

Ministerio de Educación Superior  
Universidad de Guantánamo

Maestría en Ciencias Forestales

Memoria escrita en opción al título de Master en Ciencias Forestales

Mención: Aprovechamiento

Título de la Tesis:

**Respuesta bioprotectora de *Cedrela odorata* L con el empleo de *Glomus*  
cubense y el acondicionador de suelos CTA-Humus®**

Autora: Leyanet Michel Cumba

Guantanamo, 2021

Ministerio de Educación Superior  
Universidad de Guantánamo

Maestría en Ciencias Forestales

Memoria escrita en opción al título de Master en Ciencias Forestales

Mención: Aprovechamiento

Título de la Tesis:

**Respuesta bioprotectora de *Cedrela odorata* L con el empleo de *Glomus cubense* y el acondicionador de suelos CTA-Humus®**

Autora: Leyanet Michel Cumba  
Tutor. Ing. Prof. Titular. Adrian Montoya Ramos. Dr. C.

Guantanamo, 2021

**RESUMEN**

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* L a la aplicación de *Glomus cubense* y CTA-Humus® en las condiciones edafoclimáticas y tecnológicas del vivero “Santa María”, del municipio Guantánamo. Se desarrolló un ensayo sobre un sustrato de suelo pardo sialítico mullido carbonatado con una proporción de materia orgánica 3:1. En el periodo de marzo de 2020 a octubre de 2021. Se utilizaron semillas de *C. odorata*, peletizadas una hora antes de la siembra y fueron asperjadas con el acondicionador de suelos CTA- Humus®. Se emplearon cuatro tratamientos que se replicaron cinco veces sobre un diseño de bloques al azar. Se evaluó la altura (cm), número de hojas (U), diámetro del tallo (mm) la masa fresca y seca foliar y se determinó el índice de esbeltez. Para el análisis estadístico fue utilizado el paquete STATGRAPHICS Versión 5.1 separando la media a través de la prueba de Duncan. Se obtuvo que La aplicación separada y combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® fue determinante en el crecimiento y vigor de las posturas de *Cedrela odorata*. El estudio determinó además que la aplicación combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® es más efectiva en la obtención de posturas de alta calidad de *Cedrela odorata* representado en los mejores valores para las variables fisiológicas evaluadas y un índice de esbeltez de 1,768.

**ABSTRACT**

## ABSTRACT

Con el objetivo de evaluar la respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* L a la aplicación de *Glomus cubense* y CTA-Humus® en las condiciones edafoclimáticas y tecnológicas del vivero “Santa María”, del municipio Guantánamo. Se desarrolló un ensayo sobre un sustrato de suelo pardo sialítico mullido carbonatado con una proporción de materia orgánica 3:1. En el periodo de marzo de 2020 a octubre de 2021. Se utilizaron semillas de *C. odorata*, peletizadas una hora antes de la siembra y fueron asperjadas con el acondicionador de suelos CTA- Humus®. Se emplearon cuatro tratamientos que se replicaron cinco veces sobre un diseño de bloques al azar. Se evaluó la altura (cm), número de hojas (U), diámetro del tallo (mm) la masa fresca y seca foliar y se determinó el índice de esbeltez. Para el análisis estadístico fue utilizado el paquete STATGRAPHICS Versión 5.1 separando la media a través de la prueba de Duncan. Se obtuvo que La aplicación separada y combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® fue determinante en el crecimiento y vigor de las posturas de *Cedrela odorata*. El estudio determinó además que la aplicación combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® es más efectiva en la obtención de posturas de alta calidad de *Cedrela odorata* representado en los mejores valores para las variables fisiológicas evaluadas y un índice de esbeltez de 1,768.

**DEDICATORIA**

*A la Revolución Cubana, sin la cual no se harían realidad mis sueños*

**AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis sinceros agradecimientos a todos los que contribuyeron a la culminación exitosa de este trabajo.

A mi familia, vecinos, amigos a todos por confiar en mi, en general gracias

A todas las personas que gentilmente accedieron a avalar este trabajo

**A TODOS, MUCHAS GRACIAS**

# INDICE

No	ÍNDICE	Pág.
1	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
2	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1		
2.1.2		
2.1.3		
2.1.4		
2.1.5		
2.1.6		
2.2		
2.3		
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
3.1		
3.2		
3.3		
3.4		
3.5		
3.6		
3.7		
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1	Análisis de la variable altura de la planta	
4.2	Análisis de la variable diámetro del tallo	
4.3	Análisis de la variable número de hojas	
4.4	Análisis de la variable Masa fresca	
4.5	Análisis de la variable Masa seca	
4.6		
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	

# INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo forestal cobra cada día una mayor importancia en los diferentes países del mundo y es un factor clave en la generación de bienes y servicios, como fuente de materias primas para elaborar diversos productos a base de madera y celulosa, además de proporcionar combustible para muchas familias alrededor del mundo. Desde el punto de vista ambiental, los bosques, constituyen el principal sumidero de carbono y forman parte de las acciones para amortiguar el cambio climático (Pérez *et al.*, 2012; Labrador *et al.*, 2017; Ruiz-Jiménez, 2018).

Se estima que a nivel mundial existen cerca de 500 especies con valor comercial en el mercado internacional de la madera (López-Camacho y Cárdenas-López, 2002). La familia Meliaceae contiene varias especies maderables altamente valoradas y cotizadas en el mercado internacional (principalmente de los géneros *Cedrela* P. Browne, *Swietenia* Jacq., *Khaya* A. Juss. y *Entandrophragma* C. DC.) y son consideradas de las más atractivas en el mundo por el lustre, color, grano y la resistencia al ataque de insectos (Pennington *et al.*, 1981; Camacho *et al.*, 2017).

Lo anterior ha traído una serie de problemas asociados al valor económico que estas especies presentan, pues han sido sometidas a la tala ilícita y al transporte ilegal para un mercado de madera cada vez más exigente, provocando problemas de sobreexplotación, pérdida del hábitat, expansión de los asentamientos humanos y posiblemente erosión genética (Kometter *et al.*, 2004; Cornelius *et al.*, 2005; Thiago *et al.*, 2008; Rueda-Sánchez *et al.*, 2014).

Se tienen registradas 358 especies de Meliaceae incluidas en la Lista Roja de la IUCN (International Union for Conservation of Nature) (IUCN, 2020). Así mismo, tres especies de *Swietenia* se enumeran en el apéndice II del CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (CITES, 2020): *Swietenia humilis* Zucc., *S. macrophylla* King y *S. mahagoni* (L.) Jacq., mientras que en el apéndice III se mencionan poblaciones de *Cedrela fissilis* Vell., *C. lilloi* C. DC. y *C. odorata* L.

