muestras de suelos, entre planta y en el área de crecimiento de las mismas, para proceder a su análisis físico, químico y microbiológico, con el fin de determinar sus cantidades de especies de esporas.

IV.RESULTADOS

4.1. Altura de planta

En el cuadro 1, se observan los promedios de altura de plántulas encontrados en el ensayo a los 60 y 90 días después del trasplante. No se reportó significancia entre tratamientos. Los coeficientes de variación fueron 12,11 y 13,96 respectivamente.

A los 60 días se encontró que el mayor valor estuvo con la aplicación de Micobacter 3gr/ planta (8,30 cm), estando la menor altura con la aplicación de Micopalm 3 gr/planta con (7,00 cm).

La evaluación realizada a los 90 días demostró que el mayor valor estuvo con la aplicación de Micobacter 3gr/ planta (13,73 cm). La menor altura se reportó con Micopalm 3 gr/planta con (10,27 cm).

Cuadro 1. Promedio de altura de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Altura de planta (cm)	
		60 d.d.t	90 d.d.t
Bioremec	3	7,50	11,07
Micobacter	3	8,30	13,73
Micor	3	7,83	13,00
Micopalm	3	7,00	10,27
Faciag	3	7,30	10,70
Testigo	5	7,33	10,93
Promedios		7,54	11,62
Significancia estadísticas		Ns	Ns
Coeficiente de variación %		12,11	13,96

d.d.t.: Días después del trasplante

Ns: No significativa

4.2. Emisión foliar

El cuadro 2 muestra la emisión foliar obtenida en plántulas de café en diferentes edades. No se alcanzó significancia entre tratamientos a los 60 y 90 días

después del trasplante. Los coeficientes de variación fueron 9,16 y 8,83 respectivamente.

En la evaluación realizada los 60 días después del trasplante la mayor emisión foliar se obtuvo con el tratamiento Micor 3 gr/planta (4,5 hojas), estando la menor emisión foliar con la aplicación de Micopalm 3 gr/planta (4 hojas).

A los 90 días después del trasplante se encontró que el mayor valor se obtuvo con el tratamiento Micor 3 gr/planta (8 hojas). La menor emisión foliar se registró en el tratamiento Micopalm 3 gr/planta (6,5 hojas).

Cuadro 2. Número de hojas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Emisión foliar	
		60 d.d.t	90 d.d.t
Bioremec	3	4,33	7,00
Micobacter	3	4,33	7,33
Micor	3	4,50	8,00
Micopalm	3	4,00	6,50
Faciag	3	4,33	7,33
Testigo	5	4,33	6,67
Promedios		4,30	7,14
Significancia estadísticas		Ns	Ns
Coeficiente de variación %		9,16	8,83

d.d.t.: Días después del trasplante

Ns: No significativa

4.3. Diámetro del tallo

En el cuadro 3, se observan los promedios de diámetro del tallo de plántulas encontrados en el ensayo a los 60 y 90 días después del trasplante. Se registró diferencias altamente significativas. Los coeficientes de variación fueron 7,15 y 1,11 respectivamente.

A los 60 días se encontró que el mayor valor estuvo con la aplicación de Micobacter 3 gr/planta (0,60 cm), fue estadísticamente superior a los otros tratamientos. El menor valor estuvo con la aplicación del Testigo 5 gr/planta (0,43 cm).

La evaluación realizada a los 90 días demostró que el mayor valor estuvo con la aplicación de Micobacter 3gr/ planta (0,68 cm), fue estadísticamente superior a los otros tratamientos. El menor diámetro se reportó con el Testigo 5 gr/planta con (0,61 cm).

Cuadro 3. Promedio de diámetro de tallo de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Diámetro del tallo Cm	
		60 d.d.t	90 d.d.t
Bioremec	3	0,47 b	0,63 bc
Micobacter	3	0,60 a	0,68 a
Micor	3	0,50 b	0,65 b
Micopalm	3	0,47 b	0,63 bc
Faciag	3	0,47 b	0,63 bc
Testigo	5	0,43 b	0,61 c
Promedios		0,49	0,36
Significancia estadísticas		**	**
Coeficiente de variación %		7,15	1,11

d.d.t.: Días después del trasplante

(**) Altamente significativo

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia.

4.4. Longitud de la hoja

El cuadro 4 muestra la longitud de la hoja contabilizadas en el ensayo. Se alcanzó significancia a los 60 días, pero no se reportó significancia a los 90 días después del trasplante. Los coeficientes de variación fueron 11,51 y 11,36 respectivamente.

La evaluación realizada a los 60 días demostró que la mayor longitud de hoja estuvo con el Testigo 5 gr/planta (10,40 cm), siendo estadísticamente igual a los tratamientos Micor 3gr/planta (8,77 cm); Faciag 3 gr/planta (8,23 cm) y superiores estadísticamente a los demás tratamientos. El menor valor se registró en el tratamiento de Micopalm 3 gr/planta (7,43 cm).

A los 90 días se encontró que el mayor valor estuvo con el Testigo (11,93 cm). El menor valor se registró en el tratamiento de Micopalm 3 gr/planta (10,07 cm).

Cuadro 4. Longitud de hoja de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Longitud de la hoja Cm	
		60 d.d.t	90 d.d.t
Bioremec	3	7,50 b	10,17
Micobacter	3	7,63 b	10,53
Micor	3	8,77 ab	11,03
Micopalm	3	7,43 b	10,07
Faciag	3	8,23 ab	10,87
Testigo	5	10,40 a	11,93
Promedios		8,33	10,77
Significancia estadísticas		*	Ns
Coeficiente de variación %		11,51	11,36

d.d.t.: Días después del trasplante

(*) Significante

Ns: No significativa

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia

4.5. Área foliar

Se pueden observar en el Cuadro 5, los promedios del área foliar obtenidos en el ensayo. Se alcanzó significancia entre tratamientos a los 60 días, pero no se reportó significancia a los 90 días después del trasplante. Los coeficientes de variación fueron 6,56 y 9,89 respectivamente.

