

Efectos de la micorriza en el crecimiento y supervivencia de *Swietenia mahagoni* L. Jacq en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo

**Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de
Ingeniero Forestal**

AUTOR: Luis Felipe Diaz Diez

“Año 62 de la Revolución”

2020

Efectos de la micorriza en el crecimiento y supervivencia de *Swietenia mahagoni* L. Jacq en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo

**Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de
Ingeniero Forestal**

AUTOR: Luis Felipe Diaz Diez

TUTORES: MSc. Emir Falcón Oconor

MSc. Orfelina Rodríguez Leyva

“Año 62 de la Revolución”

2020

Pensamiento

PENSAMIENTO

Tu peor enemigo siempre será tu mente, no solo porque es quien conoce tus debilidades, sino porque es quien las crea.

Luis Felipe Diaz Diez.

Dedicatoria

DEDICATORIA

Primeramente le dedico este Trabajo de Diploma a mi abuela Hilda, y por supuesto a mis padres que de una manera u otra han trabajado conmigo para que este proyecto salga adelante, aunque algunas veces no supieron entender lo que estaba haciendo.

No puedo dejar de mencionar a mis tutores que son de oro, que gracias a ellos yo estoy aquí, que supieron conversar conmigo cuando tuve deseos de no seguir adelante y ellos me guiaron, aunque a veces con regaños interminables y tediosos de Orfelina.

La realización de la tesis ha sido posible gracias al apoyo, esfuerzo y dedicación de varias personas, sin las cuales no hubiera sido posible su culminación. A ellos mis más sinceros reconocimientos y gratitud, por la posibilidad de cumplir la aspiración de hacerme Ingeniera forestal.

Aunque no es posible mencionarlos a todos, los recuerdo con respeto, admiración y están en mi corazón.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos José Ángel y Luis Eugenio que cuando dejamos de estar juntos aun así siempre me apoyaron y me dieron aliento para seguir adelante, como el día de su discusión de tesis.

En estos momentos me llegan a la cabeza nombres de profesores que de una manera u otra han sabido aconsejarme y a veces de decirme de todo para que siguiera, una de esas personas es la profe Yaime que es una de mis madres, también los profes Kusco, Erwin, Telo el que cuando coincidimos en tercer año dijo que estaba deseoso de conocerme por mis historias, Yordan que siempre me ayudo con lo que necesitaré, Alexeider, Enrique, la profe Idelmis Mediaceja y a los demás que si me pongo a poner nombres no acabo.

A el resto de mis amigos y familias que aunque no sabían en concreto de que lo que hablaba, siempre me preguntaba de cómo iba en la carrera. Mis tíos Iván y Nandito que por tratar de que no me perdiera una práctica de campo en Limonar me llevaron.

Resumen

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado entre febrero de 2019 a marzo de 2020 en la Finca Forestal Integral N° 1 “La Acacia”, perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo. Se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación del efecto de la micorriza en el crecimiento y supervivencia de *Swietenia mahagoni* L. Jacq., en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo. La plantación se realizó utilizando un espaciamiento de 2,0 m x 2,0 m, en hoyos de plantación. Para ello se realizó un desbroce con machete. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en vivero y bloque al azar en plantación, cada tratamiento respondió a una parcela con un número de 25 plantas, que se correspondió con los tratamientos utilizado en el vivero: T1 (Sustrato Cc60 no inoculado), T2 (Sustrato Cc60 inoculado), T3 (Sustrato Cc20 no inoculado) y T4 (Sustrato Cc20 inoculado). La inoculación fue con el producto EcoMic® a base de la especie: *Glomus cubense*, cepa INCAM 4, por el método de peletización. Las plantas fueron medidas durante nueve meses a partir de junio de 2019. Los parámetros morfológicos evaluados fueron: altura, diámetro del tallo, índice de esbeltez y supervivencia; este último análisis se hizo mediante curvas de supervivencia construidas por el método Kaplan-Meier. La evaluación de referencia tomada en vivero (cuatro meses) muestra que los mejores valores se lograron en el tratamiento dos (T2) y cuatro (T4), ambos inoculados, siendo estos los tratamientos que mejores crecimiento y supervivencia presentaron en plantación. El diámetro de las plántulas fue la variable que influyó significativamente en la supervivencia de la plantación.

Palabras clave: *Swietenia mahagoni*, crecimiento, supervivencia, vivero.

Abstract

ABSTRACT

The present work was not carried out among February from 2019 to March of 2020 in the Integral Forest Property 1 "La Acacia", belonging to the Company Agroforestry Guantánamo. The results are presented obtained starting from the evaluation of the effect of the mycorrhiza in the growth and survival of *Swietenia mahagoni* L. Jacq, in the Corridor Xerofítico of the south of the county of Guantánamo. The plantation was carried out using a spacing of 2.0 m x 2.0 m, in plantation holes. For he/she was carried out it and it clears with machete. An experimental design was used totally at random at random in nursery and block in plantation, each treatment responded to a parcel with a number of 25 plants that belonged together with the treatments used in the nursery: T1 (Substrate not inoculated Cc60), T2 (Substrate inoculated Cc60), T3 (Substrate not inoculated Cc20) and T4 (Substrate inoculated Cc20). The inoculation was with the product EcoMic® with the help of the species: *Glomus cubense*, stump INCAM 4, for the peletización method. The plants were measured during nine months starting from June of 2019. The evaluated morphological parameters were height, diameter of the shaft, index of slenderness and survival; this last analysis was made by means of curved of built survival by the method Kaplan-Meier. The reference evaluation taken in nursery (four months) it shows that the best values were achieved in the treatment two (T2) and four (T4), both inoculated, being these the treatments that better growth and survival presented in plantation. The diameter of the plants was the variable that influenced significantly in the survival of the plantation.

Key words: *Swietenia mahagoni*, growth, survival, nursery.

Indice

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
2.1 Género <i>Swietenia</i>	5
2.1.1 Características generales de la especie <i>Swietenia mahagoni</i> L. Jacq.....	5
2.2 Los sustratos en la producción de plántulas forestales en contenedores	8
2.3 Definición de micorriza	9
2.3.1 Micorrizas arbusculares.....	10
2.3.2 Beneficios de la micorriza arbuscular	10
2.3.3 Estudios de micorriza arbusculares en Melieceae	11
2.3.4 Antecedentes de micorrización en especies forestales	13
2.4 Plantación.....	15
2.4.1 Preparación de los sitios a plantar	16
2.4.2 La plantación o la operación de plantar.....	17
2.4.3 Los métodos de plantación.....	17
2.4.5 Manejo en plantación	17
2.4.6 Calidad de las plantaciones.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Material vegetal	20
3.1.1 Sustratos	21
3.1.2 Aplicación de micorriza.....	21
3.1.3 Evaluación de la calidad de las plántulas en vivero	22
3.2 Establecimiento de la plantación	22
3.2.1 Evaluación de supervivencia y crecimiento en campo	24
3.3 Procesamiento estadístico	26
3.4 Valoración económica	26
3.5 Organización de la bibliografía de la tesis.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Resultados obtenidos en vivero.	27

4.1.1 Comportamiento de la calidad de la planta al final del cultivo	27
4.1.2 Comportamiento del largo de la raíz principal y número de raíces.....	31
4.2 Análisis químico del suelo en plantación.....	32
4.3 Comportamiento de las plantas en el sitio de plantación	33
4.3.1 Resultado en plantación a los tres meses	33
4.3.2 Resultado en plantación a los seis meses.....	35
4.3.3 Resultado en plantación a los nueve meses	36
4.4 Comportamiento de la supervivencia a los nueve meses de plantada.....	38
4.5 Análisis de riesgos.	42
4.6 Análisis económico.....	43
4.7 Beneficio de la investigación en tiempo de guerra y en caso de catástrofe ...	45
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES	47

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Introducción

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación, a nivel mundial es uno de los procesos de degradación ambiental de alto impacto negativo en la sostenibilidad y competitividad de los ecosistemas, que genera pérdidas de biodiversidad, degradación de suelos, aguas y cambios en los microclimas de las regiones afectadas y del clima a nivel global. A pesar de que en los últimos 25 años la deforestación ha venido disminuyendo en más del 50% aún se siguen deforestando los bosques a nivel mundial (FAO, 2018).

Uno de los elementos a tener en cuenta en la reforestación es la obtención de plantas de calidad, para incrementar la supervivencia y el desarrollo en campo. Una prueba para verificar la calidad de la planta producida en vivero es su respuesta en el campo, la cual depende básicamente de los atributos genéticos y de los adquiridos a través del manejo en el vivero (Duryea, 1985 citado por Olmedo, 2007).

En Cuba los problemas de deforestación tienen su origen antes del triunfo de la Revolución, mediante el uso inadecuado de los recursos forestales por los colonizadores españoles, a lo que le siguió la dependencia económica hacia los Estados Unidos que nos reforzó como exportador de materia prima en los primeros 50 años del siglo pasado (Renda y Ponce, 2005 citado por Villamet, 2019).

Ante tal situación, la política forestal en Cuba puso en marcha, un ambicioso programa de reforestación, el cual ha mantenido un crecimiento constante del incremento de la cubierta forestal, alcanzando hasta la fecha un índice de boscosidad de 31,23% de la superficie del país (Merencio, 2020). No obstante, existen zonas deforestadas asociadas a: fuertes problemas de degradación de suelos, aguas y pérdidas de biodiversidad, entre otros, lo cual requiere programas de recuperación basados en establecimiento de plantaciones forestales (DFFFS, 2020)

En función lo antes planteado, Cuba aprobó en el 2017 un plan de estado para el enfrentamiento al cambio climático, más conocido como "Tarea Vida", la cual dentro sus cinco acciones estratégicas y sus 11 tareas, específicamente la cinco,

plantea “la necesidad de dirigir la reforestación hacia la máxima protección de los suelos y las aguas en cantidad y calidad”, para mitigar los efectos del cambio climático (Pérez, 2017).

El sector forestal en la provincia Guantánamo incentiva la reforestación con especies de alto valor económico como *Cedrela odorata* L., *Swietenia mahagoni* L. Jacq., *Cordia gerascantbus* Jacq., entre otras, en función de dirigir la reforestación hacia la máxima protección de los suelos y las aguas en cantidad y calidad, lo que le ha convertido en el territorio de mayor cobertura boscosa en el país con 50,38 % (Merencio, 2020).

No obstante, aún existen zonas donde los trabajos de reforestación deben ser más intencionados debido a la características edafoclimáticas de la misma, como es el caso de la zona semiárida del Valle de Guantánamo, específicamente la localidad de Paraguay que se encuentra en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo, con una vegetación xerofítica muy diversa, localmente abundante en cactáceas; tiene alrededor de 25% de endémicos, consiste en un hábitat muy específico de esta zona y único en Cuba (Borhidi, 1996 citado por Villamet, 2019)

Esta zona posee características singulares, no sólo por sus valores ecológicos y paisajístico, sino por sus condiciones extremas, tales como: precipitación más baja del país, pobre hidrografía, salinización y suelos esqueléticos de baja fertilidad, lo que ha condicionado la existencia de ecosistemas frágiles con limitadas posibilidades productivas; esta impresiona por la aridez del paisaje y la pobreza de la agricultura (O´Farrill, 2019).

La vegetación está compuesta por asociaciones de especies entre la que se encuentra *Swietenia mahagoni* L. Lacq., la cual es una de las especies forestales autóctonas de gran importancia económica (Betancourt, 1983) que ha sido explotada irracionalmente, ocasionando que la misma casi no se comercialice. Es por ello que se ha incluido en el apéndice II de la lista roja de la flora vascular cubana como especie amenazada (Berazaín *et al.*, 2005), por lo que se torna necesario emprender programas de reforestación y enriquecimiento con esta valiosa especie.

Al abordar el problema de recuperar la cubierta vegetal de los ecosistemas semiáridos utilizados como agostaderos, es importante el estudio de las interacciones positivas vegetación-organismos del suelo. Un criterio fundamental para la conservación de los suelos es mantener su productividad potencial, lo cual se logra utilizando un paquete de estrategias mecánicas y biológicas; entre estas últimas se utiliza la vegetación y la biota edáfica, por ejemplo el uso de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) (Cervantes, 2014).

En los ambientes áridos y semiáridos estas asociaciones son cruciales para la supervivencia de las plantas (Beena *et al.*, 2000). Además de que el uso de especies nativas en las zonas deterioradas, facilita la recuperación de la fertilidad del suelo, favorece la formación de microclimas y restaura los ciclos hidrológicos semejantes a los originales, para así, lograr el restablecimiento de especies locales.

Por esta razón es importante implementar nuevas herramientas de manejo y aplicación, como es el caso de HMA que constituyen un poderoso recurso a ser utilizado para mejorar las condiciones del suelo (Li *et al.*, 2016) y de ésta manera garantizar un buen establecimiento de especies forestales en el campo (González, 2014), de ahí que se identifica el siguiente **problema de investigación:**

¿Cuál es el efecto de la micorriza en el crecimiento y supervivencia de *S. mahagoni* en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo?

OBJETO: La especie *S. mahagoni* en una zona del Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo.

HIPÓTESIS: Si se determina el comportamiento morfológico en vivero, se evalúan parámetros morfológicos (altura, diámetro y esbeltez) y supervivencia en el campo, y se cuantifica el efecto económico en los tratamientos micorrizado y no micorrizados, sería posible un incremento significativo en el crecimiento y supervivencia de la especie *S. mahagoni*.

OBJETIVO GENERAL: Evaluar el efecto de la micorriza en el crecimiento y supervivencia de *S. mahagoni* en el Corredor Xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el comportamiento morfológico de la especie *S. mahagoni* micorrizadas, cultivada a los 120 días en vivero.
- Evaluar los parámetros morfológicos (altura, diámetro y esbeltez) y supervivencia de la planta *S. mahagoni* en el campo.
- Cuantificar el efecto económico en los tratamientos micorrizados y no micorrizados.

