

**UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
FACULTAD AGROFORESTAL**

UG/FAF 2020

**Comportamiento de los parámetros morfológicos en la
calidad de *Caesalpinea violacea* (Mill.) Standl
micorrizadas, cultivadas en tubetes**

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

AUTOR: Aliuska Bonne Lopéz

2020

**Comportamiento de los parámetros morfológicos en la
calidad de *Caesalpinea violacea* (Mill.) Standl
micorrizadas, cultivadas en tubetes**

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

AUTOR: Aliuska Bonne López

Tutores: MSc. Emir Falcón Oconor

Ing. Grabiél Céspedes Correa

2020



Dedicatoria

- **A mi familia que desde siempre han dado su apoyo incondicional en especial a mi madre Loraine López Barroso, mi tía Dayana López Barroso, mi abuela Graciela Barroso Roblejo y todas aquellas que me han apoyado.**
- **A mis compañeros de aula que me han apoyado para la realización de este trabajo, en especial a mi amiga Keilan Cuesta Fuentes.**



Agradecimientos

- **A mis tutores Emir Falcón Oconor, Grabiél Céspedes Correa y a la profesora Orfelina Rodríguez Leyva.**

- **Al claustro de profesores que contribuyeron en mi formación y preparación como futura Ingeniera Forestal.**

- **A todas aquellas personas que de una forma u otra influyeron en la culminación de este trabajo de diploma.**

- **A la revolución cubana y a nuestro máximo líder Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de convertirme en un profesional.**



Pensamiento

“...Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre...”.

Fidel Castro Ruz, Cumbre de La Tierra en Río de Janeiro, el 12 de junio de 1992.





Resumen

El presente estudio realizado en plántulas de *Caesalpinea violacea* (Mill.) Standl tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes sustratos orgánicos en el crecimiento de esta especie, producida en un vivero forestal tecnificado bajo umbráculo de malla verde en el Centro de Estudio y Tecnología Agroforestal (CETAF) perteneciente a la Universidad de Guantánamo. Los sustratos se elaboraron a partir de mezclas de compuestos orgánicos como Humus de lombriz (HL), Fibra de coco (Fc) y Aserrín de pino compostado (As). El experimento se estableció con un diseño completamente aleatorizado consistió en cuatro tratamientos con tres repeticiones, bajo un muestreo probabilístico del tipo aleatorio simple. Se determinaron los parámetros e índices morfológicos de las plántulas. En el tratamiento cuatro (HL30% + Fc60% + As10%+ Gc10g) la especie mostró mejor respuesta a los valores alcanzados en los diferentes parámetros e índices morfológicos debido a la aplicación de micorriza *Glomus cubence* y mayor porcentaje de fibra de coco. Además este tratamiento presenta un menor costo por peso de las plántulas obtenidas.

Palabras clave: morfológicos; plántulas; sustratos; vivero tecnificado.



ABSTRACT

The objective of the present study carried out on *Caesalpinea violacea* (Mill.) Standl seedlings was to evaluate the effect of different organic substrates on the growth of this species, produced in a technified forest nursery under green mesh umbrellas at the Agroforestry Study and Technology Center (CETAF) belonging to the University of Guantánamo. The substrates were made from mixtures of organic compounds such as Earthworm Humus (HL), Coconut fiber (Fc) and composed pine sawdust (As). The experiment was established with a completely randomized design it consisted of four treatments with three replications, under a probabilistic sampling of the simple random type. The parameters and morphological indexes of the seedlings were determined. In the treatment four (HL30% + Fc60% + As10%+ Gc10g) the species showed better answer to the values reached in the different parameters and morphological indexes due to the micorriza application *Glomus cubence* and bigger percentage of coconut fiber. This treatment also presents a smaller cost for weight of the obtained seedlings.

Key words: morphological; seedlings; substrates; technified nursery.



ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Caracterización de la especie <i>Caesalpinea violacea</i> (Mill.)Standl.....	4
2.2 Generalidades sobre viveros forestales	6
2.2.1 Funciones del vivero forestal.....	6
2.2.2 Criterios básicos para establecer un vivero moderno.....	7
2.2.3 Características de los contenedores para viveros forestales	7
2.3 Producción de plántulas en tubetes o contenedor.....	8
2.3.1 Consideraciones para elegir tubetes	8
2.4 Ventajas y desventajas del empleo de tubetes	9
2.5 Sustrato	10
2.5.1 La calidad de los sustratos	10
2.5.2 Sustratos empleados.....	12
2.6 Calidad de la planta forestal en vivero.....	13
2.7 Definición de micorriza	13
2.7.1 Beneficios de la micorriza arbuscular	14
2.7.2 Efectos de la micorriza en especies forestales.....	15
2.8 Atributos morfológicos utilizados para evaluar la calidad de la planta.....	16
2.9 Atributos morfológicos del sistema radical	17
2.9.1 Largo de la raíz principal y número de raíces.....	17
2.10 Índices morfológicos.....	17
2.10.1 Relación parte aérea/parte radical en peso	17
2.10.2 Índice de calidad de Dickson.....	17
2.10.3 Índice de Esbeltez	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19

3.1 Localización del experimento	19
3.2 Condiciones climáticas locales	19
3.3 Origen del material de reproducción.....	20
3.4 Envase empleado para el cultivo de las plantas en el vivero	20
3.5 Sustrato	21
3.6 Descripción del experimento	21
3.7 Caracterización química del sustrato.....	22
3.8 Aplicación de micorriza.....	22
3.9 Siembra de las semillas y riego	22
3.10 Germinación y entresaque	23
3.11 Determinación de los índices morfológicos	24
3.12 Valoración económica	25
3.13 Procesamiento estadístico	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Comportamiento de la germinación de la especie <i>Caesalpinea violacea</i> ...	26
4.2 Caracterización química del sustrato.....	27
4.3 Caracterización de los atributos morfológicos de la planta.....	29
4.3.1 Evaluación de los parámetros morfológicos Altura (H), Diámetro del Cuello de la raíz (DC), Número de hojas (NF) y Peso Seco (PS) en la especie <i>Caesalpinea violacea</i> (Mill.) Standl.	29
4.3.2 Comportamiento del diámetro del cuello de la raíz (mm)	30
4.3.3 Número de hojas (NH) de las plantas en fase de vivero.	31
4.3.4 Peso seco foliar y radical.....	33
4.4 Atributos morfológicos del sistema radical	35
4.4.1 Comportamiento de la raíz principal y número de raíces	35
4.5 Índices morfológicos de la especie <i>Caesalpinea violacea</i>	37
4.6 Evaluación de la calidad de la planta	41
4.7 Valoración económica	42

4.8 Beneficio de este estudio para período de guerra	43
4.9 Beneficio de este estudio para enfrentar la Tarea Vida.....	444
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	



I. INTRODUCCIÓN

El proceso de deforestación en Cuba ha ido en retroceso, siendo uno de los pocos países, donde se obtienen resultados positivos en este empeño, con avances sustantivos en todo el territorio nacional, a partir del establecimiento de un proceso de reforestación sistemático casi desde el comienzo de la Revolución, que ha rendido frutos palpables en todos estos años (Cobas *et al.*, 2005 citado por Ramírez *et al.*, 2015) al extremo que ya en 2017, el 31,15% de la superficie del país se encontraba cubierta por bosques (Labrador *et al.*, 2017).

Debido a los fuertes problemas de deforestación, a la pérdida de biodiversidad que sufren los países tropicales y a la gran necesidad de reforestar, los viveros pueden funcionar no solo como fuente productora de plantas sino también como centros de investigación, lo que permitirá diseñar, conocer y adecuar las técnicas más sencillas para la propagación masiva de especies forestales (Paez, 2017).

La política forestal de Cuba contempla en su programa de desarrollo hasta el año 2030 la producción de plantas en viveros forestales tecnificados (SEF, 2018), donde la producción de plantas en contenedores (tubetes) constituye la principal vía para garantizar mayor calidad en las plantas y lograr mayores porcentajes de supervivencia en plantación.

El uso de tubetes en la producción de plántulas ha demostrado ser muy efectivo, en términos fisiológicos favorece la formación de raíces ya que el uso de contenedores se basa en inducir la formación de un sistema radical con abundantes raicillas y pelos absorbentes. Este sistema se ha probado igualmente en otros ensayos en el mundo y se ha demostrado una alta efectividad, en términos de espacio representando hasta un 65% de ahorro en el área a utilizar (Buamscha *et al.*, 2012).

El sustrato es una materia prima de especial interés, debido a que sus características de porosidad, retención de agua, drenaje y disponibilidad de nutrimentos están directamente relacionadas con el crecimiento, producción de

materia seca y supervivencia de las especies (Zumkeller *et al.*, 2009; Buamscha *et al.*, 2012).

Existe una gran heterogeneidad de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales, dado que la mayoría de los viveristas formulan sus propios sustratos con materiales disponibles localmente. Algunas opciones de sustratos se basan en residuos ganaderos (composta de estiércoles), de la industria agroalimentaria (fibra de coco, cascarilla de cacao y de café) y forestal (corteza y aserrín) (Aguilera *et al.*, 2016).

El tipo de sustrato utilizado en los viveros es uno de los factores que influyen en la calidad y costo de producción de una planta; por ello, resulta trascendental buscar opciones que reduzcan los costos y garanticen la calidad de planta (Arteaga *et al.*, 2003). Una manera de reducir los costos por el concepto de sustratos es llevar acabo mezclas de diferentes materiales, que permitan mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Por esta razón es importante mejorar las plántulas en la etapa de vivero, fortaleciendo y mejorando las condiciones de las mismas antes de ser llevadas al campo definitivo, razón por la cual dentro del desarrollo forestal sostenible, se hace necesario implementar nuevas herramientas de manejo y aplicación, como es el caso de los microorganismos que constituyen un poderoso recurso a ser utilizado para mejorar las condiciones del suelo y de ésta manera garantizar un buen establecimiento durante su trasplante (González, 2014).

El uso de las micorrizas (simbiosis entre un hongo y las raíces de una planta) le permite a los cultivos tomar los nutrientes aún en casos en que el pH no es adecuado; incluso los hongos mediante la emisión de compuestos de transferencia pueden disolver sustancias que normalmente en el suelo no son aprovechadas por las raíces de las plantas (Li *et al.*, 2016).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) permiten favorecer la absorción de nitrógeno a través de efectos indirectos y de su relación con otros microorganismos del suelo. También pueden asimilar fósforo a través de las hifas y las raicillas infectadas de la planta por el hongo, son capaces de tomar

el fósforo del suelo en varias formas y transferirlo a las plantas (Rivera *et al.*, 2006).

La provincia de Guantánamo, pese a los avances de los viveros tecnificados en el país, en este momento es que está dando los primeros pasos en la producción de plantas en contenedores (tubetes), por lo que se hace necesario realizar estudios relacionados con los sustratos a utilizar y el tipo de planta a obtener, en cuanto a la calidad de las mismas (Falcón, 2018).

Teniendo en cuenta que la calidad de los sustratos es un factor importante para el cultivo con éxito de las plantas en contenedores, se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo es el comportamiento en vivero de los parámetros morfológicos en la calidad de la especie *C. violacea* micorrizadas, en tubetes?

Objeto de estudio: Los parámetros morfológicos en la calidad de la especie *C. violacea* micorrizadas, cultivada en vivero.

Objetivo general: Evaluar el comportamiento en vivero de los parámetros morfológicos en la calidad de la especie *C. violacea* micorrizadas, en tubetes.

Hipótesis: Si se caracteriza el comportamiento de la germinación de la especie *C. violacea*, se evalúan parámetros e índices morfológicos y se cuantifica el efecto económico en los diferentes tratamientos conformados, entonces sería posible obtener plántulas de calidad.

Objetivos específicos

1. Analizar del comportamiento de la germinación de la especie *C. violacea*, micorrizadas, cultivada en vivero.
2. Evaluar la influencia de los parámetros e índice morfológicos en la calidad de la especie *C. violacea* micorrizadas, cultivada en vivero.
3. Cuantificar el efecto económico en los diferentes tratamientos conformados.



II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterización de la especie *Caesalpinia violacea* (Mill.) Standl

Según León y Alain. Hnos. (1951), Roing (1965 2), Sablón (1984) y Bisse (1988) citado por Forteza (2009).

Nombre científico: *Caesalpinia violacea* (Mill.) Standl.

Sinónimos: *Robinia violacea* Mill.

Caesalpinia brasiliensis Sw.

Caesalpinia cubensis Greenm

Peltophorum brasiliense Urban.

