

**Caracterización de hongos micorrícicos asociados a clones de Cacao (*Theobroma Cacao L.*)  
en el municipio de Cubarral (Meta)**

Jonathan Smith Hoyos Montaña

Laura Julieth Ortiz Garzón

Director

Adriana Lucía Díaz Bodadilla

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Agronomía

2024

## Resumen

En este proyecto, se analizó la relación entre Hongos micorrícicos y los clones de cacao (*Theobroma cacao L*) CCN 51 y FSA 12, que se cultivan en el municipio de Cubarral, Meta, utilizándolos métodos de análisis propuestos por Gerdermann y Nicolson (1963), modificada con INVAM (2014). De manera adicional, el estudio identificó morfotipos y características genotípicas de los hongos micorrícicos encontrados en los dos clones de cacao.

Los resultados del trabajo señalaron que en el mayor número de colonias se encontró que el clon CCN 51 ya que presentó el mayor porcentaje de colonias con respecto a las raíces estudiadas. En relación con los datos de las variables químicas del suelo como el pH, el contenido de materia orgánica, el contenido de aluminio y de fósforo no se encontraron diferencias entre los suelos de cada uno de los clones. Por lo tanto, la mayor diferencia encontrada entre los clones estudiados fue la densidad de colonias encontrada raíces. Esto da indicios de creer que el clon CCN 51, se encuentra en mayor capacidad de enfrentar a enfermedades del cacao como el tizón de plántulas causado por *Phytophthora palmivora*. Se encontró de manera adicional que la posible causa por la cual el porcentaje de colonias era mejor en el clon FS 12, era posiblemente el resultado de algunas prácticas agrícolas, del dueño del cultivo, ya que en el terreno donde se encontraban las plantas del clon FS12, se le había aplicado fertilizantes fosfatados, lo que posiblemente pueda afectar la densidad de las micorrizas. Lo que finalmente, sugiere que la aplicación de micorrizas puede mejorar la asimilación de estos, optimizando así el desarrollo del cultivo.

**Palabras clave:** Hongos Micorrícicos, cacao, Villavicencio, suelo, agricultura.

### **Abstract**

In this project, the relationship between mycorrhizal fungi and cocoa clones (*Theobroma cacao* L) CCN 51 and FSA 12, which are grown in the municipality of Cubarral, Meta, was analyzed using analysis methods proposed by Gerdermann and Nicolson (1963), modified with INVAM (2014). Additionally, the study identified morphotypes and genotypic characteristics of the mycorrhizal fungi found in the two cocoa clones. The results of the work indicated that the CCN 51 clone was found in the largest number of colonies since it presented the highest percentage of colonies with respect to the roots studied. In relation to the data on soil chemical variables such as pH, organic matter content, aluminum and phosphorus content, no differences were found between the soils of each of the clones. Therefore, the greatest difference found between the clones studied was the density of colonies found in roots. This gives evidence to believe that the CCN 51 clone is better able to combat cocoa diseases such as seedling blight caused by *Phytophthora palmivora*. It was additionally found that the possible cause why the percentage of colonies was better in clone FS 12 was possibly the result of some agricultural practices of the owner of the crop, since in the land where the plants of the clone were found FS12, phosphate fertilizers had been applied, which could possibly affect the density of the mycorrhizae. Which finally suggests that the application of mycorrhizas can improve their assimilation, thus optimizing the development of the crop.

**Keywords:** Mycorrhizal Fungi, cocoa, Villavicencio, soil, agriculture.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	9
Justificación .....	11
Objetivos.....	12
Objetivo General .....	12
Objetivos Específicos .....	12
Marco Teórico.....	13
Hongos Micorrízicos .....	13
Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	13
Características Específicas de CCN 51 y FSA 12.....	14
Interacción entre Cacao y Hongos Micorrízicos .....	14
Crecimiento de las Plantas con Hongos Micorrízicos.....	15
Salud en las Plantas de Cacao .....	16
Condiciones del Suelo.....	16
Manejo Agronómico .....	16
Metodología .....	18
Área de Estudio .....	18
Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 1.....	19
Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 2.....	20
Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 3.....	22
Resultados y Análisis.....	23
Porcentaje de Colonización de las Micorrizas .....	23
Recuento de Esporas y Datos Químicos del Suelo .....	26

Análisis Físico Químico del Suelo .....	27
Interacción entre las Prácticas Agrícolas Micorrizas .....	30
Conclusiones .....	31
Recomendaciones .....	33
Referencias Bibliográficas .....	34
Apéndices.....	37

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> Recuentos de esporas en raíz .....	23
<b>Tabla 2.</b> Recuentos de esporas en suelo .....	27
<b>Tabla 3.</b> Datos químicos del suelo .....	28

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación Finca La Bendición .....	18
<b>Figura 2.</b> Código postal Cubarral-Meta .....	19
<b>Figura 3.</b> Formas vesiculares presente en los clones .....	25
<b>Figura 4.</b> Formación de arbúsculos.....	25
<b>Figura 5.</b> Hifas intra-radicales .....	26

**Lista de Apéndices**

**Apéndice A.** Anexos Fotográficos ..... 37

**Apéndice B.** Anexo fotográfico de análisis en laboratorio ..... 40

## Introducción

En este proyecto, nos adentramos en el mundo del cacao en el municipio de Cubarral, Meta, confirmando la relación entre los hongos micorrícicos y los clones de cacao. Nos interesa comprender cómo estos pequeños organismos influyen en el desarrollo de las plantas de cacao y cómo pueden ser una alternativa para mejorar la producción, especialmente en suelos difíciles como los de Cubarral -Meta.