Revisión Bibliográfica

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Género *Swietenia*

Este género es neotropical en filogenia y distribución (Figueroa, 1994) y presenta tres especies: *Swietenia mahagoni* L. Jacq., *Swietenia macrophylla* King y *Swietenia humilis* Zucc., y dos híbridos naturales uno producto de la cruce de *Swietenia macrophylla* x *Swietenia humilis* que se originó en las áreas del rango de distribución donde coinciden ambas especies y otro obtenido por la cruce de *Swietenia macrophylla* x *Swietenia mahagoni* en plantaciones próximas de ambas especies que se ha denominado *S. x aubrevilleana*.

2.1.1 Características generales de la especie *Swietenia mahagoni* L. Jacq

Betancourt (2000), plantea que la especie *S. mahagoni* es un árbol de mediano a grande, que puede alcanzar hasta 25 m de altura y 2 m de diámetro (Figura 1). Su crecimiento es generalmente lento, además deja claro sus diferentes partes:

Corteza: Es parda oscura, con lenticelas pequeñas en árboles jóvenes y hendiduras más o menos profundas en árboles viejos; se desprende en forma de escamas o placas más largas que anchas (Figura 2).



Figura 1. Árbol de *S. mahagoni*



Figura 2. Corteza de *S. mahagoni*

Hojas: Compuestas, alternas, generalmente paripinnadas, de 10 a 30 cm de largo; de dos a cinco pares de folíolos, opuestos o subopuestos, inequiláteros, de 2,5 a 7

cm de largo y de 1,3 a 3,5 cm de ancho, lanceolados a aovados, acuminados a obtusos en el ápice, peciolados y de brillante color verde pardusco, coriáceos (Figura 3).

Flores: Florece de marzo a mayo y sus frutos maduran de enero a abril. Las flores son hermafroditas; en panículas axilares, de 6 a 15 cm; cáliz de 2 mm de ancho con lóbulos suborbiculares; corola de 8 a 9 mm de ancho con pétalos oblongo-aovados (Figura 3).



Figura 3. Representación de las hojas y las flores de *S. mahagoni*

Frutos: Cápsulas, leñosas, erectas, ovoides, o piriformes, de 6 a 10 cm de largo; sostenidas por un pedúnculo leñoso de 4 a 6 mm. Cada fruto contiene de 50 a 60, rojo parduscas; 10 000 ó 12 000 de estas pesan un kilogramo. La germinación comienza entre los siete y doce días y alcanzan un poder germinativo del 70 %; las posturas permanecen en el vivero de cuatro a cinco meses antes de ser plantadas definitivamente. Regeneran bien naturalmente en lugares despejados (Figura 4).

Semilla: Cuando llega a la madurez el fruto se abre en cinco válvulas, liberando semillas también de color marrón claro y aladas, cuyo número varía entre 40 a 60 por fruto. Las semillas son comprimidos de 1 cm de largo, recubierto por una prolongación laminar en forma de ala que alcanza hasta 7 cm de largo (Figura 4). Estas semillas son amargas y astringentes y muy livianas y la sexualidad monoica (Guillison y Hubbell, 1992).



Figura 4. Representación del fruto y las semillas de *S. mahagoni*

Distribución: Su área de distribución se encuentra limitada principalmente por la temperatura y no se desarrolla donde esta esté por debajo de los 22 °C, por lo que se considera una especie megaterma o termófila; se encuentra con mayor frecuencia en lugares donde la temperatura media es de 25 a 26 °C. Por esta misma razón, prefiere zonas llanas y su frecuencia disminuye a medida que aumenta la altura.

Condiciones de hábitat: Puede considerarse una especie heliófila, aunque tolera cierta sombra lateral, lo que es conveniente para su desarrollo. En Pinar del Río e Isla de la Juventud no se encuentra por encima de los 350 metro sobre el nivel del mar (msnm). En las montañas de la región central sólo crece hasta los 500 m y en las de la región oriental sólo hasta los 600 msnm; excepto en la zona de Montecristo, en Guantánamo, donde se encuentra hasta los 800 msnm. Es una especie nativa de Cuba e Isla de la Juventud, Jamaica, Haití y Santo Domingo, Bahamas y sur de Florida (Betancourt, 1983).

Exigencias ecológicas: Desde el punto de vista edáfico, muestra una notable amplitud ecológica, pues se desarrolla sobre distintos tipos de suelos, desde rojos secantes hasta suelos con mal drenaje y parcialmente inundados; no obstante, se encuentra más frecuentemente en los bosques semicaducifolios sobre suelos calizos.

Madera y sus usos: El duramen es amplio, rojo oscuro, que varía hasta amarillento; la albura bien diferenciada. Es una de las maderas más valiosas del

mundo y la más valiosa de Cuba. Se utiliza en muebles finos, cajas de radio, objetos torneados, decorados interiores, marcos de puertas, ebanistería, pisos y chapas, entre otras aplicaciones.

2.2 Los sustratos en la producción de plántulas forestales en contenedores

Por sustrato se entiende todo material o combinación de diferentes componentes que, no siendo tóxico, provea sostén, adecuada capacidad de intercambio catiónico, así como una adecuada retención de humedad para la planta que en éste crecerá, pero con una porosidad que garantice una correcta aireación para un óptimo desarrollo radical. Componente de sustrato, por otro lado, es cualquier material individual, mezclado en proporciones volumétricas con otros componentes, para alcanzar un nivel adecuado de aireación, retención de agua y nutrientes para el crecimiento de plantas (Frade *et al.*, 2011).

Según Hartmann *et al.* (2011), el sustrato influye positivamente en el porcentaje de enraizamiento que sirve de soporte estructural de la parte aérea de las plántulas, además debe suministrar las cantidades necesarias de agua, oxígeno y nutrientes. Sus características son el resultado de la interacción de fuerzas climáticas y de organismos vivos que actúan sobre el material de origen, formando un sistema compuesto por la fase sólida, líquida y gaseosa.

Abanto *et al.* (2016), argumentan que los sustratos para la producción de plántulas son definidos como el medio adecuado para el sustento de plantas y deben presentar propiedades que permitan la retención de cantidades suficientes de agua, dióxígeno y nutrientes, además de ofrecer pH compatible con la especie vegetal, ausencia de elementos químicos en niveles tóxicos y conductividad eléctrica adecuada.

En el proceso de producción de plántulas, el sustrato es un factor determinante para el desarrollo inicial, ya que las características químicas, físicas y biológicas del mismo influyen directamente en desempeño de las especies. Así, para Siqueira *et al.* (2018), los sustratos deben ofrecer soporte físico a las raíces y condiciones para suplir la demanda hídrica y nutricional de las plántulas.

En un vivero moderno, el sustrato es después del contenedor y la mano de obra, el factor de más peso en el balance económico (Klein, 2015). La experiencia práctica ha venido demostrando su importancia, pues tanto menor es el volumen disponible para las raíces, tanto mayor debe ser la calidad del sustrato. La correcta elección de un sustrato es el resultado de las necesidades que exige el cultivo y todo ello condicionado por las prácticas y técnicas empleadas en cada vivero (riego, fertilización, entre otras.) (Ortega *et al.*, 2006).

2.3 Definición de micorriza

El término micorriza significa “raíz fungosa” y fue utilizado para describir la asociación entre hongos micorrízicos y las raíces de las plantas. Es considerada como una simbiosis establecida entre algunos hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares, consideradas también como asociaciones multifacéticas que comprenden diversas categorías morfológicas, funcionales y evolutivas (Brundrett, 2002).

Con base en el grado de penetración en la raíz del hospedero, las micorrizas se han dividido en tres grupos principales:

- Las ectomicorrizas: Son asociaciones entre los hongos Basidiomicetos, Zigomicetos y Ascomicetos con algunas especies de Gimnospermas y Angiospermas, los cuales forman un manto de varias capas de hifas alrededor de la raíz llamada Red de Hartig, las hifas penetran de manera intercelular en el córtex o epidermis de la raíz, se localizan principalmente en climas fríos y templados (Finlay, 2008).
- Las ectendomicorrizas: Son un grupo que presentan características de las ecto y endomicorrizas con el desarrollo de un manto fúngico en algunos casos y presencia de hifas inter e intracelularmente formando “pelotones fúngicos”, involucrándose Ascomicetos y plantas tanto Gimnospermas como Angiospermas (Finlay, 2008).
- Las endomicorrizas: Desarrollan sus estructuras dentro de las células del córtex de la raíz (intracelular) o bien entre célula y célula (intercelular) de la raíz. Las

micorrizas arbusculares pertenecen a este grupo y es una simbiosis que se forma entre los hongos Glomeromicetos y el córtex de la raíz de las plantas vasculares, forma estructuras especializadas como los arbuscúlos, hifas y vesículas (Sánchez, 2005).

2.3.1 Micorrizas arbusculares

La micorriza arbuscular es el tipo más abundante de micorrizas y se caracteriza por colonizar las células corticales de las raíces de las plantas, formando estructuras intracelulares llamadas arbuscúlos (Figura 5). En esta asociación micorrízica, la planta hospedera provee al hongo de compuestos de carbono y el hongo aporta a la planta un incremento de la capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo (James *et al.*, 2002).

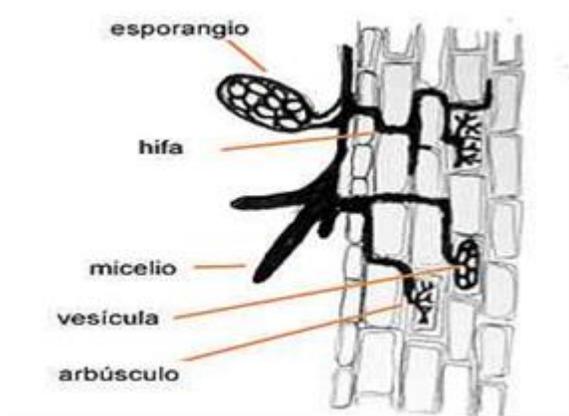


Figura 5. Partes de una micorriza.

2.3.2 Beneficios de la micorriza arbuscular

- La capacidad de incrementar el volumen de suelo explorado, por cada centímetro cúbico de suelo se pueden encontrar cien metros de hifas extraradicales (Guadarrama *et al.*, 2004).
- Incluso las micorrizas aumentan la capacidad de crecimiento compensatorio de las plantas ante la herbívoría debido a la capacidad de proporcionar nutrimentos limitantes después de adquirir material fotosintético los herbívoros (Kula *et al.*, 2005).

- Se les ha atribuido un importante papel en el proceso de formación y estabilidad de agregados en el suelo, participando con un mecanismo para atrapar y enlazar las partículas primarias del suelo (González, 2004).
- La protección contra patógenos. La simbiosis micorrízica arbuscular ha tenido un gran impacto sobre las interacciones con otros organismos ya que incrementa la resistencia ante patógenos del suelo y disminuye los efectos que se producen, induciendo un cambio el sistema de defensa de las plantas a través de sofisticados redes de señalizaciones (Fujita *et al.*, 2006).
- Las micorrizas arbusculares también ofrecen beneficios en cuanto a la protección contra el estrés hídrico, promoviendo la resistencia a deficiencias hídricas en la planta hospedera (Guadarrama *et al.*, 2004).

2.3.3 Estudios de micorriza arbusculares en Meliaceae

Hasta la fecha se han realizado una gran variedad de estudios de la asociación micorrízica arbuscular en especies de importancia ecológica o agronómica, con diversidad de enfoques. Sin embargo, en las regiones neotropicales, los estudios detallados de la diversidad y funcionamiento de los HMA, especialmente aquellos vinculados con la producción y manejo de especies de importancia forestal han sido limitados. Algunos de ellos son como el desarrollado por Rodríguez *et al.* (2011) quien menciona que los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son evidentes en la transferencia de nutrientes y en la protección contra patógenos del suelo y factores ambientales adversos a las plantas asociadas.

Por estas razones, Rodríguez *et al.* (2006) citado por Manzanilla (2016), consideran que las especies forestales son altamente valoradas por la calidad de su madera, aunque el establecimiento de plantaciones comerciales y de reforestación generalmente no ha sido completamente exitoso. Estos mismos autores consideran la inoculación de HMA debe ser un factor fundamental a considerar en el establecimiento de estas especies precedida de estudios con enfoques múltiples que aseguren su aplicación exitosa. También se discute la

utilización de inóculos micorrízicos en los sistemas de producción de plantas en vivero.

Lovera y Cuenca (2007) mencionan que los efectos beneficios de las micorrizas arbusculares son bien conocidos, especialmente en la nutrición mineral de las plantas y en la protección contra agentes patógenos del suelo, entre otros. Si bien el 80 % de las plantas terrestres son capaces de formar micorrizas, se considera que dicha asociación no tiene especificidad taxonómica. Sin embargo, evidencias recientes han mostrado que la diversidad de HMA puede influir en la productividad y diversidad de las comunidades vegetales, así como en las relaciones competitivas y funcionamiento general de los ecosistemas naturales. Por otra parte, existen evidencias de que la diversidad de HMA sufre un impacto severo con las perturbaciones y algunas especies parecen ser más susceptibles que otras ante las actividades humanas referencias.

En otras especies de la familia Meliaceae han realizado estudios similares, por ejemplo Méndez *et al.* (2013) obtuvieron alta colonización micorrízica al inocular plántulas de *C. odorata* con esporas nativas procedentes de selvas alta perennifolia y selvas subperennifolia. No obstante, la producción de plantas con fines productivos se ha ignorado la inoculación micorrízica. Por lo tanto, es importante generar información del proceso de desarrollo de las plántulas bajo condiciones de invernadero, así como realizar estudios sobre las interacciones simbióticas. Los resultados de estos estudios pueden contribuir a mejorar la productividad de las plantaciones.

En la mayoría se desconoce los casos de identidad de los HMA asociados en condiciones naturales y el efecto de micorrización en el crecimiento y la sobrevivencia de estas especies. Algunos estudios en meliáceas en la región de américa tropical han reportado una evidente colonización de HMA en poblaciones naturales y en plantaciones jóvenes de caoba (Nol y Bauch, 2001, citado por Manzanilla, 2016). En cedro rojo se ha reportado alto porcentaje de colonización por HMA en áreas naturales (Mecinas *et al.*, 1991, citado por Fernández, 2013).

