

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**EVALUACIÓN DE CINCO DOSIS DE HONGOS MICORRÍDICOS EN EL
ENRAIZAMIENTO DE PLANTAS DE MACADAMIA *INTEGRIFOLIA*, DE DOS
DISTINTAS EDADES, PUEBLO NUEVO, SUCHITEPÉQUEZ.**

**ESPERANZA JASDI YOSIM ESCARLET RODRÍGUEZ SANTOS
CARNÉ: 201342132**

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, JULIO DE 2,023

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**EVALUACIÓN DE CINCO DOSIS DE HONGOS MICORRÍDICOS EN EL
ENRAIZAMIENTO DE PLANTAS DE MACADAMIA *INTEGRIFOLIA*, DE DOS
DISTINTAS EDADES, PUEBLO NUEVO, SUCHITEPÉQUEZ.**

**ESPERANZA JASDI YOSIM ESCARLET RODRÍGUEZ SANTOS
CARNÉ: 201342132**

**ING. AGR. MSc. JOSÉ MARÍA TAMATH MÉRIDA
ASESOR**

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, JULIO DE 2,023

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

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

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

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

REPRESENTANTE DE PROFESORES

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

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

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

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

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

MSc. Tania María Cabrera Ovalle
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

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

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

AGRADECIMIENTO

A:

Mis padres: Por siempre apoyarme y darme todo lo necesario para culminar mis estudios, prácticas, y proyectos todos estos años.

Universidad de San Carlos de Guatemala, por la gran oportunidad de formarme en estudios superiores de manera accesible, educando profesionales competitivos.

Carrera de Agronomía Tropical del Centro Universitario de Suroccidente, por todos los conocimientos impartidos a través de cada uno de sus docentes.

Finca Paris y Joven Francia, Pueblo Nuevo Suchitepéquez, por darme la oportunidad de realizar la investigación y apoyarme con los insumos y personal.

Asesor de práctica y de esta investigación, ingeniero agrónomo José María Tamath, por su guía y corrección de investigación y documento de principio a fin.

Evaluador y revisor de esta investigación los ingenieros Héctor Posadas y Alfredo Tobar, por corregirme y aconsejarme en la elaboración de esta investigación.

Con las personas que siempre me apoyaron en la ejecución de campo de esta investigación y en diversos trabajos de servicio en la finca.

Índice

Contenido	Pág.
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Marco conceptual.....	2
2.1.1 Origen del cultivo de macadamia (<i>Macadamia integrifolia</i>).....	2
2.1.2 Clasificación taxonómica.....	2
2.1.3 ¿Por qué se llama macadamia?.....	2
2.1.4 Características botánicas	3
2.1.4.1 La raíz	3
2.1.4.2 Suelos	4
2.1.4.3 Textura	4
2.1.4.4 Temperatura.....	4
2.1.5. Micorrizas	4
2.1.5.1 Taxonomía	5
2.1.5.2 Beneficios de los hongos micorrícicos.....	6
2.1.5.3 Tipos de micorrizas	6
2.1.5.3.1 Ectomicorrizas	9
2.1.5.3.2 Endomicorrizas	10
2.1.5.4 Características de la relación simbiótica.....	12
2.2 Marco referencial	13
2.2.1 Localización del experimento	13
2.2.2 Croquis de la unidad productiva.....	14
2.2.3 Características físico-biológicas.....	15
2.2.3.1 Clima	15
2.2.3.2 Altitud	15
2.2.3.3 Temperatura.....	15
2.2.3.4 Precipitación.....	15

2.2.4 Generalidades del manejo del almácigo.	15
2.2.5 Descripción de los hongos micorrícicos a utilizar.	16
2.1.5.1 Evaluaciones científicas de micorrizas aplicadas a cultivos.....	17
III. OBJETIVOS	19
3.1 General	19
3.2 Específicos.....	19
IV. HIPÓTESIS.....	20
4.1 Hipótesis alternativa (Ha).....	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS	21
5.1 Material experimental.....	21
5.2 Recursos	21
5.2.1 Recursos físicos	21
5.2.2 Recursos humanos.....	21
5.2.3 Recursos financieros	21
5.3 Unidad experimental.	22
5.4 Tratamientos evaluados.....	22
5.5 Diseño experimental	24
5.6 Modelo estadístico	24
5.7 Croquis de los dos grupos de plantas	25
5.7.1 Croquis del experimento plantas de cuatro meses	25
5.7.2 Croquis del experimento plantas de dos meses y medio	25
5.8 Variables de respuesta a medir	25
VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	26
6.1 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES DE PLANTAS DE DOS MESES Y MEDIO Y CUATRO MESES DE EDAD.....	26
6.1.1 Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de altura en plantas de almácigo de macadamia.	26
6.1.2 Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de diámetro de tallo en plantas de almácigo de macadamia.	30
6.1.3 Medir el efecto de las dosis en el aumento de número de hojas en plantas de almácigo de macadamia.	34

6.1.4	Observar el efecto de las dosis en el nivel de colonización micorrícico en las raíces (escala subjetiva).....	38
6.1.5	Medir el efecto de las dosis en la longitud de raíz primaria en plantas de almácigo de macadamia.	39
6.1.6	Medir el efecto de las dosis en el número de raíces en plantas de almácigo de macadamia.	44
6.1.7	Medir el efecto de las dosis en el peso fresco y seco de raíces en plantas de almácigo de macadamia.	48
VII.	CONCLUSIONES	54
VIII.	RECOMENDACIONES.....	55
IX.	REFERENCIAS	56
X.	ANEXOS	61

Índice de Cuadros

No.	Cuadro	Pág.
1.	Datos utilizados para análisis de varianza de altura de plantas.	27
2.	Análisis de varianza de altura de plantas en centímetros.	27
3.	Datos utilizados para análisis de varianza de altura de plantas en cm.	28
4.	Análisis de varianza de altura de plantas.	29
5.	Datos utilizados para análisis de varianza de diámetro de tallo.	31
6.	Análisis de varianza de diámetro de tallo.	31
7.	Datos utilizados para análisis de varianza de diámetro de tallo en cm.	32
8.	Análisis de varianza de diámetro de tallo.	33
9.	Datos utilizados para análisis de varianza de número de hojas por planta.	35
10.	Análisis de varianza de número de hojas por planta.	35
11.	Datos utilizados para análisis de varianza de número de hojas por planta.	36
12.	Análisis de varianza de número de hojas por planta.	37
13.	Datos utilizados para análisis de varianza de longitud de raíz primaria en centímetros.	40
14.	Análisis de varianza de longitud de raíz primaria.	41
15.	Datos utilizados para análisis de varianza de longitud de raíz primaria por planta.	42
16.	Análisis de varianza de longitud de raíz primaria.	42
17.	Datos utilizados para análisis de varianza de número de raíces por planta.	45
18.	Análisis de varianza de número de raíces por planta.	45
19.	Datos utilizados para análisis de varianza de número de raíces por planta.	46
20.	Análisis de varianza de número de raíces por planta.	47
21.	Datos utilizados para análisis de varianza de peso fresco de raíces por planta en gr.	49
22.	Análisis de varianza de peso fresco de raíces.	50
23.	Datos utilizados para análisis de variancia de peso fresco de raíces por planta en gr.	51
24.	Análisis de varianza de peso fresco de raíces.	51

No.	Índice de Figuras Figura	Pág.
1.	Nuez de macadamia.....	3
2.	Raíz fibrosa y superficial del árbol de macadamia.....	4
3.	Funcionamiento de la endomicorriza.....	7
4.	Micorrizas producidas por <i>Glomus sp</i>	7
5.	Principales tipos de micorrizas. 1. ectomicorrizas; 2. micorrizas vesículo-arbusculares (MVA); 3. micorrizas orquidoides; 4. micorrizas ericoides; 5. micorrizas arbutoides.....	8
6.	Raíces modificadas en la ectomicorriza formada por un hongo desconocido sobre <i>Fagus sylvatica</i>	9
7.	SEM de raíz de pino colonizada por <i>Pisolithus tinctorius</i> . Manto de hifas (flecha)	10
8.	ECM en corte transversal de raíz de <i>Populus tremuloides</i> mostrando hifas en laberinto de la red de Hartig (flecha).	10
9.	Arbuscules de <i>Glomus mosseae</i> en el córtex de una raíz de <i>Allium porrum</i> . .	11
10.	Vesículas en córtex de una raíz de Yerba mate (<i>Ilex paraguariensis</i>).....	11
11.	Croquis de finca "Paris y Joven Francia"	14
12.	Croquis del experimento plantas de cuatro meses	25
13.	Croquis del experimento plantas de dos meses y medio.....	25
14.	A y B. Algunas imágenes de toma de datos de altura de planta a cada 15 días.	26
15.	Gráfica de altura de plantas en cm. Dos meses y medio de edad.....	28
16.	Gráfica de altura de plantas en cm. Cuatro meses de edad.....	29
17.	A y B. Algunas imágenes de toma de datos de diámetro de tallo a cada 15 días.....	30
18.	Gráfica de diámetro de tallo en cm. Dos meses y medio de edad.....	32
19.	Gráfica de diámetro de tallo en cm. Cuatro meses de edad.....	33
20.	A y B. Algunas imágenes de toma de datos de conteo de número de hojas a cada 15 días.	34
21.	Gráfica de número de hojas por planta, dos meses y medio de edad.....	36

22. Gráfica de número de hojas por planta, cuatro meses de edad.	37
23. A y B. Raíces sin ningún manto de hifas blancas característica de la presencia de hongos micorrícicos.	39
24. Medición de raíz primaria.	40
25. Gráfica de longitud de raíz primaria en cm. Dos meses y medio de edad.	41
26. Gráfica de longitud de raíz primaria por planta, cuatro meses de edad.	43
27. Conteo de número de raíces secundarias.....	44
28. Gráfica de número de raíces por planta, dos meses y medio de edad.	46
29. Gráfica de número de raíces por planta, cuatro meses de edad.	47
30. A y B. Peso fresco de raíces.	49
31. Gráfica de peso fresco de raíces por planta en gr. Dos meses y medio de edad.	50
32. Gráfica de peso fresco de raíces por planta en gr. Cuatro meses de edad. ...	52
33. A. Plantas de macadamia de 2 meses y medio de edad. B. Plantas de macadamia de 4 meses de edad.....	61
34. A y B. Producto comercial utilizado marca Rhyzol.....	61
35. A y B. Resiembras de plantías de macadamia caídas.....	62
36. A Y B. Plantías de macadamia muertas.....	62
37. A y B. Preparación de las dosis para la primera aplicación.	63
38. A y B. Primera aplicación de los tratamientos, 16 de septiembre.....	63
39. Plantas identificadas de 2 meses y medio de edad.	64
40. Plantas identificadas de 4 meses de edad.	64
41. A y B. Segunda aplicación de los tratamientos, 16 de diciembre.	65
42. A. Toma de datos de altura de planta. B. Diámetro de tallo. C. Conteo de número de hojas a cada 15 días.	65
43. A, B y C. Algunas imágenes de corte y limpieza de raíces al finalizar el experimento.	66
44. A y B. Raíces identificadas. C. Raíces remojadas en agua para que soltaran toda la tierra.	66
45. A y B. Peso fresco de raíces en el laboratorio del centro universitario.....	67
46. A y B. Raíces dejadas en horno secador por 24 horas a 60°Celsius.	67

RESUMEN

El cultivo de macadamia necesita de cuidados en todas sus etapas de crecimiento para tener un desarrollo adecuado en el campo definitivo y evitar tener una planta débil. Una de las partes de la planta que se necesita fortalecer desde temprana edad es la raíz, ya que esta por ser de tipo superficial es susceptible al viento, enfermedades y plagas.

Debido al tipo de raíz que poseen las plantas de macadamia, en finca Paris y Joven Francia, se busca fortalecer el sistema radicular en plantas jóvenes y resiembra que se encuentran a los alrededores de la finca con productos biológicos, como lo son los hongos benéficos.

En este experimento se evaluó el efecto de cinco dosis de hongo micorrízico arbuscular en la raíz de plantas de macadamia en etapa de vivero de dos y medio y cuatro meses de edad, para conocer cuál de estas dosis da un mejor efecto. La edad de las plantas se midió a partir del trasplante a bolsa de las mismas.

El experimento tuvo un diseño completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones, las dosis de los tratamientos fueron las siguientes:

0.25cc, 0.37cc, 0.5cc, 0.63cc y 0.75cc Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por planta y testigo relativo sin ninguna dosis aplicada.

Las variables evaluadas fueron:

- Desarrollo vegetativo de la planta (altura, diámetro de tallo, número de hojas)
- Medición de raíz primaria y número de raíces secundarias por planta.
- Peso de la biomasa radicular (peso fresco y peso seco)
- Nivel de colonización micorrízico en las raíces (escala subjetiva)

A los seis meses de finalizada la evaluación, después de realizar dos aplicaciones de hongos micorrícicos se obtuvo el siguiente resultado:

- Ninguno de los tratamientos de dosis de hongo micorrícico tuvo un efecto en la formación de micorrizas en las raíces de las plantas.
- Ninguno de los tratamientos tuvo diferencia significativa en las variables medidas.

ABSTRACT

The macadamia crop needs care in all its stages of growth to have an adequate development in the final field and avoid having a weak plant. One of the parts of the plant that needs to be strengthened from an early age is the root, since it is of a superficial type and is susceptible to wind, diseases and pests.

Due to the type of root that the macadamia plants have, at the Paris and Joven Francia farm, the aim is to strengthen the root system in young plants and replant that are found around the farm with biological products, such as beneficial fungi.

In this experiment, the effect of five doses of arbuscular mycorrhizal fungus on the roots of macadamia plants in the nursery stage of two and a half and four months of age was evaluated, to find out which of these doses gives a better effect. The age of the plants was measured from the transplant to the bag of the same.

The experiment had a completely randomized design with six treatments and three repetitions, the treatment doses were as follows:

0.25cc, 0.37cc, 0.5cc, 0.63cc and 0.75cc Colony Forming Units (UFC) per plant and relative control without any dose applied.

The variables evaluated were:

- Vegetative development of the plant (height, stem diameter, number of leaves)
- Measurement of primary root and number of roots per plant.
- Weight of root biomass (fresh weight and dry weight)
- Level of mycorrhizal colonization in the roots (subjective scale)

Six months after the evaluation, after making two applications of mycorrhizal fungi, the following result was obtained:

- None of the mycorrhizal fungus dose treatments had an effect on mycorrhizal formation in plant roots.
- None of the treatments had a significant difference in the measured variables.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los cultivos que ha tomado importancia en la agricultura nacional es la *M. integrifolia* pues ha aportado significativamente a la economía guatemalteca ya que para el año 2017 tuvo un ingreso económico de US\$12.7 millones en exportación de macadamia a Estados Unidos (MINECO, 2018)

Guatemala se encuentra posicionada en el cuarto lugar a nivel mundial en producción de macadamia (Archila, 2003) la cual es fuente de trabajo para distintas familias de diversas regiones del país en donde se produce el cultivo; finca Paris y Joven Francia no es la excepción ya que brinda plazas de trabajo a más de 50 familias al año.

Siendo uno de los frutos secos más apreciados a nivel mundial necesita de los cuidados necesarios en el campo, pues se conoce que es un cultivo que cuenta con débil sistema radicular por ser superficial (Quintas, 2011); por lo cual, necesita de un manejo adecuado en cada una de sus etapas para evitar problemas relacionados con enfermedades, ambiente, nutrición, entre otros; de lo contrario afectaría al desarrollo de la planta.

Los hongos benéficos que forman micorrizas con las raíces son capaces de proteger, aumentar y nutrir el sistema radicular, proporcionando el aumento y fortalecimiento del mismo a través de la simbiosis hongo-raíz que se forma, obteniendo una defensa ante los fuertes vientos, plagas, aumento de absorción de nutriente, tolerancia a temperatura, entre otros beneficios.