La evaluación realizada a los 60 días demostró que la mayor valor estuvo en el Testigo 5 gr/planta (92 cm²), siendo estadísticamente igual a los tratamientos Micor (83,87 cm²); Faciag 3gr/planta (80,27 cm²); Micobacter (78,23 cm²); Bioremec (77,30 cm²) y superiores estadísticamente al tratamiento Micopalm 3gr/ planta (72.97 cm²).

A los 90 días se encontró que el mayor valor estuvo con el Testigo 5 gr/planta (199,57 cm²). El menor valor se registró en el tratamiento de Micopalm 3 gr/planta (158,67 cm²).

Cuadro 5. Promedio de área foliar de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Área cm ²	
		60 d.d.t	90 d.d.t
Bioremec	3	77,30 ab	161,87
Micobacter	3	78,23 ab	183,03
Micor	3	83,87 ab	197,40
Micopalm	3	72,97 b	158,67
Faciag	3	80,27 ab	195,60
<u>Testigo</u>	5	92,00 a	199,57
Promedios		80,77	179,54
Significancia estadísticas		*	Ns
Coeficiente de variación %		6,56	9,89

d.d.t.: Días después del trasplante

(*) Significante

Ns: No significativo

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia.

4.6. Longitud radicular

La longitud de raíz se aprecia en el Cuadro 6. Se encontró alta significancia estadística para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 7,31 %.

En la evaluación realizada a los 120 días después del trasplante el mayor valor se obtuvo en el tratamiento Micor en dosis de 3 gr/planta (5) fue estadísticamente superior a los otros tratamientos. El menor valor fue el del Testigo en dosis de 5 gr/planta (1).

Cuadro 6. Longitud radicular de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Longitud radicular 120 d.d.t
Bioremec	3	3,00 c
Micobacter	3	3,33 bc
Micor	3	5,00 a
Micopalm	3	4,00 b
Faciag	3	3,00 c
Testigo	5	1,00 d
Promedios		3,22
Significancia Estadística		**
Coeficiente de variación %		7,31

d.d.t.: Días después del trasplante

(**) Altamente significativo

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia.

4.7. Biomasa radical

En el Cuadro 7 se aprecia la biomasa radical. Se encontró alta significancia estadística para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 12.79 %.

En evaluación realizada a los 120 días después del trasplante el mayor valor se encontró en el tratamiento Micor en dosis de 3 gr/planta (6,67 ml), siendo estadísticamente igual a los tratamientos Micopalm en dosis de 3 gr/planta (6 ml); Bioremec 3 gr/planta (5 ml); Micobacter 3 gr/planta (5 ml); Faciag 3 gr/planta (5 ml) y superiores estadísticamente al tratamiento Testigo 5 gr/planta (4.67 ml).

Cuadro 7. Biomasa radical de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Biomasa radical ml 120 d.d.t
Bioremec	3	5,00 ab
Micobacter	3	5,00 ab
Micor	3	6,67 a
Micopalm	3	6,00 a
Faciag	3	5,00 ab
Testigo	5	4,00 b
Promedios		5,28
Significancia Estadística		**
Coeficiente de variación %		12,79

d.d.t.: Días después del trasplante

(**) Altamente significativo

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia.

4.8. Análisis económico

En el cuadro 8, se observa el análisis económico de cada uno de los tratamientos. La mayor utilidad se obtuvo con el tratamiento Micobacter en dosis 3 gr/planta con \$1345,5, mientras que la menor utilidad se registró con el tratamiento Micopalm en dosis de 3 gr/planta con \$552.

Cuadro 8. Análisis económico con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas en plántulas de café.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Costos Variables \$	Costos Fijos \$	Costos Producción \$	Plantas producidas \$	Ingresos \$	Utilidad \$
Bioremec	3	34	425	459	3200	1280	821
Micobacter	3	29,5	425	454,5	4500	1800	1345,5
Micor	3	24	425	449	4000	1600	1151
Micopalm	3	23	425	448	2500	1000	552
Faciag	3	10	425	435	2700	1080	645
Testigo	5	22	425	447	3000	1200	753

Valor de plántula= \$0,40

4.9. Porcentaje de colonización de micorrizas

El porcentaje de colonización de micorriza se aprecia en el Cuadro 9. Se encontró alta significancia estadística para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 5,31 %.

En la evaluación realizada a los 120 días después del trasplante, el mayor registro fue encontrado en las plantas tratadas con Micor 3 gr/planta (100 %), este fue estadísticamente superior a los otros tratamientos. El menor valor fue el del Testigo en dosis de 5 gr/planta (0%).

Cuadro 9. Porcentaje de colonización de micorrizas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Porcentaje de colonización de la micorriza % 120 d.d.t
Bioremec	3	50,00 c
Micobacter	3	58,33 bc
Micor	3	100,00 a
Micopalm	3	75,00 b
Faciag	3	50,00 c
Testigo	5	0,00 d
Promedios		55,56
Significancia Estadística		**
Coeficiente de variación %		5,31

d.d.t.: Días después del trasplante

(**) Altamente significativo

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 5 % de significancia.

4.10. Conteo de esporas de la micorriza

En el cuadro 10, se observa el conteo de esporas de la micorriza y el análisis de población micorrízicas.

El conteo de esporas vivas de micorrizas presentó una mayor cantidad en las plantas tratadas con Bioremec (1 154 esporas por gramo de suelo seco), siendo obtenida una menor cantidad de esporas en las plantas aplicadas con Micobacter y en testigo sin aplicación (678,0 esporas, respectivamente).