El cedro (*Cedrela odorata* L.) es una de las especies maderables tropicales más valiosas y de amplia distribución geográfica en América Latina y el Caribe. Su importancia como productora de madera preciosa, engloba aspectos económicos, ecológicos y sociales (Mesén, 2006). Por ello, es muy utilizada en plantaciones destinadas a reforestación.

Esta especie ha sido orientada a proyectos de reconversión productiva en terrenos abandonados con historial de uso agropecuario (Ramírez *et al.*, 2008). Sin embargo, muchas de ellas no han tenido el éxito esperado debido a la alta mortalidad y al pobre crecimiento de las plantas. Dichos problemas se asocian a diversos factores entre los que sobresale la vulnerabilidad de la especie al ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) y a la severa degradación del suelo en los sitios de plantación (Calixto *et al.*, 2015). Sin embargo, el impacto de cada uno de ellos ha sido mayor por el uso de planta de baja calidad, que no reúne las características morfológicas y fisiológicas apropiadas a las condiciones de los sitios de destino (Conafor, 2012).

En vivero, la obtención de esas características está relacionada con la implementación de diversas prácticas culturales (Rodríguez, 2008). La elección de una o más depende de su efectividad en el aumento de la calidad de planta en los taxa que se desea producir (Jacobs y Wilkinson, 2009).

En plantas de distintas especies forestales producidas en vivero, tanto de clima tropical como templado-frío, el volumen del envase o la adición de hidrogel al sustrato han demostrado una influencia preponderante sobre la modificación de algunas de sus propiedades. En varias de ellas, a medida que el volumen del envase es mayor, sus aspectos morfológicos de calidad son mejores, tales como la altura, el diámetro del tallo, así como el balance entre la formación de biomasa aérea y la biomasa radical (Ferraz y Engel, 2011; Lisboa *et al.*, 2012; Abreu *et al.*, 2014).

En otras, con el uso adecuado de soluciones nutritivas no solo se ha observado una mejora en la forma (Orikiriza *et al.*, 2009; Maldonado *et al.*, 2011), sino también en aspectos de orden fisiológico, que se refieren al estado nutrimental como uno de los principales atributos

mejorados (Chirino *et al.*, 2011; Bernardi *et al.*, 2012), lo que se relaciona con la dosis aplicada.

El mundo microbiano ofrece para ello prometedoras alternativas, teniendo en cuenta que en el suelo se encuentran hongos y bacterias con una gran capacidad para promover y mejorar la nutrición de las plantas. La utilización de biofertilizantes basados en estos microorganismos se presenta como una biotecnología “limpia” de gran interés, tanto desde el punto de vista económico como ecológico para la agricultura moderna. Las micorrizas arbusculares, asociaciones de algunos hongos con las raíces de muchas plantas con carácter simbiótico son un ejemplo de ello (Azcon-Aguilar *et al.*, 1993; Reyes, 2013; Tamayo *et al.*, 2015).

El creciente interés en relación con la utilización de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) viene dado, fundamentalmente, porque la simbiosis micorrízica aumenta de forma marcada la absorción de nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio y especialmente el fósforo, mejora el transporte y la absorción del agua en el vegetal y contrarresta el ataque de patógenos por la estimulación de los mecanismos de defensa bioquímica, mientras que los efectos beneficiosos de la inoculación con las bacterias rizosféricas se deben, entre otras, a su habilidad para producir sustancias como antibióticos, vitaminas y hormonas vegetales, y proveer a la planta de elementos tan importantes como el nitrógeno (Bustamante *et al.*, 2010; Tamayo *et al.*, 2015)

Otra de las novedosas formas es la utilización de algas como estimulantes en combinación con ácidos húmicos y fulvicos para su uso en la agricultura, premisa que se ha convertido en un sector en crecimiento, ya que diferentes estudios científicos han demostrado que tienen efectos notables en el crecimiento y rendimiento y al ser naturales están aptos para la agricultura ecológica (Rodríguez y Orellana, 2008; Zermeño *et al.*, 2015; Químicas-Meristem, 2020).

Entre estos productos elaborados a partir de sustancias húmicas se encuentra CTA-Humus<sup>®</sup>, el mismo es un producto acondicionador de suelos con alto contenido en fósforo y ácidos húmicos, especialmente diseñado para favorecer el enraizamiento de los cultivos,

está especialmente indicado durante las primeras fases de desarrollo de los cultivos (Químicas Meristem. S. L, 2018).

El manejo de los HMA, integrado a la producción de plántula en vivero, es indispensable para asegurar el éxito de adaptación de las repoblaciones bajo condiciones naturales (Allen *et al.*, 2003); por tal motivo, es importante integrar paquetes tecnológicos diferentes como es el caso de los productos derivados de algas del genero *Asocpyllum* y los hongos micorrizogenos.

Se debe subrayar que el patrimonio forestal en Cuba se compone de 4 millones 93 mil 584 hectáreas que representan el 39,4% de la superficie terrestre total del país sin considerar la superficie acuosa. De la superficie patrimonial, 3 millones 242 mil 266 hectáreas son de superficie boscosa compuesta por 2 millones 709 mil 329 hectáreas de bosques naturales y 532 mil 936 de plantaciones establecidas (Guzmán-Torres, 2018).

La superficie boscosa representa el 31,23% del espacio terrestre nacional, lo que es conocido como índice de boscosidad. “Indicador que durante muchos años se ha mantenido en crecimiento, resultado de las acciones de reforestación que el país ha impulsado y respaldado financieramente a través del Fondo Nacional de Desarrollo Forestal” (Labrador *et al.*, 2017; Guzmán-Torres, 2018).

El resto del patrimonio forestal se compone de las 98 mil 14 hectáreas que están en fase de establecimiento, las 236 mil 133 hectáreas de superficie deforestada y las 517 mil 172 hectáreas de superficie inforestal. “Del total de la superficie boscosa del país el 46,32% son bosques protectores de aguas y suelos; el 30,63% son de bosques productores y el 23,05% son bosques de conservación”, (Guzmán-Torres, 2018).

Entre los valores más notables de estos ecosistemas con alto impacto económico y medioambiental está la obtención de madera y sus derivados, y los llamados servicios ambientales como son la protección de los cuerpos de agua y de los suelos. La provincia de Guantananamo cuenta con un extenso Patrimonio Forestal que demanda esta especie de alto valor económico en sus planes de forestación y reforestación.

Evaluando lo antes descrito relacionado principalmente con el interés de diversificación de esta especie forestal de alto valor económico, la baja calidad de las posturas para su propagación, el uso de alternativas para su nutrición y mejor adaptabilidad a las condiciones de campo es probable que en la obtención de plántulas de *C. odorata* especie de alto valor comercial y ornamental muy solicitada en la actividad económica forestal (UICN 2017), estos tengan un efecto similar, imponiendo estudiarlos detalladamente.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y como parte de ello la política nacional de reforestación se propone como problema:

¿Cómo obtener posturas de *Cedrela odorata* de alta calidad en las condiciones edafoclimáticas y tecnológicas del vivero de “Santa María”?