Por lo anterior, se evaluó la efectividad de los hongos micorrícicos en plantas de almácigo de *M. integrifolia* de dos y medio y cuatro meses de edad, observando el efecto comparativo de estas dosis en ambas edades, en un diseño completamente al azar, realizado en el almácigo de macadamia de la finca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual.

2.1.1 Origen del cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*)

El árbol de macadamia es originario de Australia, proviene de los bosques lluviosos tropicales y subtropicales del norte de Nueva Gales del Sur y del sur de Queensland. El botánico inglés Allan Cunningham fue el primero en descubrir este frutal en 1828, al recolectar el primer ejemplar y clasificarlo dentro del orden proteácea (Proteaceae). (Quintas, 2011).

2.1.2 Clasificación taxonómica.

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Proteales</i>
Familia:	<i>Proteaceae</i>
Tribu:	<i>Macadamieae</i>
Género:	<i>Macadamia</i>
Especie:	<i>Integrifolia, Tetraphylla</i>

2.1.3 ¿Por qué se llama macadamia?

Algunos de los nombres que ha recibido la macadamia por las diferentes tribus indígenas australianas son: “Burrawang”, “Kinda-kindal” y “Boombera”. Los australianos no aborígenes a su vez la han llamado “Bauple nut”, “Queensland nut” y “Bush nut”. En 1857 Ferdinand von Mueller, botánico australiano, junto con Walter Hill, director del Jardín Botánico de Brisbane, Australia, realizaron una exploración botánica recolectando diferentes tipos de plantas en los bosques australianos a lo largo del río Pine en el sur de Queensland, y allí se hizo la primera recolección

botánica de esta planta. Ferdinand von Mueller la bautizó formalmente como género *Macadamia* en honor a su amigo John Macadam (Quintas, 2011).



Figura 1. Nuez de macadamia.

Fuente: (Quintas, 2011).

2.1.4 Características botánicas

2.1.4.1 La raíz

El sistema radicular del árbol de macadamia se extiende principalmente en sentido lateral, por ello se le conoce como superficial. Es fibrosa y se adapta bien a suelos pobres, ya que puede aprovechar los nutrientes de las capas superiores y superficiales del suelo, donde es primordial proveerle de altos contenidos de materia orgánica (Quintas, 2011).

El sistema radical se extiende en los primeros 30 cm del suelo, la raíz es pivotante y puede alcanzar una profundidad de 75 a 80 cm (Lozano, 2013).



Figura 2. Raíz fibrosa y superficial del árbol de macadamia.

Fuente: (Quintas, 2011).

2.1.4.2 Suelos

La macadamia se adapta a un amplio rango de suelos; sin embargo, el requerimiento básico de los árboles de macadamia es un suelo profundo, en promedio de 80 cm de profundidad, y bien drenado (Quintas, 2011).

2.1.4.3 Textura

La textura ideal del suelo para sembrar nuez de macadamia debe contener entre el 20 y el 30% de arcilla (Quintas, 2011).

2.1.4.4 Temperatura

La temperatura es la variable climática más determinante en el crecimiento y la productividad de la macadamia. La temperatura óptima es de 16 a 25°C (Quintas, 2011).

2.1.5. Micorrizas

Definición: Relación simbiótica que se establece entre un hongo y las raíces de una planta superior en la cual la planta suministra carbohidratos al hongo y éste a su vez contribuye a la absorción de agua y nutrientes de la primera. Las especies

de hongos que establecen micorrizas se conocen como Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) (Micorriza, 2019).

2.1.5.1 Taxonomía

Los HMA se ubican en el orden *Glomales*, dividido en dos subórdenes: el *Glomineae* que contempla las familias y géneros siguientes: la familia *Glomaceae* con los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*; *Acaulosporaceae*, con *Acaulospora* y *Entrophospora*; *Archaesporaceae*, con *Archaespora* y *Paraglomaceae*, con *Paraglomus*. El suborden *Gigasporinae* contiene a la familia *Gigasporaceae* con *Gigaspora* y *Scutellospora*. En la actualidad se encuentran descritas unas 150 especies de estos hongos, las cuales pueden formar simbiosis con más de 300 000 especies vegetales diferentes lo cual avala su gran extensión y poca especificidad (Micorriza, 2019).

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 (Popoff y González, 2007).

Las primeras que despertaron interés fueron las micorrizas de los árboles forestales, y aunque las de las plantas cultivadas comenzaron a estudiarse en 1910, es recién después de los trabajos de Mosse en Inglaterra, 1955, cuando se empieza a reconocer la importancia y la generalidad de esta simbiosis (Popoff y González, 2007).

2.1.5.2 Beneficios de los hongos micorrícicos

- **Para las plantas verdes**

1. Incrementan el área fisiológicamente activa en las raíces.
2. Incrementan la captación de las plantas de agua y nutrientes como fósforo, nitrógeno, potasio y calcio del suelo.
3. Incrementan la tolerancia de las plantas a las temperaturas del suelo y acidez extrema causadas por la presencia de aluminio, magnesio y azufre.
4. Proveen protección contra ciertos hongos patógenos y nematodos.
5. Inducen relaciones hormonales que producen que las raíces alimentadoras permanezcan fisiológicamente activas por periodos mayores que las raíces no micorrizadas (Popoff y González, 2007).

- **Para el hongo**

1. Reciben principalmente carbohidratos y vitaminas desde las plantas (Popoff y González, 2007).

2.1.5.3 Tipos de Micorrizas

Aproximadamente unas 5,000 especies de hongos con carpóforos (principalmente *Basidiomycetes*) están asociadas a árboles forestales en regiones boreales y templadas, estableciendo un tipo de micorrizas.

Estos hongos, aunque presentes en casi todo el planeta, asociados con casi todas las plantas verdes, establecen otro tipo de micorrizas y no pertenecen más que a 6 géneros y alrededor de un centenar de especies.

Los dos tipos más comunes, más extendidas y más conocidas son las ectomicorrizas y las endomicorrizas. Cada tipo se distingue sobre la base de la relación de las hifas del hongo con las células radicales del hospedador (Popoff y González, 2007).

1. En las ectomicorrizas el micelio invade la raíz sin entrar en el interior de las células, de aquí el nombre de ectomicorrizas.

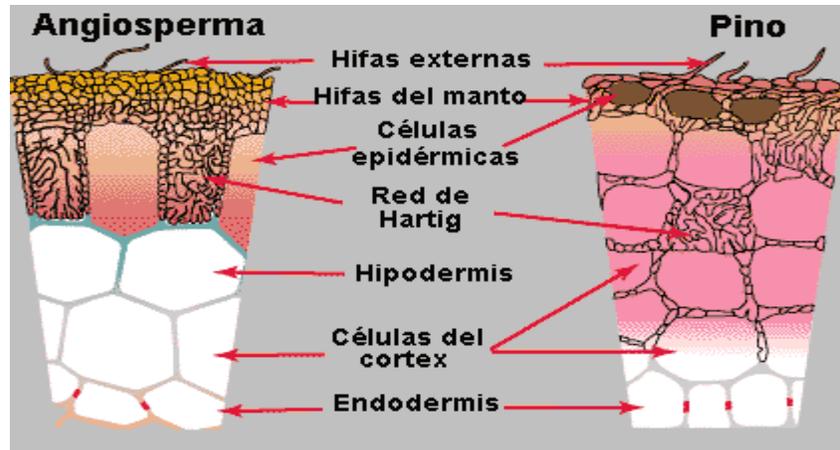
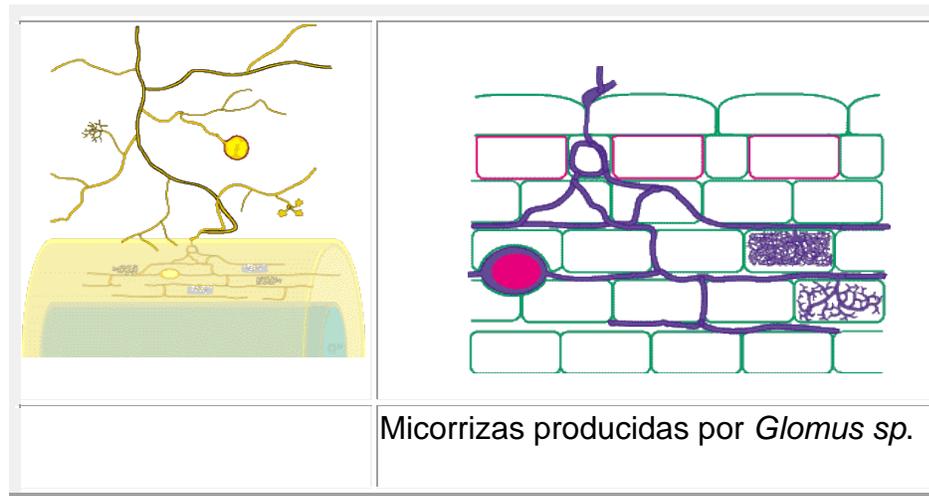


Figura 3. Funcionamiento de la endomicorriza
Fuente: (Popoff y González, 2007).

2. En las endomicorrizas el micelio invade la raíz, inicialmente es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales, desde la rizo-dermis hasta las células corticales.



Micorrizas producidas por *Glomus sp.*

Figura 4. Micorrizas producidas por *Glomus sp*
Fuente: (Popoff y González, 2007).

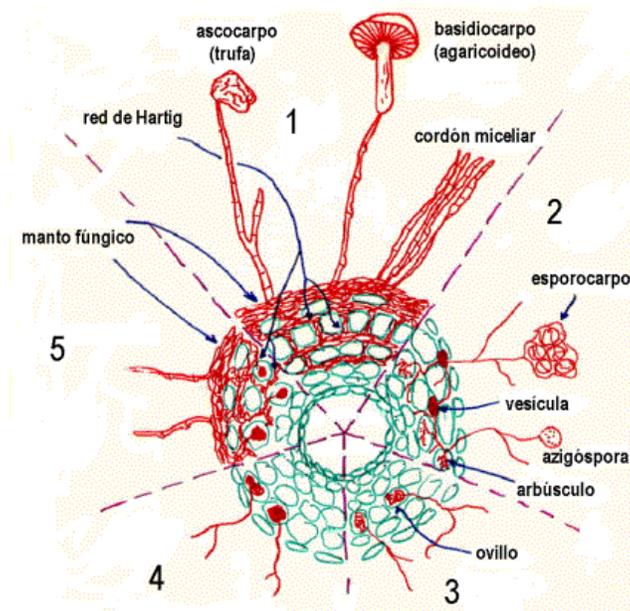


Figura 5. Principales tipos de micorrizas. 1. ectomicorrizas; 2. micorrizas vesículo-arbusculares (MVA); 3. micorrizas orquidoides; 4. micorrizas ericoides; 5. micorrizas arbutoides.

Fuente: (MYCO-UAL, s.f.).

- **Otros tipos de Micorrizas**

1. Las orquídeas poseen las endomicorrizas orquidoides, llamadas de oville, y tal vez representan el tercer tipo más importante de micorrizas, ya que estas plantas son dependientes en estado juvenil, de protocormo, de sus hongos simbiotes. Una vez que la planta crece y fotosintetiza, generalmente se independiza del hongo.
2. Ectendomicorrizas, donde se puede apreciar la formación de un manto, junto con la penetración de hifas a las células.
3. Ericoides, son las más sencillas, con raíces muy simples e hifas penetrando en las células para formar ovillos.
4. Arbutoides, donde también tenemos un manto externo junto con hifas que penetran a las células para formar rulos.

5. Monotropoides, diferenciada apenas por la forma de penetración de las hifas a las células radicales (Popoff y González, 2007).

2.1.5.3.1 Ectomicorrizas

El primer tipo se caracteriza por una modificación morfológica de la raíz que pierde sus pelos absorbentes y generalmente los extremos se ramifican profusamente y se acortan ensanchándose.



Figura 6. Raíces modificadas en la ectomicorriza formada por un hongo desconocido sobre *Fagus sylvatica*.

Fuente: (Popoff y González, 2007).

El extremo de una raíz ectomicorrizada típicamente está cubierta por un manto de hifas, como una vaina, que puede ser desde una capa floja hasta pseudo-parenquimática. Desde este manto se extiende una red de hifas entre las primeras capas de células de la corteza radical y rara vez llegan hasta la endodermis, pero sin entrar en el interior de las células, de aquí el nombre de ectomicorrizas. Esta red se llama "red de Hartig", donde las hifas también pueden tener muy variadas formas. Desde el manto hacia afuera se extiende la red micelar, incluso llegando a formar cordones especializados en la conducción de sustancias.

Las ectomicorrizas están ampliamente dispersas en la naturaleza y se estima que el 10% de la flora mundial presenta este tipo de asociación. Principalmente las familias Pinaceas, Betulaceas, Fagaceas, y también Ericaceas y algunas Myrtaceas, Junglandaceas y Salicaceas.

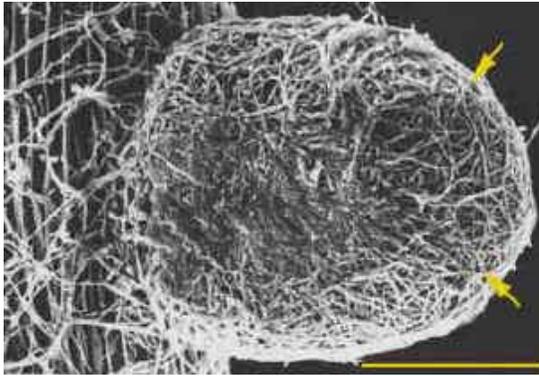


Figura 7. SEM de raíz de pino colonizada por *Pisolithus tinctorius*. Manto de hifas (flecha)

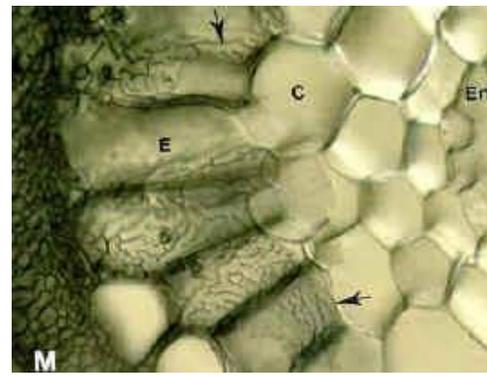


Figura 8. ECM en corte transversal de raíz de *Populus tremuloides* mostrando hifas enlaberinto de la red de Hartig (flecha).

Fuente: (Popoff y González, 2007).

Los hongos que forman estas micorrizas son en general los conocidos hongos de sombrero, como "amanitas" y "boletos". Solo en Norte América son más de 2.000 especies, en su mayoría Basidiomycetes y algunos Ascomycetes ("trufas").

Muchos de estos hongos pueden ser cultivados en cultivo puro, aislados de su planta huésped, pero no pueden formar carpóforos en su ausencia (Popoff y González, 2007).

2.1.5.3.2 Endomicorrizas

El segundo tipo más extendido de micorrizas provoca pocos cambios en la estructura de la raíz. Generalmente no se observa un crecimiento denso de hifas en la superficie de la raíz, no hay un manto. Sin embargo, hay una red miceliar interna. El micelio penetra en la raíz, donde inicialmente es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales, desde la rizodermis hasta las células corticales.

Una vez dentro de las células, forma minúsculas arborescencias muy ramificadas que se llaman arbuscúlos, los cuales son los que aseguran una gran superficie de

contacto entre ambos simbioses, tienen una vida efímera, de algunos días hasta algunas semanas, y siempre terminan por ser digeridos por la planta hospedadora.