Para entender esta relación, se establecieron los siguientes elementos de análisis, la colonización micorrícica de las raíces de cacao, la cuantificar la densidad de esporas de hongos micorrícicos en el suelo incorporando datos químicos del suelo que puedan afectan la diversidad y funcionalidad de estas comunidades fúngicas y finalmente, la interacción entre las prácticas agrícolas y la eficacia de las micorrizas en la absorción de nutrientes y la tolerancia a enfermedades. Dado lo anterior, se utilizaron métodos de evaluación propuestos por Gerdermann y Nicolson (1963), adaptado para nuestra zona de estudio. Nos motiva la idea de contribuir al conocimiento sobre la variedad de hongos micorrícicos en esta área y cómo pueden impactar positivamente en la producción de cacao.

Las variables que señalan el impacto positivo de los hongos micorrícicos incluyen una mejora en la absorción de nutrientes, aumento en la resistencia a enfermedades del suelo, mejor uso del agua permitiendo soportar mejor la sequía, mejora en la estructura y retención de agua en el suelo, e incremento en la producción y rendimiento del cacao. Sin embargo, también pueden tener impactos negativos, como la posible competencia con las plantas por recursos en condiciones subóptimas, el riesgo de que las plantas se vuelvan dependientes de los hongos, dificultades en suelos pobres o extremos, y los altos costos de inoculación que no siempre son justificables. Estas variables deben ser gestionadas cuidadosamente para maximizar los

beneficios de la simbiosis entre hongos micorrícicos y plantas de cacao. Con cada muestra de suelo que recolectamos, confirmamos un poco más sobre el ecosistema del cacao en esta región, y esperamos que nuestros hallazgos puedan guiar futuros proyectos y prácticas agrícolas más sostenibles y efectivas.

### **Justificación**

Los Hongos Micorrícicos (HM) confieren a la planta efectos benéficos, entre ellos, la resistencia inducida a algunos fitopatógenos (Jung et al., 2012) que afectan los índices de producción en las plantas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao L.*). Por tanto, para estudiar el efecto de la simbiosis de Hongos Micorrícicos en plántulas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la resistencia al tizón de plántulas causado por *Phytophthora palmivora*, se busca determinar la relación y el impacto de los hongos micorrícicos en el crecimiento y la salud de los clones de cacao (CCN 51 y FSA 12). Se pretende encontrar formas de potenciar estos efectos benéficos para mejorar las prácticas agrícolas locales. A partir de los resultados obtenidos, se estudiará la simbiosis existente en suelos poco fértiles, como los de la Orinoquia Colombiana (Jung et al., 2012).

Además, se hace necesario aportar al conocimiento de las características de las micorrizas, ya que la diversidad de estos hongos en la región es escasa. Obtener esta información contribuirá al entendimiento y manejo de estos hongos para mejorar la producción de cacao en la región investigaciones en campo y laboratorio que incluyan propagación.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar la posible relación de los hongos micorrícicos y la posibilidad de resistir a enfermedades de los clones de cacao (CCN 51y FSA 12), buscando formas de potenciar estos efectos benéficos para mejorar las prácticas agrícolas locales.

### **Objetivos Específicos**

Evaluar la colonización micorrícica de las raíces de cacao y analizar cómo esta relación simbiótica varía en respuesta a diferentes condiciones ambientales y de manejo agronómico.

Cuantificar la densidad de esporas de hongos micorrícicos en el suelo y determinar cómo las propiedades del suelo afectan la diversidad y funcionalidad de estas comunidades fúngicas.

Relacionar la interacción entre las prácticas agrícolas y la eficacia de las micorrizas en la absorción de nutrientes y la tolerancia a enfermedades.

## Marco Teórico

La caracterización de hongos micorrícicos asociados a clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los llanos orientales del municipio de Cubarral (Meta) representa un tema de investigación relevante para la agricultura sostenible y el mejoramiento de la producción de cacao. Los hongos micorrícicos juegan un papel crucial en la salud del suelo y en la promoción del crecimiento de las plantas, especialmente en cultivos de importancia económica como el cacao (Smith y Read, 2008).

### Hongos Micorrícicos

**Definición y Tipos:** Los hongos micorrícicos son aquellos que establecen una relación simbiótica con las raíces de las plantas. Existen dos tipos principales: ectomicorrizas y endomicorrizas (o micorrizas arbusculares). Las micorrizas arbusculares (AM) son las más comunes y están asociadas con la mayoría de las plantas agrícolas (Smith y Read, 2008).

**Función en el Ecosistema:** Estos hongos mejoran la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y aumentan la resistencia de las plantas a enfermedades y estrés abiótico (Smith y Read, 2008). Además, contribuyen a la estructura del suelo y a la retención de agua.

### Cacao (*Theobroma cacao* L.)

**Origen y Distribución:** El cacao es originario de la cuenca del Amazonas y es cultivado en regiones tropicales de América, África y Asia (Wood y Lass, 2008). En Colombia, los llanos orientales representan una región importante para su cultivo debido a sus condiciones agroclimáticas favorables (Wood y Lass, 2008).