Fors (1965) y Bisse (1988) refieren que es un árbol grande de copa irregular y poco densa, puede alcanzar una altura de 60 pies y un tronco hasta 35 pulgadas o más de diámetro. La plántula crece rápidamente, alcanzando una altura de 1 metro al año y de 2,0 a 3,0 m en los tres primeros años. Se trasplanta fácilmente a raíz desnuda, deshojando la planta entre Abril y Mayo.

Es un árbol mediano o grande, su tronco puede alcanzar 18 m de altura y 35 - 40 cm de diámetro. Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestal (1970)

Sablón (1984) por su parte refiere que puede alcanzar unos 20 m de altura y 90cm de diámetro. Su copa es más bien rala. Crece relativamente rápido.

Hojas

Sus hojas son bicompuestas, parapinnadas, de 2 a 4 pares de pinnas, de 6 – 8 pares de folíolos, aovado-oblongos, de 2 - 5 cm, obtusos o agudos en el ápice, a menudo pubérulos León y Alain. Hnos. (1951), Sablón (1984) y Bisse (1988). Hojas bicompuestas, grandes, con folíolos avales. (Roing, 1965).

Clasificación taxonómica

Según García (2008) y Suárez (2008)

Reino: Plantae

Subreino: Embriophyta

División: Magnoliophyta

Subdivisión: Magnoliophytina

Clase: Magnoliatae

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Caesalpinaceae

Género: *Caesalpinia*

Especie: *Caesalpinia violacea* (Mill.) Standley

Usos de la especie. Su madera

Dentro de la biodiversidad de plantas en una finca no deben faltar las leguminosas. Ellas mejoran el suelo aportándole nitrógeno a través de las bacterias que se encuentran en los nódulos que tienen sus raíces, pueden emplearse como abono verde o cobertura y deben estar presentes en la rotación de cultivos y policultivos.

Dentro de los principales usos de las leguminosas en la crianza animal están: la asociación gramínea-leguminosa, silvopastoreo, postes vivos, abono verde, sombra en pastizales, control de la erosión, fuente de combustible y madera (Funes, 2004).

Según García *et al* (2004) *Caesalpinia violacea* (Mill.) Standl, es un árbol ornamental y plantea que se le atribuyen propiedades medicinales a la especie.

Roing (1965) Refiere que: como aplicaciones o propiedades bien conocidas que le son atribuidas generalmente están tintórea y maderable. De los Yaruales se extraían numerosos postes para telégrafo y teléfono. Se emplea mucho también en carretería y en tornería es muy apreciada.

Según Fors (1965) y Sablón, (1984) plantean que: el duramen (corazón) es amplio, aún en árboles jóvenes, con el grueso de poste de cerca. Una madera

valiosa, de color variable, entre amarillo anaranjado rojizo y el rojo, de textura media, grano recto. A veces irregular, dura, pesada, muy resistente y durable.

Sugún Roing (1965) la madera es de color rojo encendido y mucho tinte. La albura es estrecha y de color gris Fors (1965). Muy resistente y durable y contiene un tinte rojo, INDAF (1970) Fernández y Almora (1989) y Dirección de Silvicultura Área Forestal, Café y Cacao (1984) coinciden en estos usos y este último además plantea que se usa para objetos torneados.

Se utiliza, preferentemente, en obras de mucha resistencia exterior tales como carros pesados, rayos de carretas, camiones, masas de carretas, hornos labrados, marcos, horcones, postes de cerca y traviesas.

2.2 Generalidades sobre viveros forestales

El vivero forestal es un lugar en el que se cultivan plantas hasta que estén listas para ser plantadas (Navall, 2004 citado por Lopes *et al.*, 2011). La importancia del vivero radica en producir plantas en mayor cantidad mediante el uso de diferentes métodos de propagación, para este fin el vivero puede presentar diversos grados de tecnificación, que estarán definidos con base a los recursos con lo que se cuenta. Constituye el primer paso en cualquier programa de repoblación forestal, destinados a la producción de plantas forestales, donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasplantadas al sitio definitivo de plantación (Castillo *et al.*, 2006).

2.2.1 Funciones del vivero forestal

Quiroz *et al.* (2009) plantea que el vivero cumple importantes funciones en la cadena de actividades del establecimiento de plantaciones forestales, pues es el lugar especializado en que se produce el material plantable, ya sea que este material proceda de semillas en cuyo caso se obtienen posturas y otros materiales, o bien que se usen propágulos diversos.

Según Montúfar (2013), el objetivo más importante de un responsable por un vivero es el de producir plántulas de buena calidad. La calidad es más significativa que la cantidad. La calidad de las plantas que salen del vivero es la base del suceso de una plantación. Es importante no olvidar que la plantación de árboles mediocres dará siempre origen a plantaciones mediocres.

2.2.2 Criterios básicos para establecer un vivero moderno

Según Quiroz *et al.* (2009) para establecer un vivero moderno hay que tener en cuenta varios aspectos, entre los que se encuentra: disponibilidad de agua, dispositivo de sombra, disponibilidad de mano de obra y accesibilidad.

Las plantas en contenedor tienen muy pocas reservas de humedad, las cuales son limitadas por el volumen del contenedor y por las propiedades de retención de humedad del medio de crecimiento por lo que es importante hacer una adecuada evaluación de la disponibilidad de agua en el vivero (Prieto *et al.*, 2009).

En los viveros modernos se debe instalar un dispositivo de sombra, este consiste en una estructura metálica apoyada por una malla que procura un nivel de sombra que promedia el 50 % del valor de la luz del sol directo, favoreciendo la germinación y el buen crecimiento inicial de las plantas (Brachtvogel y Malavasi, 2010). Estos mismos autores indican, además, que el éxito de un vivero que produce en contenedor depende de la calidad de la mano de obra disponible.

Además, el sitio para el establecimiento de un vivero moderno debe ser accesible. La gran mayoría de los suministros de los viveros que producen en contenedor son entregados en camiones los cuales demandan de vías transitables durante todo el año que permitan al acceso de embarque de las plantas hacia rutas y carreteras importantes. Las vías de acceso no deberán tener fuertes pendientes o curvas cerradas que puedan limitar una operación segura de vehículos grandes (Landis, 2010).

2.2.3 Características de los contenedores para viveros forestales

Un contenedor es un depósito con ciertas características constructivas especiales donde se realiza el cultivo de una planta forestal. El diseño de los envases busca el desarrollo de un buen sistema radical y de su protección hasta su puesta en el terreno. Otras características son operacionales y se refieren a condiciones económicas y al manejo tanto en el vivero como en plantación. La primera función de cualquier contenedor es sostener una cierta cantidad de medios de cultivos el cual aporta a las raíces agua, aire, nutrientes

minerales y soporte físico; mientras se encuentra en el vivero la planta (Pañuelas y Ocaña, 2000).

Según Salto *et al.* (2013), plantean que existen diferentes envases y contenedores modernos en los que se cultivaran las plantas, que son de gran importancia para lograr una planta de buena calidad. Al final la elección de un sistema de contenedores depende de los objetivos y características operativas de cultivo de cada vivero (Landis, 2010).

2.3 Producción de plántulas en tubetes o contenedor

Se utilizan muchos términos para referirse a los tubetes, y algunos pueden intercambiarse. En el ámbito de las plantas ornamentales los tubetes individuales de cierto tamaño se llaman macetas, pero en los viveros forestales se les llama “tubetes o contenedores” (Buamscha *et al.*, 2012).

Este tipo de cultivo, en tubetes, permite producir más rápidamente y obtener un tamaño de planta más uniforme; reduce la crisis posterior al trasplante, gracias a la protección del propio cepellón; incrementa el rendimiento de planta por unidad de superficie; permite la extensión de la época de plantación y la reforestación en condiciones medioambientales adversas (Ortega *et al.*, 2006); mejora la forma de las raíces y la formación de cepellones más firmes, además de presentar ventajas de manejo que reducen los costos de producción (Salto *et al.*, 2013) por lo que la tendencia a nivel mundial ha sido el reemplazo de las bolsitas de polietileno y el cultivo de raíz desnuda por tubetes de plástico rígido (Villar, 2003).

La forma, altura y volumen del recipiente afectan la velocidad del crecimiento de las plantas forestales, tipo de manejo al que se someterán, además de influir en la capacidad de retención de humedad del sustrato y los costos de producción. Al aumentar las dimensiones de los recipientes, se incrementa el costo de producción debido a la cantidad de sustrato necesario para llenarlos y al espacio requerido para mantener las plantas (Salto *et al.*, 2016).

2.3.1 Consideraciones para elegir tubetes

Buamscha *et al.* (2012), señalan que la elección del contenedor es una de las consideraciones más importantes al establecer un nuevo vivero o empezar a producir una especie nueva. El tipo y tamaño de contenedor no sólo determina

la cantidad de agua y nutrientes minerales que están disponibles para el crecimiento de una planta, sino que también afecta otros aspectos operativos del vivero, como el tamaño de la mesada y el tipo de equipo para el llenado y extracción de los contenedores.

Para la elección del mismo se deben de tener en cuenta el tamaño que puede determinarse en función de varias de sus expresiones, de las cuales el volumen, la profundidad y el diámetro son las más importantes (Salto *et al.*, 2013).

Los tubetes más grandes ocupan más espacio y alargan el tiempo necesario para producir un cepellón firme. Por ende, es más costoso producir plantas en tubetes más grandes, y también es más costoso almacenarlas, enviarlas al sitio de forestación y plantarlas (Oliva *et al.*, 2014).

La profundidad del tubete es significativa porque determina la proporción de sustrato que drena libremente dentro de él. Cuando se aplica agua a un tubete lleno de sustrato, ésta va hacia abajo, por acción de la gravedad, hasta llegar al fondo. Allí se detiene por la atracción del medio de crecimiento, creando una zona de saturación que está siempre presente en el fondo de todo tubete (Santiago *et al.*, 2015).

Estudios recientes han demostrado que al utilizar tubetes con capacidad superior a 90 cm³, las plantas adquieren mayor volumen y longitud de raíz, lo cual se refleja en una supervivencia más alta en campo (Abanto *et al.*, 2016).

El diámetro de un tubete es otro parámetro importante y depende de la especie a ser cultivada en él. Los árboles, arbustos y herbáceas de hojas grandes necesitan un mayor diámetro de tubete para que el agua de riego pueda atravesar el denso follaje y llegar al sustrato (Valkinir *et al.*, 2017).

2.4 Ventajas y desventajas del empleo de tubetes

Según Thivierge y Seito (2005), existen ventajas para la producción en vivero con tubetes tales como: menor impacto por reducción del proceso erosivo del suelo, el área necesaria para los viveros en tubetes es menor que para vivero en bolsa, se obtiene un buen estándar de calidad de plantas, se logra mayor supervivencia y aumento del sistema radicular y mejora la productividad de las plantaciones establecidas. También, reduce la contaminación en el campo, ya

que no quedan residuos de bolsas plásticas en el suelo, reduce la cantidad de insumos (fertilizantes, insecticidas, entre otros.) y aumenta la eficiencia de la mano de obra en las labores de llenado de los tubetes, siembra y riego.

Por su parte, Karshakasree (2010), expone que la producción de plántulas usando tubetes de polipropileno es una alternativa para contrarrestar el uso de grandes cantidades de suelo en los almácigos, además de otras cualidades como un mejor desarrollo radicular, eficiencia en el transporte y es una técnica más amigable con el ambiente ya que no generan desechos al ser reutilizados por varios años.

A pesar de las ventajas, autores como Farro (2015), exhibe varias desventajas para la producción en vivero con tubetes, tales como: altos costos iniciales de infraestructura y equipos, más compleja y menos comprendida que la tradicional, menos experiencia. No obstante, la inversión en la compra de tubete se ve justificada con la oportunidad de usarlo por lo menos 15 años, en cambio la bolsa tradicional debe botarse cada vez que se use dañando el medio ambiente (Montúfar, 2013).

2.5 Sustrato

El sustrato es el medio físico donde crecerán las raíces durante la crianza en el tubete. Un sustrato de buena calidad es liviano, permite que el agua drene fácilmente; el agua no se estanca en su superficie, es rico en nutrientes, que le dan a las hojas de las plantas un color verde oscuro y debe estar libre de patógeno, además de blando para que la raíz pueda crecer y no desarmarse cuando se saque el tubete (Oliva *et al.*, 2014).

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) (Ortega *et al.*, 2006).

2.5.1 La calidad de los sustratos

La calidad del sustrato, entendida como su capacidad para suministrar aire, agua y nutrientes a la planta, es el factor más importante para el desarrollo inicial de las plantas en contenedor (Santin *et al.*, 2018). Dicha calidad es muy variable de la propia heterogeneidad de los ingredientes base (tipo, granulometría, sistema de extracción) además de la presencia de subproductos

residuos y aditivos de variada naturaleza, composición, propiedades y grado de descomposición.