Para resolver esta problemática se plantea la hipótesis siguiente:

“El empleo de *Glomus cubense* y CTA-Humus® permitiría obtener posturas de *Cedrela odorata* de alta calidad”.

Para dar respuesta a la hipótesis se propone el siguiente objetivo general:

Evaluar la respuesta bioprotectora de *Glomus cubense* y CTA-Humus® en plántulas de *Cedrela odorata* L en conciones de vivero

Para dar cumplimiento a este objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- 1) Evaluar el efecto de *Glomus cubense* y CTA-Humus® en el crecimiento y vigor de posturas de *Cedrela odorata* en las condiciones edafoclimáticas y tecnológicas de la localidad de “Santa María”.
- 2) Determinar desde la variante más adecuada en el empleo de *Glomus cubense* y CTA-Humus® en la obtención de posturas de *Cedrela odorata*.

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. El cultivo de

*Cedrela P. Browne* es un género de árboles de la familia *Meliaceae*, originario del neotrópico (Smith 1960, Gentry 1996). Deriva como deformación de *Cedrus* y fue publicada a partir de la descripción presentada por Patrick Browne en 1756 en el manuscrito *Historia Civil y Natural de Jamaica* (Smith 1960, Pennington & Styles 1975). Su distribución abarca desde las costas mexicanas e islas del Caribe, hasta zonas montañosas argentinas. Sus especies forman parte de la vegetación de los bosques siempreverdes, nublados y húmedos de tierras bajas, sobre suelos bien drenados (Cintron 1990).

*Cedrela* es reconocido por la marcada asimetría en la base de los folíolos, opuestos a subopuestos y dispuestos generalmente en hojas paripinnadas, además del fuerte olor a ajo que emana de su tronco (Gentry 1996). Desde el punto de vista económico, *C. odorata* ha sido empleada como un recurso maderero muy importante en América (Gentry 1996, Brown & Pacheco 2006), con altos volúmenes de producción al año en países como México, Cuba y Panamá (SEFORVEN 1992, DNCB 1997). Sus patógenos naturales son las larvas de *Hypsiphylia grandella* (Lepidoptera: Pyralidae), insecto conocido como el taladrador de las meliáceas, que ataca las hojas jóvenes y puntos vegetativos y retardan su desarrollo (SEFORVEN 1992).

Las *Meliaceae* están divididas en dos subfamilias, *Swietenioideae* y *Cedreloideae*, esta proposición se basó en un solo carácter, el grado de unión de los filamentos (Smith 1960). En *Cedreloideae* se encuentran libres y en *Swietenioideae* están unidos; mientras que características como la estructura de la madera y del grano de polen, consideradas muy importantes, son homogéneas y no permiten separar estos dos grupos (Smith 1960). Sin embargo, Pennington & Styles (1975) argumentaron que el grado de fusión de filamentos es un carácter muy variable para separar en dos subfamilias, por lo que propusieron mantener como única subfamilia a *Swietenioideae*. Actualmente, el género *Cedrela* se encuentra dentro de la tribu *Cedreleae* en la subfamilia *Swietenioideae* (Pennington & Styles 1975, Pennington et al. 1981, Mabberley 1997, Muellner et al. 2003).

*Cedrela odorata* L. (Meliaceae), especie conocida como cedro rojo, es una de las principales riquezas de los bosques mesoamericanos (Cortés, 2001). Se distribuye de forma natural en las vertientes del Golfo de México y del Pacífico (Pennington y Sarukhán, 2005); así como en Centro, Sudamérica y las islas del Caribe (Patiño, 1997).

El interés en este taxon se debe a las cualidades de su madera: como la alta durabilidad, color, jaspeado y aroma (Mader et al., 2018); por lo que, se utiliza para la fabricación de muebles finos, instrumentos musicales, artesanías (Cintrón, 1990; Romo-Lozano et al., 2017), elaboración de cajas de tabaco (Rodríguez, 2011), además de tener usos medicinales y aportar servicios ambientales (Romo-Lozano et al., 2017).

La familia Meliaceae está ubicada en el orden Sapindales junto con Anacardiaceae, Biebersteiniaceae, Burseraceae, Kirkiaceae, Nitrariaceae, Rutaceae, Sapindaceae y Simaroubaceae (APG IV, 2016), presenta una distribución pantropical e incluye generalmente árboles que habitan desde los bosques tropicales y manglares hasta los semidesiertos (Muellner et al., 2003).

Meliaceae exhibe un amplio rango de caracteres morfológicos principalmente en sus inflorescencias, frutos y semillas, lo que ha provocado una historia taxonómica confusa, siendo la monografía de Pennington y Styles (1975) la que contribuyó a esclarecer su circunscripción genérica; así mismo mejoró la clasificación de tribus y subfamilias.

La historia taxonómica complicada tiene su origen debido a la naturaleza difusa y a menudo reticulada de la variación que parece haber sido producto de varios paralelismos evolutivos y de forma independiente en inflorescencias, frutos y semillas. Debido a esto, algunos géneros y la mayoría de las tribus solo pueden ser diagnosticados mediante una combinación de varios caracteres, por lo que encontrar un carácter como una herramienta de diagnóstico puede ocasionalmente ser poco confiable (Muellner *et al.*, 2003).

Se reconocen 48-53 géneros y 700-702 especies de Meliaceae (Koenen *et al.*, 2015; Heads, 2019), agrupadas en cuatro subfamilias: Melioideae, la más grande integrada por siete tribus y 35 géneros; Swietenioideae dividida en tres tribus y 13 géneros, y Quivisianthoideae y Capuronianthoideae, con solo un género respectivamente (Pennington

y Styles, 1975). Análisis filogenéticos soportan la monofilia de la familia; solo las subfamilias Melioideae y Swietenioideae son reconocidas, mientras que Quivisianthoideae y Capuronianthoideae se anidan en Melioideae y Swietenioideae, respectivamente (Muellner *et al.*, 2003; Koenen *et al.*, 2015).

En América se pueden encontrar siete géneros y 126 especies con distribución natural, así como siete géneros introducidos: *Aphanamixis* Blume, *Azadirachta* A. Juss., *Chukrasia* A. Juss., *Melia* L., *Khaya*, *Sandoricum* Cav. y *Toona* (Endl.) M. Roem., todos ellos de uso ornamental (Germán-Ramírez, 2005). En México se distribuyen cinco géneros y 24 especies nativas, lo cual se concluye después de un análisis nomenclatural de las especies citadas por Germán-Ramírez (2005) y Villaseñor (2016).