**Importancia Económica y Social:** El cacao es un cultivo de alto valor económico y cultural. Su producción no solo es crucial para la economía local, sino que también tiene

implicaciones en la conservación de la biodiversidad y la mitigación de la pobreza rural (Wood y Lass, 2008).

### **Características Específicas de CCN 51 y FSA 12**

Los clones de cacao CCN 51 y FSA 12 son dos variedades ampliamente cultivadas en Colombia debido a sus características particulares. El CCN 51 es conocido por su alta productividad y resistencia a enfermedades, aunque su rendimiento óptimo depende de un manejo adecuado del suelo y los nutrientes. En contraste, el clon FSA 12 también es productivo, pero es más sensible a las condiciones ambientales extremas, lo que puede afectar su rendimiento. Ambos clones, sin embargo, se benefician de la simbiosis micorrícica, que puede mejorar su resiliencia y productividad en diferentes condiciones de cultivo (Rojas, 2010; Oliveira et al., 1998).

### **Interacción entre Cacao y Hongos Micorrícicos**

**Beneficios de la Asociación:** La asociación micorrícica en el cacao mejora la absorción de nutrientes, especialmente en suelos pobres en fósforo, lo que resulta en un mejor crecimiento y rendimiento de las plantas (Smith y Read, 2008). Además, estos hongos pueden ayudar a las plantas de cacao a resistir enfermedades del suelo y condiciones de sequía (Jung et al., 2012).

**Estudios Previos:** Investigaciones previas han demostrado que los hongos micorrícicos pueden aumentar la eficiencia del uso del agua y mejorar la salud del suelo (Smith y Read, 2008). Estudios específicos en otras regiones han mostrado resultados prometedores en cuanto a la mejora del rendimiento del cacao mediante la inoculación de hongos micorrícicos (Jung et al., 2012).

## **Crecimiento de las Plantas con Hongos Micorrícicos**

Los hongos micorrícicos son microorganismos que establecen una relación simbiótica con las raíces de las plantas, lo que resulta en un intercambio mutuo de beneficios. En esta asociación, las plantas proporcionan a los hongos carbohidratos que producen a través de la fotosíntesis, mientras que los hongos mejoran la capacidad de las raíces para absorber nutrientes, como fósforo, nitrógeno y otros minerales esenciales. Este aumento en la absorción de nutrientes se traduce en un crecimiento más vigoroso y saludable de las plantas. En particular, en suelos pobres en nutrientes, como los de la región de la Orinoquia colombiana, la simbiosis micorrícica es crucial para el desarrollo óptimo de las plantas de cacao, permitiéndoles superar limitaciones nutricionales que de otro modo impedirían su crecimiento (Smith y Read, 2008; Jung et al., 2012).

La simbiosis con hongos micorrícicos no solo mejora la nutrición de las plantas, sino que también fortalece su capacidad para resistir enfermedades. Por ejemplo, las plantas de cacao que forman estas asociaciones tienen una mayor resistencia a patógenos del suelo, como *Phytophthora palmivora*, un hongo que causa el tizón en cacao y puede devastar cultivos. Los hongos micorrícicos actúan como una barrera física y química, mejorando la defensa de las plantas al reforzar el sistema radicular y aumentando la disponibilidad de nutrientes esenciales que fortalecen las defensas naturales de las plantas (Jung et al., 2012; Smith y Read, 2008).

De manera adicional a lo anterior, se sabe que la diversidad de especies de hongos micorrícicos en el suelo tiene un impacto significativo en la funcionalidad de estas comunidades y, por ende, en la salud de las plantas de cacao. Una mayor diversidad fúngica puede proporcionar una gama más amplia de beneficios, como una mayor estabilidad del sistema radicular y una mayor capacidad para resistir cambios ambientales. Sin embargo, factores como

el pH, la textura del suelo y la disponibilidad de nutrientes pueden afectar la composición de estas comunidades fúngicas, limitando su funcionalidad, por lo tanto, su capacidad para formar asociaciones beneficiosas con las plantas (Sanders et al., 1996; Peña et al., 2003).

### **Salud en las Plantas de Cacao**

La salud general de las plantas de cacao es profundamente influenciada por su relación con los hongos micorrícicos. Estas plantas no solo crecen mejor, sino que también muestran una mayor tolerancia al estrés ambiental, como la sequía. Los hongos mejoran la estructura del suelo, aumentando su capacidad para retener agua, lo que es particularmente beneficioso en regiones con fluctuaciones en la disponibilidad de agua. Además, la simbiosis micorrícica promueve la formación de un sistema radicular más extenso y saludable, lo que permite a las plantas acceder a recursos de manera más eficiente y mantenerse saludables incluso en condiciones adversas (Biermann y Linderman, 1981).

### **Condiciones del Suelo**

En regiones con suelos ácidos, como los de la Orinoquia, los hongos micorrícicos pueden ser esenciales para mejorar la disponibilidad de nutrientes que de otra manera serían inaccesibles para las plantas de cacao. Sin embargo, estas relaciones simbióticas son sensibles a las variaciones en la humedad y la temperatura, que pueden influir en la actividad y la eficacia de los hongos en la asistencia al crecimiento de las plantas (Peña et al., 2003; Paul y Clark, 1996).