El sustrato para el llenado de cualquier tipo de envase puede componerse a voluntad, buscando propiedades adecuadas, tales como: baja densidad para facilitar el manejo y transporte, permeabilidad que permita el desarrollo de las raíces en todo su volumen; sanidad relacionada a posibles patógenos para las plántulas; así como fertilidad adecuada para la producción de plantas con buen estado fisiológico (Salto *et al.*, 2013).

A criterios de Aguilera *et al.* (2016), la selección de los componentes del sustrato dependerá, de su disponibilidad y costo. Las funciones del sustrato (soporte de las plantas, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad) deben ser consideradas para las mezclas. Se necesita materia orgánica o arcilla para proveer cierta capacidad de intercambio catiónico para la retención de nutrientes.

Si la materia orgánica o la arcilla seleccionados tienen una alta capacidad de retención de humedad, como lo hace la turba, no son necesarios más componentes.

Sin embargo, si la materia orgánica usada es de capacidad insuficiente de retención de humedad, como aserrín podría ser necesario incluir un segundo material orgánico o arcilloso (como la turba o arcilla calcinada) para aumentar la capacidad de retención de agua. La densidad deseada del medio puede ser obtenida evitando las partículas muy gruesas o demasiado arcillosas (Santiago *et al.*, 2015)

En tal sentido, Klein (2015) refiere que un buen sustrato para la formación y producción de plántulas debe presentar ciertas características, tales como: disponibilidad de adquisición en la región, facilidad en el transporte, bajo costo, ausencia de patógenos, riqueza de nutrientes y condiciones adecuadas para el crecimiento de la planta.

2.5.2 Sustratos empleados

- **Humus de Lombriz**

El humus base para la fertilidad de los suelos y sostén de su vida microbiana. El termino humus designa las sustancias orgánicas variadas, de color pardo negro, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal, bajo la acción de los microorganismos del suelo. (Gros Andre 1966).

El humus que es el principal compuesto de la materia orgánica, es una mezcla resistente de sustancias negruzcas, amorfas y coloidales que se han modificado a partir de los tejidos originarios o han sido sintetizadas por los diversos organismos del suelo (Ávila *et al.*, 1985).

El Humus de lombriz influye en forma efectiva en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plantas, durante el transplante previene las enfermedades y evita el trauma por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.

- **Fibra de coco**

Comprende un residuo orgánico utilizado como alternativa en la formulación de sustratos, una vez que es de fácil adquisición y bajo costo en las regiones productoras. La aceptación como sustrato se debe a sus buenas características físicas, como alta porosidad y el alto potencial de retención de humedad, además de ser biodegradable (Caldeira *et al.*, 2013).

La fibra de coco presenta una alta estabilidad física, pues se descompone de forma lenta, por tener alto porcentaje de lignina y de celulosa (Noguera *et al.*, 2000). Todas esas características de la fibra de coco permiten un manejo adecuado para el desarrollo radical de las plantas.

De forma general, las propiedades físicas son consideradas decisivas a la hora de determinada formulación de sustrato y aquellas a base de fibra de coco se muestran adecuadas para muchas especies forestales (Arévalo *et al.*, 2016).

La fibra de coco es un sustrato orgánico, 100% natural y renovable. La principal ventaja de los cultivos sobre fibra de coco frente a los cultivos tradicionales es el aislamiento entre planta y suelo que evita problemas de enfermedades,

plagas, salinidad y estructura deficiente. Otras ventajas del cultivo sobre fibra de coco son las altas densidades de plantación que permiten maximizar rendimientos, realizar un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes y un mayor control climatológico (Rojas, 2015 citado por Olivares, 2019).

Se puede usar sin inconvenientes en el estado puro y se encuentra libre de nemátodos. Una de las características más importantes del Humus de lombriz es la carga biológica, marcada por su elevado contenido de microorganismos y actividad enzimática (Peña, 2007).

- **Aserrín**

Estos materiales son sub productos de los aserraderos y se los puede usar en la mezcla de los suelos, un material de uso complementario es el aserrín de sequía nitrificado, en la cual el nitrógeno se añade en cantidades suficientes para el proceso de descomposición del aserrín. La tasa de descomposición del aserrín varía según la especie de la madera debido a su bajo costo se emplea como amplitud renovadora del suelo, aunque algunos de sus tipos en especial durante su estado fresco puede contener materiales tóxicos para la planta (Saenz, 1987 citado por Farro, 2015).

2.6 Calidad de la planta forestal en vivero

La calidad de la planta se puede definir como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen, la cual depende de las características genéticas del germoplasma, así como de las técnicas utilizadas para su reproducción (Prieto *et al.*, 2009).

2.7 Definición de micorriza

Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre hifas de hongos y las raíces de aproximadamente el 95% de las plantas terrestres (Brundrett, 2009). En estas asociaciones se forman estructuras dentro de la raíz donde se intercambian nutrientes como resultado de un programa de desarrollo sincronizado entre ambos simbioses.

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 arbusculos, hifas y vesículas (Sánchez-Colín, 2005).

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 arbusculos. 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).

2.7.1 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 extrarradicales (Parniske, 2008).

Incluso las micorrizas aumentan la capacidad de crecimiento compensatorio de las plantas ante la herbivoría 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 *et al.*, 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 en el sistema de defensa de las plantas a través de sofisticadas 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).

2.7.2 Efectos de la micorriza en especies forestales

Jordá y Lucia (2006) manifiestan que la micorriza en el mundo forestal ofrece a sus clientes un producto de alta calidad, asegurándonos reforestaciones en localidades de alta fragilidad con más posibilidades de supervivencia:

1. Aumento de la vigorosidad de la parte aérea, induciendo a un mayor crecimiento.
2. Aumento de la vigorosidad y eficacia de la parte subterránea: el número total de raíces, la cantidad de raíces secundarias y la eficacia a la captación se ven claramente favorecidas.
3. Disminución de bajas por trasplante o las fallas de germinación: la mejor adaptabilidad y vigorosidad de los plantones les permite sobrevivir mejor y sufrir menos las consecuencias del paso de un ambiente extremadamente favorable aun medio hostil.
4. Disminución de la probabilidad de "Dumping off" (necrosis del cuello de raíz) en los viveros o en el campo.
5. El patógeno no encontraría con disponibilidad de materiales carbonados en la zona de la raíz, como consecuencia de la absorción de los mismos por los hongos micorrízicos, el manto fúngico actúa como una eficiente barrera física a la penetración por el patógeno, se observa la invasión en raíces no micorrizadas.

6. La secreción de antibióticos, el desarrollo de una microflora antagónica, los exudados de terpenos, en concentraciones muy superiores a las producidas en las raíces no micorrizadas.

7. Restauración de la flora fúngica.

2.8 Atributos morfológicos utilizados para evaluar la calidad de la planta

La calidad morfológica de una planta hace referencia a un conjunto de caracteres tanto de naturaleza cualitativa como cuantitativa sobre la forma y estructura de la planta o alguna de sus partes (Villar, 2003), es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero, y generalmente es fácil de cuantificar (Birchler *et al.*, 1998).

El número de posibles parámetros morfológicos a examinar es alto y como algunos de ellos están muy correlacionados, se deben elegir aquéllos que proporcionen una mayor información y sean de medición más sencilla (Birchler *et al.*, 1998).

- **Altura:** Es fácil de medir, pero no es muy informativa por sí sola. Ofrece solo una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante, e ignora la arquitectura del tallo (Birchler *et al.*, 1998). Puede ser manipulada en vivero a través de la fertilización, el riego y el repicado. Varios estudios han concluido que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa, con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura tras la plantación (Thompson, 1985 citado por Mitchell, 2007).

- **Diámetro del cuello de la raíz:** Es también de fácil medición (Birchler *et al.*, 1998). El diámetro está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y puede verse afectado por prácticas culturales como el repicado apical (Birchler *et al.*, 1998), a su vez se puede mejorar a través de un aumento en la velocidad y la uniformidad en la germinación.

El diámetro es la característica de calidad más importante, que permite predecir la supervivencia de la planta en campo y definir la robustez del tallo, por lo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación (Muñoz Flores *et al.*, 2015).

- **Peso seco:** El peso seco de la planta aumenta con la edad y el tamaño del tubete (Buamscha *et al.*, 2012).

2.9 Atributos morfológicos del sistema radical

2.9.1 Largo de la raíz principal y número de raíces

Cuantitativamente el grado de desarrollo de la raíz puede medirse en peso, volumen, longitud o superficie, y es un indicador de su capacidad absorbente. Sin embargo, la funcionalidad del sistema radical depende no solo del tamaño adquirido sino también del porcentaje de superficie no absorbente respecto al total y este porcentaje viene dado por el número de raíces finas (fibrosidad) que son aquellas en que se concentran la actividad de extracción de agua al ser más activas y permeables, frente a las gruesas cuya misión se concentra fundamentalmente en la conducción y el anclaje de las plantas (Thompson, 1985 citado por Forteza, 2009) teniendo la planta mayor supervivencia y desarrollo en el sitio de plantación (Atzmon *et al.*, 1994; Haase, 2006 citados por Santiago *et al.*, 2015).

2.10 Índices morfológicos

2.10.1 Relación parte aérea/parte radical en peso

La relación parte aérea/parte radical en peso (PA/PR) es el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente, y se calcula habitualmente a partir de la relación de los pesos secos de cada una de las partes (Birchler *et al.*, 1998). Para este índice, la mejor calidad de planta de acuerdo con Thompson (1985), es aquella donde la distribución de su biomasa aérea y radical está equilibrada, lo que garantiza una mayor supervivencia porque se evita que la transpiración de la planta exceda a su capacidad de absorción de agua.

2.10.2 Índice de calidad de Dickson

Este índice integra a los dos anteriores y se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (en g) y la suma de la esbeltez y la relación parte aérea/parte radical (Birchler *et al.*, 1998).

Según Quiroz *et al.* (2014) el índice de Dickson está altamente correlacionado con el volumen radical y este, a su vez, se relaciona con el volumen del tubete. Por lo tanto, un aumento en el valor del índice de Dickson se asocia con una

calidad de planta superior, debido a un mejor equilibrio entre las biomásas aérea y radical.

2.10.3 Índice de Esbeltez

El índice de esbeltez permite estimar la resistencia física de las plantas durante las operaciones de plantación y su resistencia al efecto mecánico del viento (Aranda *et al.*, 2005 citados por Castillo *et al.*, 2013), el cual deberá presentar un valor menor a 6, que expresa la relación de la altura (en cm) entre el diámetro del tallo (en mm), ofreciendo una buena medida de calidad tanto en plantas producidas a raíz desnuda como en tubete. Incluye los valores de las variables morfológicas más influyentes en la calidad de las plantas, lo que lo convierte en uno de los más importantes para definir la calidad de planta forestal en vivero (Thompson, 1985 citado por Mitchell, 2007)



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

La investigación se realizó en vivero bajo umbráculo con 50% de sombra (figura 1), situado en las instalaciones del Centro de Estudio y Tecnología Agroforestal perteneciente a la Universidad de Guantánamo (figura 2), en los meses comprendidos entre julio–octubre de 2019. Este centro de estudio se encuentra situado en la Carretera El Salvador km 6^{1/2} en las coordenadas geográficas 20°12'21'' de latitud norte y 75°13'37'' de longitud oeste a 87 metros sobre el nivel del mar.



Figura 1. Área de aviveramiento

Figura 2. Ubicación del área de trabajo

3.2 Condiciones climáticas locales

El siguiente climodiagrama (figura 3) muestra las características climáticas del municipio del Salvador, con datos de 10 años de evaluación (2008 hasta el 2018). La estación está a una altitud de 105 metros sobre el nivel del mar (msnm), con temperatura promedio de 25,93 °C, y con una máxima absoluta de 28,5 °C y máxima media absoluta de 26,7 °C. La mínima absoluta registrada es de 25,4 °C y como mínima media absoluta 23,2 °C, mientras las precipitaciones promedio anual es de 1 028,3 mm³, comportándose por encima de los 100 mm³ mensuales desde abril hasta junio y septiembre hasta octubre, mientras los meses más secos se encuentra de enero a marzo y de noviembre a diciembre.