Por su relevancia económica se ha introducido en África, el sudeste asiático y al noreste de Australia (GBIF, 2018), ya que es la segunda especie arbórea tropical más comercializada del mundo, después de la caoba (*Swietenia macrophylla* King. [Meliaceae]) (Patiño, 1997), con un precio de exportación en Norteamérica de \$958 a \$977 USD por metro cúbico de madera aserrada (ITTO, 2019).

En consecuencia, el cedro se ha sobreexplotado sin planes adecuados de manejo, lo que ha ocasionado el decremento y fragmentación de sus poblaciones naturales con la consiguiente restricción de flujo de genes entre las poblaciones (De la Torre, 2013), la pérdida de diversidad genética (Leshner-Gordillo *et al.*, 2018) y de genotipos de alta productividad que son potencialmente resistentes a estrés biótico y abiótico (Cavers *et al.*, 2003a). Además del daño antropogénico, presenta problemas de regeneración natural (Rodríguez, 2011); pérdida rápida de viabilidad de las semillas (García y Abdelnour, 2013); lento crecimiento, ya que tarda alrededor de 40 años en alcanzar la talla para su aprovechamiento maderable (Galván-Hernández *et al.*, 2018); y el ataque de *Hypsipyla grandella* Zeller (barrenador de las meliáceas).

Este último constituye el principal factor que impide el establecimiento y productividad de plantaciones forestales comerciales de la especie (López-Ochoa *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2015). Al respecto, Marquetti (1990) señala la presencia de un híbrido natural, resultado del cruzamiento entre *C. odorata* y *Cedrela cubensis* Bisse, para el cual describe mayor

heterosis, crecimiento y resistencia al barrenador respecto a sus progenitores. Sin embargo, *C. cubensis* se considera una sinonimia de *C. odorata* (The Plant List, 2013) y faltan pruebas que corroboren la existencia de esa afirmación.

Es importante resaltar que el comportamiento de las plantaciones está sujeto a la calidad del sitio de su establecimiento, pues los factores bióticos, abióticos y su interacción con el manejo, afectan su capacidad productiva; por lo tanto, a partir del lugar de plantación, los árboles alcanzarán rendimientos en volumen mayores en poco tiempo; mientras que en otros, será menor (Murillo-Brito *et al.*, 2017).

Debido a lo anterior, *C. odorata* se incluye en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) como especie vulnerable (IUCN, 2017), y en la lista de especies protegidas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) (CITES, 2017). En México, está catalogada como Sujeta a Protección Especial en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT 2010 (Semarnat, 2010); sin embargo, se ha planteado que no cumple con los estándares establecidos que justifiquen su permanencia en dicha disposición (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2018).

El cedro pertenece a las meliáceas, grupo con un alto y variable número de cromosomas; por ejemplo, el  $2n$  de especies de los géneros *Soymida*, *Toona* y *Cipadessa* es igual a 56, lo que sugiere un origen común y paleopoliploide (Styles y Vosa, 1971; Khosla y Styles, 1975). En comparación con otros taxa forestales como los géneros *Picea* y *Pinus* ( $2n=24$ ) (Fuchs *et al.*, 1995; Nkongolo, 1996; Pavy *et al.*, 2008), algunos miembros de la familia Meliaceae poseen un número diploide más de dos veces mayor.

Styles y Vosa (1971) identificaron dos citotipos para *C. odorata*:  $2n = 50$  y  $56$ , y sugieren que las poblaciones con menor número cromosómico se ubican en América Central y las Islas del Caribe, mientras que los de mayor número están en México y Sudamérica. No obstante, Khosla y Styles (1975) descartaron la relación de los citotipos con su origen geográfico y estimaron una longitud cromosómica de  $2.0$  a  $5.0 \mu\text{m}$  y  $60 \mu\text{m}$  para el tamaño total de la cromatina, lo que constituyó la primera referencia sobre la dimensión del genoma.

Se desconoce la secuencia del genoma nuclear del cedro rojo. La única meliácea caracterizada es *Azadirachta indica* A. Juss. (nim), cuyo tamaño es de 364 Mpb con poco más de 20 000 genes (Krishnan *et al.*, 2012). Con esta referencia e información de taxones con filogenia cercana como Rutaceae (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, GenBank NC\_023046-54), Malvaceae (*Theobroma cacao* L.; GenBank GCF\_000208745), Brassicaceae (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.; GenBank NC\_003070-76) o Vitaceae (*Vitis vinifera* L.; GenBank NC\_012007-25) se esperaría que el tamaño del genoma de *C. odorata* sea de alrededor de 500 Mpb (Jaillon *et al.*, 2007; Argout *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2013).

Sin embargo, hay que considerar que *A. indica* tiene un número cromosómico  $2n = 28$ ; es decir, la mitad que el de cedro rojo y si se supone que su genoma es producto de una poliploidía (Khosla y Styles, 1975), entonces podría tener una dimensión dos veces mayor que la del nim. Por otra parte, al describir el plastoma (genoma del cloroplasto) de *C. odorata* por medio de la plataforma de secuenciación Illumina, se determinó que su tamaño es de 158 558 pb (GenBank MG724915), en el que las regiones de copia sencilla larga (Long Single Copy, LSC) y corta (Short Single Copy, SSC) miden 86 390 pb y 18 380 pb, respectivamente; mientras que la región invertida (Inverted Region, IR) mide 26 894 pb.

La lista de genes anotados, aquellos con funciones putativas identificadas, muestra un total de 112 genes diferentes de los cuales 78 codifican para proteínas, 30 para ARNt (ARN de transferencia) y 4 para ARNr (ARN ribosomal) (Mader *et al.*, 2018). Del cloroplasto también se ha caracterizado la región intergénica rrn16-rrn23 con la que se construyó el vector pCBL5 que permite su transformación directa por recombinación homóloga. Este tipo de transformación reduce el riesgo de contaminación por polen de transgenes a individuos silvestres, debido a que los plastidios son heredados por vía materna. Lo anterior tiene el potencial de generar variedades transgénicas resistentes a plagas, como el barrenador de las meliáceas (López-Ochoa *et al.*, 2015).

Con respecto al transcriptoma, mediante secuenciación de ARN de tejido foliar se identificaron 52 181 modelos de genes cuya longitud varía entre 200 pb y 37 635 pb (Finch

*et al.*, 2019), lo que aporta otra evidencia relacionada a que cedro rojo tiene más del doble de los 20 000 genes identificados en el genoma de *A. indica* (Krishnan *et al.*, 2012). De esos genes putativos, entre 65 % y 70% presentan homología con aquellos caracterizados en genomas secuenciados de árboles como *Populus trichocarpa* Torr. & A. Gray ex Hook. y *Quercus lobata* Née. Esto representa el primer estudio de la especie por medio de tecnología de secuenciación de última generación (Finch *et al.*, 2019).