En sistemas agroforestales o en áreas naturales de Asia, donde se ha introducido especies como la caoba, se ha identificado esporas de HMA de los géneros *Glomus* y *Gigaspora* principalmente y en menor proporción a especies de los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellespora* en suelo rizosférico; además, un 30-55 % de las raíces finas; mostraron colonización por HMA (Dhar y Mridha, 2006; Mridha y Dhar, 2007; Shi *et al.*, 2006 citado por Rodríguez, 2010).

2.3.4 Antecedentes de micorrización en especies forestales

Investigaciones de estado micotrófico de las plántulas de *Swietenia macrophylla x mahagoni* a los dos meses de edad muestran resultados donde se obtuvieron valores promedio más altos con la inoculación dual hongo-bacteria *Glomus mosseae*-*Bacillus subtilis* y *Glomus mosseae*-*Pseudomonas fluorescens* para todos los caracteres de crecimiento evaluados en las plántulas de la especie forestal. En relación con la cuantificación de la infección micorrizógena, se estimó que el ciento por ciento de todas las raíces cortas estaban micorrizadas, para el ciento por ciento de las plántulas que se inocularon con *Glomus mosseae* y con *Glomus mosseae*-bacterias, lo que evidencia la afinidad de estos microorganismos con esta especie forestal (Cuesta *et al.*, 2004).

Tesis sustentada por Guerra (2009) con el objetivo de evaluar el desempeño de las cepas de micorriza de *Acaulospora* sp. (M8), *Entrophospora* sp. (SE3), *Glomus* sp. (M7) y *Glomus* sp. (C4) en plantas de caoba (*Swietenia* sp.) en etapa de vivero. El estudio se realizó entre mayo y agosto de 2009. Se aplicó 70 g/planta de cada cepa cuando se trasplantaron a bolsas de vivero. Los mejores resultados de germinación de esporas, se obtuvo con *Acaulospora* sp. (M8). El mayor incremento de altura y peso seco en las plantas se obtuvo con la cepa *Glomus* sp. (M7) los 90 días del repique altura 18.1 cm peso seco: 1.31 raíz, 2.21 tallo, 3.20 hoja. El testigo sin inoculación resultó ser de menor altura y peso seco que las plantas inoculadas. El mayor peso fresco de raíz tallo, hojas y total de la planta se obtuvo con la cepa de *Entrophospora* sp. (SE3). El mayor porcentaje de materia seca y porcentaje de infección de raíces se obtuvo con la cepa *Glomus* sp. (C4).

Concluye que la altura de las plantas de caoba aumentó con el uso de micorrizas seleccionadas.

La investigación realizada por Rodríguez (2010) en México, don hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizósfera de caoba la metodología consistió en tomar muestra de suelo rizosférico circundante a cinco plántulas y a cinco árboles maduros de *S. macrophylla*. Primero se esterilizó suelo franco arenoso deficiente en fosforo a 100 °C durante ocho horas, este suelo se colocó en macetas de 2 L llenando estas a $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, sobre este suelo se colocó una capa uniforme de 250 g del suelo rizosférico colectado; en cada maceta se sembró una capa uniforme de semillas de sorgo. Los resultados obtenidos muestran confirman la alta diversidad de HMA asociados a la rizósfera de *S. macrophylla*. Se detectó una mayor cantidad de géneros y especies de HMA asociados con árboles maduros que con plántulas; concluye que la reintroducción de especies nativas tanto de plantas y HMA en la recuperación de áreas degradadas, es sumamente importante para el mantenimiento de la diversidad y sostenibilidad de los ecosistemas tropicales.

En el bosque tropical húmedo de Dantas, Huánuco, Perú se evaluó la presencia de hongos micorrízicos en asociación simbiótica con las especies *C. odorata*, *Copaifera reticulata* y *Cedrelinga catenaeformis* para determinar el tipo de micorriza, registrar y cuantificar los propágulos de micorrizas versículo arbusculares en el suelo, así como cuantificar la infección micorrízica en las raíces de las especies estudiadas. *C. odorata* y *Cedrelinga catenaeformis* presentaron HMA y *Copaifera reticulata* presentó HMA e indicios de micorriza ectotrófica (ME); se hallaron nódulos fijadores de nitrógeno en *Cedrelinga catenaeformis*. El potencial de inóculo de HMA en el bosque de Dantas fue alto. Se apreció una relación inversa entre el número de propágulos y las condiciones edáficas del bosque (Mecinas *et al.*, 1991, citado por Fernández, 2013)

En una investigación realizado en el estado de Veracruz con el objetivo de evaluar los efectos de algunas especies de hongos micorrízicos nativos asociadas a plantas de *Cedrela odorata* en la etapa inicial de crecimiento, se utilizaron

diferentes regímenes de fertilización representadas en partes por millón (RF: 0, 12.5, 25, 37.5 ppm) de una mezcla de los fertilizantes 7-7-17 entre la semana 1 a la 5 después de la siembra (dds), 20-7-19 en la semana 7 hasta la 13 (dds) y 4-7-35 en la semana 14 a la 18 (dds). El análisis de los datos buscó el efecto en la regímenes de fertilización (RF), la inoculación con HMA y en la combinación de estos dos factores (RF*HMA) para las variables evaluadas, a través de modelo lineal general (GLM). El análisis de varianza mostró únicamente diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre la regímenes de fertilización 25 ppm con respecto a la 0 ppm (Fernández, 2013).

Las especies *Acaulospora mellea*, *Diversispora spurca* y *Glomus aggregatum* fueron las que aportaron el mayor desarrollo, con los resultados de este estudio aseveramos las bondades endomicorrízicas nativas, reduciendo eficientemente en 50 % la utilización excesiva de fertilizantes contaminantes del medio ambiente. Concluye que al usar las especies más representativas integrantes de la comunidad micorrízica de los suelos nativos con respecto a los ecosistemas tropicales de Veracruz, se determina que la utilización de un consorcio de especies nativas integrado por las especies *A. mellea*, *D. spurca* y *G. aggregatum*, en la producción de *C. odorata* será útil para alcanzar los índices de calidad de planta y proporcionar la capacidad de adaptación de la especie arbórea a un mayor rango de distribución tanto en suelos fértiles y muy húmedos como en suelos pobre y secos (Fernández, 2013).

2.4 Plantación

La plantación de árboles suele ser la manera más rápida y eficaz de producir biomasa nueva, lo cual contribuye a contrarrestar la pérdida de carbono resultante de la deforestación o la degradación forestal en otra parcela (FAO, 2012).

La tarea de la plantación propiamente dicha significa llevar las plantas (a raíz desnuda o en recipientes) al terreno y colocar el material de plantación en su posición correcta, oprimiendo el suelo mineral del terreno contra las raíces o contra la tierra mineral de los recipientes. Si se trata de bolsas de polietileno, por lo general éstas se quitan antes de plantar para evitar fallas radicales, pero

algunos países que usan tubos o sacos perforados en los lados y fondo no los quitan. El material en recipientes de turba se planta con la maceta (FAO, 1981, citado por (Castillo *et al.*, 2006).

Existen datos estadísticos generales que proporcionan las tasas relativas de plantación de árboles en distintas zonas del mundo. La cantidad de bosques plantados ha aumentado en más de 105 millones de hectáreas desde 1990, pero el ritmo de este aumento se ha desacelerado desde 2010 debido a la reducción de la plantación en Asia oriental, América del Norte y Asia meridional y sudoriental (FAO, 2015).

Según la FAO (2016), se pueden aplicar políticas forestales para fomentar la plantación de árboles con el objetivo de satisfacer necesidades previstas para el futuro relacionadas con los bienes forestales (por ejemplo, combustible de madera, madera y alimentos cultivados en el bosque) y los servicios medioambientales (por ejemplo, los relacionados con la fijación de carbono, la conservación de la biodiversidad, la polinización y la protección de los suelos y los recursos hídricos).

2.4.1 Preparación de los sitios a plantar

Según Álvarez y Varona (2006), en cada localidad a plantar hay que considerar dos posibilidades:

- Si el terreno es parte del patrimonio forestal.
- Si el terreno ha tenido uso agropecuario, hasta ahora y durante muchos años.

En el primer caso, el terreno es de un bosque degradado o bien de una plantación madura, ambos recién talados totalmente. Si el terreno tiene más de 20% de pendiente o tiene más de 200 tocones por hectárea, no es posible arar. En este caso, la preparación de suelo más usada en Cuba es la localizada, en forma de terracitas individuales, mediante la remoción a pico de 40 x 40 cm. La preparación del suelo es conveniente realizarlo en dos o tres meses antes del ahoyado para la plantación. En el caso de que el terreno forestal tenga solo matorrales se precisa del desbrozo, bien sea manual o mecanizado.

En los terrenos agropecuarios para la plantación forestal y que han sido terrenos labrantíos de forma continuada durante muchos años, se impone la roturación, el cruce y el surcado.

Una vez elegido el lugar de plantación, hecho el levantamiento de la superficie y analizado el suelo, debe prepararse este de manera que ofrezca las mejores condiciones de crecimiento de las plantas, con vistas a obtener una máxima producción a un costo mínimo (FAO, 2012).

Los árboles en cualquier ambiente donde se planten, deben encontrar condiciones óptimas de crecimiento en su período inicial, sobre todo en los primeros años, los más críticos y decisivos para el buen desarrollo de las plantaciones. La preparación de los sitios de plantación varía según las condiciones ecológicas, los objetivos de las plantaciones y las especies consideradas.

2.4.2 La plantación u operación de plantar

Las plantaciones totales se hacen en terrenos limpios, mientras que las plantaciones parciales son las de enriquecimiento de bosques, como un complemento para mejorar los bosques naturales explotados. La forma de colocar cada planta en el lugar definitivo donde crecerá, es el procedimiento para realizar el plantío. Este procedimiento depende, si la planta tiene cepellón o si está a raíz desnuda y del tipo de preparación que se le ha dado al suelo para recibir las plantas. La preparación del suelo deberá ser siempre la mejor que pueda realizarse. Existen factores como la pendiente del terreno, las propiedades del suelo, hacen que la preparación del suelo se diferencie de unos sitios a otros (Álvarez y Varona, 2006).

2.4.3 Los métodos de plantación

Álvarez y Varona (2006), expresan que el método de plantación densa, con marco de plantación de 2 x 2 m o menos, es destinado a productos de poco diámetro y turnos cortos, como son las plantaciones energéticas y para piezas de uso directo, este no permite intercalamiento agrícola inicial, ni tampoco mezclas de especies arbóreas, pues su manejo es intensivo y para productos de alta uniformidad.

Las plantaciones puras están destinadas a productos de grandes dimensiones como son los postes de servicios públicos y las trozas para aserrado. Se pueden plantar con un marco de plantación de 3 x 2 m o 3 x 2,5 m hasta 3 x 3 m, siempre que se hayan seleccionado plantas de alta calidad y uniformidad.

Otro método, con un poco más de biodiversidad, es el de mezcla simple, de dos especies con semejante crecimiento, pero que una de ellas es la especie con mayor resistencia a los vientos, aporta hojarasca al suelo y la otra, se aprecia para usos industriales, sin defectos de nudos ni curvaturas, como las especies usadas para desenrollo, para las fábricas de madera contrachapada. Aunque se planten en hileras alternas, los raleos selectivos harán, que al final del turno, la especie industrial que es la más apreciada tenga un porcentaje mayor.

2.4.5 Manejo en plantación

La especie *S. mahagoni* produce una copa muy angosta durante los primeros años, que tarda en cerrar, de manera que se deben hacer limpiezas regulares a lo largo de las fajas de plantación, al menos durante los primeros 3-4 años.

Los árboles plantados para aserrío deben podarse para dejar un fuste único, largo y limpio de ramas, dejando el follaje necesario para el buen crecimiento del árbol.

En el caso de podas sanitarias ante ataques del barrenador, estas se deben hacer en dos pasos: primero eliminando el brote dañado o atacado y unos tres meses después, una vez que se ha definido el eje dominante, eliminar los otros. Esto evita la formación de bifurcaciones en la parte baja del árbol, que será la más valiosa desde el punto de vista maderable (Álvarez y Varona, 2006).

2.4.6 Calidad de las plantaciones

La calidad de la planta se determina por su comportamiento en terreno, en ello influyen diversos factores como condiciones de transporte, tiempo transcurrido desde el despacho hasta la plantación, técnica de plantación, características del sitio, técnica de preparación del suelo, intensidad y control de malezas. Sin embargo, los atributos morfológicos y la concentración foliar de nutrientes han sido también exitosamente correlacionados con la supervivencia y el crecimiento inicial

en terreno para muchas especies de uso forestal, por lo que se consideran parámetros adecuados para evaluar la calidad de las plantas. Además conocer y manejar el nivel de nutrientes en el follaje, el cual predetermina la respuesta de la planta en el lugar de plantación (Olivera *et al.*, 2011).

Materiales y Métodos

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal

Se utilizó planta de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida entre febrero y mayo de 2019 en un vivero bajo umbráculo de malla verde con 50% de sombra ubicado en Centro de Estudio de Tecnología Agroforestal (CETAF) perteneciente a la Universidad de Guantánamo (Figura 6), situado en la carretera El Salvador a 6^{1/2} km de la ciudad de Guantánamo en las coordenadas geográficas 20°12'21'' de latitud norte y los 75°13'37'' de longitud oeste a 87 metros sobre el nivel del mar (msnm).