### **Manejo Agronómico**

El manejo agronómico adecuado es crucial para potenciar los beneficios de la simbiosis micorrícica. Esto incluye prácticas como la regulación del pH del suelo y el uso de fertilizantes que no interfieran con la formación y funcionamiento de las micorrizas. Por ejemplo, un exceso de fertilizantes fosfatados puede reducir la eficacia de los hongos micorrícicos, ya que disminuye

la necesidad de la planta de asociarse con estos hongos. Por lo tanto, es esencial un manejo agronómico que equilibre la fertilización y la promoción de la actividad micorrícica para optimizar la salud y productividad del cultivo de cacao (Sánchez, 1999; Barker et al., 1998).

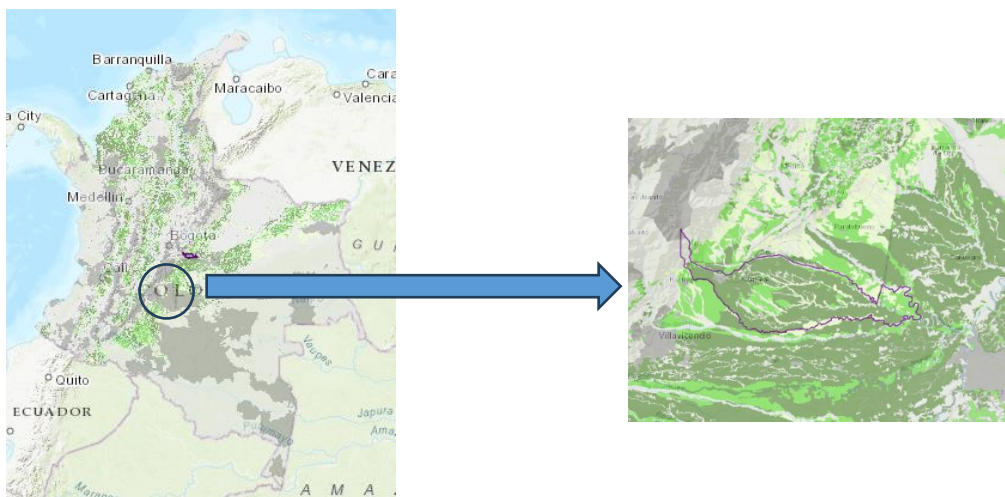
## Metodología

### Área de Estudio

El estudio se desarrolló en la Finca La Bendición ubicada con coordenadas geográficas de  $3^{\circ}47'34''\text{N}$   $73^{\circ}50'15''\text{O}$  (figura 1), en el municipio de Cubarral, ubicado en los Llanos Orientales de Colombia. Esta zona presenta un clima tropical húmedo, suelos ácidos y una biodiversidad rica, condiciones que pueden influir en la asociación micorrícica (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2010). Los cultivos visitados estaban compuestos por dos clones genéticos de aproximadamente tres años: CCN 51 y FSA 12. El material genético patrón para todos los árboles correspondió al clon IMC 67. Estos fueron sembrados intercaladamente en el lote, cada dos surcos por clon, a una distancia de 3 x 3 metros entre plantas. (Figura 2)

### Figura 1

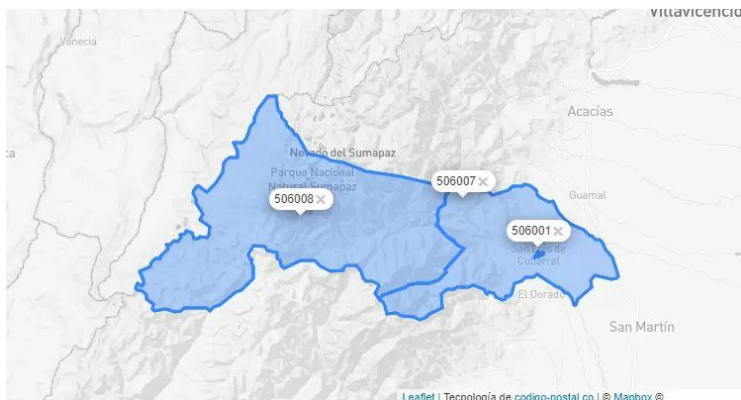
#### *Ubicación Finca La Bendición*



Fuente. <https://sipra.upra.gov.co/nacional> (agosto 2024).

## Figura 2

### *Código postal Cubarral-Meta*



*Fuente.* Tomado de <https://codigo-postal.co/colombia/meta/cubarral/Caracterización de Hongos Micorrícicos>

**Métodos de Caracterización:** La caracterización de hongos micorrícicos puede incluir métodos morfológicos y moleculares. Los análisis de ADN son particularmente útiles para identificar y clasificar las especies de hongos micorrícicos presentes en las raíces del cacao (Redecker et al., 2003).

**Importancia de la Caracterización:** Conocer las especies de hongos micorrícicos asociadas con clones de cacao específicos permite seleccionar los más beneficiosos para su cultivo. Esto puede llevar a prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles (Smith y Read, 2008).

### **Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 1**

**Colonización Micorrícica:** Se revisó el porcentaje y la intensidad de la colonización micorrícica en las raíces, lo cual es un indicador directo de la integración simbiótica entre los hongos y las plantas de cacao. Esta variable es crucial para entender cómo los hongos ayudan a

las plantas a acceder a recursos del suelo que de otro modo serían inaccesibles, especialmente en suelos pobres en nutrientes.