Las especies del género *Cedrela* son consideradas crípticas; es decir, la delimitación entre ellas es ambigua con base en rasgos morfológicos, de modo que la divergencia evolutiva del genoma no se manifiesta en el fenotipo (Cavers *et al.*, 2013). Por lo tanto, los marcadores moleculares son una alternativa para resolver ese tipo de problemas, ya que permiten caracterizar la estructura poblacional, la diversidad genética, relaciones filogenéticas, rutas migratorias y los procesos de hibridación, entre otros (Alía *et al.*, 2003).

El análisis de variación de las regiones intergénicas (ITS) 18S-26S y trnS-trnG y algunos genes del cloroplasto (ejem.: *psbB*, *psbT*, *psbN*) ha concluido que la divergencia de los géneros *Cedrela* y *Toona* ocurrió hace 46.6 a 50.6 millones de años. Asimismo, durante el Mioceno, Centroamérica fue el punto de origen de la diversificación de *Cedrela*, lo que resultó en la aparición de dos linajes que migraron a Norte y Sudamérica (Muellner *et al.*, 2010; Cavers *et al.*, 2013; Koecke *et al.*, 2013). También, se han reclasificado diversas especies del género: de ocho taxones a 17 y otras seis que aún no se aceptan (Cavers *et al.*, 2013; Koecke *et al.*, 2013; The Plant List, 2013).

En otro estudio, por medio de marcadores moleculares de cloroplasto se identificaron cinco haplotipos en Centroamérica, la zona de contacto entre los dos grandes linajes del norte y sur de América (Cavers *et al.*, 2003b). Posteriormente, en el análisis se incluyeron poblaciones del Caribe y Sudamérica, en el cual mediante ITS y microsatélites nucleares y de cloroplasto se caracterizaron 22 haplotipos, lo que justificó la propuesta de reclasificación de algunos ecotipos, así como de nuevas especies de *Cedrela* (Cavers *et al.*, 2013). Con dichos antecedentes, se confirma la ocurrencia de al menos tres divergencias evolutivas que concuerdan con la colonización de Mesoamérica por la flora sudamericana. Las primeras dos sucedieron antes y después de la formación del Istmo de Panamá, y la tercera, a finales del Pleistoceno.

La diversidad genética de *C. odorata* se ha evaluado en poblaciones de Centro y Sudamérica con el uso de marcadores moleculares de tipo RAPD, AFLP, microsatélites y secuencias de cloroplastos, con lo que se evidenció una mayor diversidad interpoblacional que dentro de las poblaciones, la cual se relaciona con la precipitación media anual y diferencia entre poblaciones de regiones secas (norte de la Península de Yucatán) de aquellas de zonas húmedas (Costa Rica) (Gillies *et al.*, 1997; Cavers *et al.*, 2003a, 2003b; Navarro *et al.*, 2005; De la Torre *et al.*, 2008).

La diversidad genética es fundamental para la evolución y conservación a largo plazo, así como para los programas de mejoramiento y manejo de los recursos genéticos (Jump *et al.*, 2008). En particular, con los efectos del cambio climático resulta indispensable preservar el flujo génico y las variaciones en el material hereditario, ya que estas aumentan el potencial de adaptación a condiciones de estrés abiótico y biótico (Jiménez y Collada, 2000; Jump *et al.*, 2008).

## **2.2 Generalidades de viveros forestales**

Un vivero forestal es el sitio especialmente dedicado a la producción de plántulas de la mejor calidad y al menor tiempo posible. Algunos de sus componentes son fundamentales y otros complementarios y dependen del tipo de vivero y condiciones de sitio (Rojas 2006). Entre los componentes fundamentales están: terreno de buenas características, cercas, fuentes seguras de agua, plántulas y semillas, buenos viveristas, herramientas, recursos económicos y clientes. Entre los componentes complementarios están: la bodega, cortinas rompevientos, caminos, equipo permanente de riego, maquinaria y germinadores.

Un típico vivero forestal bien diseñado consiste de áreas de producción e instalaciones de servicio, tales como el área principal de operaciones, oficinas, almacén y construcciones administrativas. Las instalaciones del vivero representan un término amplio que describe el sitio total del vivero, incluyendo las áreas de producción y las construcciones de apoyo. Algunos viveros forestales tienen tanto instalaciones para la producción bajo el sistema de contenedores, como terrenos para la producción de plantas a raíz desnuda y trasplantes (Landis *et al.* 1994).

Existen diferentes tipos de viveros forestales. Según la duración que tengan, pueden ser permanentes o temporarios; según el tipo de producción, serán plantas en envase o a raíz desnuda (Landis et al. 1994) y según el tamaño, pueden ser pequeños (menor a 50 000 plantas por año), medianos o grandes. Cada uno de estos tipos de vivero tiene su propio diseño y manejo (Navall 2006).

Los viveros constituyen la base fundamental en todo programa o proyecto de reforestación. La creación de viveros para la producción de plantas juega un papel muy importante para el desarrollo de una región, puesto que, es en el vivero donde se multiplican las especies que requieren los agricultores y productores para mejorar sus sistemas agrícolas y agroforestales. De su cuidado y manejo dependerá el éxito o fracaso de los programas de reforestación.

Según Chajón (2010), los beneficios ambientales que proporcionan los viveros, se basa en que, es posible mantener un determinado espacio para la reproducción de árboles propios de la comunidad, que se obtienen con fines de reforestación, plantas que se adecuen al tipo de suelo, libre de plagas y de una excelente calidad, que se adaptaran fácilmente a las condiciones climáticas del lugar, por lo que la realización de éstos viveros, estará relacionada también a la protección del ambiente, ríos, mejoramiento de clima, mayor infiltración de agua y reducción de las pérdidas del suelo.

#### - **Propagación en vivero**

La propagación es el proceso por el cual generamos nuevos individuos. Según Navall (2006), hay dos tipos: sexual (reproducción por semillas) y vegetativo (acodos, injertos, estacas, etc.). Los árboles producidos por semilla son generalmente más altos, de raíz profunda y no son exactamente iguales, lo que es favorable ante enfermedades o plagas. Los árboles producidos en forma vegetativa repiten exactamente las características de la planta madre, lo cual es bueno en frutales, e inician la producción de fruta mucho antes que los de semilla.

Según Landis *et al.* (1994), el ambiente de propagación tiene que tener unas condiciones adecuadas diferentes al ambiente natural, el cual abre un amplio intervalo de estructuras posibles para el vivero. Dicho ambiente contiene dos partes que están relacionadas entre

sí: componente atmosférico (luz, temperatura, humedad, dióxido de carbono) y el componente edáfico (agua y nutrientes minerales).