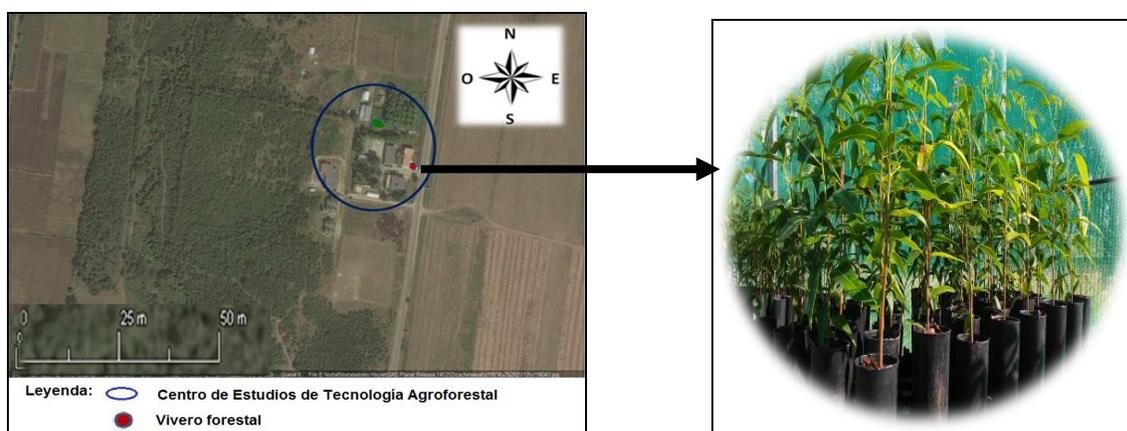


Figura 6. Ubicación del área de trabajo y material vegetal.

Se trabajó con plántulas cultivadas en contenedores tipo tubetes, con capacidad de 200 cm³, los cuales fueron llenados con dos tipos de sustratos, inoculados con el producto EcoMic® a base de la especie: *Glomus cubense*, cepa INCAM 4 (Rodríguez *et al.*, 2011), con una calidad mínima garantizada de 20 esporas g⁻¹ de inoculante, producto no tóxico y libre de patógenos, producido por el INCA (Fernández *et al.*, 2000), quedando conformado cuatro tratamientos (Tabla 1) bajo un diseño completamente al azar:

Tabla 1. Tratamientos conformados.

Tratamientos	Micorriza	Sustrato	Composición (%)*
1	Sin micorriza	Cc60	60Cc x 20Fc x 20As
2	<i>Glomus cubense</i>	Cc60	
3	Sin micorriza	Cc20	20Cc x 60Fc x 20As
4	<i>Glomus cubense</i>	Cc20	

*Cc -Cascarilla de cacao, Fc- Fibra de coco y As- Aserrín de pino

3.1.1 Sustratos

La mezcla de compuestos orgánicos utilizado como sustrato (cascarilla de cacao-fibra de coco-aserrín de pino compostados) para la producción de las plántulas de *S. mahagoni* fue escogida en función de los resultados obtenidos por Falcón *et al.* (2019).

En la tabla 2 se presenta el análisis químico-físico de los sustratos. De acuerdo con Arévalo *et al.* (2016), los parámetros evaluados se encuentran entre los rangos adecuados citado por este autor, no así para el sustrato dos en el que el fósforo se encuentra por debajo del valor de referencia adecuado.

Tabla 2. Caracterización química-física de los sustratos.

Sustratos	Propiedades químicas					
	pH	MO (%)	N (%)	P (%)	K ⁺ (%)	CE (dS.m ⁻¹)
S1	6,20	77,20	1,86	1,43	1,79	3,13
S2	7,70	66,66	1,40	0,10	1,19	2,27
Referencias*	5,3-6,5	>50	>1,3	>0,7	>0,2	<3,5
Sustratos	Propiedades físicas					
	DA (g mL ⁻¹)	DR (g mL ⁻¹)	PT (%)	DMP (mm)	RH (%)	
S1	0,38	1,67	82,02	0,45	65,49	
S2	0,31	1,68	76,16	0,35	70,76	
Referencias*	0,2-0,4	1,45-2,64	75-85	-	>50	

MO- materia orgánica; **N-** nitrógeno; **P-** Fósforo; **K-** Potasio; **CE-** Conductividad eléctrica; **DA-** Densidad Aparente; **DR-** Densidad Real; **PT-** Porosidad Tota; **DMP-** Diámetro Medio de la Partículas; **RH-** Retención de Humedad.

3.1.2 Aplicación de micorriza

La inoculación se aplicó en el momento de la siembra, al 10% del peso de la semilla, por el método de peletización, donde se realizó una pasta fluida de micorriza y agua destilada utilizando la proporción de 1 kg de micorriza en 1 200 ml de agua (Fernández *et al.*, 2000). En la plantación la aplicación se realizó de forma directa a razón de 10 g por hoyo.

3.1.3 Evaluación de la calidad de las plántulas en vivero

Esta evaluación solo se toma de referencia para algunos de los análisis que se realizan; en la cual se midió la altura a las plantas (cm) que conformaron la muestra de 50 plantas ubicadas en el centro de cada bandeja (parcela útil) por tratamiento, evitando el efecto de borde. Esta medición se efectuó desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la yema apical, cada 15 días, y para ello se utilizó una regla graduada de 0,1 mm de precisión.

Para la medición del diámetro del cuello de la raíz (mm) se utilizó un pie de rey, con una precisión de 0,002 mm.

También se determinó el peso seco aéreo y de las raíces (g), una vez colocadas las muestras en la estufa a 60 °C hasta obtener peso constante, utilizando una balanza analítica Sartorius AG Gottingen SP61S con 0,0001 g de precisión.

El largo de la raíz principal se midió desde el cuello hasta el ápice (cm), mediante el empleo de una regla graduada de 0,1 mm de precisión. Además, se contó la cantidad de raíces finas y la cantidad de raíces gruesas.

Con los datos de las variables obtenidas a los 120 días se calcularon los siguientes índices: relación biomasa aérea/biomasa de la raíz (PSA/PSR), relación altura/diámetro (H/D), índice de vigor (IV) e índice de calidad de Dickson (ICD) (Dickson *et al.*, 1960).

$$ICD = \frac{PST (g)}{\frac{Altura (cm)}{Diámetro (mm)} + \frac{PSA (g)}{PSR (g)}}$$

Donde: PST=Peso seco total, PSA=Peso seco de la parte aérea, PSR=Peso seco de la raíz.

3.2 Establecimiento de la plantación

En junio de 2019, las plantas restantes después del muestreo destructivo realizado en vivero, se plantaron en campo para evaluar su desempeño. El experimento se ubicó en la Finca Forestal Integral N° 1 “La Acacia”, perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo, localizados en el denominado corredor xerofítico de Guantánamo, ubicada a 6 km de la ciudad de Guantánamo por la carretera que conduce a Baracoa, en los 20°06′05,86″ de latitud norte y 75°08′52,20″ de longitud oeste a 23 msnm (Figura 7).

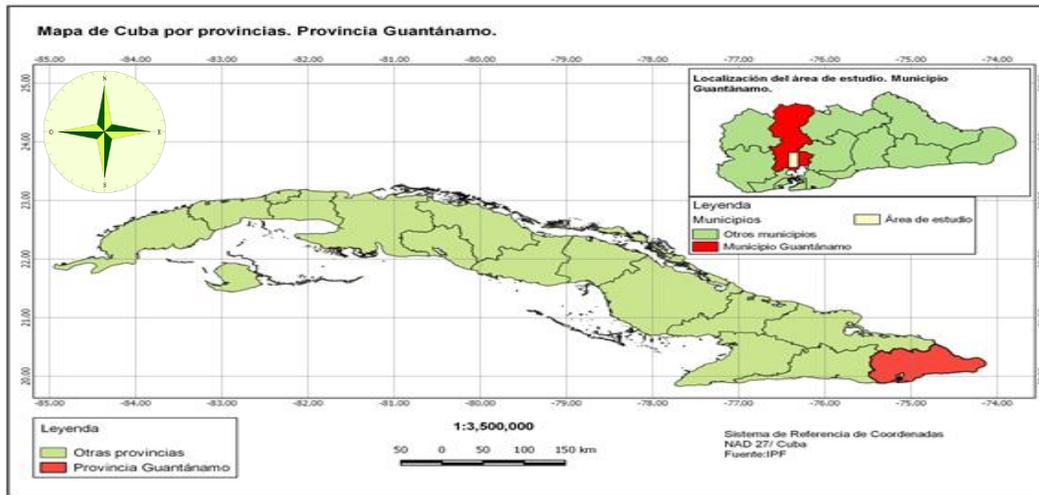


Figura 7. Ubicación de la finca “La Acacia” en el Municipio de Guantánamo.

La región presenta una temperatura promedio de 26,27 °C, máxima absoluta de 32 °C y máxima media absoluta de 15,6 °C. La mínima absoluta registrada es de 13,8 °C y como mínima media absoluta 20 °C, mientras las precipitaciones promedio anual es de 851,1 mm, comportándose por encima de los 100 mm mensuales, solo en mayo, septiembre y octubre, mientras que el resto de los meses representan periodos secos (Figura 8). De forma general se caracteriza por un clima muy seco, predominando altas temperaturas y bajas precipitaciones.

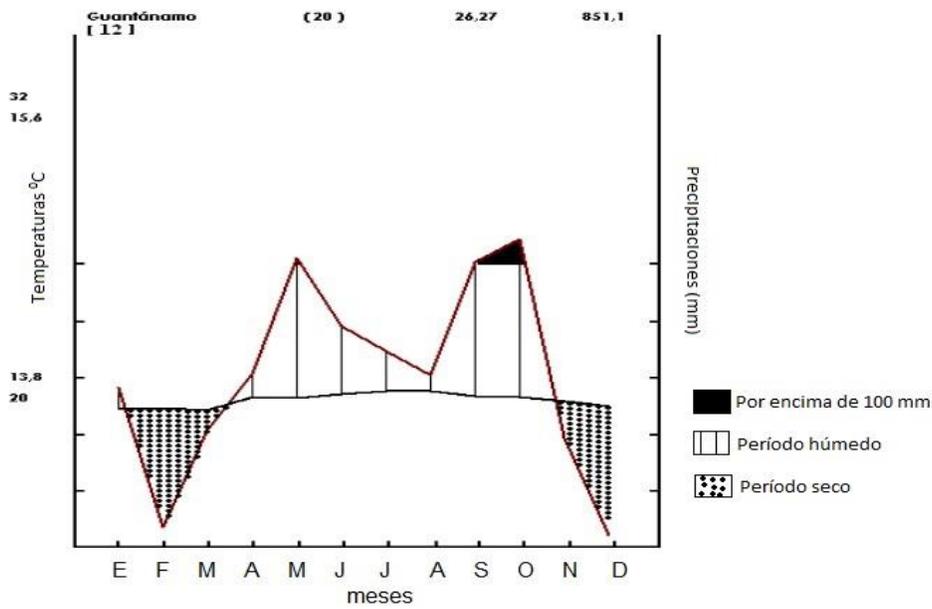


Figura 8. Climodiagrama del área de investigación.

En el área de plantación se realizó la preparación manual del sitio mediante desbroce con machete. Se hicieron hoyos de plantación con un espaciamiento de 2,0 x 2,0 m y se aplicaron los tratamientos silviculturales (Álvarez y Varona, 2006). El tamaño de la muestra fue de 25 plantas para cada tratamiento. Se montaron 4 parcelas permanentes, para un total de 100 plantas, según un diseño experimental de bloques al azar. Cada tratamiento respondió a una parcela que se correspondió con los tratamientos utilizados en vivero.

3.2.1 Evaluación de supervivencia y crecimiento en campo

Al momento de plantar, se midieron las variables morfológicas iniciales para incluirlas como covariables y analizar su efecto en la supervivencia de cada tratamiento, las variables consideradas fueron: diámetro (mm), altura del tallo (cm), así como la relación altura/diámetro (H/D), las cuales se evaluaron cada tres meses. Después de plantar, cada mes se evaluó la supervivencia y se hizo una última evaluación a los nueve meses de establecimiento; en cada medición se asignaron valores de 0 a aquellas plantas que presentaran mortalidad visible en su totalidad, y valores de 1 a las plantas que tuvieran al menos un brote vivo.

Con los datos de diámetro a la base del suelo y la altura del tallo obtenidos a los nueve meses de realizada la plantación, se calculó la tasa relativa de crecimiento en diámetro y altura mediante la siguiente relación (Cregg, 1994):

$$TRC = \frac{\ln(X_2) - \ln(X_1)}{t_2 - t_1}$$

Donde: TRC = Tasa relativa de crecimiento en diámetro (mm mm^{-1}) o altura (cm cm^{-1}) en nueve meses; X_2 = valor de la variable respuesta al final del periodo de evaluación y X_1 = valor inicial de la variable, al momento de establecer la plantación; t_1 = fecha de plantación y t_2 = fecha de evaluación final, la diferencia fue en meses.

Las diferencias de supervivencia entre los tratamientos se evaluaron por la prueba Log-Rank a partir de curvas de supervivencia construidas por el método Kaplan-Meier, para esto la función de supervivencia se define como:

$$S(t) = P(T \geq t)$$

Dónde: $S(t)$ es la probabilidad de que una muerte ocurra en un T tiempo al menos, tan grande como el tiempo t (Kaplan y Meier, 1958). Para este análisis se considera el estatus de cada planta (viva o muerta) al final del periodo de evaluación, así como el tiempo de vida de la misma. Este análisis se realizó con el software SPSS ver. 23.

Un segundo análisis fue una regresión de riesgos proporcionales de Cox, la cual permitió estimar el efecto de la micorrización considerando las variables morfológicas de las plántulas (covariables), mismas que cambian con el tiempo. En un modelo de riesgos proporcionales, el riesgo de un individuo i a un tiempo t , o bien $h_i(t)$, es el producto la función de riesgo (h_0) de referencia no especificada y una función exponencial de k covariables (Allison, 1995):

$$h_i(t) = h_0(t)e^{(\beta_1 t_{i1} + \dots + \beta_k t_{ik})}$$

El modelo de Cox se efectuó con el software SPSS ver. 23., mediante el cual se estima un coeficiente β para cada factor o covariable del modelo y prueba la hipótesis nula que $\beta = 0$ usando el estadístico Chi^2 . Dicho coeficiente explica el

efecto de un factor o una covariable en la función de riesgo, es decir, si el coeficiente β es negativo significa que el riesgo de muerte se reduce con el incremento de la covariable, mientras que un coeficiente β positivo indica lo contrario (Williams, 2008).