Para la determinación de porcentaje de colonización de Hm (hongos micorrícicos) en raíces de plantas de cacao (*Theobroma Cacao*) (método de intersección de la grilla, (Erazo, 2000). de acuerdo con el método de intersección de la grilla se dispersaron homogéneamente las raíces teñidas sobre una caja de Petri con cuadrícula de 1 cm<sup>2</sup>. La lectura se realizó bajo microscopio, efectuando siete repeticiones por clon, contando en las intersecciones las raíces colonizadas y las raíces totales, tanto horizontales como verticales.

### **Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 2**

Se midió la densidad de esporas como un indicativo de la capacidad reproductiva y la presencia activa de hongos micorrícicos en el suelo. Esta variable permite evaluar la salud y la viabilidad de las poblaciones fúngicas bajo diferentes condiciones agrícolas y ambientales.

Propiedades químicas del suelo: Factores como el pH, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de fósforo y aluminio para comprender cómo afectan la formación de micorrizas y la salud general de las plantas.

Se realizó un muestreo de Suelo y muestreo parcial de plantas de cacao (raíz): los muestreos se realizaron en época de invierno (octubre-diciembre) en la zona donde se desarrolló el proyecto aplicado. Se recolectaron muestras de suelo de dos clones genéticos de cacao (*Theobroma cacao*) presentes en las plantaciones visitadas. En total, se recolectaron 36 muestras, con 2 submuestras a partir de ocho plantas de cada clon distribuidas en la zona de estudio. Las plantas se seleccionaron al azar, teniendo en cuenta una distancia mínima de 80 metros entre los puntos de muestreo.

Cada submuestra se tomó a una profundidad del horizonte cero, a una distancia entre 5 y 40 cm, en las goteras de la planta, en forma circundante. Se seleccionaron aproximadamente 2 kg de muestra, incluyendo suelo y raíces, en cada punto, y posteriormente las muestras se almacenaron a una temperatura de 6°C hasta su procesamiento en el laboratorio. Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente durante 96 horas. Posteriormente, se dividió la muestra para la identificación de esporas.

De acuerdo con los métodos que utiliza Phillips y Hayman se tomaron 10 porciones de raíces sanas y no deshidratadas de 2 cm de largo por cada clon de cacao (*Theobroma cacao*) y se sumergieron en KOH al 10%; Luego, se calentaron en baño maría a 80°C durante 15 minutos. Posteriormente, se realizó un lavado con dos litros de agua, repitiendo el proceso tres veces. Después, se acidificaron con HCl al 1% durante 10 minutos. Se procedió a la tinción con azul de tripano al 0.05%, dejándolas actuar por 24 horas a temperatura ambiente. Finalmente, se retiró el colorante, se lavaron nuevamente con agua y se sumergieron en lacto glicerol al 40%.

Finalmente, para el proceso de identificación de géneros morfológicos de hongos micorrícicos, se realizó la siguiente metodología: se identificaron y separaron los morfotipos encontrados en los aislamientos a partir de las claves para identificación de hongos. Cada morfotipo identificado se aisló y se procesó en láminas portaobjetos de vidrio. Se aplicaron 2 gotas en cada lámina portaobjetos de vidrio, colocando 15 esporas de cada morfotipo. Cada gota se cubrió con una laminilla cubreobjetos, presionando suavemente y dejando secar para su posterior identificación en el microscopio, utilizando aumentos de 10x, 40x y 100x.

El color se determinó utilizando la tabla de color para suelos de Munsell. Para evaluar las características morfológicas, se utilizó el “Catálogo ilustrado de Micorrizas Arbusculares de la Amazonia Colombiana” (Guerrero, 1996), la Colección Internacional de Cultivos de Hongos

Arbusculares Micorrícicos Vesiculares (INVAM, 1983) y las claves propuestas por el CIAT (1993) en las “Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorrizas arbusculares”.

### **Métodos Usados para el Desarrollo del Objetivo Específico 3**

Para el desarrollo de este objetivo se tuvo en cuenta la información sobre el uso de fertilizantes químicos en la producción de cacao par cada uno de los clones. Información que se contrastará con los datos de suelos y con datos de colonización de micorrizas. Así mismo, se realizaron observaciones sobre la presencia de la enfermedad el tizón causado por *Phytophthora palmivora*.

## Resultados y Análisis

### Porcentaje de Colonización de las Micorrizas

Se tomaron un total de 36 muestras que incluyen planta y suelo. Con este material y a partir del método de intersección de la grilla descrito por Phillips y Hayman (1970), se realizaron cinco montajes para realizar la evaluación de conteo de los hongos por cada clon. Los resultados se muestran que el clon CCN 51 presenta mayor porcentaje de colonización en raíz con un 67% el análisis realizado se menciona a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Recuentos de esporas en raíz*

Clon	Promedio de Recuentos (%)
CCN 51	67%
FSA 12	33%

*Nota.* Esta tabla muestra el análisis realizado, los resultados se muestran que el clon CCN 51 presenta mayor porcentaje de colonización en raíz con un 67%. *Fuente.* Autores

Los datos fueron tratados mediante un análisis de varianza, para señalar la existencia de diferencia significativas entre los dos tipos de clones y los porcentajes de colonización de hongos micorrícicos. Dicho análisis mostró que existen diferencias significativas entre los clones lo cual fue confirmado mediante una prueba de t Student confirmando que el clon CCN 51 (67%) tiene una colonización significativamente mayor que el clon FSA 12 (33%) ( $p < 0.05$ ).