Palacios (2013) indica que, para la propagación de plantas por semilla o por esquejes, se necesita dos tipos de estructura. La primera es una estructura donde se controle la temperatura y la luz, para obtener una buena germinación de semilla o un buen enraizamiento de esquejes. La segunda, es una estructura donde las plantas recién propagadas puedan tener una etapa de aclimatación, antes de ser llevadas al área de producción. De acuerdo a estos objetivos, las estructuras para la propagación deben ser clasificadas de acuerdo al control que puedan ejercer sobre el medio ambiente. Es decir, estas estructuras deberán ser construidas para modificar el ambiente, total o parcialmente (invernaderos) (Landis et al. 2014).

### **2.3. Hongos Micorrízicos en el crecimiento de las plantas**

Se han realizado numerosos estudios en los que se demuestra que la inoculación artificial con HMA a especies de interés agrícola, incrementa la nutrición y el crecimiento de plantas, le permite a su vez superar situaciones de estrés biótico y abiótico (Genre *et al.*, 2005).

Este mismo autor expresó que los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízico resulta más evidentes en suelo donde las poblaciones de HMA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de practica agrícola desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo (Genre *et al.*, 2005).

La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo HMA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo interior no hospedador, y lo donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresiva y eficaces (Reyes, 2013).

#### **- Caracterización, descripción y funcionamiento de los HMA**

Según Siqueira y Franco, (1988) la definición más moderna del término Micorrizas es: “Simbiosis endofítica, biotrófica y mutualista prevaleciente en la mayoría de las plantas vasculares nativas y cultivadas; caracterizadas por el contacto íntimo y la perfecta

integración morfológica entre el hongo y la planta para la regulación de funciones y el intercambio de metabolitos, con beneficios mutuos”.

Las micorrizas se agrupan sobre la base de la anatomía de las raíces que colonizan en: Ectomicorrizas, Ectendomicorrizas y Endomicorrizas.

- **Ectomicorrizas:**

Su característica es la penetración de las hifas del hongo entre las células de la corteza radicular formando un manto fúngico o “red de Harting”. Provoca cambios anatómicos que producen el crecimiento dicotómico de las raíces, fragmentando las mismas. Se pueden visualizar macroscópicamente.

- **Ectendomicorrizas:**

Presentan características intermedias entre las Ectomicorrizas y las Endomicorrizas, su distribución es restringida.

Se caracterizan por penetrar en el interior de las células corticales, pero no atraviesan la membrana protoplasmática; no forman manto ni modificaciones morfológicas evidentes en las raíces y son difícilmente apreciables a simple vista. Este grupo incluye los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) que constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta.

En Cuba, las investigaciones comenzaron en 1973 y se han realizado prospecciones y ubicaciones taxonómicas de varias cepas de HMA en diferentes zonas del país, con el objetivo de reproducirlas. Dentro de las principales cepas aisladas se encuentran IES-3. *Glomus spurgum*, IES-4. *Glomus agregatum*, IES-5. *Glomus mosseae* e IES-7. *Glomus etunicatum*, todas prospectadas en Topes de Collantes; también la IES-6. *Glomus etunicatum* de Pinar del Río. Estas cepas han resultado ser eficientes en varios cultivos y están registradas en el cepario del Instituto de Ecología y Sistemática (Cabral *et al.*, 2006).

Se han desarrollado diferentes productos comerciales en Cuba y en el extranjero, basados en los HMA (MicoFert®, EcoMic®, BIOCAS y MANIHOTINA), utilizándose con éxito en diferentes cultivos como: posturas de cafetos, cítricos y frutales, adaptación de

vitroplantas, semilleros de hortalizas, leguminosas, raíces y tubérculos, entre otros (Reyes, 2013).

Bolaños *et al.* (2000), han señalado que los HMA no se desarrollan en medio de cultivo artificial y que el mismo tiene que ser en presencia de una planta hospedera, debido a la ausencia de síntesis propia de ácido desoxirribonucleico (ADN).

Para el funcionamiento de los HMA, las hifas que recorren el suelo, procedentes de esporas o de otros propágulos, se ponen en contacto con las raicillas y forman la estructura conocida como “apresorio” sobre las células epidérmicas de la región posterior a la meristemática. A partir de este cuerpo las hifas penetran en la epidermis de la raíz, colonizando la región cortical y pasando a las capas más internas de la corteza sin llegar a atravesar la endodermis ni penetrar en el meristemo radical Bolaños *et al.* (2000).

El hongo en el interior de la raíz avanza tanto en la dirección del crecimiento de la misma, como hacia las capas más internas de la corteza y cuando se encuentra cerca de la endodermis, comienza la formación de los “arbúsculos” en el interior de las células corticales más internas, pero sin penetrar en la membrana protoplasmática (Camargo y Esperón, 2005).

Los arbúsculos tienen la función fundamental de realizar los intercambios entre la planta y el simbionte; por su parte el micelio externo o extramátrico del hongo forma una red bien distribuida en el suelo, en busca de nutrimentos y agua, debido a la explotación de sitios inasequibles para las raíces de plantas no micorrizadas; lo que representa la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor en las plantas micorrizadas (Genre *et al.*, 2005). Finalmente, se considera que en el procedimiento seguido en el estudio e investigaciones de los HMA deben tenerse en cuenta cuatro aspectos fundamentales:

- 1) Aislamiento y caracterización de especies.
- 2) Ensayos de efectividad en los cultivos.
- 3) Establecimiento de las técnicas para la reproducción masiva para su introducción en la práctica.
- 4) Desarrollo de tecnologías de aplicación eficientes en los sistemas agrícolas.

Los HMA contribuyen a mejorar la productividad y calidad de los cultivos, por lo que se hace necesario tener en cuenta dos enfoques principales para su utilización: 1)

introducción en la rizosfera de la planta, de especies altamente eficientes y 2) realizar prácticas de manejo para optimizar el beneficio de las especies nativas, mediante adecuada fertilización, el empleo de pesticidas y otros biopreparados compatibles y el mejoramiento de los suelos (Genre *et al.*, 2005).

#### **- Principales ventajas o beneficios con el uso de los HMA**

Dentro de los principales beneficios que brindan los HMA se encuentran los siguientes (Tamayo *et al.*, 2015ab):

- Incrementan el crecimiento y rendimiento de las plantas.
- Aumentan el aprovechamiento de los fertilizantes y los nutrientes del suelo.
- Disminuyen el costo por concepto de aplicación de fertilizantes minerales.
- No degradan y mejoran la estructura de los suelos.
- Incrementan los procesos microbianos y las plantas se benefician en breve tiempo.
- Consumen escasa energía no renovable.
- Son productos "limpios" que no contaminan el medio ambiente.

Son varios los autores que han indicado el aporte realizado por los HMA en la nutrición de la planta, cuando se logra una eficiente simbiosis hongo-raíz. Han señalado que los HMA en condiciones favorables, aumentan la capacidad de la planta de movilizar y absorber fósforo (P), N, K, azufre (S), Ca, hierro (Fe), cobre (Cu) y Zn, además de defender el espacio radical con las excreciones de antibióticos (Bustamante *et al.*, 2010).