3.3 Procesamiento estadístico

Los datos fueron verificados en cuanto a las presuposiciones de normalidad de la distribución de los errores y la homogeneidad de la varianza, por las pruebas de Kolmogorov- Smirnov y de Levene, respectivamente, con la utilización del paquete estadístico SPSS versión 23 (*Statistical Package for the Social Sciences-IBM*). Posteriormente, los mismos fueron sometidos a análisis de varianza doble (ANOVA). Los tratamientos que presentaron diferencias estadísticamente significativas se sometieron a la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.4 Valoración económica

Para realizar la valoración económica se elaboró una ficha de costo para cada tratamiento partiendo de la carta tecnológica con su ficha de costo aparejada (Hamilton, 2014). En la misma se tuvieron en cuenta los cálculos de las actividades que se desarrollaron y el costo de los productos para saber que ahorro se tuvo en cada una de las actividades planificadas; además se analizó el comportamiento del costo unitario por variante para evaluar el tratamiento de mayor eficiencia económica.

3.5 Organización de la bibliografía de la tesis

Para organizar la bibliografía de esta tesis se utilizó la Norma ISO 690 (NP 450) recomendada por Godinho (2013), de la División del Centro de Documentación y Bibliotecas de Lisboa, que recomienda utilizar los términos citas, referencias y bibliografía; esta última, será ordenada por orden alfabético por el apellido del autor, o por el título si no apareciera autor, con ayuda del gestor bibliográfico Zotero 5.0.

Resultados y Discusión

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados obtenidos en el vivero

4.1.1 Comportamiento de la calidad de la planta al final del cultivo

En la tabla 3 se presentan los resultados del control final de las plantas antes de ser llevadas a la plantación. Se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos. En todos los parámetros evaluados los tratamientos dos (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) y cuatro (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*) muestran las mayores medias con diferencias significativas entre sus valores, y ambos con el resto de los tratamiento.

Tabla 3. Mediciones de los parámetros morfológicos a los 120 días.

Trat.*	H (cm)	Dcr (cm)	PSA (g)	PSR (g)	PST (g)	PSA/PSR	H/Dcr	ICD
1	19,45 ^c	3,85 ^c	0,61 ^b	0,43 ^b	1,69 ^c	1,69 ^c	5,05 ^b	0,19 ^c
2	21,35 ^b	4,75 ^b	0,72 ^a	0,52 ^a	1,24 ^a	1,51 ^b	4,49 ^c	0,28 ^b
3	18,05 ^d	3,39 ^d	0,64 ^a	0,47 ^b	1,11 ^b	1,61 ^c	5,32 ^a	0,15 ^d
4	25,11 ^a	5,91 ^a	0,75 ^a	0,53 ^a	1,28 ^a	1,44 ^a	4,25 ^d	0,34 ^a
E.S	0,225**	0,052**	0,006**	0,005**	0,155**	0,166**	0,081**	0,011**

*Tratamientos; 1- Sustrato Cc60 no inoculado, 2- Sustrato Cc60 inoculado, 3- Sustrato Cc20 no inoculado y 4- Sustrato Cc20 inoculado; E.S- Error Estándar; ** Medias con letras desiguales en la misma columna difieren estadísticamente según Tukey < 0,05.

Los tratamientos con inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) muestran mayor altura con promedios de 25,11 y 21,35 cm con respecto a los tratamientos a los que no se le inoculo HMA, los cuales presentaron promedios de 19,45 y 18,05 cm difiriendo estadísticamente entre ellos.

Las plantas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth producidas en contenedor, utilizando cepas micorrízicas del género *Glomus* (Garcia *et al.*, 2016), y de *Swietenia macrophylla* producidas con cepas micorrízicas del género *Glomus* en bolsas de polietileno (Folgozo *et al.*, 2013), tuvieron valores similares a la mayoría

de los indicadores morfológicos registrados en este estudio, excepto para la H y el Dcr, así como ICD (en la segunda especie), que presentaron valores superiores.

Los resultados obtenidos con la aplicación de micorrizas sugieren que la incorporación de este biofertilizante provoca un incremento en la absorción de los minerales del sustrato y entre ellos el nitrógeno, el cual juega un papel fundamental como precursor del número de hojas, así como una mayor expansión foliar, a causa de un mayor número y tamaño de las células, fenómeno que coincide con lo informado por (Falcón *et al.*, 2015)

Los mejores resultados del índice de esbeltez (Tabla 3), o sea, la menor media fueron obtenidos en los tratamientos cuatro y dos, evidenciándose que la presencia del hongo micorrízico influyó de manera positiva en estos resultados, de lo que se infiere que son plantas que presentan mayor resistencia mecánica durante las operaciones de plantación o fuertes vientos y que por una parte el desarrollo total de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas (Oliet, 2000).

Se recomienda que los valores de H/Dcr sean bajos, lo que indica una planta esbelta y con menos probabilidad de daño físico por la acción del viento, sequía o heladas en el sitio de plantación (Santin *et al.*, 2018).

Según Carneiro *et al.* (2008), cuanto menor sea este valor, mayor será la capacidad de supervivencia y de establecimiento de las plantas. En relación con los criterios de estos autores es evidente que las plantas producidas en los tratamientos cuatro y dos son las más esbeltas y por tanto presentan buen equilibrio, lo que caracteriza a una planta de calidad.

La relación entre peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz (PSA/PSR) es otro índice eficiente y seguro para expresar la calidad de las plantas. Una cierta cantidad de área o masa foliar necesita una cierta cantidad de raíces para absorber agua del suelo y compensar la transpiración así como potenciar el sistema radical para dotarla de una arquitectura capaz de satisfacer la demanda de agua de la parte aérea (Leyva, 2005, citado por Torres, 2018). El análisis de

varianza realizado a este índice (Tabla 3), mostró que los valores que se obtuvieron en los tratamientos cuatro y dos son los mejores, existiendo diferencias significativas entre estos y los demás sustratos. Esto indica que la producción de raíces es abundante con respecto al área foliar y las plantas tienen un alto potencial para evitar la desecación.

Las mayores medias en los tratamientos cuatro y dos propiciaron el mejor desarrollo de la parte aérea (PSA) y radical (PSR). Este hecho probablemente se debe a la adecuada relación entre aire, agua y disponibilidad de nutrientes en el sustrato, además de la influencia de la micorriza la cual estimula la producción de biomasa en las plantas, influyendo en la supervivencia de las mismas en etapas tempranas (Urgiles *et al.*, 2009), en la diversidad de las comunidades vegetales y en su productividad (Álvarez *et al.*, 2007).

Según Rueda *et al.* (2014), para obtener plántulas de calidad el valor debe ser menor de 3 para la relación PSA/PSR, traducido en una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo. En el experimento esta relación se encontró por debajo y por encima del rango aconsejado, siendo menor en los tratamientos cuatro y dos (Tabla 2), lo que evidencia la capacidad de las plántulas obtenidas en estos sustratos para adaptarse a los ambientes estresantes.

Con relación al índice de calidad de Dickson (ICD), las mayores medias se obtuvieron en los tratamientos cuatro y dos con 0,34 y 0,28 respectivamente (Tabla 3), lo que indica que las plantas producidas en estos tratamientos están dentro de los parámetros de calidad y aptos para campo definitivo, que según Rueda *et al.* (2014), el valor mínimo debe ser de 0,20 por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que, por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas.

Estos resultados difieren con los citados por Mateo *et al.* (2011), los cuales para el índice de calidad de Dickson (ICD) obtuvieron valores entre 0,17 y 0,30 para la producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín.

A partir de los resultados obtenidos del ICD en los tratamientos dos y cuatro, se puede confirmar lo reportado por Li *et al.* (2016), de que la inoculación de HMA en el sustrato proporciona mejores condiciones para el crecimiento de las plántulas, porque la simbiosis planta-hongo se caracteriza por la presencia de estructuras fúngicas dentro y fuera de las raíces, extendiéndose por el suelo como una red interconectada, funcionando de interface entre el suelo y la planta, aumentando la superficie de contacto de las raíces en el suelo, mejorando la absorción de agua y nutrientes.

Estos resultados corroboran lo reportado por Falcón *et al.* (2015), al determinar que la inoculación con cepas del género *Glomus* proporcionaron mejores resultados en la producción de plántulas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell en vivero y plantación.

El índice de vigor (IV) (Tabla 3) a pesar de no ser comúnmente usado como un índice para evaluar el patrón de calidad en contenedores, resulta de gran utilidad ya que hace referencia al volumen de biomasa de la planta y permite predecir el potencial de supervivencia de las plántulas en el campo. Cuanto mayor es este índice, mayor deberá ser la capacidad de supervivencia en el campo (Panduro, 2017). En el experimento este índice fue mayor en los tratamientos cuatro y dos difiriendo estadísticamente con resto de los sustratos. Los resultados en este índice son similares a los obtenidos por (Falcón, 2018), para la misma especie.

De forma general los valores de los índices evaluados están dentro de los rangos positivos recomendados Rueda *et al.* (2014), aunque los menores valores se obtienen al usar solo sustrato. Estos como no tienen presencia de micorriza presentan desventajas con respecto a los demás tratamientos usados, coincidiendo con lo expuesto por Li *et al.* (2016), quienes reconocen que los hongos micorrízicos tienen la capacidad de secretar ácidos orgánicos y de esta manera solubilizar minerales de la roca madre; así los nutrientes se vuelven disponibles para las plantas, favoreciendo su nutrición, y por ende mayor crecimiento y desarrollo.

4.1.2 Comportamiento del largo de la raíz principal y número de raíces

En el análisis de los atributos relacionados con el sistema radical (Tabla 4) se observó que los tratamientos cuatro y dos confirieron mejores características a las plántulas que en él se desarrollaron, con diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos, lo que corroboró que la micorriza favorece la emisión de raíces, en correspondencia con valores altos de porosidad y buena aireación, favoreciendo el crecimiento de raíces y, por ende, el desarrollo de la parte aérea de la planta.

Tabla 4. Atributos simples relacionados con la morfología de la raíz en plántulas de *S. mahagoni* a los 120 días en vivero.

Tratamientos		LRP (cm)	QRP (U)	QRS (U)	QRT (U)
1	Sustrato Cc60 no inoculado	12,22 ^c	17,70 ^c	80,15 ^c	97,85 ^c
2	Sustrato Cc60 inoculado	14,21 ^a	22,05 ^a	90,40 ^a	112,45 ^a
3	Sustrato Cc20 no inoculado	11,14 ^d	15,10 ^d	72,05 ^d	87,15 ^d
4	Sustrato Cc20 inoculado	15,21 ^a	23,06 ^a	92,01 ^a	115,07 ^a
E.S		0,172*	0,312*	0,407*	0,686*

* Medias con letras desiguales en la misma columna difieren estadísticamente según Tukey < 0,05. E.S- Error Estándar.

En relación al largo de la raíz principal (LRP) los tratamientos cuatro y dos tienen mayor influencia con longitud de 15,21 y 14,21 cm, difiriendo estadísticamente con los demás tratamientos, por lo que las plantas de estos tratamientos pueden influir más en el anclaje, aspecto este muy importante porque mantiene a la planta fija en el suelo, generalmente en la vertical.

Al respecto Oliet, (2000) plantea que la funcionalidad del sistema radical depende no solo del tamaño adquirido sino también del porcentaje de superficie no suberificada o absorbente respecto al total, siendo este porcentaje determinado por el número de raíces finas (fibrosidad), en las que se concentra la actividad de extracción de agua al ser más activas y permeables con relación a las gruesas,

cuya función fundamental está relacionada con la conducción y anclaje de la planta.

El comportamiento en la cantidad de raíces primarias y secundarias (finas) fue similar que el largo de la raíz principal repercutiendo en la cantidad de raíces totales, que fueron mayores en los tratamientos cuatro y dos donde se aplicó micorriza. Ruiz *et al.* (2016), observaron que a través de las raíces micorrizadas ocurre mayor flujo de agua, lo que se correlaciona con un aumento en su adaptabilidad en ambientes secos.

Este resultado coincide con Harrier y Watson (2004) quienes plantean que la colonización de las raíces por hongos micorrízicos puede alterar la arquitectura de la raíz; y que las plantas colonizadas presentan raíces altamente ramificadas y mayor lignificación de la pared celular, aumentando su protección contra la penetración de patógenos.

Es significativo señalar que los altos contenidos de raíces finas en los tratamientos cuatro y dos pueden garantizar altas tasas de sobrevivencias en plantación, en correspondencia con lo expuesto por Freitas *et al.* (2006) quienes coinciden en que la alta densidad de raíces finas aumenta el contacto con el agua, provocando el aumento de la absorción de nutrientes, debido a que las raíces finas son las estructuras principales responsables de la adquisición de agua y nutrientes.

4.2 Análisis químico del suelo en plantación

En la Tabla 5 se presenta la caracterización del suelo donde se desarrolla la plantación de *S. mahagoni*. Según la clasificación de Hernández *et al.* (2015), se evalúa la capacidad de cambio catiónico (T) como baja, el porcentaje de saturación en base (V) como moderadamente alto, la capacidad de cambio de base (S) como bajo, los valores de pH en KCl van desde 4,6 a 4,9 evaluados como muy ácido, el contenido de calcio, magnesio, sodio, potasio como bajo, así como también el contenido de materia orgánica.

Tabla 5. Característica del suelo de plantación

Prof.	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	V
(cm)	(KCL)	(mg/100g)	(%)	(Cmol*kg ⁻¹)							(%)
0-15	4,9	8,69	15	2,52	1,54	0,86	0,25	0,05	2,7	9,12	65,5
3-30	4,6	1,58	13	1,48	3,02	0,58	0,25	0,05	3,9	5,52	68,18
Tipo de suelo: Fluvisol (Hernández <i>et al.</i> , 2015)											

La disponibilidad máxima de nutrientes en *S. mahagoni*, se encuentra en un rango entre alcalino y neutro, aunque se conocen plantaciones con buenos resultados en suelos ácidos con pH de 4,5 (Betancourt, 2000).