También en el interior de la raíz se encuentran comúnmente vesículas, que son los órganos de reserva del hongo. Por la producción de estas vesículas y arbusculos, estas micorrizas reciben comúnmente el nombre de V-A (Popoff y González, 2007).



Figura 9. Arbuscules de *Glomus mosseae* en el córtex de una raíz de *Allium porrum*.

Fuente: (Popoff y González, 2007).

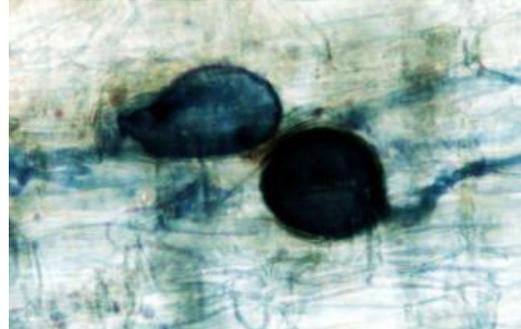


Figura 10. Vesículas en córtex de una raíz de Yerba mate (*Ilex paraguariensis*)

Este tipo de micorrizas es muy frecuente y está extendido en todo el planeta. Se la encuentra en la mayoría de los árboles de las zonas tropicales y algunos árboles de bosques templados, como el arce y el fresno, y algunas coníferas como la araucaria. La mayoría de las plantas arbustivas y herbáceas poseen este tipo de asociación, y casi la totalidad de las plantas cultivadas, con la excepción de las crucíferas y las quenopodiáceas

Estos hongos inferiores que forman endomicorrizas V-A pertenecen a un solo grupo, las Glomales (Zygomycetes), con seis géneros y un centenar de especies distribuidas en todos los continentes.

Estos hongos son estrictamente simbióticos, y no pueden ser cultivados en cultivo puro, o sea en ausencia de su hospedador, contrariamente a los hongos ectomicorrícicos (Popoff y González, 2007).

2.1.5.4 Características de la relación simbiótica.

En toda simbiosis mutualista existe un beneficio para sus componentes, lo que permite su supervivencia por selección natural.

Por un lado, la planta obtiene varios beneficios. Un incremento en la disponibilidad de nutrientes poco movilizables, sobre todo P (también Cu, Zn, K, Fe, Ca y otros), y una mejor captación y asimilación de N.

Puede que se deban a una mayor facilidad del hongo para apoderarse de esos elementos. Pero la razón principal es que el micelio del hongo, normalmente muy ramificado, permite aumentar el volumen de suelo explotable (cada centímetro de raíz puede sostener varios metros de hifas) (MYCO-UAL, s.f.).

El hongo puede proteger a la planta frente al ataque de microorganismos patógenos. El hongo puede actuar como puente de unión y transmisión de sustancias químicas entre plantas diferentes.

A cambio, el hongo obtiene un nicho ecológico, recibe hidratos de carbono procedentes de la fotosíntesis (puede consumir hasta más del 20% del fotosintato; no obstante, el vegetal compensa esta sustracción gracias al aporte de nutrientes minerales por el hongo).

La simbiosis hongo-planta no implica la exclusión de otros organismos. Las leguminosas, por ejemplo, forman simultáneamente nódulos con *Rhizobium* y MVA. Se trata, pues, de un sistema triple: el hongo proporciona P, las bacterias fijan N₂ y la planta fotosintetiza para todos. En otros casos, varias especies fúngicas pueden micorrizar simultáneamente a la misma planta.

Las micorrizas son influidas por los factores ambientales, bióticos o no. Normalmente, la simbiosis se ve favorecida en ambientes pobres en nutrientes o sometidos a estrés, donde las plantas no serían competitivas si careciesen del hongo.

Es conocido que, en los cultivos fuertemente abonados, tanto en invernaderos, viveros o al aire libre, la simbiosis se ve notablemente inhibida (de hecho, la planta hace simbiosis con el agricultor, en vez de con el hongo). Por otro lado, todo aquello que afecte a la fotosíntesis influirá sobre la micorrización. Por ejemplo, un sombreado intenso o un acortamiento del fotoperiodo inhiben el proceso. La cantidad y calidad del microbiota del suelo puede influir la simbiosis de modos muy diversos, a menudo imprevisibles si no existen estudios adecuados (*MYCO-UAL*, s.f.)

2.2 Marco referencial

2.2.1 Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en el almácigo de macadamia y café de Finca Paris y Joven Francia, ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo, del departamento de Suchitepéquez a 175.6 kilómetros de la ciudad capital; se ubica en las coordenadas cartesianas respecto al ecuador: Latitud-Norte 14°64'37", y en relación al Meridiano de Greenwich: Longitud-Oeste 91°52'49"

La finca colinda al norte con Finca Las Panchas, al sur con Finca Cecilia y Finca Peña Flor, al este con Finca Agrícola Las Elviras y al oeste con el cantón Las Rosas. Posee una extensión territorial de 155.39 hectáreas. Cuenta con una certificación RAS (Rainforest Alliance) enfocada al manejo de agricultura sostenible. La finca posee una extensión de 1.43 Ha que pertenece a infraestructura y un 155.39% es destinado a la producción distribuidas en 22 parcelas/secciones y vegetación.

En la finca el 6% del área corresponde a la producción de macadamia en monocultivo, 93.09% representa la producción de macadamia y café en asocio, teniendo un 46.5% para cada cultivo.

2.2.2 Croquis de la unidad productiva.

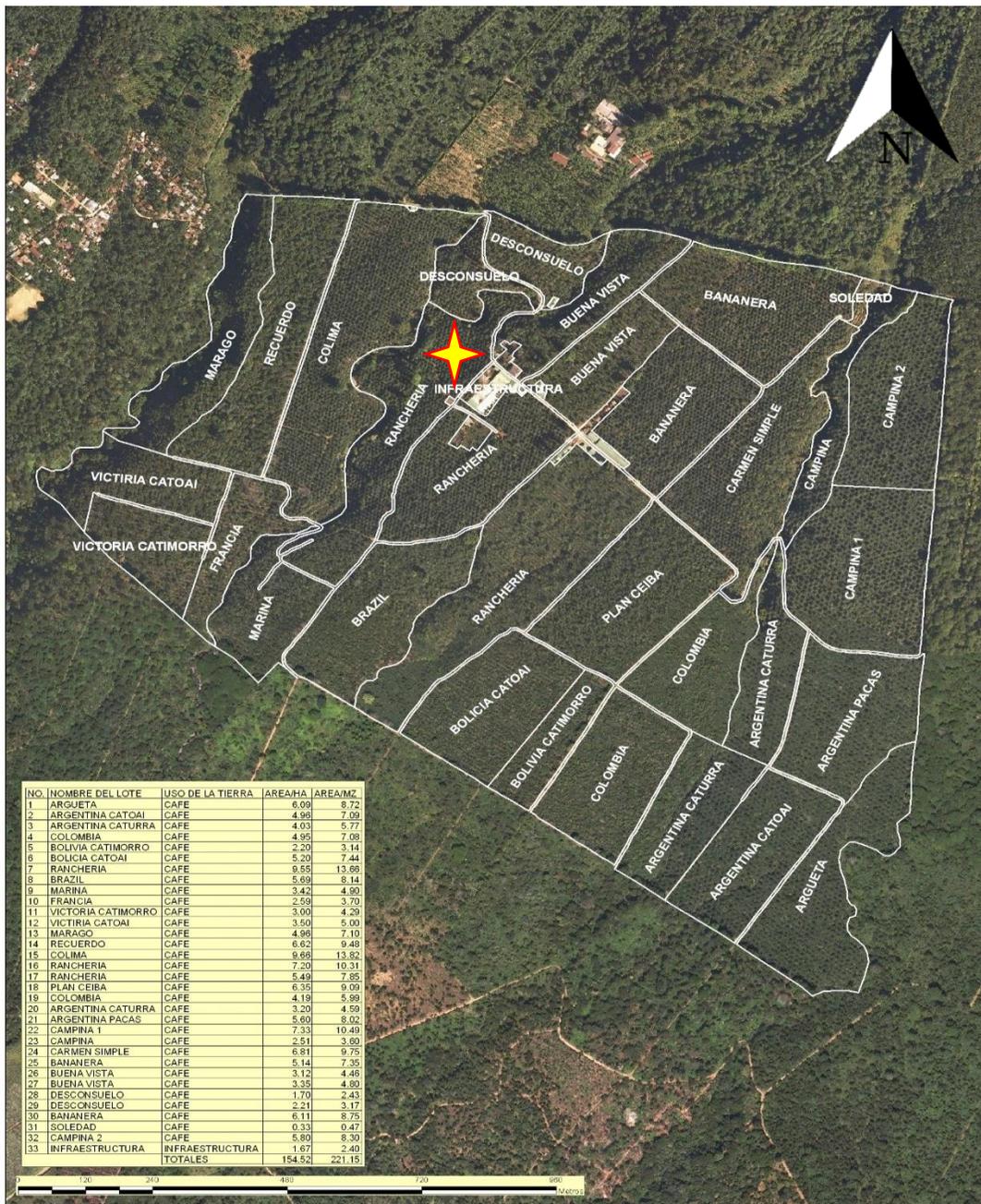


Figura 11. Croquis de finca “Paris y Joven Francia”

Fuente: Administración de la unidad productiva.

2.2.3 Características físico-biológicas.

Finca Paris y Joven Francia se encuentra clasificada según Leslie Holdridge como Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido). Se caracteriza por tener una topografía plana con pendientes que van de 0° a 10° de inclinación.

2.2.3.1 Clima

El clima de la finca es templado donde se pueden tener los siguientes datos:

2.2.3.2 Altitud

Finca Paris y Joven Francia se encuentra a la altura de 998 msnm en el casco de la finca, variable medida in situ con instrumental propio.

2.2.3.3 Temperatura

La temperatura oscila entre los 15°C a 25°C, medida in situ con instrumental instalado.

2.2.3.4 Precipitación

La precipitación anual tiene un acumulado de 5295 mm de lluvia, datos de la finca promediados.

2.2.4 Generalidades del manejo del almácigo.

1. En el semillero del almácigo, primeramente, se prepara el lugar el cual debe tener un tamaño de 2 metros de ancho por 8 metros de largo con una profundidad de 1pie conformado con 50% de arena y tierra sólida. Al estar preparado se le aplica fungicida Banrot (metil tiofanato y triazol) 8 onzas/tonel de 200 litros de agua, con dosis de 50cc/planta.
2. Dos días después se realiza la siembra con distancia de 10cm x 10cm germinando a los 40 días.
3. Después de 3 meses se trasplantan a bolsas de polietileno de 40cm x 15.5cm ya desinfectadas con Banrot (metil tiofanato y triazol) y Razormin con 50cc/planta.

4. 20 días después se hace la primera aplicación de fertilizante 20-20-0 de 4.55kg por 200L, aplicando una dosis de 50cc/planta.
5. Segunda aplicación 5kg de fertilizante 20-20-0 y se incluye insecticida Vydate, ingrediente activo Oxamyl, con 500cc por 200L, aplicando una dosis de 50cc/planta.
6. Para la aspersión foliar, la primera aplicación se realizó junto con el fertilizante que es a los 20 dds asperjando algas marinas y 5-4-2 con 150cc de cada uno y 0.45kg de oxiclóruo como fungicida preventivo, en dosis de 50cc por planta.
7. Cada bolsa se ordena en hilera doble con 10cm de espacio entre cada hilera. Cuando la planta se encuentra a la altura de 0.61mt ya están listas para ser injertadas, dos meses después se realiza la siembra a campo definitivo.

2.2.5 Descripción de los hongos micorrícicos a utilizar.

Las especies de hongos a aplicados a las plantas son: *Glomus intraradices* (5.00×10^4 UFC/Lt), *Glomus clarum* (5.00×10^4 UFC/Lt), *Gigaspora margarita* (5.00×10^4 UFC/Lt), *Rhizopogon fulvigleba* (2.00×10^6 UFC/Lt), *Rhizobium leguminosarum* (1.00×10^{10} UFC/Lt), que viene disponible en presentación de suspensión concentrada (SC), altamente soluble en agua, que es un mejorador de suelos.

Es un producto que puede ser utilizado en plantas de diversas edades, además que envía una concentración de unidades formadoras de colonias superior a un millón por cada milímetro a las plantas. No posee compuestos fitotóxicos, no es dañino con el ambiente, animales y humanos.

La casa comercial proveedora recomienda que el producto con hongos micorrícicos sea aplicado como mínimo dos veces, con intervalo de tres meses. Esto debido a que se trata de un control biológico cualquier aplicación de plaguicidas puede causar la muerte del hongo si se realizara una sola aplicación.

2.1.5.1 Evaluaciones científicas de micorrizas aplicadas a cultivos.

1. Rojas y Ortuño (2007) realizaron la evaluación del efecto de la aplicación de micorrizas arbusculares como ayuda del crecimiento en interacción con abonos orgánicos en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, establecieron dos ensayos en la localidad "La Villa" de la provincia Punata, con dos especies hortícolas: cebolla (*Allium cepa*) y papa (*Solanum tuberosum*).

El diseño experimental que utilizaron fue un diseño completamente al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 = Micorriza (*Glomus fasciculatum*), T2 = Humus de lombriz, T3 = Micorriza + humus de lombriz, T4 = Micorriza + gallinaza, T5 = Micorriza + gallinaza + Humus de lombriz, T6 = Testigo (fertilizante químico).

Evaluaron los parámetros de desarrollo y de crecimiento (altura de planta, rendimiento, longitud radical), el porcentaje de colonización de micorrizas en la raíz, la relación costo/beneficio y efectos sobre el medio ambiente de los productos utilizados.

Los resultados obtenidos tuvieron un efecto positivo de los tratamientos inoculados con micorriza, gallinaza y humus de lombriz sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos frente al testigo. Además, estos tratamientos no presentaron ningún impacto negativo al medio ambiente y ningún otro ser vivo, presentando impactos positivos sobre el suelo y desarrollo de los cultivos que evaluaron.

2. Paillacho Cedeño (2010) para optar el título de Ingeniero Agropecuario, evaluó la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas en el desarrollo y estado nutritivo del palmito (*Bactris gasipaes* HBK) en etapa de vivero, en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Evaluó las variables de crecimiento (altura de planta, diámetro, número de hojas, circunferencia de tallo, diámetro de la corona foliar, índice de vigor), peso húmedo y seco de raíces, nivel de colonización micorrícica en raíces. Los tratamientos fueron: T1 Sin micorrizas + Sustrato sin esterilizar T2 Sin micorrizas + Sustrato estéril T3 10 g/planta micorrizas + Sustrato sin esterilizar T4 10 g/planta micorrizas + Sustrato estéril T5 20 g/planta micorrizas + Sustrato sin esterilizar T6 20 g/planta micorrizas + Sustrato estéril T7 30 g/planta micorrizas + Sustrato sin esterilizar T8 30 g/planta micorrizas + Sustrato estéril.

Los resultados que obtenidos fueron: dosis de 20 y 30 g de micorriza nativa inoculada, le contribuyó al cultivo una mejora en la disponibilidad de P. Los tratamientos con una mayor relación beneficio costo que obtuvo fueron T5 (20 g micorrizas + sustrato no estéril) y tratamiento T3 (10 g micorrizas+ sustrato no estéril).

III. OBJETIVOS

3.1 General

- Comparar el efecto de cinco dosis de hongos micorriza en la formación de raíces y calidad de plantas de almácigo de *Macadamia integrifolia* de dos distintas edades en Pueblo Nuevo, Suchitepéquez.