Lo anterior permite plantear que una de las vías principales del efecto agrobiológico de la micorrización es el mejoramiento de la absorción de nutrientes y que los HMA disminuyen los índices críticos de los mismos, tanto en el suelo como en la planta (Smith y Guanazzi, 1998).

Por su parte, Martín *et al.*, (2012) indicaron que la utilización de los HMA en los cultivos no implica que se deje de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y se puede disminuir la dosis entre el 50 y 80 %. También se mencionan otros beneficios no menos importantes como el papel de los HMA sobre las poblaciones microbianas del suelo para mejorar el traslado del N entre las plantas micorrizadas, aspecto que fue demostrado mediante el N15 (Martín *et al.*, 2014).

El efecto de los HMA como reguladores de la absorción de metales pesados por la planta tales como Zn, Cu, Mn, Ni y Cd, en dependencia de su concentración y movilidad, lo que implica el enorme potencial que representa la utilización de los hongos micorrizógenos para la inoculación de plantas en suelos degradados y suelos ácidos con altos tenores de metales pesados y otras áreas de estrés (Bonfante y Genre, 2008; Bonfante y Requema, 2011).

En otro ensayo, se comprobó que en un suelo con 72 ppm de P en la capa arable y menos 0,1 ppm de P en el subsuelo, el incremento de las raíces debido a la micorrización fue mayor en el subsuelo, además los HMA aumentaron las concentraciones de P, K y Ca en las raíces (Martín *et al.*, 2012).

Genre *et al.*, (2005) determinaron el efecto de varios niveles de los HMA contenidos en la rizosfera con dos niveles de P (0 y 50 ppm) sobre la micorrización, el contenido de P, Zn, Cu y algunos componentes del rendimiento de la yuca. Porcentajes de colonización de raíces de 5 % o más al inicio es suficiente para que la planta alcance al final niveles por encima del 70%. Con o sin P, la ausencia de los HMA afecta drásticamente el rendimiento.

Sobre las ventajas de los HMA se ha señalado que los HMA incrementan el crecimiento de las plantas y los rendimientos agrícolas, los cuales oscilan por lo general entre 20 y 60 %; también aumentan el aprovechamiento de los fertilizantes y de los nutrientes del suelo, y por consiguiente, disminuyen los costos por concepto de aplicación de estos insumos, no degradan los suelos, contribuyendo a la regeneración de los mismos (Abdel-Fattah y Shabana, 2002; Abdel-Fattah *et al.*, 2011).

Se plantea que, de las cantidades de fertilizantes minerales aplicados, sólo se aprovecha alrededor del 50 %, alguna cita sin embargo, refiere que con la utilización de los HMA puede ser recuperado por la planta un porcentaje mayor. Mientras que un pelo radical puede poner a disposición de las raíces los nutrientes y el agua que se encuentra hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio extramátrico de los HMA pueden hacerlo hasta 80 mm, lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor (Abdel-Fattah y Shabana, 2002 Abdel-Fattah *et al.*, 2011).

Bolaños *et al.* (2000), en viveros, comprobó que cepas eficientes de HMA producen incrementos significativos en las extracciones de N y P por la planta, obteniendo índices de eficiencia (IE) de las extracciones entre 30 y 45 % en dependencia del tipo de suelo y su fertilidad. Por su parte, Fernández (1999), encontró que los incrementos obtenidos en la absorción fueron similares en los tres macro nutrientes (N, P y K), no indicando preferencia de los HMA por un elemento u otro.

La inoculación de las plantas con especies efectivas de HMA provoca un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes, ya sea por interceptación, flujo de masa o difusión. Los HMA juegan un papel vital en la toma de nutrientes presentes en los suelos. El mecanismo para incrementar la absorción vía HMA se desarrolla a partir de la capacidad de explorar un mayor volumen de sustrato y aumentar la capacidad absorbente de las raíces (interceptación) y por difusión, que es el transporte de nutrientes a lo largo de un gradiente de concentración (Bonfante y Requema, 2011).

Factores externos como la estacionalidad y el manejo influyen en la propagación de los HMA y pueden afectar las simbiosis en condiciones de campo. En varios trabajos realizados por diferentes autores se pudo comprobar la influencia del tipo de suelo sobre el funcionamiento micorrízico y la estacionalidad, pues en suelos con mal drenaje y alta retención de humedad, los mayores porcentajes de colonización se encuentran durante la estación seca, mientras que, en suelos con buen drenaje, los mayores porcentajes de colonización se encuentran en la estación lluviosa (Bonfante y Genre, 2008).

### **Efectividad micorrízica:**

Es la capacidad de un endófito de influir positivamente sobre el crecimiento de la planta, aumentar el número de propágulos o mejorar la transferencia de nutrientes. Es resultado de la interacción fisiológica entre los simbioses (Bolleta *et al.*, 2002).

Está determinada por el tipo de hongo micorrízico, la planta hospedante, la interfase simbiótica y el tipo específico de suelo o sustrato Fernández, (2003), su grado de fertilidad y disponibilidad de agua Bolleta *et al.* (2002). La principal forma de cuantificar la efectividad micorrízica es mediante la evaluación de la respuesta de la planta hospedante en su crecimiento (Tamayo *et al.*, 2015ab).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas existentes entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas superiores. Los hongos se benefician con el suministro de fuentes carbonadas provenientes de la planta y ésta se beneficia por la mayor exploración del suelo, lo que aumenta la capacidad de absorción de agua, nutrientes minerales y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Abdel-Fattah y Shabana, 2002; Abdel-Fattah *et al.*, 2011).

Es importante señalar estudios realizados con la biofertilización y caracterización de rizosfera de los cultivos, ya que la misma permite seleccionar las cepas más atraídas hacia los exudados del cultivo en estudio y por tanto, permite obtener un biofertilizante con actividad estimuladora del crecimiento vegetal (Fernández *et al.*, 2001).

#### - **Papel de las Micorrizas en ecosistemas naturales y agrícolas**

Contribuyen al almacenaje del carbono en el suelo al alterar positivamente la calidad y cantidad de la materia orgánica (Bonfante y Genre, 2008). Las asociaciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta sorprendente, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y donde el potencial de explotación de estos hongos es mucho mayor (Bustamante *et al.*, 2010).

Los hongos micorrizógenos provoca, de manera general, un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes en las plantas tales como: P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B, estas asociaciones son un factor de relevante importancia para el incremento de las posibilidades de esta en países tropicales. Los bajos niveles de P asimilable o la alta capacidad de fijación de este elemento en suelo.

- La alta velocidad de los procesos de fijación en suelo y sus respectivas pérdidas.
- La creciente dificultad de producir fertilizantes fosfóricos solubles, debido a la escasez de yacimientos, así como su alto costo de producción y precio público.