Según el autor anterior, *S. mahagoni* prefiere suelos ricos, profundos y bien drenados, en este caso el suelo donde se desarrolla la especie el suelo presenta baja fertilidad natural y bajo contenido de materia orgánica, esto limita el desarrollo de la especie en su sitio de plantación (Betancourt, 1983).

4.3 Comportamiento de las plantas en el sitio de plantación

4.3.1 Resultados en plantación a los tres meses

Las mediciones de altura, diámetro y esbeltez de la tabla 6, muestran la respuesta de las plantas en cada uno de los tratamientos en condiciones de plantación. El tratamiento cuatro (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*) es el de mejor resultado en altura, seguido por el tratamiento dos (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) y al final los tratamientos uno y tres con las menores medias.

En relación a los valores de diámetro se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento cuatro (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*), con valor 9,70 mm es el de mayor media entre los cuatro tratamiento, seguido por tratamiento dos (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) con media de 8,25 mm, ambos difiriendo estadísticamente con el resto de los tratamientos.

Tabla 6. Altura (H), diámetro (D) y Esbeltez (H/D) de la especie *S. mahagoni* a los tres meses de plantada.

Tratamientos		H (cm)	D (mm)	H/D
1	Sustrato Cc60 no inoculado	39,70 ^c	6,75 ^c	5,88 ^b
2	Sustrato Cc60 inoculado	42,40 ^b	8,25 ^b	5,14 ^b
3	Sustrato Cc20 no inoculado	38,50 ^c	6,45 ^c	5,97 ^a
4	Sustrato Cc20 inoculado	45,25 ^a	9,70 ^a	4,66 ^c
E.S		0,281*	0,121*	0,201*

Medias con letras desiguales en la misma columna difieren estadísticamente según Tukey < 0,05. E.S- Error Estándar.

La esbeltez es un parámetro importante para la evaluación de la calidad de la planta (Oliet, 2000). A los tres meses de plantada, el tratamiento cuatro (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*) y el tratamiento dos (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) tienen el menor valor para este índice y entre los tratamientos uno y tres no hay diferencias significativas. Por tanto los tratamientos cuatro y dos (donde se aplicó micorriza) se comportan de manera distintas al resto de los tratamientos.

Las menores medias (5,14 y 5,97) en los tratamientos dos y cuatro, respectivamente, indican que las plantas son más robusta y con menos probabilidad de daño físico por la acción del viento, sequía o heladas en el sitio de plantación, en correspondencia con lo citado por Santin *et al.* (2018).

Estos resultados sugieren que las plantas de los tratamientos dos y cuatro (las micorrizadas) tienen mayor probabilidad de crecer y desarrollarse en el campo, debido a los beneficios de esta simbiosis micorrízica, la que está relacionada con la nutrición vegetal, en donde, mediante mecanismos de intercambio bidireccional de nutrientes la planta suministra al hongo carbohidratos para su metabolismo y el hongo favorece la toma y transporte de nutrientes que la planta requiere (Smith y Smith, 2011).

4.3.2 Resultados en plantación a los seis meses

En relación a la altura (tabla 7), las plantas de *S. mahagoni* inoculadas con *G. cubense* fueron más altas, pero además tuvieron mayor diámetro y fueron más esbeltas, en comparación con las plantas no inoculadas, con diferencia estadística significativa.

Tabla 7. Altura (H), diámetro (D) y Esbeltez (H/D) de la especie *S. mahagoni* a los seis meses de plantada.

Tratamientos		H (cm)	D (mm)	H/D
1	Sustrato Cc60 no inoculado	41,80 ^b	7,85 ^b	5,32 ^a
2	Sustrato Cc60 inoculado	48,50 ^a	9,85 ^a	4,92 ^b
3	Sustrato Cc20 no inoculado	40,50 ^b	7,75 ^b	5,23 ^a
4	Sustrato Cc20 inoculado	49,75 ^a	10,70 ^a	4,65 ^c
E.S		0,152*	0,351*	0,401*

Medias con letras desiguales en la misma columna difieren estadísticamente según Tukey < 0,05. E.S- Error Estándar.

En relación a la altura y el diámetro se observa que entre los tratamientos dos (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*) y cuatro (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) no existen diferencias significativas, pero si con el resto de los tratamientos. Estos resultados a los seis meses han expresado diferencias en cuanto a ritmo de crecimiento en comparación a las mediciones a los tres meses.

El índice de Esbeltez (H/D) presenta la misma tendencia que la altura y el diámetro, siendo mejor en los tratamientos inoculados, lo que indica que son estas las plantas con mayor probabilidad de resistencia a la acción de factores estresantes, como viento y competición con malezas, siendo que valores bajos de H/D pueden indicar plantas con alta resistencia (Ritchie, 2010)

El efecto benéfico se nota especialmente en las plantas de los tratamientos inoculados con la cepa micorrízica, aspecto que es muy importante para el establecimiento de las plantas en condiciones naturales. El uso de hongos

micorrízicos arbusculares (HMA) en especies de caoba propagadas en vivero y destinadas a establecimiento en repoblaciones se ha reportado en: *Swietenia macrophylla x mahagoni* (Cuesta *et al.*, 2004), *S. macrophylla* (Rodríguez, 2010), *S. mahagoni* (Falcón *et al.*, 2013).

Ramírez *et al.* (2018), de igual forma encontraron que las plantas micorrizadas de *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus sp.* y *Acacia mangium* Willd., fueron más altas y con mayor peso seco que las plántulas del control. En consecuencia, es posible determinar que una de las ventajas que ofrece la inoculación con HMA, es la optimización en la absorción de nutrientes, por lo que se obtienen plantas mejor nutridas con una menor dosis de fertilización; y el desarrollo agronómico de las plantas se ve favorecido por la inoculación con este microorganismo.

4.3.3 Resultados en plantación a los nueve meses

En la tabla 8 se observa el análisis de los parámetros morfológicos en la Caoba del país a los nueve meses en plantación, donde el tratamiento cuatro (Sustrato Cc20 inoculado con *G. cubense*) y dos (Sustrato Cc60 inoculado con *G. cubense*) resultaron ser los más eficientes en esta etapa de desarrollo, siendo proporcional a los resultados obtenidos durante la etapa de vivero, en la que estos mismos tratamientos evidenciaron los mejores resultados.

Por otra parte, la tasa relativa de crecimiento tanto en diámetro como en altura fueron mayores en los tratamientos donde se aplicó micorriza difiriendo estadísticamente con el resto de los tratamientos, lo que evidencia la importancia de este biofertilizante en el crecimiento en el campo; estos resultados coinciden con los obtenidos por Olivera *et al.* (2011), en plantaciones de *Quercus rugosa*, quien encontró mayor crecimiento y supervivencia en etapas tempranas de su desarrollo al asociarse con los HMA, por lo que la inoculación micorrízica arbuscular debe ser considerada si se pretenden realizar actividades de restauración y reforestación de los bosques de encino.

También, Falcón *et al.* (2013) encontraron que la inoculación micorrízica tuvo un efecto significativo en el crecimiento y supervivencia de la especie *S. mahagoni*, coincidiendo con lo observado en este estudio.

Tabla 8. Altura (H), diámetro (D), Esbeltez (H/D) y Tasa Relativa de Crecimiento en Altura y Diámetro (TRCH, TRCD) de la especie *S. mahagoni* a los nueve meses de plantada.

Tratamientos		H (cm)	D (cm)	H/D	TRCD	TRCH
1	Sustrato Cc60 no inoculado	54,80 ^b	9,85 ^b	5,56 ^b	0,041 ^b	0,046 ^b
2	Sustrato Cc60 inoculado	68,50 ^a	12,85 ^a	5,33 ^d	0,056 ^a	0,061 ^a
3	Sustrato Cc20 no inoculado	55,50 ^b	9,75 ^b	5,69 ^a	0,047 ^b	0,041 ^b
4	Sustrato Cc20 inoculado	69,75 ^a	12,70 ^a	5,49 ^c	0,057 ^a	0,063 ^a
E.S		0,172*	0,312*	0,407*	0,014*	0,017*

Medias con letras desiguales en la misma columna difieren estadísticamente según Tukey < 0,05. E.S- Error Estándar.

El seguimiento de las especies inoculadas desde el vivero, ha demostrado que las mismas tengan mejor adaptación a los suelos degradados, lo que coincide con la respuesta que obtuvo Rivera *et al.* (2007), al plantear que el HMA, realiza mejor efecto donde existe bajo contenido de materia orgánica y les permite a la especie intensificar los procesos fisiológicos, con un mejor desarrollo de los parámetros morfológicos.

Similares respuestas alcanzaron Falcón *et al.* (2010), quienes señalaron que el hongo le aporta a las plantas múltiples funciones, entre las que se destaca el mejoramiento de la superficie absorbente del sistema radical, a través del aumento significativo de la misma, con tolerancia a las condiciones adversas.

Rodríguez (2010), alcanzó resultados similares en área de ecosistema montañoso, donde los mejores comportamientos fueron donde se aplicó micorriza del género *Glomus* en diferentes parámetros morfológicos.

Los incrementos no significativos de las variables respuesta del grupo de plantas testigo se deben a que el suelo del área de estudio es Fluvisol, con concentración de fósforo muy bajo (Tabla 4). A diferencia de las plantas micorrizadas este factor fue ventajoso ya que Rodríguez (2010), indica que la actividad y el beneficio de la simbiosis es más visible cuando estos se encuentran en suelos deficientes en fosforo; en esta condición, plantas inoculadas con micorriza presentan incrementos mayores de crecimiento.

Estos resultados están en correspondencia con lo citado por Salas y Blanco (2000), quienes informan que el hongo por su parte aporta nutrimentos minerales especialmente los poco móviles como fósforo, zinc, cobre y amonio, absorbidos de la solución del suelo por medio de las hifas. La planta micorrizada tiene ventaja sobre la raíz no micorrizada porque el micelio externo del hongo se extiende a mayor distancia que los pelos radicales. Además, los hongos imparten otros beneficios a la planta como: mejorar la agregación del suelo, incrementan la fotosíntesis, aumentan la actividad microbiológica del suelo, amplían la fijación de nitrógeno por las bacterias simbióticas, brindan mayor resistencia a plagas y estrés ambiental, estimulan la actividad de sustancias reguladoras de crecimiento, haciendo que la planta tolere a la sequía.

Los resultados que se alcanzaron, coinciden con Smith y Read (2008), quienes aluden que las micorrizas son una de las estrategias más importantes que han desarrollado las plantas para sobrevivir en condiciones del suelo pobres en nutrientes.

4.4 Comportamiento de la supervivencia a los nueve meses de plantada

A los nueve meses (270 días) después de establecer la plantación, se obtuvo una supervivencia promedio de 76,40 %, observándose una mayor mortalidad en los tratamientos uno y dos con 60,0 y 58,90 % respectivamente (Tabla 9).

La mortalidad con acumulado de 75 % fue observada a partir del quinto mes (Enero/2019) la cual se agravó en el séptimo mes (Marzo/2020) por encima del 50 % en los tratamientos uno y tres (Sustrato Cc60 y Cc20 no inoculado) (Tabla 9),

periodo que fue afectado significativamente por las bajas precipitaciones y altas temperaturas ocurridas en el área de estudio (Figura 9), asociado a la elevada salinidad y bajo contenido de nutrientes (Tabla 4), los cuales pudieron incidir en la mortalidad de las plantas.

Tabla 9. Supervivencia estimada por tratamiento de acuerdo al método Kaplan-Meier.

Tratamientos		Periodo de supervivencia (Meses)*			Supervivencia final (%)**
		75 %	50 %	25 %	
1	Sustrato Cc60 no inoculado	5	7	-	60,0 ^b
2	Sustrato Cc60 inoculado	-	-	-	92,20 ^a
3	Sustrato Cc20 no inoculado	5	7	-	58,90 ^b
4	Sustrato Cc20 inoculado	-	-	-	94,40 ^a
General		7	-	-	76,40

*Meses transcurridos a partir de la plantación en los que se presentó una supervivencia igual o menor a 75, 50 y 25 %. **Letras desiguales indican diferencias estadísticas significativas mediante la prueba *Log-Rank*.

Al respecto, Omary (2011), plantea que la supervivencia de una planta en un determinado sitio puede ser afectada por las propiedades físico-químicas del suelo como: humedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica y contenido de nutrientes; aunadas a las condiciones topográficas y al método utilizado para establecer la plantación (Ortega *et al.*, 2006); sin embargo en este experimento, el sitio de plantación es el mismo (Tabla 4); por ello, las diferencias de supervivencia de las plántulas en el sitio de plantación pudieron ser el resultado de la no utilización de la micorriza como biofertilizante que permite el establecimiento de las plantas en condiciones extremas como baja fertilidad, sequía y salinidad (Oros *et al.*, 2015; Cardona *et al.*, 2016)

Por su parte, Álvarez y Varona (2006), refieren que dentro de las causas que pueden ocasionar fallas en las plantaciones se encuentra el pastoreo y

precisamente en la zona había una alta presencia de ganado mayor. Otro factor pudiera estar influenciado por la calidad del cepellón que acompañó a las plantas al sitio de plantación.

La prueba Log-Rank mostró diferencias altamente significativas entre los cuatro tratamientos evaluados ($\text{Chi}^2 = 10,39$, $p < 0,001$), y que las plantas inoculadas, son las que tuvieron el mayor tiempo de supervivencia con respecto al resto de los tratamientos ($p < 0,05$) (Tabla 9, Figura 9).

El valor de supervivencia más alto se obtuvo en el tratamiento cuatro (Sustrato Cc20 inoculado) con 94,40 % seguido por el tratamiento dos (Sustrato Cc60 inoculado) con 92,20 % sin diferencia estadística entre ellos, pero sí con el resto de los tratamientos. De la misma manera, las plantas de los tratamientos uno y tres (Sustrato Cc60 y Cc20 no inoculados) no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí con el resto de los tratamientos (Tabla 9).