4.11. Análisis de población micorrízica

El análisis de población de micorrizas en laboratorio identificó para todos los tratamientos el género *Glomus mosseae*. En los tratamientos Bioremec, Micor y FACIAG también se reportó la presencia de *Gigaspora gigantea*, siendo el tratamiento Bioremec en el cual adicional se encontró *Stecullospora* spp (Cuadro 10).

Cuadro 10. Conteo de esporas de la micorriza y el análisis de población micorrízicas de plántulas de café con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas.

Tratamientos	Dosis gr/planta	Esporas Gss	Análisis de población micorrízica
Bioremec	3	1154	<i>Glomus, Gigaspora, Stecullospora</i>
Micobacter	3	678	<i>Glomus</i>
Micor	3	915	<i>Glomus, Gigaspora</i>
Micopalm	3	956	<i>Glomus</i>
Faciag	3	891	<i>Glomus, Gigaspora</i>
Testigo	5	678	<i>Glomus</i>
Promedios		878,67	

Cuadro 111. Comparación de tratamiento con respuesta fisiológica del cultivo

Tratamientos	Altura de planta 60 d.d.t- 90 d.d.t d.d.t	Emisión foliar 60 d.d.t- 90 d.d.t d.d.t	Diámetro del tallo 60 d.d.t- 90 d.d.t d.d.t	Longitud de la hoja 60 d.d.t- 90 d.d.t d.d.t	Área foliar 60 d.d.t- 90 d.d.t d.d.t	Longitud radical 120 d.d.t	Biomasa radical 120 d.d.t	Análisis económico	Porcentaje de colonización de micorrizas 120 d.d.t	Conteo de esporas de la micorriza 120 d.d.t	Análisis de población micorrizica 120 d.d.t
BIOREME C										1154	<i>Glomus Gigaspora, Stecullospora</i>
MICOBACTER	8,30- 13,73		0,60- 0,68					1345,5			
MICOR		4.50- 8,00		5,00		6,67			100,00		
MICOPAL M											
FACIAG											
TESTIGO				10,40- 11,93	92,00- 199,57						

d.d.t. Días después del trasplante

DISCUSION

Los resultados encontrados demuestran que existieron diferencias agronómicas en las fuentes de hongos micorrízicos estudiados.

Las variables relacionadas con la parte aérea vegetativa presentaron variabilidad en los datos estadísticos encontrados, observando diferencias entre ellos que puedan asegurar una marcada influencia de las fuentes micorrízicas sobre estas variables. El diámetro del tallo presentó diferencias entre tratamientos esto concuerda con (Aguirre, y otros, 2011), quienes manifiestan que el grosor del tallo también se incrementó en las plantas inoculadas con *Glomus intraradices* y cuando se aplicaron los dos microorganismos, *Azospirillum brasilense* y *G. intraradices*. El efecto se presentó estadísticamente diferente desde los 60, 120, 150 y 210 días después de la siembra.

En caso de las variables relacionadas a la parte radicular se presentó una marcada influencia significativa, siendo Micor quien presentó los mejores números, observándose un mejor desarrollo radicular y mayor biomasa de raíces. Esto concuerda con (Forero, Chaves, & Unigarro, 1999) quienes mencionan que los HMA no sólo incrementan la biomasa vegetal sino también que influyen en la proporción a la cual esta se distribuye a la raíz cuyo efecto puede ser transitorio. Esto se puede dar probablemente debido a la competencia entre planta y hongo por fotosintatos en los estados iniciales de la infección cuando el hongo consume sin aportar beneficios o simplemente por las condiciones de invernadero.

Las aplicaciones de micorrizas en el sustrato tuvieron un aumento en función de las poblaciones iniciales, siendo las de mayor porcentaje tanto en colonización como en número de esporas Micor y Micopalm. Esto concuerda con (Ibarra, Aguirre, Ley, Cadena, & Zavala, 2014), quienes indican que la colonización micorrízica fue superior en el sustrato suelo con pulpa de café en comparación con los tratamientos que crecieron en suelo y arena. La distribución de la colonización por micorriza en la raíz avanzó de la corona radical hacia la región media y al final a la inferior. Se observó mayor colonización de la micorriza en la región de la corona radical. El

incremento en la producción de esporas en el sustrato con pulpa de café sugiere proveer un micro hábitat más favorable para la esporulación. Esta condición de mayor número de esporas está relacionada con mayor contenido de materia orgánica del sustrato.

V. CONCLUSIONES

Por los resultados efectuados anteriormente, se detallan las siguientes conclusiones:

1. La altura de plántulas en el ensayo a los 60 y 90 días después del trasplante, no se reportó significancia entre tratamientos.
2. La emisión foliar en el ensayo en diferentes edades no tuvo significancia entre tratamientos a los 60 y 90 días después del trasplante.
3. La variable diámetro del tallo presentó alta significancia a los 60 y 90 días después del trasplante siendo Micobacter 3 gr/planta, quien fue superior estadísticamente a los demás tratamientos.
4. La longitud de hoja en el ensayo a los 60 y 90 días encontró significancia en el Testigo fertilizado.
5. El área foliar en el ensayo a los 60 y 90 días presentó significancia en el Testigo 5 gr/planta (92 cm²).
6. La longitud de raíz realizada a los 120 días después del trasplante tuvo mayor valor en el tratamiento Micor, superior a los otros tratamientos.
7. La biomasa radical dio mayor valor en el tratamiento Micor, superior estadísticamente.
8. En el análisis económico la mayor utilidad se obtuvo con el tratamiento Micobacter con \$1 345,5.
9. El porcentaje de colonización de micorriza obtuvo mayor incremento en el tratamiento Micor, siendo estadísticamente superior.
10. El conteo de esporas vivas de micorrizas presentó una mayor cantidad en las plantas tratadas con Bioremec.
11. El análisis de población de micorrizas identificó para todos los tratamientos el género *Glomus mosseae*; adicionalmente para los tratamientos Bioremec, Micor y FACIAG *Gigaspora gigantea*, y *Stecullospora* spp para Bioremenc.