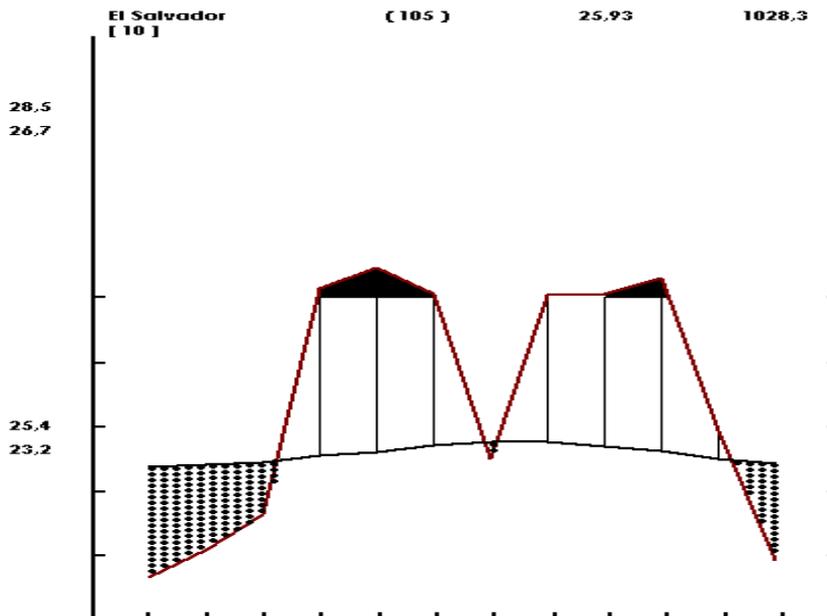


Figura 3. Climodiagrama del área de estudio.

3.3 Origen del material de reproducción

Las semillas utilizadas fueron recolectadas por trabajadores de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Manuel Tamez, las cuales fueron certificadas según lo establecido por las Normas Cubanas de muestreo en el Laboratorio del Instituto de Investigaciones Agro- Forestales de Baracoa, con el objetivo de determinar el valor relativo del lote en condiciones controladas de laboratorio establecidas para las pruebas de germinación.

3.4 Envase empleado para el cultivo de las plantas en el vivero

Se emplearon tubetes (figura 4) con las siguientes dimensiones, Capacidad: 200 cm³, Forma: Cilíndrica-cónica, Color: Negro, Altura: 215 mm, Cantidad de estrías interiores: 4, Diámetro: Extremo superior: 40 mm e inferior: 35 mm y 14 mm. Los tubetes son abiertos en el fondo para propiciar el drenaje del agua en exceso y con una ligera cobertura descubierta. Las estrías interiores tienen la función de orientar las raíces en sentido vertical.



Estrías pronunciadas hasta el ras de la base del tubete, para facilitar la orientación de las raíces desde el inicio de su formación hasta la parte inferior, para lograr una poda natural y uniforme de raíces.

Figura 4. Dimensión y forma de los tubetes

3.5 Sustrato

Para la preparación de los sustratos se utilizaron diferentes compuestos orgánicos: Humus de lombriz (HL), Fibra de coco (Fc) y Aserrín de pino (As) compostado, los cuales fueron pasados por un tamiz para buscar la homogeneidad de las mezclas, se utilizaron dos sustratos quedando conformados de la siguiente forma:

Tabla 1. Sustratos utilizados

Sustrato	Abreviatura	Composición
HL60	HL+Fc + As	60 % +30 % +10 %
HL30	HL + Fc+ As	30 % +60 % +10 %

3.6 Descripción del experimento

El experimento se estableció con un diseño completamente aleatorizado, consistió de cuatro tratamientos con tres repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 10 plántulas, haciendo un total de 30 individuos por tratamiento, para un total de 120 plántulas.

Tabla 2. Composición de los sustratos por tratamientos

Tratamiento	HL (%)	Fc (%)	As (%)	Gc (g)
T1	60	30	10	
T2	60	30	10	10
T3	30	60	10	
T4	30	60	10	10

Leyenda: HL: Humus de lombriz, FC: Fibra de coco, As: Aserrín, Gc: *Glomus cubense*.

3.7 Caracterización química del sustrato

Los análisis químicos del sustrato se realizaron en el laboratorio provincial de suelos del Ministerio de la Agricultura en Guantánamo, a partir de las normas cubanas (NC) para este tipo de análisis (NC-XX 2009), donde se determinó: porcentaje de materia orgánica (MO) a partir del porcentaje de ceniza (Cza), contenido de potasio (K) por la fotometría de llama, fósforo (P) por el método de colorimetría, nitrógeno (N) a partir del porcentaje de materia orgánica, pH por el método del potenciométrico y conductividad eléctrica (CE) por el método del conductímetro.

3.8 Aplicación de micorriza

Se utilizó la cepa *Glomus cubense*, procedentes del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), con una calidad de 20 esporas/gramos de suelo, para un 50 % de colonización radical. La inoculación se aplicó en el momento de la siembra, por el método directo (Gianinazzi y Vosatka, 2004).

3.9 Siembra de las semillas y riego

La siembra se realizó el 1 de julio de 2019, se colocaron dos semillas por envase, para luego dejar la planta más vigorosa. El riego fue manual, inicialmente dos veces al día hasta los 50 días, posteriormente se disminuyó la frecuencia de riego a uno diario y finalmente cada dos días.

3.10 Germinación y entresaque

Se siguió la germinación hasta los 15 días de sembradas las semillas, fecha en que se realizó el entresaque después de dar un riego abundante con el propósito de disminuir las posibilidades de daño al sistema radical, dejando una planta por tubete (la más al centro y con mejores características fenotípicas).

Los tubetes vacíos se colocaron en las afueras de la bandeja y se repusieron las fallas mediante replante con plantas de las entresacadas, a fin de garantizar el sellaje. La capacidad germinativa fue determinada a través de la siguiente fórmula:

La capacidad germinativa fue determinada a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad germinativa} = (G / N) * 100$$

Dónde:

G: Número de semillas germinadas durante el tiempo del experimento;

N: Número total de cavidades sembradas

Medición de variables morfológicas

Las variables morfológicas utilizadas en el análisis fueron altura, diámetro del cuello de la raíz, peso seco aéreo y radical, largo de la raíz principal, cantidad de raíces finas y gruesas, sugeridas por Gomes *et al.* (2013) como esenciales para el monitoreo de la calidad de las plántulas.

Se midió la altura a las plantas que conformaron la muestra de 30 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 30 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 se utilizó un pie de rey, con una precisión de 0,002 mm. Esta medición se efectuó cada 30 días. Al finalizar el cultivo en vivero a los 120 días (cuatro meses) se determinó el peso seco aéreo y de las raíces, una vez colocadas las muestras en la estufa a 60 °C hasta obtener masa constante, utilizando 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, mediante el empleo de una regla graduada de 0,1 mm de precisión. Además, se contó la cantidad de raíces finas (primarias) y la cantidad de raíces gruesas (secundarias).

3.11 Determinación de los índices morfológicos

Esbeltez o relación altura diámetro: H/DCRCR

Donde:

H: altura de la planta (cm)

DCR: diámetro del cuello de la raíz (mm)

Relación parte aérea – parte radical en peso: PSA/PSR

Índice de calidad de Dickson (QI)

$$QI = PT / [(H/DCR) + (PSA/PSR)]$$

Donde:

PT: peso seco total (g)

H: altura de la planta (cm)

DCR: diámetro del cuello de la raíz (mm)

PSR: peso seco radical (g)

Índice de vigor (IV): el IV se determinó a partir de la fórmula

$$IV = \text{Log} \sum \text{todas las variables morfológicas}$$

Calidad de la planta: Se aplicó la fórmula utilizada por Torres (1979), citado por Panduro (2017), para determinar el coeficiente de calidad de las plantas:

$$CP = \frac{B+2R+3M}{B+R+M}$$

Donde:

CP: Coeficiente de Calidad de la plántula.

B: Individuos en condiciones buenas.

R: Individuos en condiciones regulares.

M: Individuos en condiciones malas o muertas.

La calidad de la planta representa las características externas de la misma y se evalúa mediante el coeficiente de calidad de la planta según escala de valores que se presenta en la tabla 3:

Tabla 3. Coeficiente de calidad

Calidad de planta	Valor (coeficiente)
Excelente (E)	1,0 a < 1,1
Buena (B)	1,1 a < 1,5
Regular (R)	1,5 a < 2,2
Mala (M)	2,2 a 3,0

3.12 Valoración económica

La valoración económica se realizó considerando los costos relacionados con la producción de posturas (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 plántula para evaluar el tratamiento de mayor eficiencia económica.

3.13 Procesamiento estadístico

Los resultados experimentales fueron normalizados y evaluados mediante el programa estadístico Statistical Package for Social Science (SPSS) ver. 23 para Windows. Se realizó la prueba de comparación de Tukey ($p < 0,05$). A partir de los valores obtenidos de la germinación de las semillas de la especie *Caesalpinea violacea* se efectuó un análisis pareado del comportamiento por tratamientos.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento de la germinación de la especie *Caesalpinea violacea*

La germinación (figura 4) comenzó a los 5 días de sembradas las semillas, los resultados del análisis para determinar la influencia de la micorriza sobre la germinación no mostraron influencia de este factor sobre la variable en los sustratos estudiados.

Estos resultados coinciden con Herrera, (2017) en cuyos experimentos utilizando la tecnología de tubetes para la misma especie la germinación comenzó a partir de los cinco días de sembradas. Estos resultados muestran la gran capacidad de estas semillas para adaptarse al ambiente, comparadas con otras especies tropicales (Soriano *et al.*, 2013).

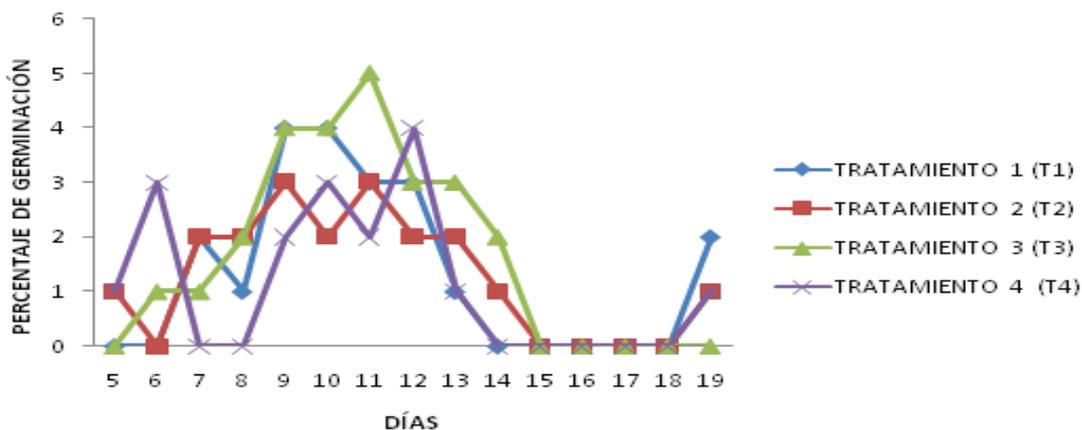


Figura 4. Comportamiento de la germinación de la especie *Caesalpinea violacea*

Muñoz (2007) citado por Falcón *et al.*, (2018) demostró que componentes como la Fibra de coco y la Corteza de pino, tiene una marcada influencia sobre la germinación de las semillas de *Eucalyptus globulus*, coincidiendo con los criterios de Guerrini y Trigueiro (2004), quienes exponen que sustratos formados a base de residuos orgánicos presentan predominio de microporos en detrimento de los macroporos. Consecuentemente, acumulan mayor volumen de agua y, dependiendo de la especie, puede afectar el proceso de germinación.

Cobas (2001) citado por Forteza (2009), comprobaron también que componentes como el Humus de lombriz y la Corteza de pino compostada, tiene una marcada influencia sobre la germinación de las semillas de majagua (*Hibiscus elatus*), coincidiendo con los criterios de Villa Gómez (1987) citado por Winckler *et al.* (2000), quienes plantean que la germinación de las semillas está influenciada por las características químicas y físicas del sustrato.

Como se observa en la tabla 4 se obtuvo de forma general un 67,50% de germinación existiendo una similitud entre los tratamientos uno y dos, siendo el tratamiento tres (HL30% + Fc60% + As10%) el de mayor porcentaje con un 83,33 de las semillas germinadas a los 15 días. Estos resultados quedan por debajo de los alcanzados por Betancourt (1987), quien reporta 80-90 % para la especie *Switenia mahagoni*.

Tabla 4. Porcentaje de germinación por tratamiento

Tratamientos		% de germinación
T1	HL60% + Fc30% + As10%	66,67
T2	HL60% + Fc30% + As10%+Gc10g	63,34
T3	HL30% + Fc60% + As10%	83,33
T4	HL30% + Fc60% + As10%+Gc10g	56,77
Total		67,50

El porcentaje de germinación obtenido en los tratamientos uno, dos y tres supera lo establecido por Sablón (1984) y CIF (1986) citado por Forteza (2009) que es de 60% en la misma especie.