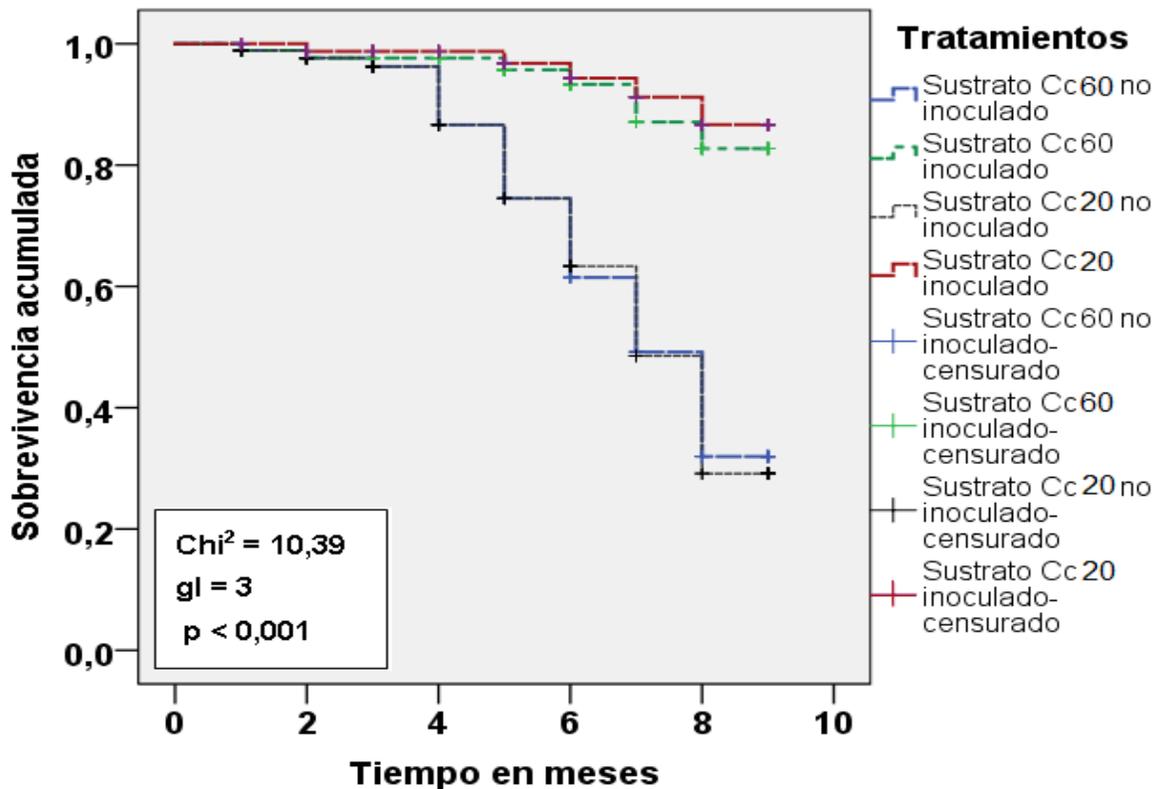


Figura 9. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para los diferentes tratamientos evaluados en la reforestación con *S. mahagoni*.

Las diferencias significativas entre plantas cuyo sustrato fue inoculado y sin inocular, indican que los hongos micorrizógenos mejoran la nutrición de las plantas, compiten con los patógenos por los sitios de colonización e infección, además de que inducen cambios anatómicos y morfológicos en las raíces, cambios en las poblaciones de microorganismos de la rizósfera e inducción local de los mecanismos de defensa de las plantas (Mansfeld *et al.*, 2002) lo que contribuyen a un mayor porcentaje de supervivencia.

Los resultados que se alcanzaron están en correspondencia con los citados por Rodríguez *et al.* (2011), quienes exponen que actualmente es importante desarrollar tecnología que permita aplicar los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en los procesos de regeneración de los ecosistemas naturales y el establecimiento de plantaciones comerciales, particularmente en las regiones tropicales, con el propósito de aumentar la supervivencia, calidad y crecimiento de las plantas en campo.

Resultados similares se han encontrado para *Cedrela odorata* en Veracruz, México, con mejores resultados en las plantas inoculadas con la cepa *Rhizophagus intraradices* con respecto a las no inoculadas (Oros *et al.*, 2015). La respuesta favorable de la inoculación con micorriza arbuscular se puede explicar debido a que la misma favorece el establecimiento y el desempeño de las plantas en campo; al estar inoculadas le permiten aprovechar mejor la humedad en el suelo (González *et al.*, 2005); mayormente en regiones con escasa precipitación pluvial y condiciones edáficas pobres como las que presenta el área de estudio.

Otros resultados obtenidos por Báez *et al.* (2017), indican que en sitios severamente degradados, es posible el establecimiento de *Fraxinus uhdei*, debido al efecto de la inoculación múltiple en las plantas, que causa que algunas variables de desempeño mejoren como consecuencia de la interacción, como fue el caso de mayor supervivencia con la inoculación dual con *Pisolithus tinctorius* y *Glomus intraradices*.

4.5 Análisis de riesgos

El modelo de riesgos proporcionales de Cox fue significativo para el conjunto de datos analizados ($\text{Chi}^2 = 150,32$, $p > 0,0001$), de manera que se rechazó la hipótesis nula global de que $\beta = 0$ (Tabla 10).

Tabla 8. Resultados de la regresión de riesgos proporcionales.

Parámetro	GL	Estimador	SE	Chi ²	Pr< Chi ²	Razón de riesgo
Sustrato	1	-0,173	0,334	0,236	0,627	0,841
Micorrización	1	0,413	0,145	8,109	0,004	1,512
Altura	1	0,383	0,057	4,182	0,041	1,082
Diámetro	1	-1,073	0,196	18,088	< 0,0001	0,342
Esbeltez	1	3,156	0,411	0,558	0,445	2,948

Los resultados muestran que entre los factores analizados, la aplicación de micorriza presentó un efecto significativo en la función de riesgo con un estimador positivo (0,413) en la comparación entre tratamientos (micorrizado y no micorrizado), en otras palabras, establecer una planta no micorrizada en las condiciones del sitio del área de estudio, tendrá un mayor riesgo de muerte comparada con aquella que se establezca bajo la inoculación con micorriza en la misma condición de sitio.

Por otra parte, el análisis mostró un efecto altamente significativo de la covariable diámetro a la base del suelo, con signo negativo en el estimador y una relación de riesgo de 0,342, lo que significa que el incremento de 1 mm en el diámetro de la planta reduce el riesgo de muerte hasta en un 68,4 % (es decir, $100(1 - e^{-1,073})$), siempre y cuando se mantuviesen constantes las otras variables.

Los resultados obtenidos coinciden con lo indicado por Sigala *et al.* (2015), quienes plantearon que las plántulas con los menores diámetros, pueden tener un pobre desempeño en campo, comparadas con aquellas de mayor diámetro, debido a que el diámetro está directamente relacionado con las reservas de

carbohidratos no estructurales (Guehl *et al.*, 1993 citado por Sigala, 2013), y con el desarrollo de las raíces (Mason, 2001).

Otra variable que influyó significativamente en la supervivencia, fue la altura del tallo, que contrariamente al efecto del diámetro, ésta presentó un estimador con signo positivo, aunque con una relación de riesgo baja (1,082), indicando que el aumento de 1 cm de altura aumentaría el riesgo de muerte en un 8,2 % durante los primeros meses después de establecer la plantación.

En estudios recientes, con la especie *Pinus pseudostrobus*, Sigala *et al.* (2015) demostraron que la altura influyó negativamente en la supervivencia durante los primeros meses de establecimiento, específicamente, en el municipio Galeana, Nuevo León, México.

4.6 Análisis económico

La tabla 11 refleja la valoración económica con la aplicación diferentes combinaciones donde se observa los gastos sin y con aplicación de micorriza; se destaca que con la aplicación de micorriza disminuyeron los gastos significativamente en 2 491,97 pesos con respecto a donde no se aplicó el biofertilizante.

En esta valoración se tuvo en cuenta la disminución en cuanto a las atenciones silviculturales que se desarrollaron con la aplicación del biofertilizante, ya que las plantas alcanzaron mayor crecimiento y desarrollo, lo que trajo consigo una reducción de fuerza de trabajo que repercute en el decrecimiento de los gastos por concepto de fuerza de trabajo y salario.

Nótese que donde se aplicó la micorriza el total de gasto fue menor, aun cuando los gastos por conceptos de materias primas y materiales fue mayor. Esto justifica las ventajas que brinda los hongos micorrízicos arbusculares para el crecimiento y desarrollo de esta especie.

En este análisis se puede constatar que para la producción de 10 000 plántulas en tubetes solo sería necesario mover 3 m³ sustrato, sin embargo para llenar esa misma cantidad de envases usando bolsas de polietileno, es necesario mover un

promedio de 11,2 m³ de suelo; por lo que se deduce que con el empleo de tubetes se reduce en gran medida la agresividad al suelo; lo cual es un beneficio para la conservación de los suelos máxime cuando se trata de restaurar ecosistemas degradados.

Tabla 11. Variaciones del costo total y unitario hasta el primer mantenimiento.

Partidas	Costo Total			Costo Unitario		
	Sin Micorriza	Con Micorriza	Variación	Sin Micorriza	Con Micorriza	Variación
Materias primas y materiales	250,73	379,91	129,18	0,06	0,02	-0,04
Otros gastos directos	161,36	50,82	-110,54	0,02	0,01	-0,01
Gastos de la fuerza de trabajo	3768,44	878,42	-2890,02	0,38	0,09	-0,29
Salarios	2902,89	676,66	-2226,23	0,29	0,07	-0,22
9,09 % Vacaciones	263,87	61,51	-202,36	0,03	0,01	-0,02
Contribución a la Seguridad social	443,35	103,34	-340,01	0,04	0,01	-0,03
Impuesto 5 %	158,34	36,91	-121,43	0,02	0	-0,01
Gastos indirectos de producción	104,08	33,49	-70,59	0,01	0	-0,01
Total de Gastos	4284,61	1342,64	-2941,97	0,46	0,11	-0,34

Por otro lado el uso de sustratos orgánicos reduce el peligro de introducir especies invasoras o exóticas en las áreas de restauración, además se utilizan diversos subproductos y residuos locales, a los que, en ocasiones, no se aprovechan eficientemente pudiendo producir impactos ambientales.

Valorando en sentido general, los resultados obtenidos son satisfactorios, por tanto, las ventajas que brindan desde el punto de vista ambiental y económico, el uso de la enmienda ecológica para el cultivo desde vivero hasta plantación justifica el empleo de los mismos.

4.7 Beneficio de la investigación en tiempo de guerra y en caso de catástrofe

- **Período de guerra**

Los bosques de Cuba juegan un papel primordial para preservar el medio ambiente y crear los fondos maderables y boscosos necesarios para la defensa de la patria en virtud de la concepción de la guerra de todo el pueblo y son los viveros la base de la multiplicación y garantía de los mismos, los cuales sirven de refugio y enmascaramiento en condiciones excepcionales, lo cual atribuye gran importancia para mejorar la forma de desplazarse y para el enmascaramiento según las diversas características de la especie *S. mahagoni*, donde su madera puede ser empleada en la construcción de componentes de uso militar tales como: cajas para envasar proyectiles, culatas de fusiles, barandas de camiones, bases de instrumentos científicos de precisión (teodolito).

- **En caso de catástrofe**

Las especies forestales juegan un papel primordial como cortinas rompe vientos en caso de ciclones, disminuyendo los efectos directos de los fuertes vientos y otros fenómenos atmosféricos. La madera de la especie *S. mahagoni* es utilizada para la reconstrucción de viviendas que han sido damnificadas por diferentes desastres, además se utiliza para la reforestación de las áreas devastadas por estos fenómenos. Esta especie forestal es importante para esta actividad ya que su crecimiento y desarrollo favorece la reforestación o forestación de áreas afectadas por alguna catástrofe y a su vez contribuye con el impacto económico.

Conclusiones

CONCLUSIONES

- La especie *Swietenia mahagoni* L. Jacq., tanto en vivero como en plantación, mostró la mejor respuesta morfológica en los tratamientos cuatro y dos (Sustrato Cc20 y Cc60 inoculado).
- El mayor porcentaje de supervivencia se manifestó en los tratamientos cuatro y dos (Sustrato Cc20 y Cc60 inoculado) con más de 90 %, siendo el diámetro la variable morfológica que mayormente se relaciona con el riesgo de mortalidad.
- Es económicamente factible el empleo de la cepa micorrízica *Glomus cubense* en el crecimiento y supervivencia de la especie *Swietenia mahagoni* L. Jacq.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Evaluar las respuestas de la plántula a los tratamientos durante un periodo más largo, ya que *Swietenia mahagoni* L. Jacq es una especie de lento crecimiento.
- Que el documento sirva de material de estudio para técnicos y especialistas de la actividad forestal a la hora de manejar la especie en zonas semiáridas.