VI.RECOMENDACIONES

- Emplear el biofertilizante Micor 3gr/planta para mejorar el desarrollo de plántulas de café en vivero.
- Para lograr resultados similares a los obtenidos en el presente estudio, se sugiere aplicar en el vivero las técnicas y procedimientos utilizados en el presente ensayo.
- Realizar un ensayo similar con otros materiales de siembra, aplicando los mismos tratamientos, bajo otras condiciones agroecológicas.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar los complejos micorrizicos asociados al cultivo de plántulas de café (*Coffea canephora*). El trabajo se realizó en los terrenos del sr. Segundo Velasco Velóz, ubicada en el Kilómetro 5 ½ de la Vía Montalvo – Carmen Rosa. Se utilizó la variedad de café robusta con un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 tratamientos y 3 repeticiones, para la evaluación y comparación de medidas de los tratamientos se realizó con la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Dichos tratamientos estuvieron constituidos por Bioremec 3 g/planta, Micobacter 3 g/planta, Micor 3 g/planta, Micopalm 3 g/planta, Faciag 3 g/planta, Testigo 5 g/planta,

Se realizó un análisis microbiológico previo al establecimiento del ensayo, las labores necesarias para el desarrollo del vivero fueron: siembra, trasplante, aplicación de micorrizas (al momento del trasplante en dosis de 3g/planta), control de malezas, control fitosanitario, riego, fertilización, podas y deshojes.

Para estimar los efectos de los tratamientos se tomaron las siguientes variables: la altura de planta, emisión foliar, diámetro de tallo, longitud de hoja, área foliar a los 60 y 90 días después del trasplante, la longitud radicular, biomasa radical, porcentaje de colonización de micorrizas, conteo de esporas de la micorriza, análisis de población micorrízica y análisis económico a los 120 días después del trasplante.

Los resultados determinaron que las aplicaciones de los diferentes tipos de micorrizas incidieron sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas en el vivero, estimulando el aumento de biomasa y longitud radicular. El mejor tratamiento fue Micor en dosis de 3 g/planta en comparación con el tratamiento Testigo. En cuanto al análisis económico se observó que la mayor utilidad se obtuvo con el tratamiento Micobacter en dosis 3 gr/planta con \$1345,5.

Palabras claves: Café robusta, Micorriza, *Glomus*, Inoculación, colonización micorrízicos.

SUMMARY

The objective of this investigation was to evaluate the mycorrhizal complexes associated with the cultivation of coffee seedlings (*Coffea canephora*). The work was carried out in the lands of mr. Second Velasco Velóz, located at Kilometer 5 ½ of Vía Montalvo - Carmen Rosa. Robusta coffee variety was used with an experimental design of randomized complete blocks, with 6 treatments and 3 repetitions, for the evaluation and comparison of measures of treatments was performed with the Tukey test at 95% probability. These treatments consisted of Bioremec 3 g / plant, Micobacter 3 g / plant, Micor 3 g / plant, Micopalm 3 g / plant, Faciag 3 g / plant, Testigo 5 g / plant,

A microbiological analysis was carried out prior to the establishment of the trial, the necessary tasks for the development of the nursery were: sowing, transplanting, application of mycorrhizae (at the time of the transplant in doses of 3g / plant), weed control, phytosanitary control, irrigation, fertilization, pruning and defoliation.

To estimate the effects of the treatments, the following variables were taken: plant height, leaf emission, stem diameter, leaf length, foliar area at 60 and 90 days after transplant, root length, root biomass, percentage of colonization of mycorrhizae, count of mycorrhizal spores, analysis of mycorrhizal population and economic analysis at 120 days after transplantation.

The results determined that the applications of the different types of mycorrhizae affected the growth and development of the seedlings in the nursery, stimulating the increase of biomass and root length. The best treatment was Micor at a dose of 3 g / plant compared to the control treatment. Regarding the economic analysis, it was observed that the highest utility was obtained with the Micobacter treatment in doses 3 gr / plant with \$ 1345.5.

Keywords: Robust coffee, Mycorrhiza, Glomus, Inoculation, Mycorrhizal colonization.

LITERATURA CITADA

Aguilera, L., Olalde, V., Arriaga, R., & Contreras, R. A. (2007). Micorrizas arbusculares. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 300-306.

Aguirre, J. (2006). Biofertilizantes microbianos: Experiencias agrómicas del Programa Nacional Inifap en Mexico. México.

Aguirre, J., Moroyoqui, D., Mendoza, A., Cadena, J., Avendaño, C., & Aguirre-Cadena, J. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inculadas a Coffea arabica en vivero. Agronomía Mesoamericana, 71-80.

Ancupa. (2017). Ancupa. Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de <http://ancupa.com/mycopalm/>

Andrade, A. (2010). Ciencia. Recuperado el 2 de Enero de 2019, de https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf

Andrade, S., Mazzafera, P., Schiavinato, M., & Silveira, A. (2009). Arbuscular mycorrhizal association in coffee. Journal of Agricultural Science, 105-115. doi:10.1017/S0021859608008344

Azcón, C., & Barea, J. (1996). Arbuscular mycorrhiza and biological control of soil-borne plant pathogens- and over- view of the mechanism involved. Mycorrhiza, 457-464.

Barea, J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. Soil Biology, III, 195-212.

Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias, (págs. 123-132).

Barrera, j., & Arango, G. (16 de Septiembre de 2015). Engormix. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/uso-manejo-micorrizas-investigacion-t32322.htm>

Barrera, J., & Arango, G. (18 de Enero de 2016). Engormix. Recuperado el 23 de Diciembre de 2018, de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/uso-manejo-micorrizas-nutricion-t32321.htm>

Bernal, G., & Morales, R. (2006). Bernal, G., & Morales, R. Micorrizas: Importancia, Producción e investigación en el Ecuador. Quito- Ecuador.