Todas las raíces de los clones presentaron colonización por hongos micorrícicos. El clon que presentó el mayor porcentaje de colonización fue el CCN 51 (67%), seguido del FSA 12 (33%). Esta diferencia significativa sugiere que el clon CCN 51 es más receptivo a la simbiosis micorrícica bajo las condiciones estudiadas (Rojas, 2010; Oliveira et al., 1998).

Así mismo, se evidenció la presencia de vesículas, arbusculos e hifas en la colonización radicular de ambos clones, destacándose la mayor presencia de vesículas. Estos orgánulos tienen la función de almacenamiento temporal y, en ocasiones, funcionan como propágulos cuando están aislados de la raíz. Su formación depende de la etapa de infección y, en este caso, indica que la infección ha madurado (Biermann y Linderman, 1981).

Los dos clones, CCN 51 y FSA 12, presentaron porcentajes de colonización con valores que van desde rangos medios hasta valores altos, según el análisis de colonización micorrícica descrito por Rojas (2010) y Oliveira et al. (1998), quienes encontraron resultados similares en estudios previos sobre cacao y micorrizas.

Rojas (2010) confirma que la colonización por hongos micorrícicos se presenta en mayor desarrollo y proporción durante la época húmeda (invierno o de lluvias) en plantas de cacao. De igual manera, Oliveira et al. (1998) en un estudio realizado en el género *Theobroma*, evidenciaron el aumento de la colonización micorrícica en época húmeda. Varios autores atribuyen estas características a la mayor actividad de la raíz en esa época del año en la mayoría de los clones y plantaciones estudiadas (Allen et al., 1998). De otro lado, el estudio trabajo en las formas vesiculares presenten en los clones. En este aspecto se observó la formación de vesículas en el clon (figura 3). Por medio de las vesículas se permite la estructuración de las raíces y plantas, estas se involucran en la interacción simbiótica con los hongos micorrícicos, como se logran observar en algunas imágenes microscópicas, por medio de las vesículas se indican la relación simbiótica beneficiosa para la planta logrando facilitar la absorción de nutrientes y agua del suelo.

**Figura 3**

*Formas vesiculares presente en los clones*



*Fuente. Autoría propia*

Así mismo, se observó la presencia de formación de arbusculos que son las estructuras ramificadas internas de los hongos micorrícicos arbusculares (AM) que se forman dentro de las células de las raíces de las plantas. En el círculo que se señala en la imagen se señala donde los arbusculos se han desarrollado (Figura 4)

**Figura 4.**

*Formación de arbusculos*



*Fuente. Autoría propia*

Finalmente, se observaron Hifas intra-radicales que son fundamentales para la simbiosis micorrícica aumentando la superficie para la absorción de nutrientes y agua para la planta mientras que por medio del hongo se obtiene los carbohidratos y otros compuestos orgánicos (Figura 5).

### **Figura 5**

*Hifas intra-radicales*



*Fuente.* Autoría propia

### **Recuento de Esporas y Datos Químicos del Suelo**

A partir de las muestras originales, se tomaron 10 submuestras de suelo de 100 gramos para realizar el conteo consecutivo de esporas. Los resultados obtenidos muestran que, a diferencia de los conteos en raíz, los mayores recuentos se encontraron en los suelos en los que se siembra el clon FSA 12 (tabla 2).

**Tabla 2***Recuentos de esporas en suelo*

Clon	Promedio de Recuentos de Esporas
CCN 51	118
FSA 12	220

*Nota.* Esta tabla muestra la diferencia de los conteos en raíz. *Fuente.* Autores

Todas las muestras de suelo en las que se desarrollaron los clones CCN 51 y FSA 12 presentaron presencia de esporas de hongos micorrícicos. La muestra que reportó el número más alto fue la correspondiente al clon FSA 12, con 220 esporas por cada 100 g de suelo, seguida del clon CCN 51, con 118 esporas por cada 100 g de suelo. No todas las especies de hongos formadores de micorrizas tienen la misma capacidad para formar un número definido de esporas. Muchos de los hongos micorrícicos no tienen la capacidad de esporular (Sanders et al., 1996). Estos resultados también indican que, aunque el clon FSA 12 tiene un mayor número de esporas, no necesariamente se correlaciona con una mayor colonización micorrícica en las raíces (Sanders et al., 1996), pues el clon CCN 51 presenta mayor presencia de colonias.

**Análisis Físico Químico del Suelo**

Se tomaron los resultados de los factores que influyen en el desarrollo de los hongos micorrícicos. El análisis de suelo realizado a los dos clones de cacao (*Theobroma cacao*) mostró, los siguientes resultados (tabla 3).

**Tabla 3***Datos químicos del suelo*

Clon	pH del Suelo	Materia Orgánica (%)	Aluminio (meq/100g)	Fósforo (ppm)
CCN 51	5.2	2.94	3.2	67
FSA 12	5.2	2.94	3.2	67

*Nota.* Esta tabla muestra el análisis del suelo en dos clones de cacao. *Fuente.* Autores

El contenido o concentración de colonias de micorrizas puede verse controlado de manera negativa o positiva por algunas características químicas, físicas y biológicas presentes en el suelo, como la humedad, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Comparado con investigaciones realizadas por Khana et al. (2006) y Entry et al. (2002), se evidencia que, en pH ácidos, la disponibilidad o presencia de hongos micorrícicos puede disminuir. Sin embargo, la descomposición de materia orgánica puede ayudar a que estos puedan desarrollarse y liberar nutrientes esenciales para las plantas.