3.2 Específicos

- Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de altura en plantas de almácigo de macadamia.
- Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de diámetro de tallo en plantas de almácigo de macadamia.
- Medir el efecto de las dosis en el aumento de número de hojas en plantas de almácigo de macadamia.
- Observar el efecto de las dosis en el nivel de colonización micorrícico en las raíces (escala subjetiva).
- Medir el efecto de las dosis en la longitud de raíz primaria en plantas de almácigo de macadamia.
- Medir el efecto de las dosis en el número de raíces en plantas de almácigo de macadamia.
- Medir el efecto de las dosis en el peso fresco y seco de raíces en plantas de almácigo de macadamia.
- Comparar las dosis y sus efectos según la edad de las plantas.

IV. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis alternativa (Ha)

Al menos una de las dosis de hongos micorrizadores a evaluar presentará diferencia significativa en el crecimiento y aumento de masa radicular en plantas de almácigo de macadamia de dos distintas edades.

Al menos uno de los tratamientos a evaluar presentará una mayor efectividad en la formación de micorrizas en plantas de almácigo de macadamia de dos distintas edades.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Material experimental

La evaluación se realizó en plantas de almácigo de macadamia de variedad clon 2 de Finca Paris y Joven Francia, en donde se experimentó en dos tramos, uno con plantas de dos meses y medio y el segundo con plantas de cuatro meses de edad. En estos dos tramos se aplicó la misma dosis, pero se observó la reacción respecto a la diferencia de meses de edad de las plantas.

5.2 Recursos

5.2.1 Recursos físicos

1. Hongo micorrízico.
2. Agua.
3. Plaquetas de identificación.
4. Pita.
5. Machete/navaja.
6. Metro.
7. Bombas.
8. Estacas.
9. Libreta.
10. Calculadora.
11. Computadora.

5.2.2 Recursos humanos

- 1 Estudiante.
- 2 Un trabajador.

5.2.3 Recursos financieros

- 1 Finca Paris y Joven Francia.
- 2 Estudiante.

5.3 Unidad experimental.

La evaluación se realizó en dos grupos de plantas de almácigo: de dos y medio y cuatro meses de edad; cada tramo midió seis metros de largo por cinco metros de ancho, en cada grupo la unidad experimental tuvo una fila de ocho plantas de almácigo, las bolsas de almácigo fueron negras de polietileno de 40 cm de largo por 20 cm de diámetro. Se tuvieron seis tratamientos con tres repeticiones en cada grupo, 18 unidades experimentales y 144 plantas de almácigo en cada grupo. Para los dos grupos de plantas se tuvieron 36 unidades experimentales y 288 plantas en total.

5.4 Tratamientos evaluados

Tratamiento uno (12.5 cc de hongo micorrízico, para 48 plantas en total, 24 por cada edad)

En este tratamiento se realizó la mezcla de 12.5 cc de hongo micorrízico diluidos en 2.5 litros de agua.

Se aplicó a la superficie del suelo una dosis de 50 cc de solución a cada bolsa de almácigo, conteniendo 0.25 cc de UFC por planta.

Tratamiento dos (18.8 cc de hongo micorrízico, para 48 plantas en total, 24 por cada edad)

En este tratamiento se realizó la mezcla de 18.8 cc de hongo micorrízico diluidos en 2.5 litros de agua.

Se aplicó a la superficie del suelo una dosis de 50 cc de solución a cada bolsa de almácigo, conteniendo 0.37 cc de UFC por planta.

Tratamiento tres (25 cc de hongo micorrícico, para 48 plantas en total, 24 por cada edad)

En este tratamiento se realizó la mezcla de 25 cc de hongo micorrícico diluidos en 2.5 litros de agua.

Se aplicó a la superficie del suelo una dosis de 50 cc de solución a cada bolsa de almácigo, conteniendo 0.50 cc de UFC por planta.

Tratamiento cuatro (31.25 cc de hongo micorrícico, para 48 plantas en total, 24 por cada edad)

En este tratamiento se realizó la mezcla de 31.25 cc de hongo micorrícico diluidos en 2.5 litros de agua.

Se aplicó a la superficie del suelo una dosis de 50 cc de solución a cada bolsa de almácigo, conteniendo 0.63 cc de UFC por planta.

Tratamiento cinco (37.5 cc de hongo micorrícico, para 48 plantas en total, 24 por cada edad)

En este tratamiento se realizó la mezcla de 37.5 cc de hongo micorrícico diluidos en 2.5 litros de agua.

Se aplicó a la superficie del suelo una dosis de 50 cc de solución a cada bolsa de almácigo, conteniendo 0.75 cc de UFC por planta.

Tratamiento seis (testigo relativo)

Este tratamiento fue el testigo de comparación, de manera que se manejó la unidad experimental como convencionalmente se ha realizado; con la aplicación de la fertilización, fungicidas, nutrientes, entre otros sin tener ninguna alteración.

A los tres meses de la primera aplicación del hongo micorrícico se realizó una segunda aplicación con las mismas dosis a los dos grupos de plantas. Esta segunda aplicación se realizó para que en la planta pudiera hallarse y desarrollarse el hongo micorrícico, y hacer simbiosis en la raíz de forma efectiva, ya que por aplicaciones de plaguicidas pudiera causar la muerte del hongo; además que la casa comercial recomienda un mínimo de dos aplicaciones para evitar lo antes dicho por referirse a microorganismos biológicos.

5.5 Diseño experimental

Para la realización de la investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones para cada tratamiento, en los dos grupos de plantas.

5.6 Modelo estadístico

Modelo lineal: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$

Donde:

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

μ = media general de la variable de respuesta.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (nivel del factor) en la variable dependiente.

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

5.7 Croquis de los dos grupos de plantas

5.7.1 Croquis del experimento plantas de cuatro meses

T3 00000000	T2 00000000	T4 00000000	T5 00000000	T4 00000000	T1 00000000
T2 00000000	T1 00000000	T5 00000000	T6 00000000	T1 00000000	T3 00000000
T4 00000000	T6 00000000	T2 00000000	T3 00000000	T5 00000000	T6 00000000

Figura 12. Croquis del experimento plantas de cuatro meses

5.7.2 Croquis del experimento plantas de dos meses y medio

T2 00000000	T3 00000000	T6 00000000	T5 00000000	T2 00000000	T1 00000000
T1 00000000	T5 00000000	T3 00000000	T4 00000000	T3 00000000	T2 00000000
T1 00000000	T4 00000000	T6 00000000	T5 00000000	T4 00000000	T6 00000000

Figura 13. Croquis del experimento plantas de dos meses y medio.

5.8 Variables de respuesta a medir

1. Desarrollo vegetativo de la planta (altura, diámetro, número de hojas)
2. Medición de raíz primaria y número de raíces secundarias por planta.
3. Peso de la biomasa radicular (peso fresco y peso seco)
4. Nivel de colonización micorrícico en las raíces (escala subjetiva)

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES DE PLANTAS DE DOS Y MEDIO Y CUATRO MESES DE EDAD.

6.1.1 Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de altura en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

Durante seis meses se midió la altura en centímetros de cuatro plantas de cada tratamiento con la ayuda de una regla, desde la base del tallo hasta el punto más alto, esto se realizó a cada 15 días, siendo la primera medición a los 15 días después de la aplicación de los tratamientos.

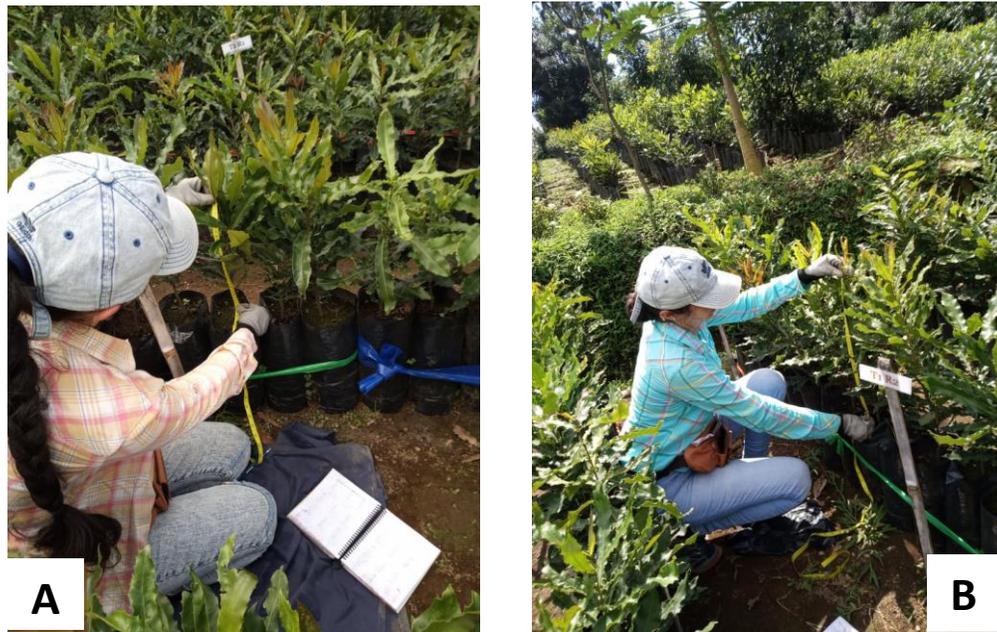


Figura 14. A y B. Algunas imágenes de toma de datos de altura de planta a cada 15 días.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 1. Datos utilizados para análisis de varianza de altura de plantas.

Altura de plantas en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	76.99	96.50	92.00	90.82
T2	132.00	95.89	96.87	108.25
T3	115.00	77.50	59.25	83.92
T4	76.75	86.00	64.00	75.58
T5	73.50	98.00	67.98	79.83
T6	68.00	86.80	82.25	79.02

A continuación, se muestra el análisis de varianza de los datos de altura en centímetros de plantas de dos meses y medio de edad.

Cuadro 2. Análisis de varianza de altura de plantas en centímetros.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	2153.59	5	430.72	1.4	0.2931
Error	3699.33	12	308.28		
Total	5852.92	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 20.36 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

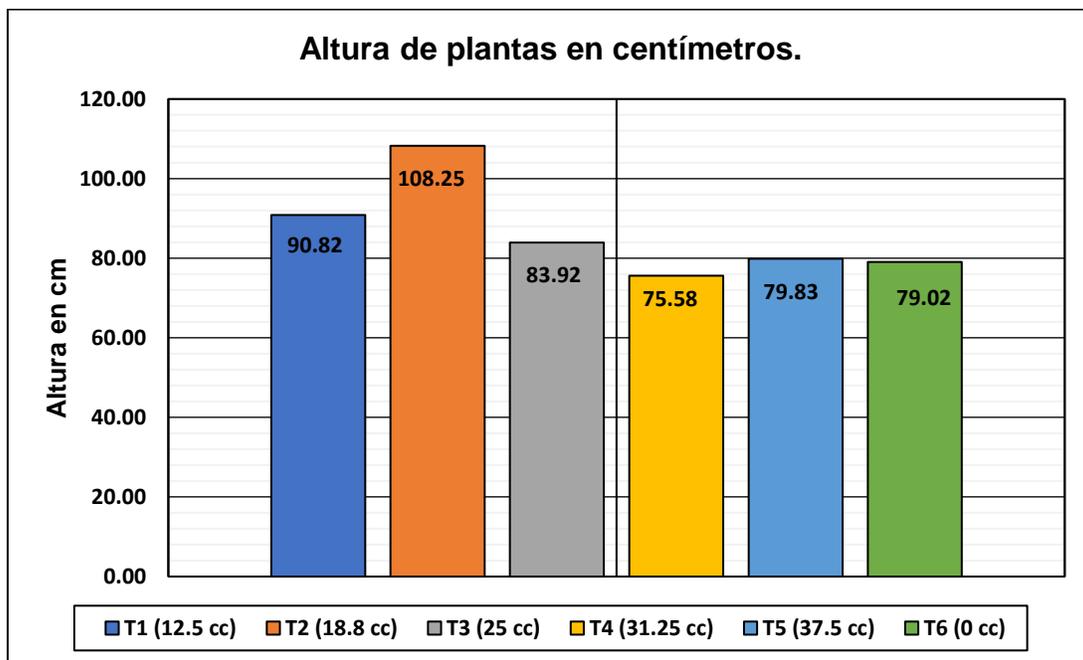


Figura 15. Gráfica de altura de plantas en cm. Dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

Se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 3. Datos utilizados para análisis de varianza de altura de plantas en cm.

Altura de plantas en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	84.50	98.50	80.50	87.83
T2	89.50	118.75	87.25	98.50
T3	98.50	78.50	114.25	97.08
T4	77.50	64.00	127.75	89.75
T5	80.50	80.50	81.75	80.92
T6	74.50	69.25	76.25	73.33

A continuación, se muestra el análisis de varianza de altura en centímetros de plantas de cuatro meses de edad.

Cuadro 4. Análisis de varianza de altura de plantas.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	1383.23	5	276.65	0.89	0.5165
Error	3723.04	12	310.25		
Total	5106.27	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 20.04 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

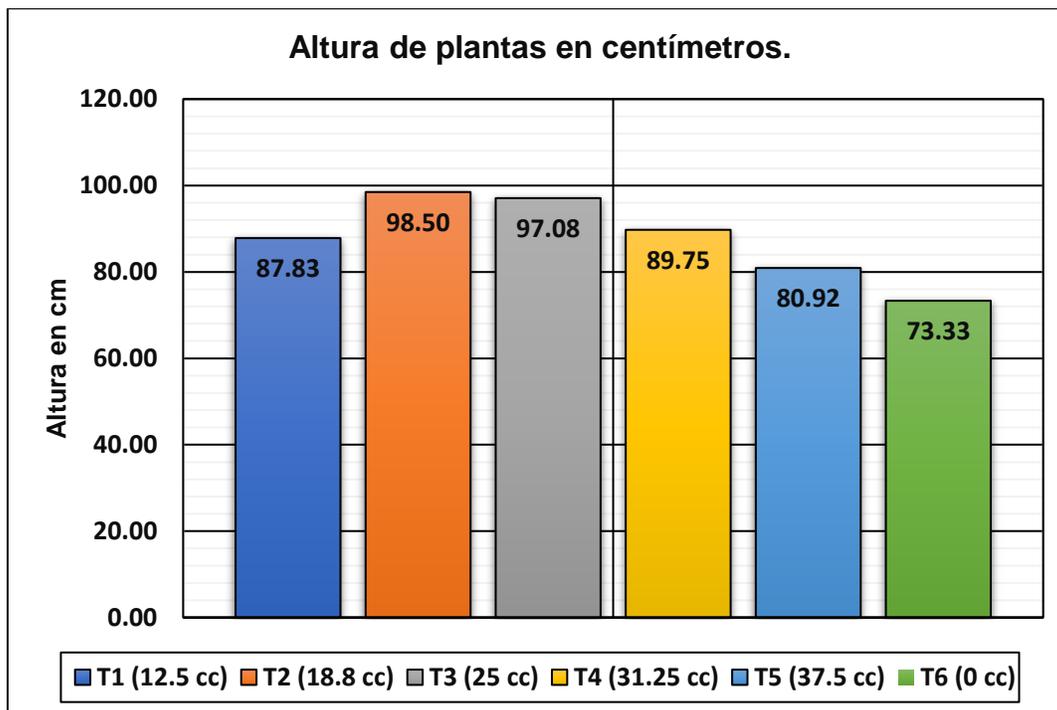


Figura 16. Gráfica de altura de plantas en cm. Cuatro meses de edad.

Díaz Montenegro (2017) explica en su artículo: Las hormonas vegetales en las plantas, que las auxinas son por excelencia hormonas del crecimiento vía división y alargamiento (raíz, tallo, hoja, fruto, etc.) y particularmente inducen la formación de raíces (ej. enraizamiento de esquejes). Participan en los tropismos de las plantas, inhiben la senescencia o envejecimiento de los tejidos, inhiben la brotación de yemas laterales (axilares) e inhiben la caída de órganos.