Camarena, G. (2012). INTERACCIÓN PLANTA-HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 409-421.

Camargo, S., Montaña, N., De la Rosa, C., & Montaña, S. (1 de Julio de 2012). MICORRIZAS: UNA GRAN UNIÓN. Revista Digital Universitaria UNAM, 3.

Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, Trichoderma spp. y Pseudomonas spp. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica(14), 15-31.

Castro, I. (2009). Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas asociados a plantas de interés ecológico en ambientes mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Granada . Granada, España.

CIAT. (1983). Manual de Métodos para la investigación de la micorriza versículo - arbuscular en el laboratorio. Cali, Colombia.

Cruz, B. (Julio de 1999). Micorrización en la conservación de los bosques. Ciencia Ergo Sum, 162.

Duchicela, J. (2001). Proyecto de tesis. Evaluación del uso de endomicorrizas vesículo arbuscular (MVA) en la obtención de plantulas de tomate de arbol Solanum betaceum Cav. Sangolquí- Ecuador: ESPE-Facultad de Ciencias gropecurias.

Duicela, L., Corral, R., Farfán, D., Cedeño, L., Palma, R., Sánchez, J., & Villasis, J. (1985). Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agroecosistemas del Ecuador. Manta: Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC)-Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA).

Espinoza, G. (24 de Julio de 2018). Paradais Sphynx. Recuperado el 19 de Diciembre de 2018, de <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/ecologia/micorrizas.htm>

Fenecsa. (7 de agosto de 2013). Fenecsa. Recuperado el 5 de Septiembre de 2018, de <http://www.fenecsa.com.ec/micro-organismos>

Feniagro. (Octubre de 2010). Federación de Cooperativas Agroindustriales de Nicaragua. Recuperado el 8 de Diciembre de 2018, de <http://www.renida.net.ni/renida/funica/REE14-F981b.pdf>

Forero, L., Chaves, G., & Unigarro, A. (1999). Evaluación cuatitativa de hongos formadores de micorriza vesículo-arbuscular en malezas de clima medio. VIPRI, 111.

González, A. M. (2008). Botánica Morfológica. Recuperado el 2 de Enero de 2019, de <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema20/20-9micorrizas.htm>

González, M. (2005). Estudio de los mecanismos implicados en la homeostasis de metales pesados con el hongo formador de micorrizas arbusculares *glomus intraradices*. grnd-eudor: uniersidd de grnd.

Guerra, B. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha, 191-201.

Hernández. (1999). Centro de estudios ecológicos. Recuperado el 9 de Diciembre de 2018, de <http://www.cdeea.com/micorrizas1.htm>

Ibarra, J., Aguirre, J., Ley, A., Cadena, J., & Zavala, G. (2014). *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner Inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. Chapingo Serie Horticultura, 201-213.

IBC. (1981). Práticas culturais no cafezal. Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil. Instituto Brasileiro do café, Rio de Janeiro-Brasil.

ICO. (2010). Organización Internacional del café. Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de www.ico.org

Inecol. (2008). Instituto de Ecología. Recuperado el 2 de Enero de 2019, de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/328-ectomicorrizas-asociaciones-beneficas-entre-hongos-y-raices-de-arboles-en-el-suelo-de-nuestros-bosques>

Martínez, L. B., & Pugnaire, F. I. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*(12), 44-54.

Micorrizas. (2 de Mayo de 2009). *blogspot*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2018, de <http://greis-micorrizas.blogspot.com/>

Montero, A. (5 de Marzo de 2015). Observatorio Dehesa Montado. Obtenido de http://observatoriodehesamontado.juntaex.es/paginas/descargar_adjunto.php?id_adjunto=43&id_pagina=208

Nardini, C., Di Salvo, L., & García, I. (2011). Micorrizas arbusculares: asociaciones simbióticas e indicadores de calidad ambiental en sistemas de cultivos extensivos. *Revista Argentina de Microbiología*, 311.

Ortaş, I., & Varma, A. (2007). Field trials of bioinoculants Advanced techniques in Soil Microbiology. *Soil Biology*, 397-413.

Peña, C., Cardona, G., Mazorra, A., Arguelles, J., & Arcos, A. (2006). Micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana. Instituto Colombiano de Investigaciones Científicas - Sinchi.

Pérez, A., Bustamante, C., Rodríguez, R., Díaz, A., Bertot, M., & Rodríguez, I. (2002). Influencia de diferentes variantes de fertilización en el crecimiento y

desarrollo de posturas *Coffea canephora* Pierre. *Cultivos Tropicales*, 89-93. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193218135012.pdf>

Pérez, A., Rojas, J., & Montes, D. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares una alternativa para la agricultura sostenible. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 374.

Popoff, O. (2006). Hipertextos del Área de Biología. Recuperado el 2 de Enero de 2019, de <http://www.biologia.edu.ar/fungi/micorrizas.htm>

Postma, J., Olsson, P., & Falkengren, U. (2007). Root colonisation by arbuscular mycorrhizal, fine endophytic and dark septate fungi across a pH gradient in acid beech forest. *Soil Biology & Chemistry*, 400-408.

PROEcuador. (2013). Análisis Sectorial de Café. Ecuador: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones.

Reuters. (15 de Diciembre de 2017). Obtenido de <https://lta.reuters.com/articulo/cafe-usda-produccion-idLTAKBN1E92TN-OU5LB>

Rivas, M., & Warner, J. (23 de Diciembre de 2013). *Natura Lasflores*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de <https://naturalasflores.wordpress.com/2013/12/23/los-hongos-que-alimentan-a-las-orquideas/>

Rivera, R., & Fernández, K. (2003). Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. *MINREX*, 166.

Rivera, R., Fernández, F., Fernández, K., Ruíz, L., Sánchez, C., & Riera, M. R. (2007). Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystem,. *Haworth Press Inc*, 151-196.