En el desarrollo del trabajo aplicado se pudo analizar que, en suelos con un pH altamente ácido, se puede desarrollar de manera óptima la colonización por hongos micorrícicos (Paul y Clark, 1996). Teniendo en cuenta otros aspectos morfofisiológicos del suelo, una baja concentración de materia orgánica y la pérdida de esta constituyen un factor que afecta el mantenimiento y la distribución de los hongos micorrícicos (Barker, 1998).

La presencia de moléculas de nutrientes que integran y permean el suelo, de forma natural o inducida por el uso alterado de fertilizantes, especialmente fosforados y nitrogenados, también son factores para tener en cuenta (Sánchez, 1999). Se puede concluir que prácticas que busquen un aumento de fósforo en el suelo a niveles superiores a 10 ppm, como el uso de roca fosfórica o fertilizantes fosfatados, pueden ser contraproducentes para el desarrollo de la

simbiosis de micorrizas en los suelos. Se debe contemplar que existan niveles bajos de fósforo que puedan ser eficientemente movilizados por la simbiosis micorrícica hacia la planta (Peña, 2003). La colonización micorrícica varió significativamente en respuesta a las condiciones ambientales, especialmente en relación con la acidez del suelo y el contenido de materia orgánica. En suelos con pH ácido y menor materia orgánica, la colonización fue menos eficiente, lo que sugiere que el manejo agronómico debe enfocarse en mejorar estas condiciones para optimizar la relación simbiótica (Peña et al., 2003; Paul y Clark, 1996).

Es importante mencionar que existe una relación entre las micorrizas y la textura en los suelos, ya que según estudios realizados por Peña et al., (2003) sobre la caracterización de hongos micorrícicos en la zona del municipio de Cubarral, en el departamento del Meta, se muestra que la textura es la única variable fisicoquímica del suelo que influye directamente en la distribución de géneros de hongos micorrícicos, posiblemente debido a la disponibilidad de oxígeno y la capacidad de infiltración natural del suelo en relación con el volumen de la espora. Los suelos en los que se desarrollaron las dos variedades de clones de cacao (CCN 51 y FSA 12) fueron similares en sus características físico-químicas. Se recolectaron muestras de suelo de ambos clones en las mismas condiciones y ubicaciones dentro del municipio de Cubarral para asegurar que las diferencias en la colonización micorrícica observadas sean atribuibles a las características genéticas de los clones y no a variaciones en el suelo.

En general, los géneros sensibles a la textura prefieren los suelos francos. En el caso de estudio, el análisis de suelo dio como resultado un suelo franco arenoso, lo que puede favorecer el desarrollo de hongos micorrícicos.

### **Interacción entre las Prácticas Agrícolas Micorrizas**

Las prácticas agrícolas, particularmente la aplicación de fertilizantes fosfatados, demostraron tener un efecto significativo en la eficacia de las micorrizas. En suelos con altos niveles de fósforo, la colonización micorrícica fue menos eficiente, lo que sugiere que el manejo del fertilizante debe ser cuidadosamente equilibrado para no inhibir la simbiosis (Barker et al., 1998).

Se confirmó que los clones de cacao con mayor colonización micorrícica mostraron una mejor absorción de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, y una mayor resistencia a enfermedades del suelo, como el tizón causado por *Phytophthora palmivora*. Esto destaca la importancia de las micorrizas en la promoción de la salud y productividad de los cultivos de cacao (Jung et al., 2012; Smith y Read, 2008). Así mismo, Los resultados indicaron que los clones de cacao con mayor colonización micorrícica, particularmente el CCN 51, mostraron una mayor tolerancia a enfermedades del suelo, como el tizón causado por *Phytophthora palmivora*. Esta tolerancia se atribuye a la mejora en la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, lo cual fortalece el sistema inmunológico de las plantas y mejora su capacidad para resistir patógenos (Jung et al., 2012; Smith y Read, 2008).

## Conclusiones

En los cultivos de cacao visitados, donde se realizó el desarrollo del trabajo aplicado, se pudo analizar los clones (CCN 51 y FSA 12). Estos clones presentaron porcentajes de desarrollo y colonización medios a altos, pero la presencia de esporas fue baja. Esto indica que la relación entre estos dos factores no es directamente proporcional. La colonización en las raíces por hongos micorrícicos estuvo muy relacionada con el pH y el porcentaje de materia orgánica del suelo, encontrándose una relación inversamente proporcional con el fósforo disponible en el suelo.

Se evidenció una gran presencia de hongos micorrícicos (HM) en las fincas estudiadas, mostrando características propias de los suelos de la zona. En términos de física de suelos, el desarrollo de los árboles de cacao aparentemente es mejor, ya que el desarrollo de los hongos micorrícicos en el suelo puede ayudar a mejorar los contenidos de materia orgánica.

Los hongos micorrícicos pueden verse afectados por las concentraciones de elementos o metales pesados que se encuentren en el suelo, aunque en el desarrollo del trabajo aplicado no se enmarcó esta posibilidad.

En las áreas de estudio destinadas al desarrollo del trabajo aplicado, se pudo evidenciar la descomposición de la materia orgánica y el desarrollo de los árboles de cacao. Aunque la fertilización de síntesis orgánica mejora la descomposición de la materia orgánica, se pudo evidenciar que en árboles fertilizados solo con enmiendas de síntesis química, la descomposición de hojas era menor.