Las plantas tienen la característica de activar algunas hormonas a cada cierta edad de las mismas las cuales pueden contribuir al funcionamiento o no de algún producto aplicado en ellas; esto es una posibilidad que haya ocurrido con el producto micorrízico utilizado en los experimentos.

6.1.2 Medir el efecto de las dosis en el crecimiento de diámetro de tallo en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

Se realizó la medición en centímetros de diámetro del tallo en cuatro plantas de cada tratamiento utilizando un vernier, a cada 15 días durante seis meses.



Figura 17. A y B. Algunas imágenes de toma de datos de diámetro de tallo a cada 15 días.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 5. Datos utilizados para análisis de varianza de diámetro de tallo.

Diámetro de tallo en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	1.00	1.35	1.45	1.27
T2	1.50	0.75	1.08	1.11
T3	1.43	1.23	1.05	1.23
T4	1.23	1.25	1.15	1.21
T5	1.18	1.33	1.15	1.22
T6	1.18	0.95	1.35	1.16

A continuación, se muestra el análisis de varianza de los datos de diámetro de tallo en centímetros de plantas de dos meses y medio de edad.

Cuadro 6. Análisis de varianza de diámetro de tallo.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	0.05	5	0.01	0.2	0.9557
Error	0.57	12	0.05		
Total	0.62	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 18.17 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

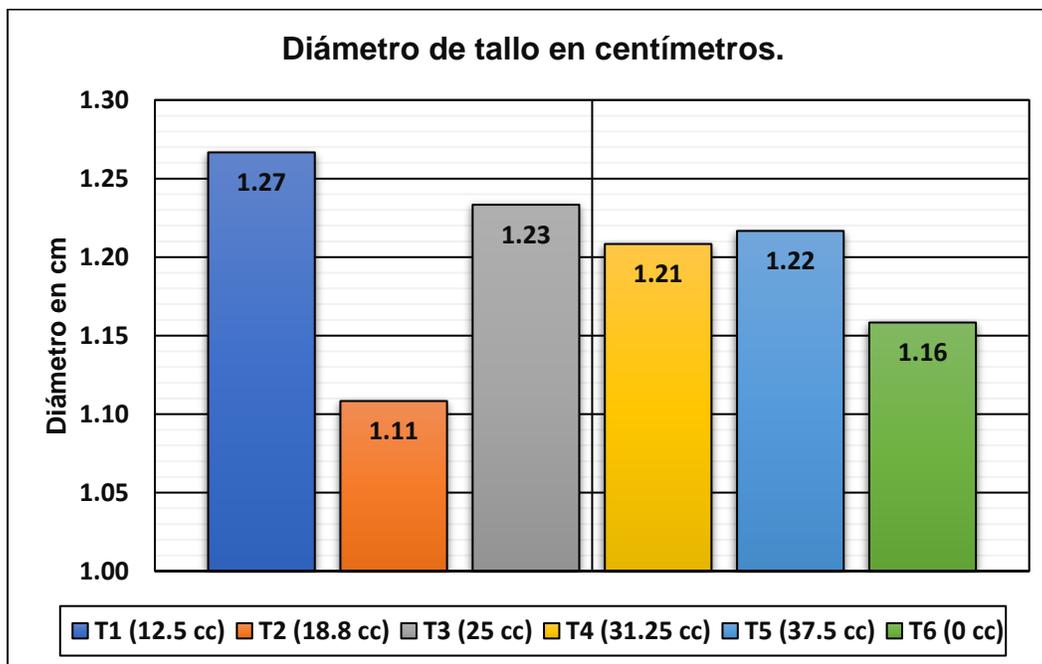


Figura 18. Grafica de diámetro de tallo en cm. Dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 7. Datos utilizados para análisis de varianza de diámetro de tallo en cm.

Diámetro de tallo en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	1.38	1.48	1.28	1.38
T2	1.38	1.48	1.30	1.38
T3	1.25	1.30	1.40	1.32
T4	1.25	1.25	1.65	1.38
T5	1.23	1.30	1.33	1.28
T6	1.10	1.20	1.28	1.19

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de diámetro de tallo en centímetros de plantas de cuatro meses de edad.

Cuadro 8. Análisis de varianza de diámetro de tallo.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	0.09	5	0.02	1.19	0.3703
Error	0.18	12	0.01		
Total	0.26	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 9.15 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

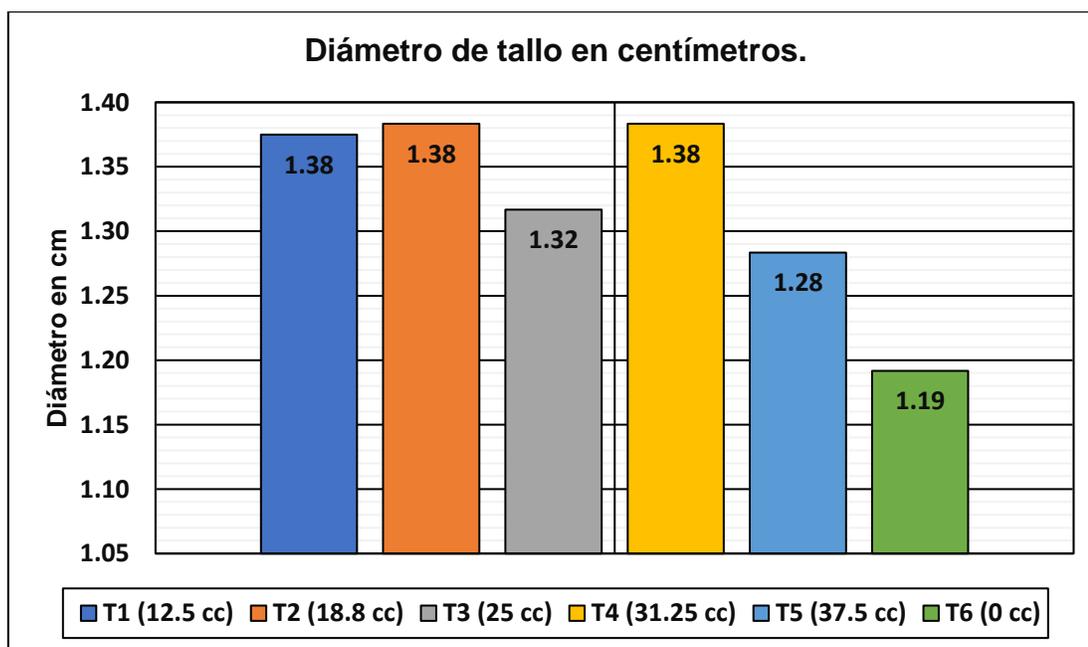


Figura 19. Gráfica de diámetro de tallo en cm. Cuatro meses de edad.

Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café) de Colombia, en su manual de Micorrizas Arbusculares indica que, la sobresaturación de humedad en el suelo perjudica el funcionamiento de las micorrizas ya que estas toleran mejor suelos

deficientes o pobres en nutrientes, ambientes secos o ligeramente húmedos, ya que estimulan la extensión de la red de micelio en el suelo para capturar nutrientes cuando éstos ya se encuentran agotados en las raíces de la planta (*Micorrizas Arbusculares*, s.f.).

Este pudo ser un factor por el cual el tamaño del diámetro de tallo fue el mismo en los dos grupos de plantas durante el tiempo que duró el experimento, variando ligeramente algunos milímetros en algunas plantas.

6.1.3 Medir el efecto de las dosis en el aumento de número de hojas en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

En cuatro plantas de cada tratamiento se realizó el conteo del número de hojas desde la más longeva a la más nueva a cada 15 días por seis meses.

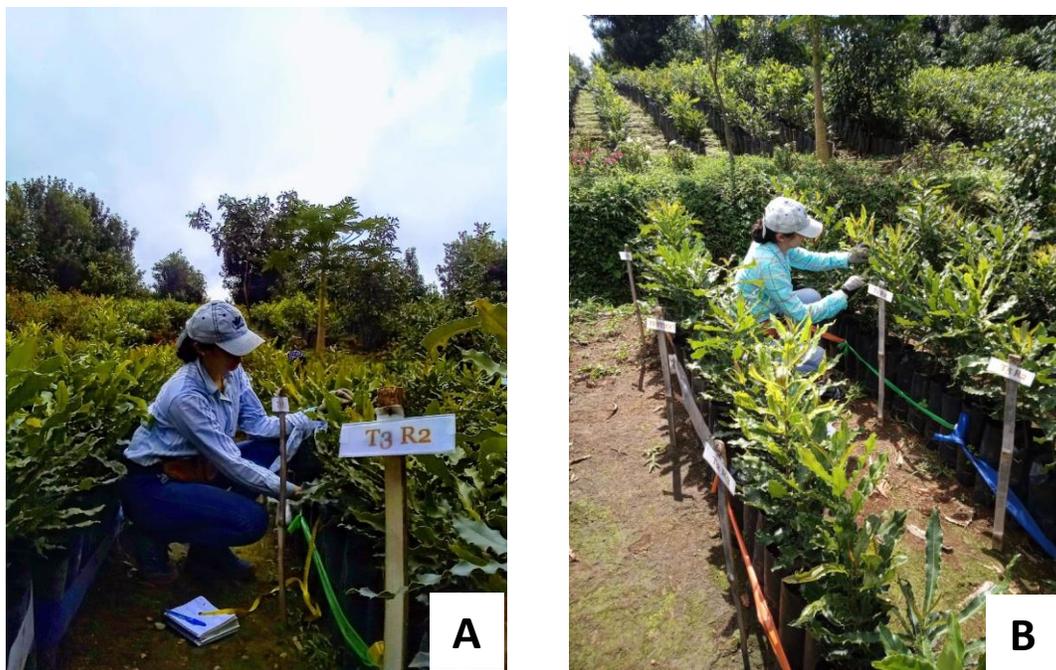


Figura 20. A y B. Algunas imágenes de toma de datos de conteo de número de hojas a cada 15 días.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones transformados a Raíz de $x+1$, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 9. Datos utilizados para análisis de varianza de número de hojas por planta.

Número de hojas por planta.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	63.00	103.00	96.00	87.00
T2	114.00	44.00	53.00	70.00
T3	92.00	84.00	66.00	80.00
T4	80.00	90.00	85.00	85.00
T5	54.00	93.00	62.00	69.00
T6	78.00	60.00	94.00	77.00

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de número de hojas por planta de dos meses y medio de edad.

Cuadro 10. Análisis de varianza de número de hojas por planta.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	3.22	5	0.64	0.42	0.8239
Error	18.26	12	1.52		
Total	21.48	17			

Según el análisis de varianza se obtuvo un coeficiente de variación de 13.97 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

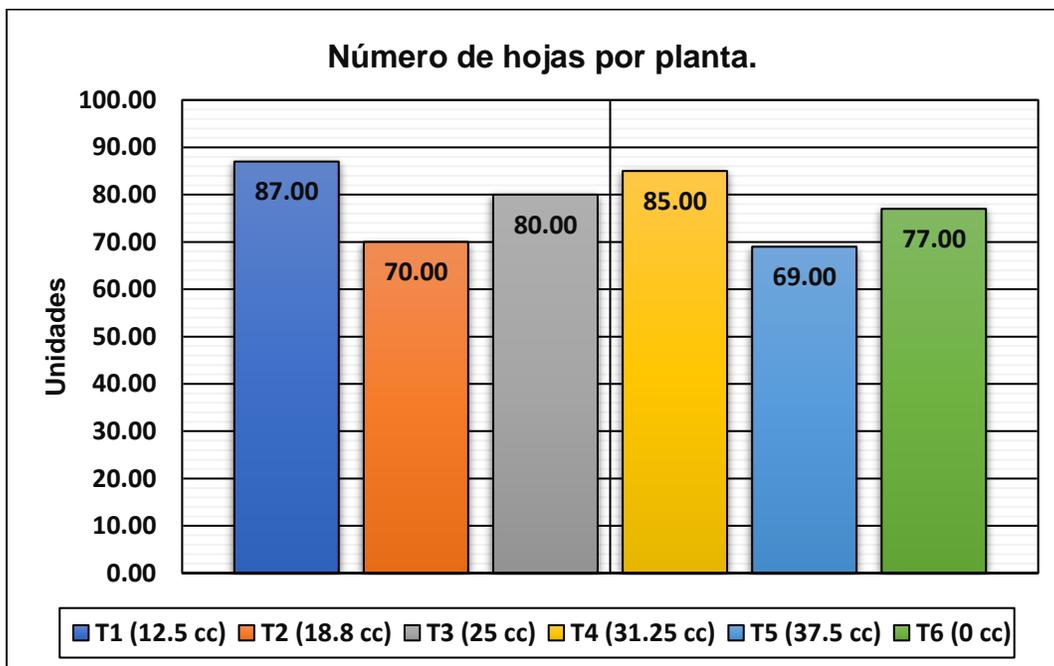


Figura 21. Gráfica de número de hojas por planta, dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones transformados a Raíz de $x+1$, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 11. Datos utilizados para análisis de varianza de número de hojas por planta.

Número de hojas por planta.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	94.00	142.00	76.00	104.00
T2	95.00	141.00	88.00	108.00
T3	86.00	88.00	100.00	91.00
T4	81.00	77.00	166.00	108.00
T5	70.00	87.00	103.00	87.00
T6	87.00	97.00	63.00	82.00

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de número de hojas por planta de cuatro meses de edad.

Cuadro 12. Análisis de varianza de número de hojas por planta.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Dosis	4.26	5	0.85	0.43	0.8165
Error	23.54	12	1.96		
Total	27.79	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 14.3 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

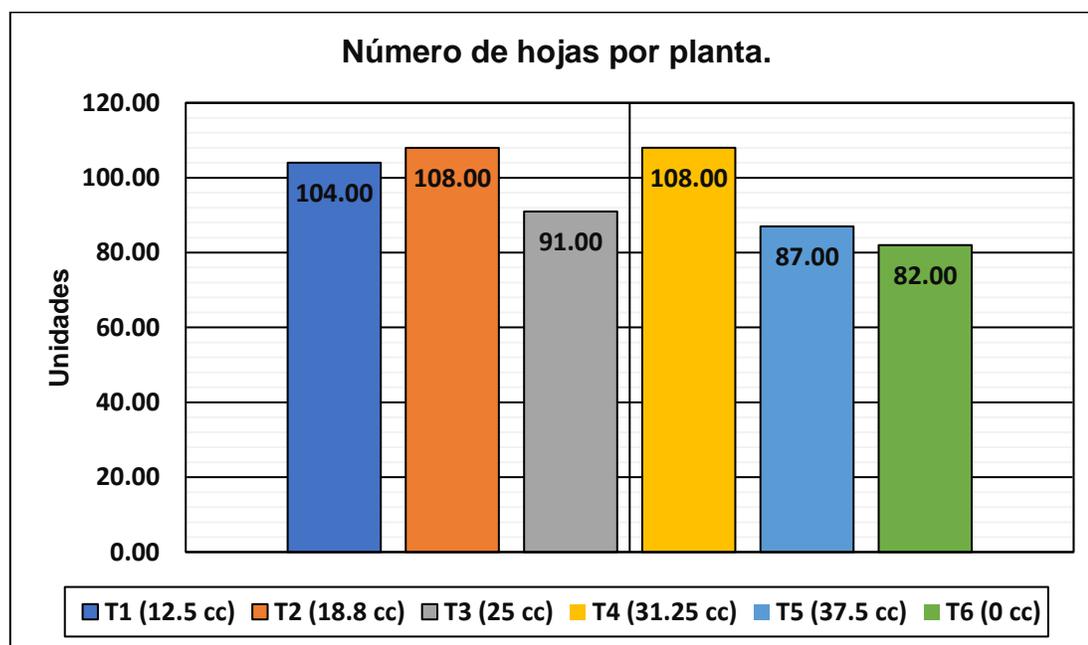


Figura 22. Gráfica de número de hojas por planta, cuatro meses de edad.