4.2 Caracterización química del sustrato

En la tabla 5 se aprecian las propiedades químicas de los sustratos utilizados para el llenado de los tubetes. Los sustratos HL30 y HL60 presentan valores de pH, un

poco por encima a los recomendados por Abad *et al.* (2001) citado por Pérez *et al.* (2015) los cuales plantean que entre 5,2 y 6,3 es donde se desarrolla mejor la mayoría de los cultivos.

Tabla 5. Propiedades químicas de los sustratos

Sustratos	PH	CE Ds. M⁻¹	% MO	% N	% Ca	% P	% K
HL30	6.61 ^a	2.33 ^b	46.59 ^a	2.32 ^a	4.38 ^b	0.64 ^b	0.48 ^b
HL60	7.34 ^a	2.82 ^a	40.05 ^b	2.00 ^b	5.01 ^a	0.78 ^a	0.61 ^a

Según Landis *et al.* (2000), citado por Pérez *et al.* (2015) las especies forestales toleran un intervalo relativamente amplio de valores de pH. Las coníferas crecen mejor en un pH alrededor de 5,5, mientras las latifolias prefieren valores relativamente mayores, alrededor de 6,5. Symonds *et al.* (2001) citado por Castillo (2006), que estudiaron 35 especies de *Eucalyptus* en viveros con un sustrato compuesto por turba más caliza y dolomita en una proporción de 1:1 para proporcionar un rango del pH experimental de 5,1-8,9 donde se obtuvo un crecimiento mayor para valores de pH comprendidos entre 5,1 y 5,6.

Los incrementos de compuestos orgánicos en los sustratos aumentan los contenidos de nutrientes, o sea, que los mayores valores de estos elementos esenciales se corresponden con los sustratos HL60 y HL30.

El contenido de Materia Orgánica (MO) mostró diferencia significativa, aunque siendo adecuado para cada sustrato. Dos Santos *et al.* (2014), citado por Falcón *et al.* (2019) plantean que el contenido de materia orgánica es un componente activo del sustrato, contribuye a la mejora de la estructura del espacio poroso, disminuye la densidad e incrementa la humedad, lo que trae consigo una mejor permeabilidad.

El contenido de los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, calcio resultó menor en el sustrato HL30 mayor en HL60 pero siendo adecuados por

encontrarse entre los rangos aconsejados por Landis (1989), citado por Ribeiro *et al.* (2016).

4.3 Caracterización de los atributos morfológicos de la planta

4.3.1 Evaluación de los parámetros morfológicos Altura (H), Diámetro del Cuello de la raíz (DC), Número de hojas (NF) y Peso Seco (PS) en la especie *Caesalpinea violacea* (Mill.) Standl.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 1A hasta 1D), se comprobó que existió interacción de los factores, para todas las variables evaluadas. La tabla 6 muestra los resultados del análisis de varianza donde a los 30 días se evidencio diferencia significativa entre el tratamiento 4 y el resto de los tratamientos evaluados.

A partir de los 90 días hasta los 120 se observó que existen diferencias significativas entre los cuatros tratamientos siendo superiores los tratamientos donde se inoculó la cepa *G. cubense*: tratamiento cuatro (HL 30% + Fc 60% + As 10% + Gc 10g) con una altura de 23,32 cm y el tratamiento dos (HL 60% + Fc 30%+ As 10% + Gc 10g) con 21,80 cm de altura. Esto pudo deberse a que las raíces de las plántulas micorrizadas tienen mayor alcance para absorber los nutrientes disponibles en el sustrato y por ende el crecimiento de las plántulas se incrementa en relación con las no micorrizadas (Falcón *et al.*, 2010).

Tabla 6. Altura (cm) de las plantas en fase de vivero

Tratamiento	30	60	90	120
1 HL60% + Fc30% + As10%	4,74 ^{bc}	7,36 ^{cd}	12,00 ^c	19,28 ^b
2 HL60% + Fc30% + As10% + Gc10g	5,21 ^b	7,79 ^c	13,59 ^b	21,80 ^{ab}
3 HL30% + Fc60% + As10%	5,28 ^b	8,48 ^b	14,27 ^b	19,30 ^b
4 HL30% + Fc60% + As10% + Gc10g	6,85 ^a	12,97 ^a	15,35 ^a	23,32 ^a
E.S	0,412*	0,508*	0,629*	2,937*

*Letras iguales en una misma columna no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar.

El empleo de micorriza en los ensayos realizados con *C. violacea*, mostraron los mayores crecimientos debido a la interacción biótica (planta y micorriza) y abiótica (clima y sustrato). Los tratamientos con ausencia de fuentes de inóculo, fueron los

que presentaron una menor tasa de crecimiento; por ello, se concluye que la interacción planta-micorriza-ambiente ejerce un mayor efecto sobre el crecimiento inicial de esta especie maderable.

Referente a éste componente del sustrato (Humus de lombriz) Cook (1968), citado por Mitchell (2007) plantea que durante los procesos de descomposición, los ácidos orgánicos producidos sirven para disolver los nutrientes, principalmente P, Ca, Mg y ponerlos a disposición de las plantas. De esta forma el Humus de lombriz constituye de manera indirecta al mejoramiento del status nutritivo del suelo.

Estos resultados presentan tendencias similares con los indicados por Torres (2019), donde se encontraron resultados favorables en la variable altura cuando se aplicó la cepa *Rhizophagus intraradices* en la especie *Swietenia mahagoni*.

4.3.2 Comportamiento del diámetro del cuello de la raíz (mm)

El diámetro del cuello de la raíz, es uno de los atributos morfológicos más utilizados en la caracterización de la calidad. Ofrece una relación muy favorable entre el bajo costo de su medición y su capacidad de pronóstico de respuesta en el campo, especialmente en zonas adversas donde las predicciones de crecimiento y particularmente de supervivencia son más difíciles de establecer (Barnett, 1984 citado por Delgado, 2009).

Scalon *et al.* (2002) observaron, en el crecimiento inicial de plántulas de especies forestales nativas, la importancia del diámetro del cuello de la raíz como característica valiosa en la evaluación del potencial de la planta para sobrevivir y crecer después de plantación.

Los resultados del comportamiento del diámetro, en cada tratamiento se evidencian en la tabla 7 donde podemos observar un comportamiento muy similar al crecimiento en altura. Los mayores diámetros a los 120 días se obtuvieron en los tratamientos dos y cuatro sin diferencia estadística entre ellos pero sí ambos con los otros. Estos incrementos pudieron deberse a las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio presentes en dicho sustratos. Da Ros *et al.* (2015) y

Valkinir *et al.* (2017) indicaron que la presencia de nitrógeno en la fase inicial de la producción de plántulas incrementaba la tasa de crecimiento de la masa del tallo.

Esta variable mostró reducción en su magnitud en los tratamientos uno y tres donde no se aplicó la cepa *G. cubense*. Los mayores valores en esta variable fueron registrados en los tratamientos dos y cuatro donde se inoculó la cepa, debido a que ya en este tiempo la micorriza pudo haberse adherido a las raíces y así favorecer la absorción de minerales por estas plantas.

Las plántulas con el diámetro del cuello de la raíz superior, se asocian a un crecimiento más acentuado de la parte aérea y, en especial, del sistema radical, favoreciendo a la sobrevivencia y el desarrollo de las plántulas después de la plantación (Grave *et al.*, 2007 citado por Vásquez, 2019).

Tabla 7. Diámetro (mm) de las plantas en fase de vivero

Tratamiento		30	60	90	120
1	HL60% + Fc30% + As10%	2,30 ^c	2,51 ^b	3,60 ^b	3,65 ^b
2	HL60% + Fc30% + As10% + Gc10g	2,37 ^b	2,70 ^{ab}	3,73 ^a	3,75 ^a
3	HL30% + Fc60% + As10%	2,42 ^a	2,52 ^b	3,62 ^b	3,68 ^b
4	HL30% + Fc60% + As10% + Gc10g	2,43 ^a	2,79 ^a	3,74 ^a	3,78 ^a
E.S		0,169[*]	0,091[*]	0,019[*]	0,0021[*]

*Letras iguales en una misma columna no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar.

Estos resultados permitieron ver que los tratamientos con inoculación de *G. cubense* mostraron mayor incremento en altura con promedios de 3,78 y 3,75 mm con respecto a los tratamientos a los que no se le inoculo *G. cubense*, los cuales presentaron promedios de 3,65 y 3,68 mm no existiendo diferencia estadística entre ellos.

Resultados similares fueron reportados por Falcón *et al.* (2013), donde encontraron resultados favorables en la variable diámetro del cuello de la raíz cuando se aplicó la cepa *Glomus intraradices* en *Swietenia mahagoni*.

4.3.3 Número de hojas (NH) de las plantas en fase de vivero

En el análisis de la variable número de hojas (tabla 8) a los 30 días no se mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos uno y dos y este último con el

cuarto, pero si con respecto al tratamiento tres ya que los tres tratamientos anteriores mostraron diferencias con este. Se alcanzó un promedio de 2,30 hojas en el tratamiento uno y el menor promedio lo presento el tratamiento tres con 2,00 hojas.

A los 60 días se evidencio un comportamiento similar que a los 30 días siendo el tratamiento uno y tratamiento cuatro los de mejor comportamiento, los otros tratamientos mantuvieron el mismo grado de uniformidad sin alcanzar la significancia estadística.

Este resultado se le puede atribuir a que las micorrizas al encontrarse en sus primeras etapas de adaptación en el sustrato y colonización en las raíces, no encontraron las condiciones necesarias para su reproducción en los sistemas radicales de las plantas hospederas.

A los 120 días los valores más elevados corresponden a los tratamientos cuatro y dos donde se aplicó la cepa *G. cubense* existiendo diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Los resultados obtenidos con la aplicación de micorrizas indican 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).

Según Graham (2001) citado por González (2014) la relación que existen entre las micorrizas y las raíces de las plantas, son casos en que se dan un mutualismo o sinergismo entre ellos ya que redundan en un beneficio mutuo al intercambiar minerales y productos orgánicos considerándose que en el proceso de colonización del hongo se hacen visibles situaciones positivas, neutrales y también negativas las cuales de una u otra forma hacen posible la efectividad de las micorrizas y por ende el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

Tabla 8. Número de hojas (NH) de las plantas en fase de vivero

Tratamiento	30	60	90	120
1 HL60% + Fc30% + As10%	2,30 ^a	3,40 ^a	4,40 ^b	5,42 ^c
2 HL60% + Fc30% + As10% + Gc10g	2,27 ^{ab}	3,37 ^{ab}	4,90 ^a	5,70 ^b
3 HL30% + Fc60% + As10%	2,00 ^c	3,30 ^b	4,39 ^b	5,20 ^d
4 HL30% + Fc60% + As10% + Gc10g	2,20 ^b	3,38 ^{ab}	4,92 ^a	6,00 ^a
E.S	0,117[*]	0,123[*]	0,159[*]	0,189[*]

*Letras iguales en una misma columna no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar.

Lo anterior confirma lo alcanzado por algunos autores como Salgado (2017), quien informó buena efectividad cuando utilizó las cepas *Glomus mosseae*, *Glomus cubense* y *Rhizophagus intraradices* en la especie *Swietenia mahagoni*. Este autor interpreta sus resultados con el argumento de que el hongo incrementa la toma de fósforo mediante las hifas extrarradicales, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de nutrientes.

4.3.4 Peso seco foliar y radical

Los valores relativos al peso seco foliar (PSF) y el peso seco radical (PSR) (figura 5) mostraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, siendo los tratamiento cuatro y dos los que presentaron los mayores valores y el tratamiento uno con el menor valor, aunque en términos generales todos produjeron una buena biomasa foliar y radical.

Este hecho probablemente se debe a 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 (Monroy *et al.*, 2007), en la diversidad de las comunidades vegetales y en su productividad (Martínez *et al.*, 2011).