Roman, F. (2003). Tesis Dr. Biotecnología. Concentración de reguladores de desarrollo vegetal inducida por los hongos Endomicorrízicos en dos cultivares de Chile (*Capsicum annum*) L.) . Colima- México: Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias.

Saggin, O., Siqueira, J., Colozzi, A., & Oliveira, E. (1992). A infestacao do solo com fungos micorrízicos no crescimento post-trasplante de mudas de cafeiro nao micorrizadas. *Revista Brasileira de Ciencia do solo*, 39-46.

Sánchez, C., Caballero, D., Rivera, R., & Cupull, R. (Enero de 2006). Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto. I Parte. Suelo pardogleyzoso. Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/228703949_Respuesta_de_cepas_de_hongos_micorrizogenos_HMA_sobre_el_desarrollo_de_posturas_de_cafeto_I_Parte_Suelo_pardo_gleyzoso

Sanchez, M., Posada, R., Velasquez, D., & Narvaez, M. (2010). Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Palmira: Taller de Publicaciones Divulgación Académica y Cultural Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Sipa. (2018). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado el 5 de Junio de 2018, de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cafe>

Sylvia, M. (2005). *Mycorrhizal symbioses*. Pearson Prentice Hall, 263-282.

Tian, C., Feng, G., Li, X., & Zhang, F. (2004). Different effects of arbuscular mycorrhizal fungi isolates from saline or non- saline soil on salinity tolerance of plants. *Applied Soil Ecology* , 143-148.

Turnau, K., Ryszka, P., Anielska, T., Gawronski, S., & Jukiewicz, A. (2006). Role of mycorrhizal fungi in phytoremediation and toxicity monitoring of heavy metal rich industrial wastes in Southern Poland. Netherlands.

Van der Heijden, M., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 296-310.

APÉNDICE

Altura de planta

Análisis de la varianza a los 60 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
ALTURA	18	0.46	0.08	12.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	7.05	7	1.01	1.21	0.3806
TRATAMIENTOS	3.17	5	0.63	0.76	0.5988
REPETICIONES	3.88	2	1.94	2.32	0.1483
Error	8.35	10	0.84		
<u>Total</u>	<u>15.40</u>	<u>17</u>			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.59179

Error: 0.8352 gl: 10

<u>TRATAMIENTOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
MICOPALM	7.00	3	0.53	A
FACIAG	7.30	3	0.53	A
TESTIGO	7.33	3	0.53	A
BIOREMEC	7.50	3	0.53	A
MICOR	7.83	3	0.53	A
<u>MICOBACTER</u>	<u>8.30</u>	<u>3</u>	<u>0.53</u>	<u>A</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.44643

Error: 0.8352 gl: 10

<u>REPETICIONES</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
2	7.18	6	0.37 A
1	7.25	6	0.37 A
3	8.20	6	0.37 A

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

Análisis de la varianza a los 90 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
ALTURA	2	18	0.59	0.31 13.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	38.34	7	5.48	2.08	0.1414
TRATAMIENTOS	29.48	5	5.90	2.24	0.1299
REPETICIÓN	8.86	2	4.43	1.68	0.2341
Error	26.30	10	2.63		
Total	64.65	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.59944

Error: 2.6303 gl: 10

<u>TRATAMIENTOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
MICOPALM	10.27	3	0.94 A
FACIAG	10.70	3	0.94 A
TESTIGO	10.93	3	0.94 A
BIOREMEC	11.07	3	0.94 A
MICOR	13.00	3	0.94 A

MICOBACTER 13.73 3 0.94 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.56685

Error: 2.6303 gl: 10

REPETICIÓN Medias n E.E.

2 10.78 6 0.66 A

1 11.57 6 0.66 A

3 12.50 6 0.66 A

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

Emisión foliar

Análisis de la varianza a los 60 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>	
EMISIÓN FOLIAR	1	18	0.25	0.00	9.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.51	7	0.07	0.47	0.8344
TRATAMIENTOS	0.40	5	0.08	0.52	0.7577
REPETICIONES	0.11	2	0.06	0.36	0.7082
Error	1.56	10	0.16		
Total	2.07	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.11852

Error: 0.1556 gl: 10

TRATAMIENTOS Medias n E.E.

MICOPALM 4.00 3 0.23 A

TESTIGO 4.33 3 0.23 A

MICOBACTER 4.33 3 0.23 A

FACIAG 4.33 3 0.23 A

BIOREMEC 4.33 3 0.23 A

MICOR 4.50 3 0.23 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.62422

Error: 0.1556 gl: 10

REPETICIONES Medias n E.E.

3 4.25 6 0.16 A

2 4.25 6 0.16 A

1 4.42 6 0.16 A

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

Análisis de la varianza a los 90 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
EMISIÓN FOLIAR	2	18	0.62	0.35 8.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	6.43	7	0.92	2.31	0.1109
TRATAMIENTOS	4.40	5	0.88	2.22	0.1330
REPETICIONES	2.03	2	1.01	2.55	0.1272
Error	3.97	10	0.40		
<u>Total</u>	<u>10.40</u>	<u>17</u>			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.78738

Error: 0.3972 gl: 10

TRATAMIENTOS Medias n E.E.