La raíz es el principal órgano de síntesis de las hormonas citocininas, aunque también se sintetizan en cualquier tejido, sobre todo en sitios de intensa división celular. Activan el crecimiento de las yemas laterales, estimulan el crecimiento de

frutos, retardan la senescencia en hojas y estimulan la movilización de nutrimentos (Díaz Montenegro, 2017).

Puede ser que las plantas de los experimentos aún no tuviesen activada la hormona citocinina para incrementar el crecimiento de raíces y hojas en combinación con las micorrizas, lo cual requeriría más tiempo para que esto suceda; otro factor que es considerable a tomar en cuenta sería la incompatibilidad que las micorrizas pudieran tener con el suelo, ya que estas dependen en gran medida de la disponibilidad de un suministro asequible, de alta calidad y compatible.

6.1.4 Observar el efecto de las dosis en el nivel de colonización micorrícico en las raíces (escala subjetiva)

En una investigación realizada por Enríquez y Bernal (2008) evaluaron la efectividad de cuatro dosis de micorrizas arbusculares bajo cuatro niveles de fósforo en vivero de palmito (*Bactris gasipaes*, HBK), en donde obtuvieron que para el peso fresco tuvo diferencias estadísticas significativas para micorrizas en el área radicular en la interacción 60gr de micorriza x 4.5gr de fósforo; sin embargo en cuanto al porcentaje de colonización de micorrizas en las raíces, no se detectaron diferencias significativas.

Al finalizar la evaluación se observaron meticulosamente cada una de las raíces de cada tratamiento y repetición, y en ninguna de ellas se llegó a encontrar ningún manto de hifas blancas, siendo característica de la presencia del hongo micorrícico al hacer simbiosis con la raíz.

De lo contrario se calificaría según como se observara la colonización del hongo en la raíz con la escala subjetiva: alta, media, baja colonización.



Figura 23. A y B. Raíces sin ningún manto de hifas blancas característica de la presencia de hongos micorrícicos.

6.1.5 Medir el efecto de las dosis en la longitud de raíz primaria en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

Al finalizar la evaluación, aproximadamente a los seis meses, se tomaron las cuatro plantas en evaluación de cada repetición, de las cuales se extrajeron de la bolsa sacudiéndole toda la tierra.

Seguidamente se les cortó la raíz para dejarlas en remojo por dos días en un recipiente de agua grande para que soltara toda la tierra. Pasados los dos días se realizó la medición de raíz primaria.



Figura 24. Medición de raíz primaria.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 13. Datos utilizados para análisis de varianza de longitud de raíz primaria en centímetros.

Longitud de raíz primaria en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	40.25	45.75	54.50	46.83
T2	42.75	30.00	37.25	36.67
T3	34.88	66.75	42.75	48.13
T4	35.50	56.00	53.00	48.17
T5	45.75	53.00	42.50	47.08
T6	35.75	36.25	54.50	42.17

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de longitud de raíz primaria en centímetros de planta de dos meses y medio de edad.

Cuadro 14. Análisis de varianza de longitud de raíz primaria.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	314.47	5	62.89	0.6	0.7044
Error	1267.54	12	105.63		
Total	1582.02	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 22.92 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

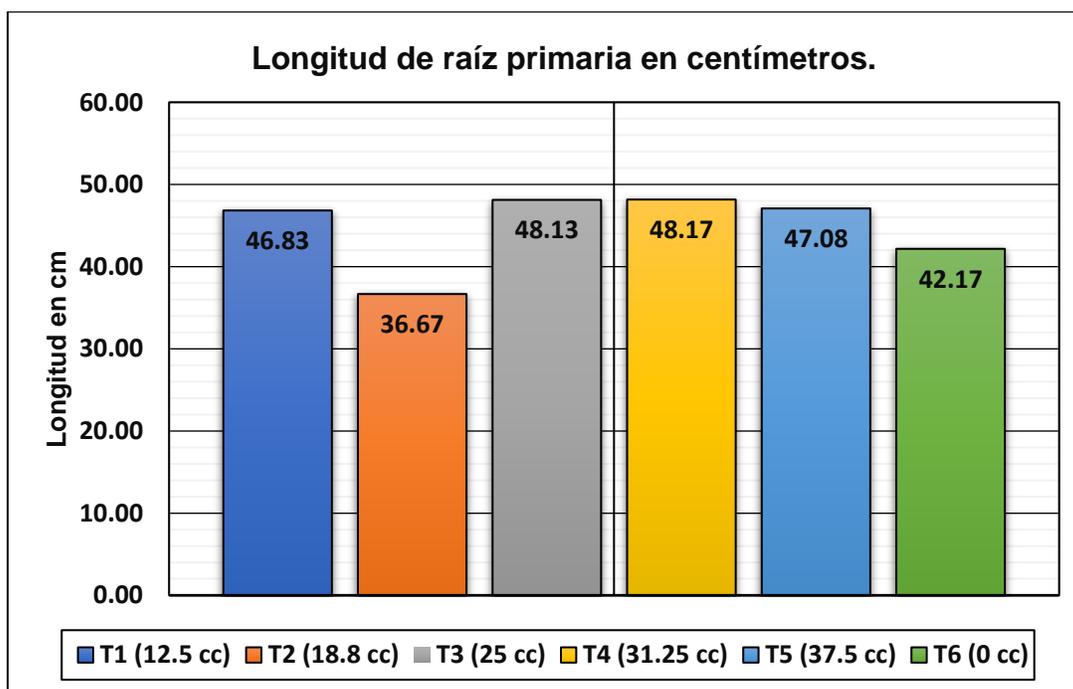


Figura 25. Gráfica de longitud de raíz primaria en cm. Dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 15. Datos utilizados para análisis de varianza de longitud de raíz primaria por planta.

Longitud de raíz primaria en cm.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	63.00	61.50	60.50	61.67
T2	68.25	72.75	52.75	64.58
T3	49.25	50.25	59.00	52.83
T4	53.75	49.75	69.25	57.58
T5	61.50	51.75	56.25	56.50
T6	59.50	59.25	59.75	59.50

A continuación, se muestra el cuadro de análisis de varianza de longitud de raíz primaria en centímetros de plantas de cuatro meses de edad.

Cuadro 16. Análisis de varianza de longitud de raíz primaria.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	253.57	5	50.71	1.13	0.3982
Error	540.79	12	45.07		
Total	794.36	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 11.42 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

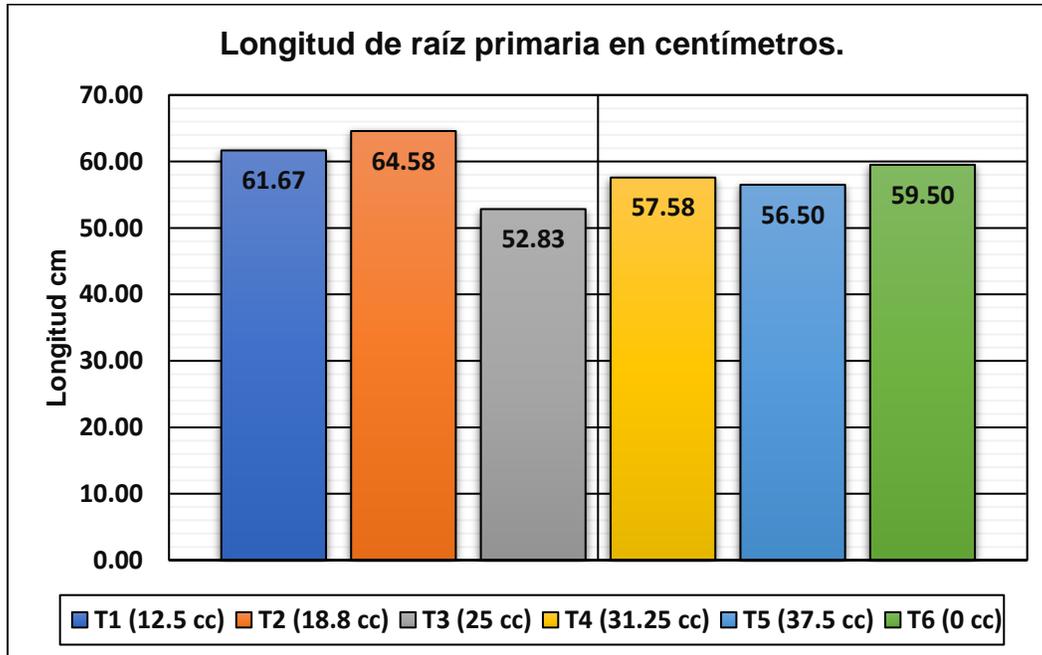


Figura 26. Gráfica de longitud de raíz primaria por planta, cuatro meses de edad.

En suelos con altos niveles de materia orgánica (superior al 10%), fertilización excesiva con fosfatos (superior a 25 ppm), uso no controlado de fungicidas y herbicidas pueden disminuir o hasta desaparecer el potencial micorrícico del sistema (*Micorrizas Arbusculares*, s.f.), es por esto que la frecuencia de aplicación de productos químicos, si fuera necesario, debe ser no mayor a una vez por mes.

La aplicación de vapor o productos químicos al suelo producen inicialmente un descenso del número de los organismos que componen su población (Julca et al., 2006).

Sabiendo esto, se puede decir que probablemente los hongos micorrícicos aplicados en las plantas de los dos experimentos pudieron no tener los factores favorables para desarrollarse, ya que el sustrato de las plantas brindadas para esta investigación se encontraba con diversos compuestos orgánicos para enriquecerlo,

además con humedad constante por la precipitación de la región y en su defecto riego con cisterna.

6.1.6 Medir el efecto de las dosis en el número de raíces en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

Al finalizar la medición de la raíz primaria de cada planta se procedió a contar el número de raíces secundarias por cada una.



Figura 27. Conteo de número de raíces secundarias.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones transformados a Raíz de $x+1$, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 17. Datos utilizados para análisis de varianza de número de raíces por planta.

Número de raíces por planta.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	20.00	32.00	27.00	26.00
T2	25.00	22.00	28.00	25.00
T3	28.00	28.00	22.00	26.00
T4	29.00	24.00	21.00	24.00
T5	19.00	28.00	24.00	23.00
T6	14.00	16.00	27.00	19.00

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de los datos de número de raíces por planta de dos meses y medio de edad.

Cuadro 18. Análisis de varianza de número de raíces por planta.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	1.21	5	0.24	0.98	0.471
Error	2.99	12	0.25		
Total	4.2	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 10.05 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

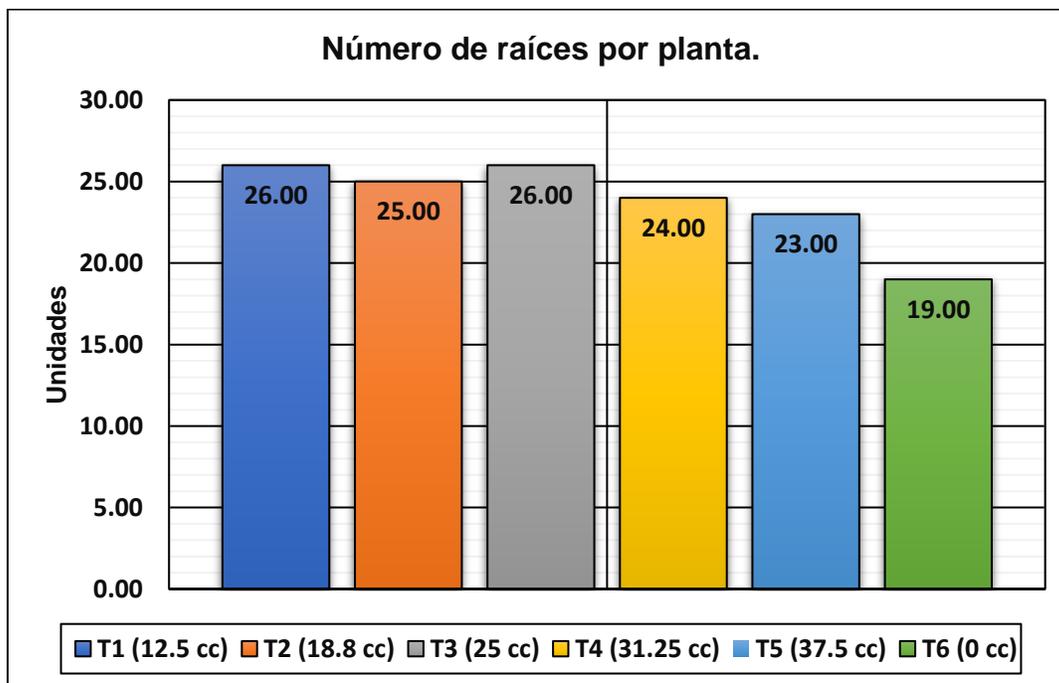


Figura 28. Gráfica de número de raíces por planta, dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones transformados a Raíz de $x+1$, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 19. Datos utilizados para análisis de varianza de número de raíces por planta.

Número de raíces por planta.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	40.00	39.00	27.00	35.00
T2	34.00	42.00	33.00	36.00
T3	28.00	29.00	26.00	28.00
T4	33.00	34.00	32.00	33.00
T5	35.00	31.00	28.00	31.00
T6	22.00	27.00	25.00	24.00

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de número de raíces por planta de cuatro meses de edad.

Cuadro 20. Análisis de varianza de número de raíces por planta.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	253.57	5	50.71	1.13	0.3982
Error	540.79	12	45.07		
Total	794.36	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 6.37 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

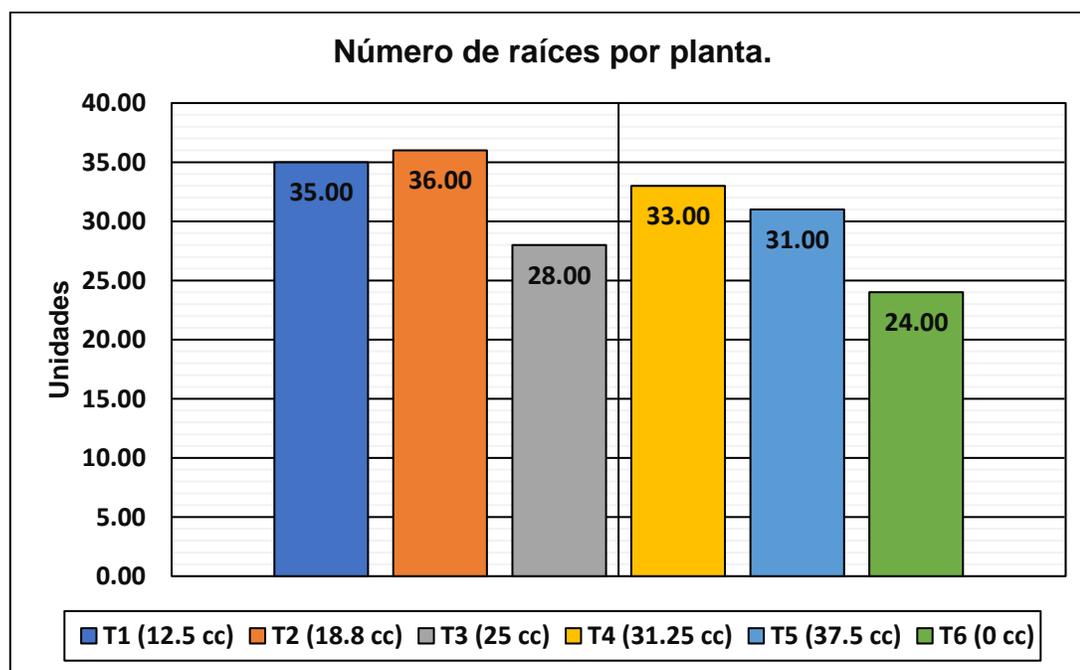


Figura 29. Gráfica de número de raíces por planta, cuatro meses de edad.