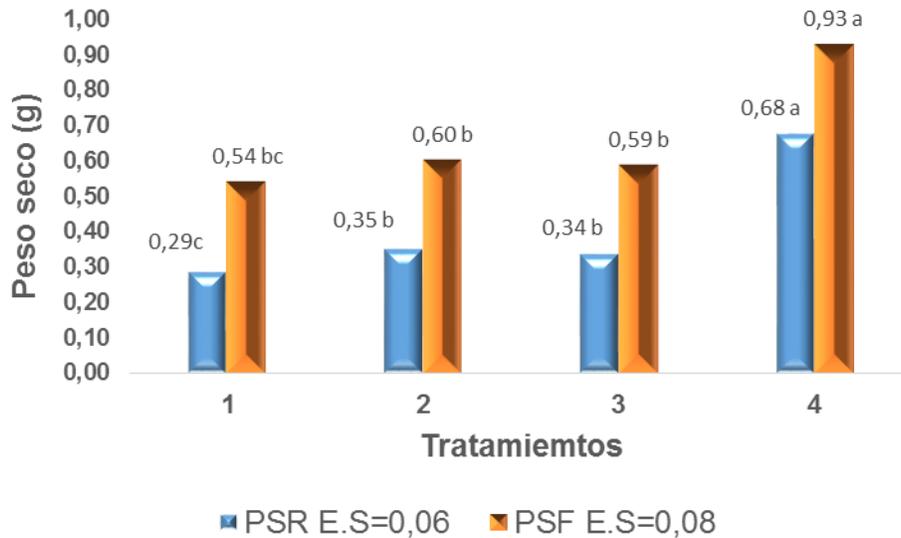


Figura 5. Peso seco foliar (PSF) y radical (PSR) a los 120 días en vivero. **Letras iguales no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar.*

Teodoro (2009) y Peña (2012), plantean que este atributo es muy importante porque el peso seco es una medida mucho más estable, aunque más costosa de realizar, da la medida del contenido de nutrientes y minerales que pudo haber incorporado durante el proceso de desarrollo en el vivero.

Resultados semejantes obtuvo Cobas (2001) citado por Vásquez (2019) al plantear que parece lógico pensar que existen diferencias importantes de comportamiento de las plántulas en función de la naturaleza de los materiales orgánicos utilizados, ya que afecta la propia morfología de las plántulas cultivadas y también su fisiología.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Hernández y Salas (2009), al aplicar *Glomus fasciculatum* en las especies forestales ronrón (*Astronium graveolens*), melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*) y amarillón (*Terminalia amazonia*) en un suelo de baja fertilidad, mejorando el crecimiento y desarrollo de las plantas en su fase juvenil, además de evidenciarse la eficiencia de este hongo micorrízico.

4.4 Atributos morfológicos del sistema radical

4.4.1 Comportamiento de la raíz principal y número de raíces

Agrios (1991) citado por González (2014) plantean que las raíces infectadas se transforman en estructuras morfológicas únicas denominadas micorrizas, es decir, raíces fungosas, las que desde hace muchos años se saben son comunes en árboles, hoy en día se consideran como nutricias normales en la mayoría de las plantas, las cuales al estar micorrizadas amplían el campo de exploración de las raíces dándoles la capacidad de absorber más nutrientes del suelo incluso en situaciones en las que el pH no sea el apropiado.

En la tabla 9 se muestran los atributos morfológicos del sistema radical para cada uno de los tratamientos. Según Reis *et al.* (2008) la restricción del sistema radical limita el crecimiento y desarrollo de varias especies, en virtud de la reducción del área foliar, altura y producción de biomasa.

En la evaluación realizada a las raíces de las plántulas de *C. violacea* la longitud de la raíz principal mostro mejor resultado en el tratamiento cuatro con 15,04 cm de largo difiriendo estadísticamente con el resto de los tratamientos. El tratamiento dos y tres no mostraron diferencias significativas entre ellos pero si con respecto al tratamiento uno. Por lo que las plantas del tratamiento cuatro pueden influir más en el anclaje, aspecto este muy importante porque mantiene a la planta fija en el suelo, generalmente en la vertical.

Estos resultados hacen notar que en la fase temprana de desarrollo de las plantas las micorrizas no influyen en dicha variable, haciendo notar que los microorganismo tienen un mejor efecto en suelos en condiciones normales de campo y no en la manera en cómo se lo trabajo al sustrato para este estudio.

Tabla 9. Atributos relacionados con la morfología de la raíz en la especie *C. violacea* a los 120 días en vivero

TRATAMIENTOS	LRP	CRP	CRS	CRT
1 HL60% + Fc30% + As10%	12,33 ^c	21,4 ^c	65,2 ^c	86,6 ^c
2 HL60% + Fc30% + As10% + Gc10g	13,12 ^b	22,9 ^b	75,7 ^b	98,6 ^b
3 HL30% + Fc60% + As10%	13,78 ^b	21,9 ^c	67,9 ^c	89,8 ^c
4 HL30% + Fc60% + As10% + Gc10g	15,04 ^a	28,4 ^a	90,7 ^a	119,1 ^a
E.S	0,201*	0,332*	0,424*	0,710*

**Letras iguales no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar.*

Para que haya un buen desarrollo de la raíz es necesario que el sustrato presente buena aeración, facilitando los intercambios gaseosos y un adecuado volumen del recipiente. De acuerdo con Buckeridge *et al.* (2004), raíces primarias y raíces jóvenes respiran muy intensamente, y para esas raíces el oxígeno necesario para el proceso de respiratorio se adquiere del propio sustrato, demostrando la importancia de observar la porosidad del sustrato a ser utilizado.

La cantidad de raíces primarias y secundarias (finas) tuvieron un comportamiento similar al 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) observó 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.

Resultados similares fueron reportados por Torres (2019), al plantear que en los tratamientos donde se aplicó la cepa *Rhizophagus intraradices* se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a la cantidad de raíces primarias, secundarias y el total de ellas,

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

Freitas *et al.* (2005) citado por Falcón (2018) plantean que estos altos contenidos de raíces finas pueden garantizar altas tasas de sobrevivencias en plantación, ya que, la alta 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.

4.5 Índices morfológicos de la especie *Caesalpinea violacea*

El índice de Esbeltez es la relación entre el cociente de la altura (cm) y el diámetro (mm) de la planta y es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y el crecimiento potencial en sitios secos, valores bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indica que es más robusta y con tallo vigoroso, en cambio valores altos indican una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados como refiere Sáenz *et al.* (2010).

Con relación a la Esbeltez (H/DCR) (tabla 10) los mejores resultados fueron obtenidos para los tratamientos cuatro y dos los cuales muestran las mayores medias con 2,23 y 3,31 respectivamente, 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).

Tabla 10. Índices morfológicos de la especie *Caesalpinea violacea*

TRATAMIENTOS	H/DCR	RPA/RPR	ICD	IV
1 HL60% + Fc30% + As10%	5,41 ^d	1,86 ^a	0,11 ^d	1,49 ^d
2 HL60% + Fc30% + As10% + Gc10%	3,31 ^b	1,71 ^c	0,19 ^b	1,73 ^{ab}
3 HL30% + Fc60% + As10%	3,38 ^c	1,74 ^b	0,18 ^c	1,69 ^c
4 HL30% + Fc60% + As10% + Gc10%	2,23 ^a	1,37 ^d	0,45 ^a	1,76 ^a
E.S	0,054*	0,169*	0,013*	0,063*

**Letras iguales en una misma columna no tienen diferencias significativas según Dócima de Tukey para $p \leq 0,05$; E.S= Error estándar*

La esbeltez, permite estimar la resistencia física de las plantas durante las operaciones de plantación y su resistencia al efecto mecánico del viento según indican Guifan, (1997), Aranda *et al.* (2005), citado por Gonzales, (2006) agrega que una planta de buena calidad debe tener un valor de diámetro de cuello relativamente alto y un índice de esbeltez bajo.

Se recomienda que los valores de H/DCR sean bajos, lo que indica una planta más robusta 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.

Fernández y Royo (1998), citado por González (2006), consideran que el valor de esbeltez no debe ser mayor que 6. Mitchel *et al.* (1990), Himmelbauer *et al.* (2004), citado por Vásquez (2019) señalan que la esbeltez debe ser menor o igual a 8 para que la planta esté equilibrada. En relación con los criterios de estos autores es evidente que las plantas producidas en los tratamientos cuatro y dos son las más robustas y por tanto presentan buen equilibrio, lo que caracteriza a una planta de calidad.

Es necesario mencionar que, aunque este fenómeno pueda resultar económicamente ventajoso para el productor, mayor altura en menor tiempo, morfológicamente afecta la calidad de la plántula. García *et al.* (2009) han señalado que las plantas jóvenes y pequeñas con tallos gruesos, rígidos y sistema radical extenso, se adaptan mejor a sitios secos.

La relación entre peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz (RPA/RPR) es otro índice que se utiliza para determinar 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 Falcón 2019).

El análisis de varianza realizado a este índice mostró que en los tratamientos cuatro y dos se obtuvieron los mejores valores, 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. Los resultados en todos los tratamientos fueron menores respecto a los recomendados por Prieto *et al.* (2009), quienes indican que valores menores a 3,5 indican la proporción adecuada entre el sistema de raíces y el vástago.

Estos valores parecen ser consecuencia del aumento de la cantidad de raíces vivas Sánchez *et al.* (2016), delgadas y con peso menor, más eficientes para suministrar agua y nutrimentos a las plantas en el campo.

Según Rueda *et al.* (2014), para obtener plántulas de calidad el valor debe ser menor de 2 para esta relación, traducido en una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo. En el experimento esta relación se encontró por debajo del rango aconsejado, siendo menor en los tratamientos cuatro y dos (tabla 9), 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), estadísticamente, manifestó diferencia significativa entre los tratamientos, el mayor valor se obtuvo en el

tratamiento cuatro con un 0,45. Según Oliet (2000) citado por Cobas *et al.* (2013), lo más deseable es que se alcancen los valores máximos, lo cual implica que, por una parte, el desarrollo total de la planta es grande y que, al mismo tiempo, las partes aéreas y radicales están equilibradas.

Rueda *et al.* (2014) plantean que 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.

Según Gomes (2001) citado por Vásquez (2019), cuanto mayor es este valor dentro de un lote de plántulas, mejor será el patrón de calidad. Por tanto, son estas plántulas las más preparadas para sobrevivir y crecer en el campo.

En ese sentido queda demostrado que la adición de micorriza al sustrato proporcionó mejores condiciones para el crecimiento de las plántulas de *C. violacea*, 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 (Li *et al.*, 2016).

Estos resultados corroboran lo planteados 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) 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). Los tratamientos cuatro y dos fueron los que mostraron mejores resultados difiriendo estadísticamente con resto de los sustratos. Los resultados en este índice son similares a los obtenidos por Falcón (2018), para la especie *Switenia mahagoni*.

De forma general los valores de los índices evaluados están dentro de los rangos positivos recomendados por Rueda *et al.* (2014), aunque los menores valores se obtienen al usar solo sustrato. Estos al no tener 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.

4.6 Evaluación de la calidad de la planta

Para corroborar los resultados obtenidos en los parámetro morfológicos e índices evaluados, se realizó la evaluación de las plántulas de *C. violacea* al final del experimento en cada uno de los tratamientos, respecto a la calidad según la metodología de Panduro (2017).

Se observa (tabla 11) que la mayor cantidad de individuos presentaron calidad buena (94), con calidad regular (17) y, finalmente con menor cantidad de individuos los que mostraron calidad mala (9) en el experimento. De forma general, el 78,33 % de la calidad de las plantas es clasificada de buena, el 14,16 % de regular y solo el 7,5 % de mala.

Tabla 11. Calidad en las plántulas de *Caesalpineia violacea* por tratamientos

Tratamientos	Calidad de las plantas			Coeficiente de calidad de las plantas	Interpretación
	Buena	Regular	Mala		
1 HL60% + Fc30% + As10%	19	6	5	1,47	Buena
2 HL60% + Fc30% + As10% + Gc10%	25	4	1	1,2	Buena
3 HL30% + Fc60% + As10%	22	5	3	1,37	Buena
4 HL30% + Fc60% + As10% + Gc10%	28	2	-	1,07	Excelente
Total	94	17	9	-	-
Total (%)	78,33	14,16	7,5	-	-

Los resultados obtenidos correspondientes a la interpretación de la calidad de planta (tabla 11) muestran que los individuos de *C. violacea* obtenido en el tratamiento cuatro fueron clasificados de excelente.

En sentido general se observó que en los tratamientos donde se aplicó la micorriza se obtuvieron plántulas de mejor calidad, demostrando así la eficiencia de este hongo micorrízico sobre esta especie forestal.

4.7 Valoración económica

En la tabla 12 se refleja la valoración económica con y sin la aplicación de micorrizas, donde se realizó el análisis de costo de producción de una plántula, que arrojó mejores resultados donde se aplicó la cepa micorrízica en los tratamiento cuatro con \$ 0,20 y dos con \$ 0,21, seguido del uno, con \$ 0,24 y el tres con \$ 0,25.

En esta valoración se tuvo en cuenta la disminución en cuanto a las atenciones silviculturales que se desarrollaron con la inoculación de la cepa micorrízica, ya que las plantas alcanzaron mayor altura (23,32 y 21,80 cm), estando listas para llevarla a plantación, ya que se encuentran en el rango entre 20 y 60 cm citado por Buresti y Mori (2003), los cuales consideran de buena calidad, para latifolias. Este resultado trajo consigo una reducción de fuerza de trabajo que repercute en el decrecimiento de los gastos por concepto de fuerza de trabajo y salario.