MICOPALM 6.50 3 0.36 A

TESTIGO 6.67 3 0.36 A

BIOREMEC 7.00 3 0.36 A

MICOBACTER 7.33 3 0.36 A

FACIAG 7.33 3 0.36 A

MICOR 8.00 3 0.36 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.99750

Error: 0.3972 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
2	6.67	6	0.26	A
3	7.33	6	0.26	A
1	7.42	6	0.26	A

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

Diámetro del tallo

Análisis de la varianza a los 60 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIÁMETRO DE TALLO1	18	0.84	0.73	7.15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	7	0.01	7.66	0.0024
TRATAMIENTOS	0.05	5	0.01	8.36	0.0024
REPETICIONES	0.01	2	0.01	5.91	0.0202
Error	0.01	10	1.2E-03		
Total	0.08	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.09915

Error: 0.0012 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
MICOBACTER	0.60	3	0.02	A
MICOR	0.50	3	0.02	B
MICOPALM	0.47	3	0.02	B
FACIAG	0.47	3	0.02	B
BIOREMEC	0.47	3	0.02	B
TESTIGO	0.43	3	0.02	B

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05533

Error: 0.0012 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
2	0.52	6	0.01	A
1	0.50	6	0.01	A B
3	0.45	6	0.01	B

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

Análisis de la varianza a los 90 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIÁMETRO DE TALLO2	18	0.95	0.91	1.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	7	1.3E-03	25.00	<0.0001
TRATAMIENTOS	0.01	5	1.7E-03	34.60	<0.0001
REPETICIONES	1.0E-04	2	5.0E-05	1.00	0.4019
Error	5.0E-04	10	5.0E-05		
Total	0.01	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02005

Error: 0.0001 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
MICOBACTER	0.68	3	4.1E-03	A
MICOR	0.65	3	4.1E-03	B
MICOPALM	0.63	3	4.1E-03	B C
FACIAG	0.63	3	4.1E-03	B C
BIOREMEC	0.63	3	4.1E-03	B C
TESTIGO	0.61	3	4.1E-03	C

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01119

Error: 0.0001 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
1	0.64	6	2.9E-03	A
3	0.64	6	2.9E-03	A
2	0.64	6	2.9E-03	A

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

Longitud de la hoja

Análisis de la varianza a los 60 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LONGITUD DE HOJA	18	0.68	0.46	11.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19.56	7	2.79	3.04	0.0545
TRATAMIENTOS	19.39	5	3.88	4.22	0.0253
REPETICIONES	0.17	2	0.09	0.09	0.9103
Error	9.19	10	0.92		
Total	28.76	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.71900

Error: 0.9192 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
TESTIGO	10.40	3	0.55	A
MICOR	8.77	3	0.55	A B
FACIAG	8.23	3	0.55	A B
MICOBACTER	7.63	3	0.55	B
BIOREMEC	7.50	3	0.55	B
MICOPALM	7.43	3	0.55	B

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.51742

Error: 0.9192 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
3	8.47	6	0.39	A
2	8.27	6	0.39	A
1	8.25	6	0.39	A

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

Análisis de la varianza a los 90 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LONGITUD DE HOJA	18	0.46	0.09	11.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.92	7	1.85	1.23	0.3685
TRATAMIENTOS	7.04	5	1.41	0.94	0.4951
REPETICIONES	5.88	2	2.94	1.97	0.1906
Error	14.96	10	1.50		
Total	27.88	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.46869

Error: 1.4960 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
TESTIGO	11.93	3	0.71	A
MICOR	11.03	3	0.71	A
FACIAG	10.87	3	0.71	A
MICOBACTER	10.53	3	0.71	A
BIOREMEC	10.17	3	0.71	A
MICOPALM	10.07	3	0.71	A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.93580

Error: 1.4960 gl: 10

<u>REPETICIONES</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
3	11.27	6	0.50	A
1	11.07	6	0.50	A
2	9.97	6	0.50	A

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

Área foliar

Análisis de la varianza a los 60 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
ÁREA FOLIAR	18	0.76	0.59	6.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	870.95	7	124.42	4.44	0.0172
TRATAMIENTOS	645.97	5	129.19	4.61	0.0193
REPETICIONES	224.98	2	112.49	4.01	0.0526
Error	280.39	10	28.04		
Total	1151.34	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=15.01678

Error: 28.0386 gl: 10

<u>TRATAMIENTOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
TESTIGO	92.00	3	3.06	A
MICOR	83.87	3	3.06	A B
FACIAG	80.27	3	3.06	A B
MICOBACTER	78.23	3	3.06	A B

BIOREMEC	77.30	3	3.06	A	B
MICOPALM	72.97	3	3.06		B

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=8.38056

Error: 28.0386 gl: 10

<u>REPETICIONES</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
1	85.22	6	2.16	A	
3	80.53	6	2.16	A	B
2	76.57	6	2.16		B

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

Análisis de la varianza a los 90 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
ÁREA FOLIAR	2	18	0.62	0.35 9.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	5290.78	7	755.83	2.31	0.1107
TRATAMIENTOS	5036.17	5	1007.23	3.08	0.0610
REPETICIONES	254.61	2	127.30	0.39	0.6870
Error	3265.16	10	326.52		
Total	8555.94	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=51.24497

Error: 326.5159 gl: 10

<u>TRATAMIENTOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
TESTIGO	199.57	3	10.43	A
MICOR	197.40	3	10.43	A
FACIAG	195.60	3	10.43	A
MICOBACTER	183.03	3	10.43	A
BIOREMEC	161.87	3	10.43	A

MICOPALM 158.67 3 10.43 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=28.59877

Error: 326.5159 gl: 10

REPETICIONES Medias n E.E.

3 185.93 6 7.38 A

1 184.72 6 7.38 A

2 177.42 6 7.38 A

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

Longitud radicular

Análisis de la varianza a los 120 días

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
LONGITUD RADICULAR	18	0.98	0.97	7.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	26.56	7	3.79	68.29	<0.0001
TRATAMIENTOS	26.44	5	5.29	95.20	<0.0001
REPETICIONES	0.11	2	0.06	1.00	0.4019
Error	0.56	10	0.06		
<u>Total</u>	<u>27.11</u>	<u>17</u>			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.66844

Error: 0.0556 gl: 10

TRATAMIENTOS Medias n E.E.