Referencias Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C, García, D., Guerra, W, Murga, H., Saldaña, G., Vázquez, D, & Tadashi, R. (2016). Sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.). *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 341-347.
- Álvarez, P., & Varona, P. (2006). *Silvicultura (Versión 2)* (2.^a ed.). La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
- Báez-Pérez, A. L., Lindig-Cisneros, R., Villegas, J., Báez-Pérez, A. L., Lindig-Cisneros, R., & Villegas, J. (2017). Supervivencia y crecimiento de *Fraxinus uhdei*, inoculado en vivero, en cárcavas de acrisoles. *Madera y bosques*, 23(3), 7-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331418>
- Beena, K.R., Raviraja, N.S., Arun, A.B., & Sridhar, K.R. (2000). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi on the coastal sand dunes of the west coast of India. *Curr. Sci.*, 79, 1459-1466.
- Berazaín, R., Areces, F., & Lazcano, J. C. (2005). Lista roja de la flora vascular cubana (Versión Jardín Botánico Atlántico (Gijón)) (Jardín Botánico Atlántico (Gijón), Vol. 4).
- Betancourt, A. (1983). *Silvicultura Especial de Árboles Maderables Tropicales*. pp 45-49.
- Betancourt, A. (2000). *Árboles maderables exóticos de Cuba*. Cuba. pp 50-70
- Brundrett, M. C. (2002). *Co evolution of roots and mycorrhizas of land plants*", *New Phytologist*.
- Cardona, W.A., Gutiérrez, J. S., Monsalve, O.I., & Bonilla, C. R. (2016). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) micorrizadas y sin micorrizar. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 253-266.
- Carneiro, R. L. C, Ribeiro, A, Huaman, C. A. M., Leite, F. P, Sedyama, G. C., & Neves, J. C. L. (2008). Consumo de água en plantíos de eucalipto: Parte 2 Modelagem da resistência estomática e estimativa da transpiração em tratamentos irrigados e não-irrigados, 32(1), 11-18.

- Castillo, I.C, Medina M, González, E, Cobas, M., & Bonilla M. (2006). Evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de *Eucaliptus grandis* en contenedores, *25*(2), 75-85.
- Cervantes, C. S. (2014). *Establecimiento de plantas de Prosopis laevigata y Agave salmiana inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de invernadero*. (Tesis Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cregg, B.M. (1994). Carbon allocation, gas exchange, and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiology*, *14*, 883-898.
- Cuesta, M.I, Ferrer G.A, & Rengifo C.E. (2004). Importancia de la aplicación dual hongo micorrízico-bacteria en una especie forestal de interés económico. *Revista Forestal Baracoa*, *23*(2), 67-72.
- DFFFS. (2020). Dinámica Forestal. Guantánamo. Cuba.
- Dickson, A., Leaf, A.L., & Hosner, J.F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, *36*, 10-13.
- Falcón E., Rodríguez, O., & Rodríguez, Y. (2015). Aplicación combinada de micorriza y Fitomas-E en plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Majagua), *36*(4), 35-42.
- Falcón, E., Rodríguez, O., & Riera, M. C. (2010). Efecto de la aplicación de micorrizas arbusculares sobre la producción de posturas de Caoba del país (*Swietenia mahagoni* L. Jacq.), 11.
- Falcón, E., Rodríguez, O., & Riera, M. C. (2013). Efecto de la inoculación de hongos micorrizógenos sobre la producción de posturas forestales en dos tipos de suelos, *34*(3), 32-39.
- Falcón Oconor, E. (2018). *Influencia del sustrato en los atributos morfofisiológicos de la especie Swietenia mahagoni L. Jacq. cultivada en tubetes* (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Guantánamo, Guantánamo, Cuba.

- FAO. (2012). Situación de los bosques del mundo 2012.
- FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?, (Segunda edición.). Recuperado a partir de www.fao.org/3/a-i4793s.pdf.
- FAO. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra.
- FAO. (2018). El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible.
- Fernández, C. E. (2013). *Efectividad biológica de especies nativas de hongos micorrízicos arbusculares en cedro rojo (Cedrela odorata L.)*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. México, Nuevo Leon, México.
- Fernández, F., Gómez, R., Vanegas, L., Noval, B. M., & Martínez, M. A. (2000). Producto inoculante micorrizógeno. no. 22641, Inst.
- Figuroa, C.J.C. (1994). An assessment of the distribution and status of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). *Conservation Foundation and International Institute of Tropical Forestry.*, 25.
- Finlay R.D. (2008). "Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium",. *Journal Experimental Botany*, 59, 1115-1126.
- Folgoso, J. C. B., Velázquez, L. P., & Martínez, L. M. T. (2013). Alternativas biológicas para la obtención de posturas de caoba antillana en la etapa de vivero. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 6(16), 15.
- Frade, E.F., Araújo, J.A., Silva, S.B., Moreira, J.G.V., & Souza, L.P. (2011). Substratos de residuos orgânicos para produção de mudas de Ingazeiro (*Inga edulis* Mart) no vale do Juruá - Acre. *Goiânia*, 7, 959-969.
- Freitas Alvarado, L., Otárola Acevedo, E., Del Castillo Torres, D., Linares Bensimón, C., Martínez Dávila, P., Salas, M., & Adolfo, G. (2006). Servicios

ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto-Perú.

Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Curr Opin Plant Biol*, 9, 436-442.

Garcia, K. G. V., Gomes, V. F. F., Almeida, A. M. M. de, & Filho, P. F. M. (2016). Micorrizas arbusculares no crescimento de mudas de sabiá em um substrato proveniente da mineração de manganês. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(2), 15-20. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i2.4088>

Godinho, N. (2013, septiembre). Guia orientador para a elaboração de trabalhos escritos, referências bibliográficas e citações.

González, C.F., Monroy, A., García, E. M., & Orozco, M.S. (2005). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(1), 5-10.

González, M. C. A. (2004). Hongos micorrizicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana*, 22, 507-514.

González CH.P. (2014). *Aplicación de micorrizas y un Mycobacter en viveros de cacao (Theobroma cacao L)*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo.). Universidad Técnica De Machala. Ecuador, Ecuador.

Guadarrama, C. P., Sánchez, G. I., Álvarez, S. J., & Ramos, Z. J. (2004). “Hongos y plantas beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares”,. *Ciencias*, 73, 38-45.

Guerra, G. J. E. (2009). *Evaluación de cepas de micorriza vesículo arbuscular en plantas de caoba (Swietenia sp.) en etapa de vivero en Zamorano,*

Honduras. (Tesis (Ingeniero Forestal)). Universidad de Honduras, Honduras.

Guillison, R.E, & Hubbell, P. (1992). Regeneración natural de la Mara (*Swietenia macrophylla*) en el Bosque Chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 19, 43-56.

Hamilton, R. D. (2014). Validación de normas de trabajo estándar para viveros forestales. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 68, 48-52.

Harrier, L.A., & Watson, C.A. (2004). The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Management Science*, 60(2), 149-157.

Hartmann, H.T, Kester, D.E, Davies, F.T, & Geneve, R.L. (2011). Plant propagation: principles and practices. *Prentice Hall*, 8, 915.

Hernández J.A., Pérez J. J. M., Bosch I. D., & Castro S. N. (2015). Clasificación de los Suelos de Cuba. *Instituto de Suelos, MINAG*, 93.

James, A. E., Rygielwicz, P. T., Watrudb, L. S., & Donnelly, P.K. (2002). "La influencia de condiciones adversas de suelo en la formación y función de micorrizas arbusculares. *Advances in EnviromentalResearch*, 7, 123-138.

Kaplan, E. L., & P. Meier. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(282), 457-481.

Klein, C. (2015). Substratos alternativos para produção de mudas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 4(3). <https://doi.org/10.5380/rber.v4i3.40742>

Kula, A. A., Hartnett, D. C., & Wilson, G. W. T. (2005). Effects of mycorrhizal symbiosis on tallgrass prairie plant-herbivore interactions. *Ecology Letters*, 8, 61-69.

- Li, Z., Liu, L., Chen, J., & Teng, H.H. (2016). Cellular dissolution at hypha-and spore-mineral interfaces revealing unrecognized mechanisms and scales of fungal weathering. *Geology*, *44*(4), 319-322.
- Lovera M., & Cuenca G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. *Interciencia*, *32*, 108-114.
- Mansfeld, K., Larsen, J., & Bodker, L. (2002). Bacterial populations associated with mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Microbiological Ecology*, *41*, 133-141.
- Manzanilla, P. M. (2016). Producción de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) inoculadas con suelo rizosférico nativo de selva mediana en el Sur de Quintana Roo. *Instituto Tecnológico de la Zona Maya. México*, 46.
- Mason, E. G. (2001). A model of the juvenile growth and survival of *Pinus radiata* D. Don. Adding the effects of initial seedling diameter and plant handling. *New Forests*, *22*, 133–158.
- Mateo, J.J., Bonifacio, R., Pérez-Ríos, S.R., Mohedano, L., & Capulín, J. (2011). Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*, *7*(1), 123-132.
- Méndez, H., Marmolejo, J. G., Cantú, C., Olalde, V., Estrada, E., & Posadas, C. (2013). Respuesta de *Cedrela odorata* L. a diversos inoculantes micorrízicos procedentes de dos ecosistemas tropicales. *Madera y Bosques*, *19*(3), 23-34. <https://doi.org/doi:10.21829/myb.2017.2331418>
- Merencio, J. L. (2020). Alcanza Cuba el 31,23 % de índice de boscosidad [Periódico Granma].
- O´Farrill, A. (2019). *Recuperación de áreas con suelos salinizados en Fincas Forestales del valle de Guantánamo*. (Tesis Doctoral). Universidad de Pinar del Río. Cuba 83 p.

- Oliet, J.A. (2000). La calidad de la planta forestal en vivero. *ETSIAM*, 93.
- Olivera, D., Castillo, S., Guadarrama, P., Ramos, J., Álvarez, J., & Hernández, L. (2011). Establecimiento de plántulas de *Quercus rugosa* Née inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque templado de México. *Bol. Soc. Bot. Méx*, 89, 115-121.
- Omary, A. A. (2011). Effects of aspect and slope position on growth and nutritional status of planted Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in a degraded land semi-arid areas of Jordan. *New Forests*, 42, 285–300.
- Oros-Ortega, I., Alonso-López, A., Pérez-Moreno, J., López-Collado, J. C., Lara-Pérez, L. A., Martínez-Garza, S. E., Andrade-Torres, A. (2015). Respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* a la inoculación con *Rhizophagus intraradices* y diferentes niveles de defoliación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 627–635.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena P., J. Sanchez Z., N. Rodriguez I., K. Txarterina; M. Duñabeitia. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests*, 31, 97–112.
- Panduro, M.E. (2017). *Manejo de regeneración natural, en vivero, de Virola elongata (Benth) Warb. "Cumala blanca", utilizando sustratos orgánicos.* (Título Profesional de Ingeniero Forestal). Universidad de Peru, Puerto Almendras, Loreto, Perú.
- Pérez, E.R. (2017). Tarea Vida. *Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana. Cuba.*, 14.
- Ramírez, M.M., Peñaranda, A.M., Pérez Moncada, U.A., & Serralde, D.P. (2018). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 15-25.
- Ritchie, G.A. (2010). Assessing plant quality. Seedling Processing, Storage, and Outplanting. *Agric. Handbk*, 674, 200.

- Rivera, R., Fernández, F., Fernández, K., Ruiz, L., Sánchez, C., & Riera, M. (2007). "Advances in the Management of Effective Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Tropical Ecosystems". En: Hamel C. y Plenchette C., *Mycorrhizae in crop production. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton, N.Y*, 151-195.
- Rodríguez, V. H. (2010). *Diversidad de hongos micorrízico arbusculares y sus interacciones con factores ambientales y fisiológicos en la producción de plántulas de caoba*. (Tesis de Maestría en Ciencias). Colegio de Posgraduados, Veracruz, Veracruz, México.
- Rodríguez, V.H., Soto, A., Pérez, J., & Negreros, P. (2011). Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Interciencia*, 36(8), 564-569.
- Rodríguez, Y. (2010). *Estrategia de diversificación de la producción en el sistema agroforestal de la empresa café y cacao "Yateras", Guantánamo*. (Tesis de doctorado). Universidad de Pinar del Río. Cuba., Pinar del Río. Cuba.
- Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, & Rivera RA. (2011). *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*, 118(1), 337–347.
- Rueda, A, Orozco, G., Benavides, J. de D., Saenz, J. Trinidad;, Muñoz, H., & Prieto, J.Á. (2014). . Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayaritt, 5(22), 58-73.
- Ruiz, J.M., Aroca, R., Zamarreño, Á.M., Molina, S., Andreo, B., Porcel, R., & López, J.A. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant, Cell & Environment*, 39(2), 441-452.
- Salas, E., & Blanco, A.F. (2000). Selección de plantas hospederas y efecto del fósforo para la producción de inóculo de hongos formadores de micorrizas

arbusculares (MA) por el método de cultivo en macetas. *Agronomía Costarricense*, 23(1), 11-17.

Sánchez, M. J. (2005). *“Micorrizas. Aspectos generales”* (Tesis (Ingeniero Forestal)). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México., México.

Santin, M., Maluche, C.R., Salengue, L., Kraft, E., & Ogliari, A. J. (2018). Crescimento de mudas de canafístula com o uso de adubação biológica e bioestimulante em diferentes substratos. *Enciclopédia Biosfera*, 15(27), 95-106.

Sigala, J. Á. (2013). *Efecto del manejo y calidad de planta en vivero, en la supervivencia y crecimiento de Pinus Pseudostrobus Lindl. en sitios de baja productividad.* (Tesis de Maestría en Ciencias Forestales.). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Sigala, J. Á., González, M.A., & Prieto, J. Á. (2015). Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y precondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 20-31.

Siqueira, D.P., Carvalho, M.W., Barroso, D.G., & Marciano, C.R. (2018). Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. *Floresta*, 48(2), 277-284.

Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 227-250.

Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis.* Academic Press Cambridge, RU, 605.

Torres Goire, D. (2018). *Comportamiento en vivero de los parámetros morfológicos de la planta Swietenia mahagoni L. Jacq. micorrizadas, con la utilización de la tecnología de tubetes* (Tesis inédita de Diploma). Universidad de Guantánamo, Cuba.

Villamet, P. (2019). *Implementación de técnicas de forestería análoga en tres fincas forestales integrales del corredor xerofítico del sur de Guantánamo, localidad de Paraguay*. (Tesis de Maestría en Ciencias Forestales.). Universidad de Guantánamo, Cuba.

Williams, C. S. (2008). Surviving Survival Analysis. An Applied Introduction. In: SESUG 2008: The Proceedings of the South East SAS Users Group, St Pete Beach, FL. Recuperado a partir de <http://analytics.ncsu.edu/sesug/2008/ST-147.pdf>.