Un factor importante es encontrar y mantener las cepas adecuadas del hongo micorrícico para proteger de alguna enfermedad o aumentar el crecimiento de raíces, como lo son las cepas o especies de hongos presentes en las

ectomicorrizas: *Rhizopogon*, *Cenococcuym*, *Cortinarius*, *Thelefora*, *Pisolithus* y *Suillus*; especies de hongos presentes en las orquideomicorrizas: *Xerotus*, *Ceratobasidium*, *Armillariella*, *Marasmius*, *Fomes*, *Corticium*, *Sebacina*, *Gymnopilus* y *Tulasnella*; especie de hongo presente en las ericomorrizas: *Pezizella*; especies de hongos presentes en las micorrizas arbusculares: *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Entrophospora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora*; y especie de hongo presente en las ectendomicorrizas: *Endogone*. (Acosta, 2021).

El efecto de las micorrizas es distinto que el de los productos químicos ya que al ser microorganismos biológicos requieren de más tiempo, de entre 5 a 12 días para colonizar las raíces, observando los efectos positivos en el desarrollo de las plantas a los tres meses después de la inoculación (*Micorrizas Arbusculares*, s.f.) y la temperatura óptima para el desarrollo de estos hongos se encuentra entre 25 y 30°C y el límite máximo entre 40 y 45°C (Gimeno, 2002).

6.1.7 Medir el efecto de las dosis en el peso fresco y seco de raíces en plantas de almácigo de macadamia.

a. Plantas de dos meses y medio de edad.

Al finalizar el conteo de número de raíces se llevaron al laboratorio para realizar el peso fresco en una balanza semi analítica. Cada raíz se introdujo en un sobre manila identificando la edad, número de planta, tratamiento y repetición para luego dejarlas secar en el horno a 60 grados Celsius por 24 horas.



Figura 30. A y B. Peso fresco de raíces.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 21. Datos utilizados para análisis de varianza de peso fresco de raíces por planta en gr.

Peso fresco de raíces en gr.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	61.19	54.68	69.79	61.88
T2	89.92	62.55	59.86	70.77
T3	74.26	56.53	65.39	65.39
T4	49.55	58.13	56.81	54.83
T5	52.60	52.59	54.60	53.26
T6	42.09	55.03	67.97	55.03

Se muestra el cuadro de análisis de varianza de peso fresco de raíces en gramos de plantas de dos meses de edad.

Cuadro 22. Análisis de varianza de peso fresco de raíces.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	736.09	5	147.22	1.47	0.2715
Error	1205.64	12	100.47		
Total	1941.73	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 16,65 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

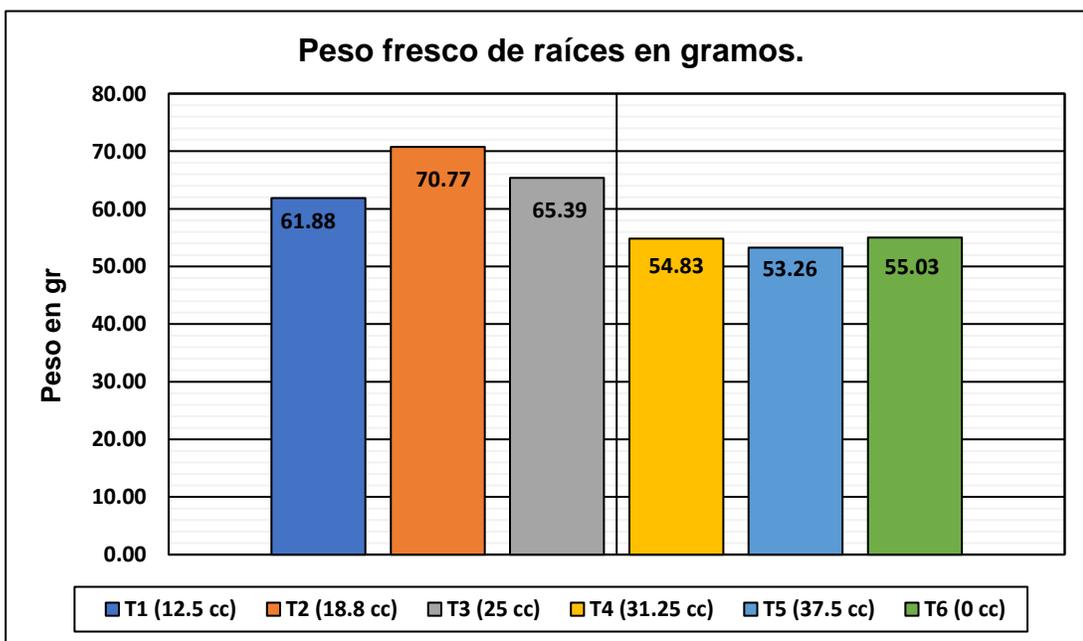


Figura 31. Gráfica de peso fresco de raíces por planta en gr. Dos meses y medio de edad.

b. Plantas de cuatro meses de edad.

En el siguiente cuadro se observan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos y repeticiones, estos datos presentados son los utilizados en el análisis de varianza.

Cuadro 23. Datos utilizados para análisis de variancia de peso fresco de raíces por planta en gr.

Peso fresco de raíces en gr.				
	R1	R2	R3	Promedio
T1	76.35	92.11	65.25	77.90
T2	71.80	110.39	75.15	85.78
T3	92.26	74.52	113.56	93.45
T4	89.76	70.59	116.21	92.19
T5	69.98	74.72	83.75	76.15
T6	78.90	74.89	62.17	71.99

A continuación, se muestra el cuadro de análisis de varianza de peso fresco de raíces en gramos de plantas de cuatro meses de edad.

Cuadro 24. Análisis de varianza de peso fresco de raíces.

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Dosis	1186.19	5	237.24	0.85	0.5395
Error	3342.5	12	278.54		
Total	4528.7	17			

Se obtuvo un coeficiente de variación de 20.13 y con un nivel de significancia al 5%, no se obtuvo una diferencia significativa, por lo que no fue necesario realizar una prueba de tukey.

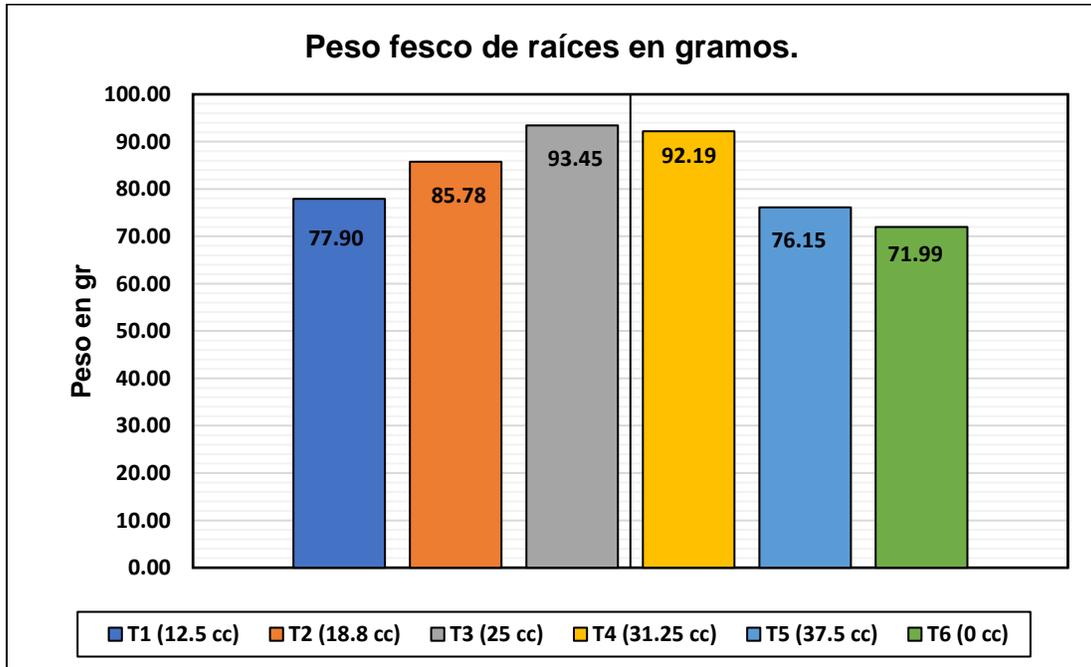


Figura 32. Gráfica de peso fresco de raíces por planta en gr. Cuatro meses de edad.

Al día siguiente, pasadas las 24 horas, se extrajeron del horno secador para realizar el peso seco en la balanza semi analítica.

Al no encontrar diferencias significativas en la variable peso fresco de raíces, no fue necesario realizar los cálculos estadísticos para la variable peso seco de raíces en ambas edades.

Analizando los rendimientos presentados en los cuadros y gráficas sobre la investigación respecto al promedio de cada una de las variables a medir: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de raíz, número de raíces, peso fresco y seco de raíces y nivel de colonización micorrícico en raíces; no se tuvo ninguna diferencia significativa de cada uno los tratamientos evaluados.

Por lo tanto, se tendría que experimentar con dosis por arriba de los 15cc/L, ya que esto ha demostrado en varios estudios: (*Micorrizas Arbusculares*, s.f.; Paillacho,

2010; Rojas y Ortuño, 2007) la simbiosis y desarrollo de los hongos micorrícicos en las raíces de las plantas; como también experimentar en suelos pobres en nutrientes (conocido por medio de un análisis de suelo), sin sobresaturación de materia orgánica y ambientes ligeramente húmedos evitando el riego excesivo para encontrar resultados positivos.

VII. CONCLUSIONES

1. Ninguno de los tratamientos en sus distintas dosis de hongo micorrícico tuvo un efecto en la formación de colonias alrededor del sustrato, ni en raíces de las plantas de dos y medio y cuatro meses de edad.
2. Por la cantidad de dosis aplicada a las plantas no se manifestó un efecto significativo en las raíces de éstas, lo cual hace deducir que se debe incrementar las dosis y favorecer los medios para el desarrollo de los hongos micorrícicos.
3. Como consecuencia de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, se determinó que se acepta la hipótesis nula (H_0), ya que ninguna de las dosis presentó diferencias significativas en las variables medidas en los dos grupos de edades.
4. El análisis de varianza puso en evidencia que todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales, sin diferencias significativas para ninguna de las siete variables evaluadas en desarrollo vegetativo y raíces de la planta.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Para observar la presencia, desarrollo y/o efecto de la simbiosis hongo-raíz formada por los hongos micorrícicos, se sugiere hacer pruebas con dosis más altas a las utilizadas para conocer cuál de ellas es la que llega a formar micorrizas.
2. Es necesario investigar con otras condiciones de suelo, tanto físicas como químicas, a efecto de encontrar la mejor combinación edáfica que permita obtener mejores beneficios para la simbiosis entre las micorrizas y las raíces de la planta.
3. Es conveniente incrementar las aplicaciones de hongos micorrícicos y ser paciente, ya que las micorrizas por ser microorganismos biológicos su uso en el campo requiere de mayor cuidado que la de una aplicación química y toma su tiempo mostrar un efecto.
4. Al momento de llenar las bolsas de almácigo, se sugiere que el sustrato no se apelmace demasiado para que los productos, en sus distintas formas de presentación, sean mejor adsorbidos por las plantas.

IX. REFERENCIAS

Acosta, M. B. (2021). *Micorrizas: qué son y tipos*. Recuperado el 27 de junio de 2022 en: <https://www.ecologiaverde.com/micorrizas-que-son-y-tipos-2498.html>

Aguirre, S. (2006). *Efecto de la inoculación de micorrizas (**Glomus intraradices**) en la producción de plántulas de rúcula (**Eruca vesicaria**) var. Cultivada y su posterior efecto en el rendimiento del cultivo*. (Universidad de las Américas) Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Recuperado el 10 de marzo del 2020 en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=035233>

Archila Samayoa, S. M. (2003). *Guía del proceso de exportación de nuez de macadamia a Estados Unidos*. Guatemala de la Asunción. (Universidad Rafael Landívar) Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Recuperado el 19 de diciembre del 2021 en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2003/01/04/Archila-Samayoa-Sergia-Maria.pdf>

Cedeño, y L. Carrero, C. (2002). *Antracnosis en plántulas de macadamia causada por (**Glomerella cingulata**)*. Recuperado el 20 diciembre del 2021 en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002001000008

Como se reproducen las micorrizas. (2019). Esto es Agricultura. Recuperado el 23 de junio del 2020 en: <https://estoesagricultura.com/que-son-las-micorrizas-y-como-se-reproducen/>

Conoce los potenciales de la nuez de macadamia. (2017). Ciencia MX. Recuperado el 04 de abril de 2022 en: <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/economia/17441-conoce-los-potenciales-de-la-nuez-de-macadamia>

De Loma, E., Friend, O., Castillo, R. y Río de Nevado, M. (2000). *Estudio de industria agroalimentaria de Guatemala*. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)). Recuperado el 17 de diciembre del 2021 en: <http://repiica.iica.int/docs/BV/AGRIN/B/E21/XL2000600220.pdf>

Díaz Montenegro, D. (2017). *Las hormonas vegetales en las plantas*. Intagri. Recuperado el 04 de abril de 2022 en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-hormonas-vegetales-en-las-plantas#:~:text=Activan%20el%20crecimiento%20de%20las,kinetina%20son%20las%20m%C3%A1s%20importantes.>

El cultivo de la nuez. (s.f.) Infoagro.com Recuperado el 07 de enero de 2022 en: https://www.infoagro.com/frutas/frutos_secos/nogal.htm

El suelo ideal. (s.f.). Recuperado el 25 de julio de 2022 en: <https://www.agroholic.com/page/el-suelo-ideal>

Enríquez, F. y Bernal, G. (2008). *Evaluación de la efectividad de cuatro dosis de micorrizas arbusculares bajo cuatro niveles de fósforo en vivero de palmito (*Bactris gasipaes*, HBK), en la zona de Santo Domingo de los Colorados*. (XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo). Recuperado el 15 de mayo del 2020 en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/7.-Ing.-Freddy-Enriquez.pdf>

Estudio de mercado. (2018). Ministerio de Economía. Recuperado el 04 de abril de 2022 en: https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/estudio_de_mercado_frutas_frescas_estados_unidos.pdf

Gimeno, A. (2002). *Principales factores condicionantes para el desarrollo de los hongos y la producción de micotoxinas*. Recuperado el 28 de junio de 2022

en: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/principales-factores-condicionantes-desarrollo-t26065.htm>

Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, y Bello-Amez, Segundo. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. Recuperado el 27 de junio de 2022 en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009

Lagos, S. (2010). *Evaluación de cuatro cepas de micorriza arbuscular en plantas de tomate en vivero*. (Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria). Zamorano, Honduras. Recuperado el 13 de mayo del 2020 en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/605/1/T2951.pdf>

Lozano, M. E. (2013). *Elemento clave del cultivo (**Macadamia integrifolia**)*. (Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad del Cauca). Recuperado el 05 de enero del 2022 en: <https://1library.co/document/zp0lwv0q-macadamia-integrifolia-elemento-clave-del-cultivo.html>

*Macadamia (**Macadamia integrifolia**)*. *Proteaceae*. (s.f.) Recuperado el 03 de marzo del 2020 en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658macadamia.pdf>

Micorriza. (2019). EcuRed. Recuperado el 05 de marzo del 2020 en: <https://www.ecured.cu/Micorriza>