MICOR 5.00 3 0.14 A

MICOPALM 4.00 3 0.14 B

MICOBACTER 3.33 3 0.14 B C

BIOREMEC	3.00	3	0.14	C
FACIAG	3.00	3	0.14	C
TESTIGO	1.00	3	0.14	D

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37304

Error: 0.0556 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.
2	3.33	6	0.10 A
1	3.17	6	0.10 A
3	3.17	6	0.10 A

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

Biomasa radical

Análisis de la varianza a los 120 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BIOMASA RADICAL	18	0.74	0.56	12.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.06	7	1.87	4.09	0.0223
TRATAMIENTOS	12.94	5	2.59	5.68	0.0097
REPETICIONES	0.11	2	0.06	0.12	0.8865
Error	4.56	10	0.46		
Total	17.61	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.91412

Error: 0.4556 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
MICOR	6.67	3	0.39 A
MICOPALM	6.00	3	0.39 A
MICOBACTER	5.00	3	0.39 A B

BIOREMEC	5.00	3	0.39	A	B
FACIAG	5.00	3	0.39	A	B
TESTIGO	4.00	3	0.39		B

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.06823

Error: 0.4556 gl: 10

REPETICIONES	Medias	n	E.E.		
3	5.33	6	0.28	A	
2	5.33	6	0.28	A	
1	5.17	6	0.28	A	

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

Porcentaje de colonización de micorrizas

Análisis de la varianza a los 120 días

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN..	18	0.98	0.97	10.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16597.22	7	2371.03	68.29	<0.0001
TRATAMIENTOS	16527.78	5	3305.56	95.20	<0.0001
REPETICIONES	69.44	2	34.72	1.00	0.4019
Error	347.22	10	34.72		
Total	16944.44	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=16.71102

Error: 34.7222 gl: 10

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
MICOR	100.00	3	3.40	A	
MICOPALM	75.00	3	3.40		B

MICOBACTER	58.33	3	3.40	B	C
BIOREMEC	50.00	3	3.40		C
FACIAG	50.00	3	3.40		C
<u>TESTIGO</u>	<u>0.00</u>	<u>3</u>	<u>3.40</u>		<u>D</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=9.32608

Error: 34.7222 gl: 10

<u>REPETICIONES</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
2	58.33	6	2.41	A	
1	54.17	6	2.41	A	
<u>3</u>	<u>54.17</u>	<u>6</u>	<u>2.41</u>	<u>A</u>	

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

ANEXOS

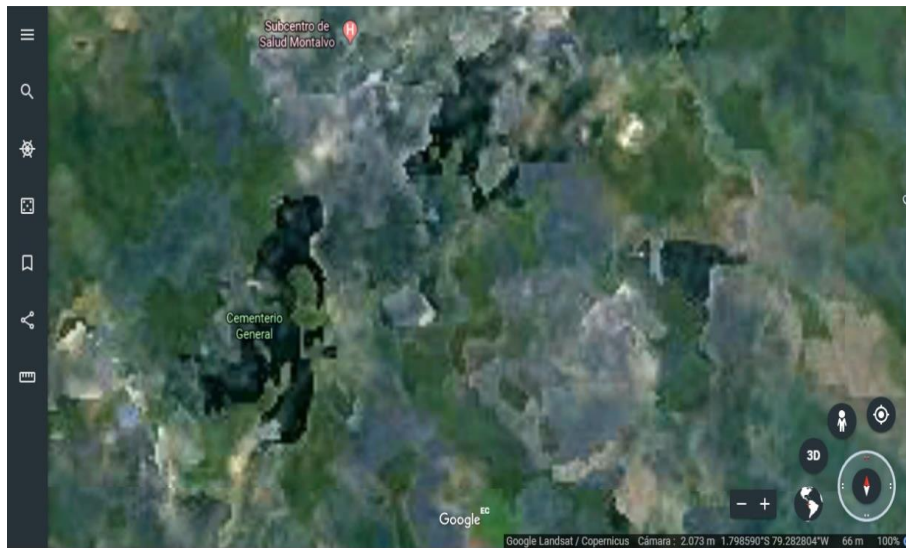


Figura 1. Ubicación del trabajo experimental



Figura 2. Preparación de sustrato



Figura 3. Siembra de semillero



Figura 4. Trasplante



Figura 5. Aplicación de los diferentes complejos micorrízicos



Figura 6. Control de malezas



Figura 7. Control Fitosanitario.



Figura 8. Riego



Figura 9. Fertilización



Figura 10. Poda



Figura 11. Altura de Planta



Figura 12. Emisión Foliar



Figura 13. Diámetro del tallo



Figura 14. Longitud de hoja



Figura 15. Área foliar



Figura 16. Longitud radicular

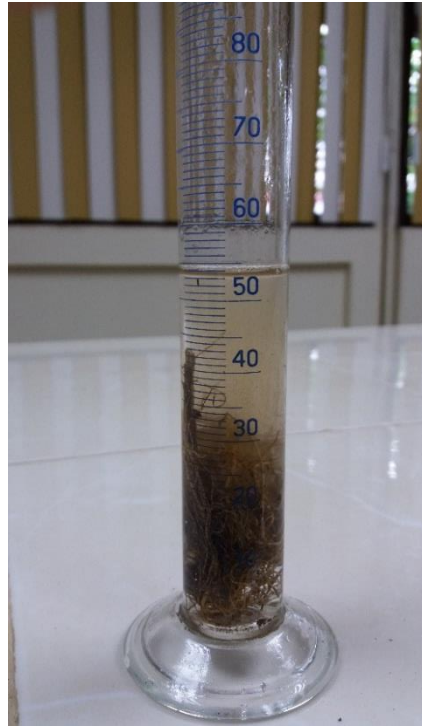


Figura 17. Biomasa Radical



Figura 18. Plántulas a los 30 días después del trasplante.



Figura 19. Plántulas a los 60 días después del trasplante.



Figura 20. Plántulas a los 90 días después del trasplante.



Figura 21. Plántulas a los 120 días después del trasplante.



Figura 22. Visita del tutor.