Tabla 12. Análisis económico para la producción de plántulas de *Caesalpinea violacea*.

Conceptos	UM	T1	T2	T3	T4
Materias primas y Materiales	Pesos	132,00	91,20	151,20	110,40
Combustibles	Pesos	14,40	14,40	14,40	14,40
Gastos de Fuerza de trabajo	Pesos	285,60	489,60	336,00	511,20
Total de Gastos directos	Pesos	432,00	595,20	501,60	699,60
Gastos indirectos	Pesos	43,20	59,5200	50,16	63,65
Gasto Total	Pesos	475,20	654,72	551,76	699,60
Costo de producción de una plántula (pesos)	Pesos	0,25	0,21	0,24	0,20

Como se puede observar en los tratamientos donde se aplicó la cepa de micorrízica, los gastos fueron menores que donde no se aplicó, aun cuando los gastos por conceptos de materias primas y materiales fueron mayores. Esto justifica las ventajas que brindan estas enmiendas para el crecimiento y desarrollo de esta especie.

Los resultados económicos indican que con la introducción de la cepa *Glomus cubense* se pueden producir plántulas de óptima calidad, superiores a las producidas en donde no se aplicó ningún producto biológico, transformándose todo esto en ahorro y calidad de la plántulas.

4.8 Beneficio de este estudio para 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 *C. violacea*, donde su madera puede ser

empleada en la construcción de componentes de uso militar tales como: casas de campamentos, cajas para envasar proyectiles, barandas de camiones.

4.9 Beneficio de este estudio para enfrentar la Tarea Vida

Teniendo en cuenta lo planteado por el Gobierno Cubano en la Tarea Vida las especies forestales juegan un papel primordial como cortinas rompe vientos en caso de ciclones disminuyendo los efectos directo de los fuertes vientos y otros fenómenos atmosféricos la madera es utilizada para la reconstrucción de viviendas que han sido dignificadas por diferentes desastres, además se utilizan 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.



V. CONCLUSIONES

- El mayor porcentaje de germinación de la especie *Caesalpinea violacea* se manifestó en el tratamiento tres (HL30% + Fc60% + As10%) en el que se obtuvo un 83,33 %.
- Los mayores valores alcanzados en los diferentes parámetros e índices morfológicos fueron obtenidos en el tratamiento cuatro (HL30% + Fc60% + As10% + Gc10g), donde se aplicó la cepa *Glomus cubence* y fibra de coco.
- El costo por peso de las plántulas obtenidas en tubetes en el tratamiento cuatro fue menor con un \$ 0,20, por lo que es económico el empleo de la cepa *Glomus cubence* y fibra de coco en la producción de esta especie.



VI. RECOMENDACIONES

Que los resultados obtenidos en este trabajo se completen con datos de campo que aporten información sobre el crecimiento y la supervivencia de las plántulas de los distintos tratamientos y la evolución de sus sistemas radicales a lo largo del tiempo en las condiciones concretas del sitio de plantación.



BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, C.; García, D.; Guerra, W.; Murga, H.; Saldaña, G.; Vázquez, D. y Tadashi, R. 2016. Sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.). *Scientia Agropecuaria*, 7(3): 341-347.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1): 107-118.
- Aranda, R. 2010. Diferentes fuentes de materia orgánica y cepas de hongos micorrizógenos en la producción de posturas de cacao (*Theobroma cacao* Lin.) por micropropagación en el municipio de Baracoa. Tesis de Maestría. Universidad de Guantánamo. 80 p.
- Arévalo, M. E.; Oberpaur, C. y Méndez, C. 2016. Inclusión de musgo (*Sphagnum magellanicum* Brid.) y fibra de coco como componentes orgánicos del sustrato para almácigos de kiwi (*Actinidia deliciosa*). *IDESIA (Chile)*, 34(2): 47-55.
- Arteaga, Y. 2013. Termoconversión del aserrín de *Acacia mangium* Willd en biocarbón para acondicionador de sustratos en la producción de plántulas forestales. Tesis de doctorado. Pinar del Río, Cuba. 164 p.
- Avellán, M.J.; Murillo, R.; Alvarado, A. y Ávila, C. 2015. Variación del contenido foliar de nutrimentos de *Gmelina arborea* en los cantones de Osa, Golfito y Corredores, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (Tropical Journal Environmental Sciences)*, 49(1): 1-15.
- Ávila, J.; García, I; Gonzáles, E; Rodríguez, J y Durán, A. 1985. *Ecología y Silvicultura*. Editorial Pueblo y Educación 289 pp.
- Birchler, T, R.W., Rose, Royo, A y Pardos, M, 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. En: *Forest Systems*. 7 (1), pp. 109–121. ISSN 2171-5068
- Bisse, J. 1988. *Árboles de Cuba*. Editorial Científico Técnica 384 pp.
- Brachtvogel, E.L. y Malavasi, U.C. 2010. Volume do recipiente, adubação e sua

forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. *Árvore*, 34(2): 223-232.

Brundrett, M.C., 2009 "Co evolution of roots and mycorrhizas of land plants", *New Phytologist*, Vol. 154, Pp. 275-304.

Buamscha, G., Contardi, L., Kasten, R., Enricci, J., Escobar, R., Gonda, H., Jacobs, D., Landis, T., Luna, T., Mexal, J. y Wilkinson, K. (2012). *Producción de Plantas en Viveros Forestales*. Trads. Ardiles, B.; Gonda, H.; Contardi, L. Ed. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Buenos Aires, ARG. Consejo Federal de Inversiones. 220 p.

Buckeridge, M.S.; Tiné, M.A.S.; Minhoto, M.J. y Lima, D.U. 2004. *Respiração*. In: Kerbauy, G.B. (Ed.). *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.198-216.

Buresti, E. y Mori, P. 2003. *Progettazione e realizzazione di impianti di arboricoltura da legno*. Firenze, Italia. 78 p.

Caldeira, M.V.W.; Delarmelina, W.M.; Faria, J.C.T. y Juvanhol, R.S. 2013. *Substratos alternativos na produção de mudas de Chamaecrista desvauxii*. *Revista Árvore*, 37(1): 31-39.

Carneiro, R.L.C.; Ribeiro, A.; Huaman, C. A. M.; Leite, F. P.; Sedyama, G.C. y 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*. *Revista Árvore*, 32(1): 11-18.

Castillo, I.C.; Medina M.; González, E.; Cobas, M. y Bonilla M. 2006. *Evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de Eucaliptus grandis en contenedores*. *Revista Forestal Baracoa*, 25 (2): 75-85.

Cobas, M.; Bonilla, M. y Ramos, Y, 2013. *Efecto del sustrato en la calidad de la planta de Albizia procera cultivada en tubetes*. En: *Cfores: Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 3 (1), pp. 116–122. ISSN 2310-3469.

Cruz, E.; Can, A.; Sandoval, M.; Bugarín, R.; Robles, A. y Juárez, P. 2013. *Sustratos en la horticultura*. *Bio Ciencias*, 2(2): 17-26.

Da Ros, C.O.; Rex, F.E.; Ribeiro, I.R.; Suélen, P.; Couto, A., Ferreira, R. y

- Somavilla, L. 2015. Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. Floresta e Ambiente, 22(4): 549-558.
- Delgado, A. Weaver, P.; Francis, J. 2012. Las maravillas del trópico americano. *Samanea saman* (Jacq), el árbol de la lluvia. Fórum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal (ICA), Mayo/2012. Mayabeque, Cuba.
- Dirección Silvicultura Área Forestal Café y Cacao. 1984. Instructivo técnico sobre especies a utilizar en la reconstrucción de bosques naturales degradados de acuerdo a la formación boscosa. MINAG
- Dos Santos, V.S.; Alves, R.M.; Melo, G.F. y Martins, S. 2014. Uso de diferentes substratos na produção de mudas de cupuaçuzeiro. Enciclopedia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, 10(18): 2941-2953.
- Falcón, E.; Cobas, M.; Bonilla, M.; Rodríguez, O.; Romero, V, 2019. Influencia del sustrato en la calidad de la plana *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq., cultivada en contenedores. Revista Cubana de Ciencias Forestales. 7 (3), pp. 283-292. ISSN: 1996-2452.
- Falcón, E.; Riera, M.C. y Rodríguez, O. 2010. Efecto de la aplicación de micorrizas arbusculares sobre la producción de posturas de Caoba del país (*Swietenia mahagoni* L. Jacq.). Revista Electrónica Hombre, Ciencia y Tecnología, 11p. ISSN: 1028-0871.
- Falcón, E.; Riera, M.C. y Rodríguez, O. 2013. Efecto de la inoculación de hongos micorrizógenos sobre la producción de posturas forestales en dos tipos de suelos. Cultivos Tropicales, 34(3): 32-39.
- Falcón, E.; Rodríguez, O. y Rodríguez, Y. 2015. Aplicación combinada de micorriza y Fitomas-E en plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Majagua), Cultivos Tropicales, 36(4): 35-42.
- Falcón, O. E. 2018. Influencia del sustrato en los atributos morfofisiológicos de la especie *Swietenia mahagoni* L. Jacq. cultivada en tubetes. Tesis presentada en opción al grado de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Guantánamo. Cuba. 72 p.

- Farro, A.W. 2015. Efecto del abono orgánico tipo bokashi sobre el desarrollo de la Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook F. Ex.) producidas en tubetes y en bolsas de polietileno. Tesis (Ingeniero Forestal) Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María (Perú). 120 p.
- Farro, A.W. 2015. Efecto del abono orgánico tipo bokashi sobre el desarrollo de la Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook F. Ex.) producidas en tubetes y en bolsas de polietileno. Tesis (Ingeniero Forestal) Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María (Perú). 120 p.
- Fernández, J R y Almora, V. 1989. Silvicultura. Editorial Pueblo y Educación. 378pp.
- 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, Vol. 59, Pp. 1115-1126.
- Fors, A. J. 1965. Maderas cubanas. INRA.
- Forteza, I. 2009. Efectos de diferentes sustratos orgánicos en la calidad de la planta de *Caesalpinia violacea* (Mill.)Standl, cultivada en tubetes. Tesis presentada en opción al grado de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. 88 p.
- 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, Vol. 9, Pp. 436-442.
- Funes, F. 2004. Integración ganadería-Agricultura con bases agro ecológicas. ANAP-IIPF-Ciudad Habana.57 pp
- García, G. 2008. De tal árbol tal semilla. Importancia de contar con germoplasma de calidad. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. México Forestal.
- García, L., Prieto, A., Aguilar, L., Huchin, S., & Mejía, M. (2009). Producción de

planta del género *pinus* en vivero en clima templado frío (INIFAP). México: INIFAP. Recuperado a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/2091>

García, M; Armas J; Pérez. C y Porras, M. 2004. Reproducción y sistemática vegetal para estudiantes de Ingeniería Forestal. Departamento de Biología. Facultad de forestal y Agronomía. Universidad de Pinar del Río.

Gianinazzi S, Vosatka M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. Canadian Journal of Botany. 82(8):1264-71.

Gomes, D.R.; Caldeira, M.V.W.; Delarmelina, W.M.; Gonçalves, E. y Traz, P.A. 2013. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. Revista Cerne, 19(1): 1-15.

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. 65 p.

González-Chávez, M.C.A.; Gutiérrez-Castorena, M.C.; Wright, S. 2004, "Hongos micorrizicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad", Terra Latinoamericana, Vol. 22, Pp. 507-514.

Gros, A. 1966. Abono. Guía práctica de la fertilización. Edición Revolucionaria. 397pp.

Guadarrama, C.P.; Sánchez, G. I.; Álvarez, S. J.; Ramos, Z. J. 2004, "Hongos y plantas beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares", Ciencias, Vol. 73, Pp. 38-45.

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

Harrier, L.A. y 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. Pest Management Science, 60(2): 149-157.