Se pudo observar que, en los cultivos fertilizados con enmiendas orgánicas, como compost y humus, la calidad del suelo mejoró desde el punto de vista físico. Aparentemente, se observó una mejor penetración radicular, mayor porosidad y menor compactación. Además, los

agricultores manifestaron que los árboles mostraban un mejor desarrollo y una menor caída de hojas. En cuanto a la tolerancia a las enfermedades, se observó que los clones con mayor colonización micorrícica presentaron una mayor resistencia a enfermedades del suelo.

Específicamente, se observó que los clones con una mayor colonización por hongos micorrícicos mostraron una mayor resistencia al tizón causado por *Phytophthora palmivora*. Esta resistencia se atribuye a la mejora en la absorción de nutrientes y al fortalecimiento del sistema radicular, lo cual permite a las plantas una mayor defensa contra patógenos.

### **Recomendaciones**

Realizar la caracterización de hongos micorrícicos en épocas contrastantes (octubre-diciembre) para analizar y determinar el comportamiento de la colonización o establecimiento de la población de hongos micorrícicos.

### Referencias Bibliográficas

- Agrotendencia. Tv. (2018). Agrotendencia Cultivo de cacao: siembra, ventajas y desventajas.  
<https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/frutales/el-cultivo-de-cacao/>
- Barker, S., Tagu, D., Delp G. (1998). Regulation of root and fungal morphogenesis in mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiology*, 116, 1201-1207
- Biermann, B. J., y Linderman, R. G. (1981). Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. *New Phytologist*, 87(1), 63–67.
- Erazo, J. y Ortiz, J. (2000). *Determinación de la presencia de hongos formadores de micorriza vesículo arbuscular (MVA) en Laurel de Cera (Myrica pubescens HyB ex WILLD) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño, Pasto*. [Trabajo de grado Universidad de Nariño].
- Fonseca, Z. (2013). Malnutrición y seguridad alimentaria: un estudio multinivel. Malnutrición y seguridad alimentaria: un estudio multinivel. *Revista chilena de nutrición*, 40(3), 206-215. <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717->
- Guerrero, F. (1996). *Micorriza fundamentos biológicos y estado de arte*. En: *Recurso biológico del suelo*. Fondo FEN.
- Khana, M, y Delowara, S. (2006). Effect of edaphic factor son root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. *Bulletin Institute Tropical Agriculture*, 29, 97-104.
- Le abren campo al cacao en Guamal. (9 de diciembre de 2019). *Periodicodelmeta.com*.  
<https://periodicodelmeta.com/le-abren-campo-al-cacao-en-guamal>

- Londoño, J. (2016). Plan de Desarrollo Municipio de Departamento del Meta 2016 – 2019  
“Obras para el desarrollo”.
- [https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan\\_de\\_Desarrollo\\_Fuente\\_de\\_Oro.pdf](https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan_de_Desarrollo_Fuente_de_Oro.pdf)
- Melo, L. (2016). *Implementación de escuelas de campo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) productores del municipio de Cubarral (Meta)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/219>
- Oliveira, A., Oliveira, L., y Oliveira, F. (1998). *Micorrizas arbusculares en cupuaçu y guaraná en un sistema agroforestal de terra firme en el municipio de Manaus*. Caxambu.
- Peña, C., Cardona, G., Argüelles, J., y Arcos, A. (2003). Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica*, 37(3), 327 – 326.
- <https://www.scielo.br/j/aa/a/gS8tsw9dvgJMwyTsP4wKYtS/?format=pdf&lang=es>
- Pérez, G. D. M., y Blandón, G. F. A. (2019). *Caracterización de sistemas de producción agrícola en los municipios de Telpaneca, San Lucas y San Juan de Rio Coco, departamento de Madriz, 2017- 2018*. [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Agraria].
- Phillips, J. M., y Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161.
- Rojas, J. (2010). *Hongos micorrízicos arbusculares en la rizósfera de genotipos promisorios de cacao (Theobroma cacao L.) bajo los sistemas tradicional y bajo bosque en la región San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. Perú].

- Sánchez, M. (1999). *Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]
- Sanders, I., Alt, M, Groppe, K., Boller, T., Wiemken, A. (1996). Identification Of ribosomal DNA polymorphism among and within spores of the glomales. *New Phytol*, (3),419, 427.
- Sieverding, E. (1983). Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio. CIAT.

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Anexos Fotográficos*

---

Recolección precisa de muestras de suelo y en la meticulosa apertura de perfiles, garantizando la integridad y calidad de los datos para análisis posterior- fase 1

---



---

Realización profesional de una observación meticulosa de las muestras a recoger, considerando factores físicos y biológicos relevantes para garantizar la precisión de los  
Análisis – fase 2

---

---

Preparación de perfiles físicos de suelo para su adecuado muestreo, envasado en bolsas y rotulado con precisión para su posterior envío al laboratorio – fase 3



Preparación de perfiles de suelo con diversas características físicas para su análisis, seguido de un meticuloso envasado en bolsas adecuadas y etiquetado preciso para su envío al laboratorio





## Apéndice B

### *Anexo Fotográfico de Análisis en laboratorio*

---

Preparación de muestras para observación e identificación de presencias del hongo.



Instalación de las muestras previamente seleccionadas



---

Observación e identificación del hongo en las muestras, clasificando a su vez la incidencia en los clones trabajados.