Micorrizas arbusculares. (s.f.) Cenicafé. Recuperado el 28 de junio de 2022 en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4223/1/Cap03.pdf>

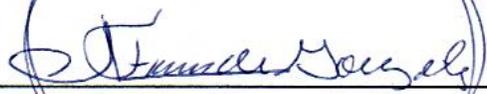
MYCO-UAL. (s.f.) Universidad de Almería, área de botánica. Recuperado el 06 de marzo del 2020 en: <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>

- Nuez de Macadamia: origen, propiedades, beneficios y mucho más.* (2015).
Hablemos de flores. Recuperado el 04 de marzo del 2020 en:
<https://hablemosdeflores.com/nuez-de-macadamia/>
- Paillacho Cedeño, F. I. (2010). *Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del palmito (*Bactris gasipaes hbk*) en etapa de vivero.* (Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Escuela Politécnica del Ejercito). Santo Domingo de los Tsáchilas. Recuperado el 05 de marzo del 2020 en:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2892/1/T-ESPE-IASA%20II-002332.pdf>
- Popoff, O. y González, A. M. (2007). *Reino Fungi: Micorrizas.* (Universidad Nacional del Nordeste) Facultad de Agroindustrias. Recuperado el 05 de marzo del 2020 en: <http://www.biologia.edu.ar/fungi/micorrizas.htm>
- Quintas, G. (2011). *Manual técnico para productores de nuez de macadamia. Guía de siembra, manejo y procesamiento.* Recuperado el 03 de marzo del 2020 en:
<http://macadamiamexico.com/wp-content/uploads/2016/06/Manualmacadamia.pdf>
- Rhizol (Yungo) mejorador de suelos.* (s.f.) Agroindustrias SUCESSO. Recuperado el 16 de marzo del 2020 en: <http://www.sucesso.bio/productos/>
- Rojas, K. y Ortuño, N. (2007). Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. (Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería). Universidad Católica Boliviana. Recuperado el 06 de marzo del 2020 en:
https://www.researchgate.net/publication/228979340_Evaluacion_de_micorrizas_arbusculares_en_interaccion_con_abonos_organicos_como_coadyuvantes_del_crecimiento_en_la_produccion_horticola_del_Valle_Alto_de_Cochabamba_Bolivia

Ruiz-Sánchez, Michel., Muñoz-Hernández, Yaumara., Dell Amico-Rodríguez, José M., Simó-González, Jaime., y Cabrera-Rodríguez, Juan A. (2016). Evaluación de diferentes cepas de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de arroz (*Oryza sativa L.*) en condiciones inundadas del suelo. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 67-75. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas) Mayabeque, Cuba. Recuperado el 28 de abril del 2020 en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000400005

Uribe Valle, Gabriel, & Dzib Echeverría, Roberto. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), Azospirillum brasilense y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), 67-76. Recuperado el 25 de abril del 2020 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000100007&script=sci_arttext&lng=pt

Uso de micorrizas en vivero. (s.f.) Coffee and climate. Recuperado el 04 de abril de 2022 en: <https://toolbox.coffeeandclimate.org/es/tools/use-of-mycorrhizae-in-seedlings-and-nursery/#:~:text=Las%20micorrizas%20pueden%20actuar%20demasiado,puede%20fallar%20por%20razones%20desconocidas.>

Vo. Bo. 
Lcda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC



X. ANEXOS



Figura 33. A. Plantas de macadamia de 2 meses y medio de edad. B. Plantas de macadamia de 4 meses de edad.



Figura 34. A y B. Producto comercial utilizado marca Rhizol.



Figura 35. A y B. Resiembras de plantías de macadamia caídas.

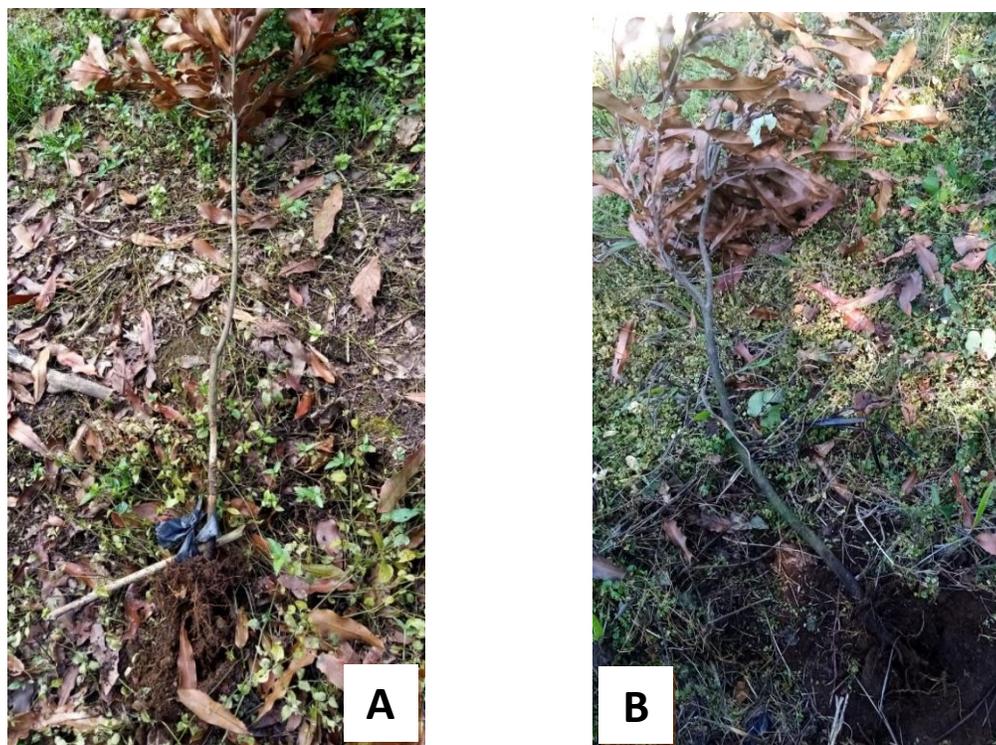


Figura 36. A Y B. Plantías de macadamia muertas.



Figura 37. A y B. Preparación de las dosis para la primera aplicación.

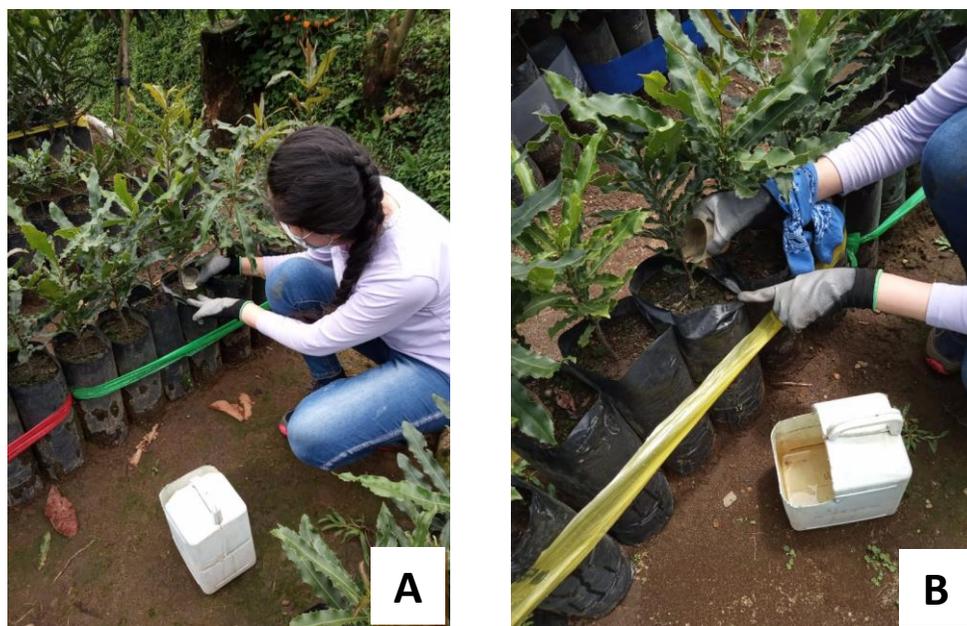


Figura 38. A y B. Primera aplicación de los tratamientos, 16 de septiembre.



Figura 39. Plantas identificadas de 2 meses y medio de edad.



Figura 40. Plantas identificadas de 4 meses de edad.



Figura 41. A y B. Segunda aplicación de los tratamientos, 16 de diciembre.

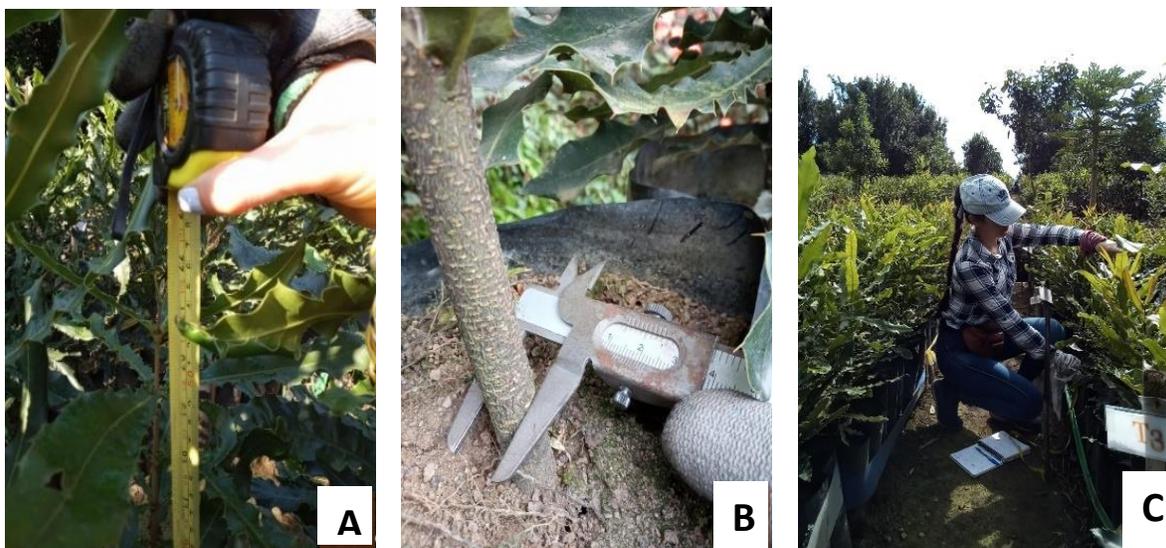


Figura 42. A. Toma de datos de altura de planta. **B.** Diámetro de tallo. **C.** Conteo de número de hojas a cada 15 días.



Figura 43. A, B y C. Algunas imágenes de corte y limpieza de raíces al finalizar el experimento.



Figura 44. A y B. Raíces identificadas. **C.** Raíces remojadas en agua para que soltaran toda la tierra.



Figura 45. A y B. Peso fresco de raíces en el laboratorio del centro universitario.

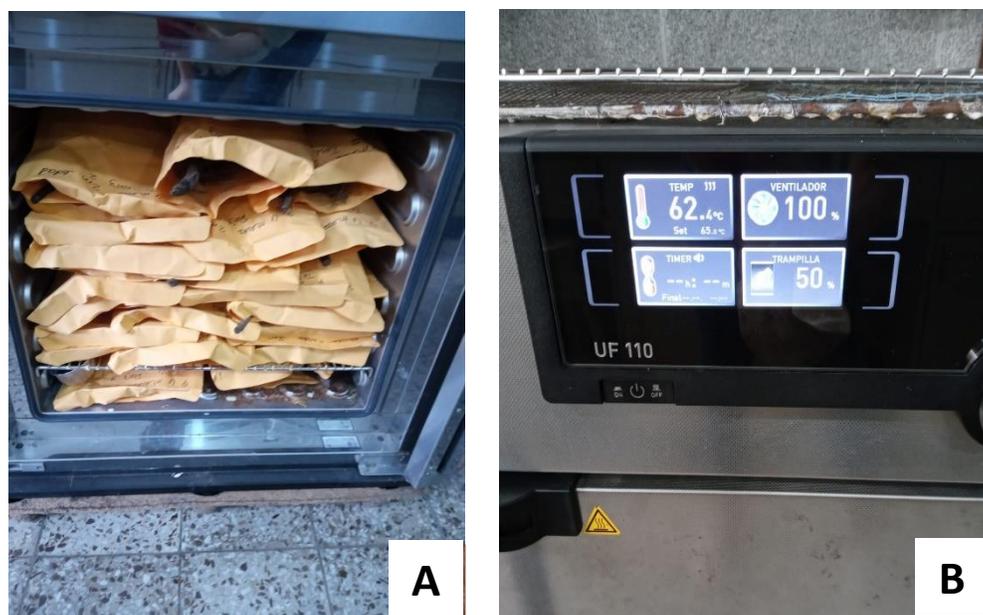


Figura 46. A y B. Raíces dejadas en horno secador por 24 horas a 60°Celsius.



Mazatenango, Suchitepéquez, 28 de septiembre del año 2022.

Ing. Agr.
Luis Alfredo Tobar Piril
Coordinador Carrera Agronomía Tropical
Centro Universitario del Suroccidente.

Estimado Ing. Tobar:

Por este medio me es grato dirigirme a usted deseándole éxitos al frente de sus diferentes actividades.

El objeto de la presente es para informarle que he concluido la etapa de supervisión y asesoría del trabajo de Investigación Inferencial de la estudiante ESPERANZA JASDI YOSIM ESCARLET RODRÍGUEZ SANTOS, carné 201342132, titulado: **"Evaluación de cinco dosis de hongos micorrícicos en el enraizamiento de plantas de macadamia (*Macadamia integrifolia*,) Pueblo Nuevo, Suchitepéquez.** Dicha investigación se realizó dentro del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado en el período de julio a diciembre del año 2020.

Considero que dicho trabajo cumple con los requerimientos científicos y académicos, previa revisión correspondiente, para ser usado como trabajo de graduación de la estudiante mencionada.

Sin otro particular, me suscribo muy atentamente:


Ing. Agr. M.A. José María Tamath Mérida
Asesor-supervisor EPSAT



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
AGRONOMÍA TROPICAL

Oficio CAT-TG-01-2023
Mazatenango, 07 de febrero de 2022.

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

Señor Director en funciones:

Con fundamento en el normativo de Trabajos de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que la estudiante T.P.A. ESPERANZA JASDI YOSIM ESCARLET RODRÍGUEZ SANTOS, quien se identifica con número de Carné: 201342132, ha concluido su trabajo de graduación titulado: "EVALUACIÓN DE CINCO DOSIS DE HONGOS MICORRÍDICOS EN EL ENRAIZAMIENTO DE PLANTAS DE MACADAMIA INTEGRIFOLIA, DE DOS DISTINTAS EDADES, PUEBLO NUEVO, SUCHITEPÉQUEZ.", el cual fue asesorado por el Ing. Agr. José María Tamath Mérida, profesor que hizo constar tal hecho, con nota que antecede.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que la estudiante T.P.A. Rodríguez Santos ha cumplido con lo normado, razón por la que someto a su juicio el documento que se acompaña, para que continúe con el trámite correspondiente de graduación.

Sin otro particular, con la sensación del deber cumplido, le reitero las muestras de mi consideración y estima. Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador Carrera





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

CUNSUROC/USAC-I-21-2023

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

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE CINCO DOSIS DE HONGOS MICORRÍDICOS EN EL ENRAIZAMIENTO DE PLANTAS DE MACADAMIA INTEGRIFOLIA, DE DOS DISTINTAS EDADES, PUEBLO NUEVO, SUCHITEPÉQUEZ", de la estudiante: TPA. Esperanza Jasdi Yosim Escarlet Rodríguez Santos, carné 201342132 CUI: 2405 35839 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director

/gris