Hernández, W. y Salas, E. 2009. La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el

- crecimiento de cuatros especies forestales en vivero y campo. *Agronomía Costarricense*, 33(1): 17-30.
- Herrera, C, L, 2017. Quality performance plant species *Caesalpinea violacea* cultivated on different substrates in nurseries using technology tubetes. *Revista de Ciencias Forestales y Ambientales* .2 (1), pp. 49-59.
- Instituto Nacional de Aprovechamiento Forestal (INDAF). 1970. Maderas cubanas.
- James, A. E.; Rygiewicz, P. T.; Watruidb, L. S.; Donnelly, P.K. 2002, “La influencia de condiciones adversas de suelo en la formación y función de micorrizas arbusculares”, *Advances in Enviromental Research*, Vol. 7, Pp. 123-138.
- Jordá, A. y Lucia, A. 2006. Las ventajas del uso de Micorrizas en la producción de plantines forestales] En: Restauración de la flora fúngica. Disponible en: <http://la-pagina.de/micorrizalaj/>.
- Karshakasree, C. 2010. Experiencias en la producción de plantas de hule (*Hevea brasiliensis*) en entrenadores de raíz. Estado de Kerala, India. Instituto de Investigación del Caucho de la India. 23 p.
- Klein, C. 2015. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 4: 43-63.
- Kula, A.A.R.; Hartnett, D. C.; Wilson, G.W.T. 2005, “Effects of mycorrhizal symbiosis on tallgrass prairie plant-herbivore interactions”, *Ecology Letters*, Vol. 8, Pp. 61-69.
- Labrador, Il. O., Mercadet, P. A, y Álvarez, B. A. 2017. Situación de los Bosque de Cuba 2016. Dirección Forestal Flora y Fauna Silvestre del Ministerio de la Agricultura. Boletín No. 1. La Habana. Cuba.
- Landis, T.D. 2010. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual agrícola. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 100 p.
- Li, Z., Liu, L., Chen, J. and 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.

- López, J. L. W.; Guerrini, I. A.; Silva, M. R.; Saad, J. C. y López, C.F. 2011. Estresse hídrico em plantio de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, em função do solo, substrato e manejo hídrico de viveiro. Revista *Árvore*, 35(1): 31-39.
- Martínez, L.B. y Pugnaire, F.I. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi host preference and site effects in two plant species in a semiarid environment. *Applied soil ecology*, 48(3), 313-317.
- Mitchell, N. M. 2007. Estudio del comportamiento de la calidad de *Swietenia macrophylla*. King. cultivada en diferentes sustratos. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal. Tesis Inédita. Universidad de Pinar del Río.
- Monroy, A.; Estévez, J.; García, R. y Ríos, R. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (80).
- Montúfar, L.N. 2013. Evaluación de la tecnología de tubetes para la producción de patrones de *Hevea brasiliensis* Muell. Euphorbiaceae "Hule" en Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. 89 p.
- Muñoz, H.; Sáenz, J.; Coria, V.; García, J.; Hernández, J. y Manzanilla, G.E. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, municipio Zitácuro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27): 72-89.
- Noguera, A.; Reyes, N.; Membreño, J.J.; Duarte, C. y Mendieta, B. 2014. Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleífera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. *Revista científica La Calera*, 14(22): 21-27.
- Oliet, J. A. 2000. La calidad de la planta forestal en vivero. Edita ETSIAM. Córdoba. España. 93 p.
- Oliva, M.; Vacalla, F.; Pérez, D. y Tucto, A. 2014. Manual de vivero forestal para producción de plantones de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa, Amazonas – Perú. Perú: Municipalidad

Provincial de Chachapoyas. 125 p.

Olivares, S. 2019. Efecto del volumen de los recipientes en la calidad de la planta *Swietenia mahagoni* L. Jacq., en vivero. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal. Tesis Inédita. Universidad de Guantánamo.

Ortega, U.; Kindelman, A.; Hevia, A.; Alvarez, E. y Majada, J. 2006. Control de calidad de planta forestal. En: Serida. Tecnología Agroalimentaria [en línea]. 2 (3). Disponible en: <http://www.serida.org/pdfs/1521.pdf>.

Paez, R. 2017. Comportamiento de los parámetros morfológicos de la planta de *Samanea saman* (Jacq). Merrill en vivero, en diferentes sustratos, con la utilización de la tecnología de tubetes. Trabajo de diploma. UPR. 44 p.

Panduro, M.E. 2017. Manejo de regeneración natural, en vivero, de *Virola elongata* (Benth) Warb. "Cumala blanca", utilizando sustratos orgánicos. Puerto Almendras, Loreto, Perú. Título Profesional de Ingeniero Forestal. 58 p.

Pañuelas, R.J.L. y Ocaña, L.B. 2000. Cultivo de plantas en contenedores. Edición Mundi- Prensa Ministerio de la Agricultura, Pesca y alimentación. España.

Parniske, M. 2008. "Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses", Nature reviews, Microbiology, Vol. 6, Pp. 763-775.

Peña E. 2007. El humus de lombriz: su generalización en la producción orgánica de posturas con cepellón para la agricultura urbana. INIFAT. Revista Agricultura Orgánica. No. 3, 2007. 47p.

Pérez, N.; Chango, R.; Elena, M.; Castillo, I.; Orea, U.; Veliz, J. 2015. Dinámica de crecimiento de plántulas de *Vitex parviflora* Juss en sustratos de compost de corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en viveros forestales. Revista Cubana de Ciencias Forestales. 3(1).

Prieto, J.; Sáenz, J.; Villaseñor, F.; Muñoz, H. y Rueda, A. 2009. Calidad de Planta en Viveros Forestales de Clima Templado en Michoacán. Folleto

Técnico N° 17. Uruapan, México. pp. 5.

- Quiroz, I., Pincheira, M. P., Hernández, J. A., González, M., García, E., Soto, H. 2014. Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* Link. en vivero y en terreno en el secano de la Región del Biobío, Chile. *Revista Árvore*, 38(1): 45-65.
- Quiroz, I.; García, E.; González, Marta.; Chung, P. y Soto, H. 2009. Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro tecnológico de la planta forestal, INFOR. Sede Bío-Bío, Concepción, Chile. 128 p.
- Ramírez, G. M., Mesa, R. J. y Soto, O. R. (2015). Alternativas agroecológicas en la producción de posturas de tres especies forestales en el municipio Aguada de Pasajeros. *Revista Agroecosistemas*. 3(1): 387-400.
- Reis, E.R.; Lúcio, A.D.; Binotto, A.F. y Lopes, S.J. 2008. Variabilidade dos parâmetros morfológicos em mudas de *Pinus elliottii* Engelm. *Revista Cerne*, v. 14, n. 02, p. 141-146.
- Ribeiro, L.V.; Souza, P.; Santos, D.; Bezerra, P. y Sousa, K. 2016. Avaliação do crescimento e desenvolvimento de *Toona ciliata* Var. *Australis*, em diferentes substratos e recipientes. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 13 (23): 163-173.
- Rivera, R.; Fernández, F.; Ruiz, L.; Sánchez, C.; Hernández, A.; Fernández, K. y Plana, R. 2006. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízicas en la producción agrícola. Avances y retos inmediatos. Conferencia de biofertilización, Gtmo. 36 p.
- Roing, J.T. 1965. Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos. Tomo 2 Editorial del Consejo Nacional de Universidades. 1136 pp.
- Rueda, A.; Benavides, J. de D.; Saenz, J. Trinidad; Muñoz, H.J.; Prieto, J.Á. y Orozco, G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayaritt. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, (5)22: 58-73.
- Sablón, M. A. 1984. *Dendrología*. Editorial Pueblo y Educación. 220p.
- Sáenz, T., Villaseñor, F., Muñoz, H., Rueda, A., & Prieto, J. (2010). Calidad de

planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán, México. INIFAP. Recuperado a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/>

Salgado, J.E. 2017. Efecto producido por diferentes cepas de micorrizas en los parámetros morfológicos de la especie *Swietenia mahagoni* L. Jacq en fase de vivero. Trabajo de diploma. Universidad de Guantánamo. 91 p.

Salto, C.S.; García, M.A y Harrand, L. 2013. Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. Revista de Ciencia Forestales - Quebracho. 21(2): 90–102.

Sánchez A., H., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y V. M. Ordaz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. Agrociencia 50: 81-492.

Sánchez-Colín, M. J. 2005, "Micorrizas. Aspectos generales", Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México, 96 Pp.

Santiago, O.; Vargas, J.J.; Aldrete, A.; López, J. y Fierros, A.M. 2015. Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. En vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 6(31): 94-113.

Santin, M.; Maluche, C.R.; Salengue, L.; Kraft, E. y Ogliari, A. J. 2018. Crescimento de mudas de canafístula com o uso de adubação biológica e bioestimulante em diferentes substratos. Enciclopedia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 15(27): 95-106.

SEF (Servicio Estatal Forestal). 2018. Dinámica Forestal. Guantánamo, Cuba. Ministerio de la Agricultura. 150 p.

Soriano, D.; Huante, P.; Gamboa-de Buen, A. y Orozco, A. 2013. Seed reserve translocation and early seedling growth of eight tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. Plant Ecology 214: 1361-1375.

Suárez, AG. 2008."Comunicación personal "Profesora Departamento de Botánica. Facultad Forestal y Agronomía. Universidad de Pinar del Río 20/07/08.

- Thomson, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What can't you tell by looking in: Evaluating seedling quality: principles, procedure and predictive abilities of major tests. M. L. Duryea eds. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59 – 64p.
- Toral, O, Iglesias, J M, Penton, G, Sánchez. T. 2000. Evaluación de árboles y arbustos forrajeros con potencial agrosilvopastoril en diferentes agroecosistemas de Cuba. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey” y Central España Republicana. Matanzas.
- Torres, D. 2019. Comportamiento en vivero de los parámetros morfológicos de la planta *Swietenia mahagoni* L. Jacq. micorrizadas, con la utilización de la tecnología de tubetes. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal. Tesis Inédita. Universidad de Guantánamo. 53p.
- Valkinir, G; dos Santos, P.S.; Gomes, E.J.; Vinicius da Silva, E.; Canabrava, A. y Nunes, L. 2017. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando bio sólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. *Scientia Agraria*, 18(2): 30-42.
- Vásquez, Y. 2019. Efectos de BIO-HT en los parámetros morfológicos de las especies *Samanea saman* (Jacq.) y *Lysiloma latisiliquum* (Benth.) en vivero. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal. Tesis Inédita. Universidad de Guantánamo. 48p.
- Villar, P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Guadalajara, España: Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre. Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. pp. 65–86. ISBN 84-8138-549-2.
- Winckler, M.V.; Valdir, M.; Rodríguez, L.; Hamilton, L. y Da Silva, L. 2000. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de dosis de vermicomposto. *Fundação de Pesquisas Florestais de Paraná*, 28(1,2): 7- 10.
- Zumkeller, S.; Galbiatti, J.A.; De Paula R.C. y Soto, J.L. 2009. Producción de

plantas de *Tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero. Bosque, 30 (1): 27-3.



ANEXOS

Anexo 1 A. Resumen de análisis de varianza de la altura (H), diámetro en el cuello de la raíz (DC) y número de hojas (NH) de *Caesalpinea violacea* los 30 días en vivero.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	75,726	3	25,242	9,929	,000
	Dentro de grupos	294,893	116	2,542		
	Total	370,620	119			
D	Entre grupos	6,762	3	2,254	5,273	,002
	Dentro de grupos	49,591	116	,428		
	Total	56,353	119			
NH	Entre grupos	5,600	3	1,867	9,073	,000
	Dentro de grupos	23,867	116	,206		
	Total	29,467	119			

Anexo 1 B. Resumen de análisis de varianza de la altura (H), diámetro en el cuello de la raíz (DC) y número de hojas (NH) de *Caesalpinea violacea* los 60 días en vivero.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
D	Entre grupos	1,594	3	,531	4,253	,007
	Dentro de grupos	14,491	116	,125		
	Total	16,085	119			
H	Entre grupos	236,218	3	78,739	20,377	,000
	Dentro de grupos	448,242	116	3,864		
	Total	684,460	119			
NH	Entre grupos	20,825	3	6,942	30,773	,000
	Dentro de grupos	26,167	116	,226		
	Total	46,992	119			

Anexo 1 C. Resumen de análisis de varianza de la altura (H), diámetro en el cuello de la raíz (DC) y número de hojas (NH) de *Caesalpinea violacea* los 90 días en vivero.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
D	Entre grupos	,190	3	,063	3,222	,025
	Dentro de grupos	2,285	116	,020		
	Total	2,476	119			
H	Entre grupos	373,676	3	124,559	20,934	,000
	Dentro de grupos	690,192	116	5,950		
	Total	1063,868	119			
NH	Entre grupos	13,800	3	4,600	12,109	,000
	Dentro de grupos	44,067	116	,380		
	Total	57,867	119			

Anexo 1 D. Resumen de análisis de varianza de la altura (H), diámetro en el cuello de la raíz (DC) y número de hojas (NH) de *Caesalpinea violacea* los 120 días en vivero.

		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
D	Entre grupos	,190	3	,063	3,222	,025
	Dentro de grupos	2,285	116	,020		
	Total	2,476	119			
H	Entre grupos	2257,737	3	752,579	5,816	,001
	Dentro de grupos	15010,296	116	129,399		
	Total	17268,033	119			
NH	Entre grupos	12,100	3	4,033	7,562	,000
	Dentro de grupos	61,867	116	,533		
	Total	73,967	119			