El hábito micótrofo arbuscular de la mayoría de los cultivos de interés económico en los trópicos

Por otra parte, el papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes es muy complejo, pudiendo ser resultado de varios posibles mecanismos planteados por (Bustamante *et al.*, 2010), como son:

- Aumento en la superficie de absorción radical y exploración del suelo (efecto físico).
- Aumento de la capacidad absorptiva de la raíz (efecto fisiológico).
- Modificaciones morfológicas y fisiológicas en las raíces micorrizadas en relación con las no micorrizadas.
- Absorción de nutrientes disponibles no accesibles a raíces no micorrizadas directamente a través las hifas o indirectamente a partir del favorecimiento del desarrollo de las raíces.
- Utilización de formas no disponibles para las raíces no micorrizadas a través de la solubilización y mineralización en el caso de las ectomicorrizas y de modificaciones en la dinámica del equilibrio de nutrientes entre la fase sólida y líquida del suelo, en el caso de los HMA.
- Almacenamiento temporal de nutrientes en la biomasa fúngica o en las raíces evitando su inmovilización química y biológica o su lixiviación.
- Establecimiento de microorganismos mineralizadores, solubilizadores de nutrientes y diazotróficos en la micorrizosfera.
- Amortización o amenización de los efectos adversos de pH, Al, Mn, metales pesados, salinidad, estrés hídrico y ataque de patógenos radicales, sobre la absorción de nutrientes.

- **Especificidad suelo – cepa:**

La respuesta positiva a la inoculación con HMA depende de tres factores: la especie inoculada, cantidad de propágulos micorrízicos presentes y el tipo de suelo y su fertilidad. Este último define cuáles son las especies eficientes para una condición edafoclimática, aunque la efectividad alcanzada por la inoculación depende del manejo dado a la planta y al suelo (Abdel-Fattah y Shabana, 2002; Abdel-Fattah *et al.*, 2011).

El suelo constituye un medio ideal para el desarrollo de la vida microbiana; las propiedades físicas y químicas en su conjunto, han creado las condiciones ecológicas que permiten incubar en su interior un elevado número de microorganismos con requerimientos nutricionales y propiedades fisiológicas muy diferentes (Riera, 2003; Genre *et al.*, 2005).

La investigación actual sobre la biota microbiana y fuentes de materia orgánica en agroecosistemas, va dirigida a descubrir cómo la producción y las transformaciones pueden ser mejor entendidas y manejadas a fin de sincronizar la liberación de nutrientes con la absorción de dichos elementos. Diversos ecólogos y agrónomos aseguran que las prácticas agrícolas que toman ventaja de la actividad microbiana del suelo son más eficientes que las prácticas convencionales desde el punto de vista de la utilización de la energía y de los nutrientes (Bonfante y Genre, 2008).

### **2.3 Aplicación de derivados de algas y sustancias húmicas**

Durante siglos las algas u otras plantas marinas fueron empleadas como abono en los campos de cultivo próximos a la costa, pero su recolección era un trabajo arduo y la llegada de los fertilizantes químicos sintéticos puso al alcance de los de los agricultores toda una serie de productos industriales, de fácil uso que, paulatinamente, fueron arrinconando a los tradicionales procedentes de la naturaleza (Rodríguez y Orellana, 2008; Spinelli *et al.*, 2009, 2010; Hebba *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2014).

Las algas pardas son las de mayor uso en el sector agrícola. Las más conocidas son *Ascophyllum nodosum*, *Fucus sp.*, *Ecklonia máxima*, *Laminaria sp.*, *Macrocystis pyrifera*, entre otras (Sunarpi *et al.*, 2010; Zermeño *et al.*, 2015).

Muchas de estas especies de algas marinas crecen a lo largo de la costa, por lo que su composición bioquímica depende de su localización y de las condiciones del lugar donde crecen. De esta manera, el contenido en principios activos variará entre cada especie y dentro de la misma especie en relación a la disponibilidad de nutrientes, luz, salinidad, profundidad, presencia de corrientes de agua dulce y, por supuesto, contaminación o contenido en metales pesados del agua (Zermeño *et al.*, 2015).

Dentro de las algas pardas, algunas de ellas crecen siempre sumergidas en agua, no emergen en los momentos de marea baja. Dentro de este tipo podemos encontrar algas

como *Ecklonia máxima*, *Laminaria digitata*, entre otras. Mientras que especies como *Fucus* sp. o *Ascophyllum nodosum* soportan períodos de inmersión y períodos donde quedan expuestas a la intemperie, siguiendo los ciclos de marea (cada 12 horas) (Norrie y Keathey, 2005; Gopinath *et al.*, 2008; Sabir *et al.*, 2014).

Esta condición de desarrollo ha supuesto un fenómeno de adaptación fisiológica con consecuencias particulares en la composición bioquímica de estas algas, dado que estas han tenido que desarrollar mecanismos de defensa frente a continuas situaciones de estrés térmico, salino e hídrico, confiriéndoles importantes propiedades para su aprovechamiento agrícola (Khan *et al.*, 2009; Shehata *et al.*, 2011).

*Ascophyllum nodosum* es un alga color marrón que crece en el hemisferio norte, en el Océano Atlántico y en algunos lugares del mar del Norte. *Ascophyllum nodosum* crece adherida a las rocas, flotando en la marea alta, gracias a unas vesículas que contienen aire. En mareas intermedias, estas vesículas permiten una disposición más extendida de la parte superior del alga, permitiendo captar más luz y optimizar el proceso de fotosíntesis. Su recolección como materia prima para procesos industriales se realiza en Noruega, Canadá, Bretaña francesa e Irlanda, principalmente (Subba *et al.*, 2007).

En algunas zonas de la Bretaña francesa y Noruega, dado que la recolección de *Ascophyllum nodosum* y otras algas es llevada a cabo mecánicamente, se favorece la destrucción del hábitat natural y la consecuente disminución de la población de estas algas, permitiendo la invasión de otras especies, disminuyendo el potencial de abastecimiento como materia prima en estas áreas (Selverajat *et al.*, 2004).

La necesidad de obtener cosechas rápidas y abundantes ha empujado a un abuso de abonos químicos y herbicidas y los porcentajes de materia orgánica, fundamentales para mantener la fertilidad del suelo, han disminuido considerablemente, sobre todo en zonas de cultivo intensivo (Sharma *et al.*, 2012).

En la actualidad, el sector agrícola está comenzando a replantearse las repercusiones del uso de los productos químicos de síntesis que, como en el caso de los nitratos, uno de los fertilizantes más comunes, contamina suelos y acuíferos, provocando graves problemas medioambientales y de salud. Por otro lado, existe una tendencia, cada vez más en boga, que busca ir sustituyendo el uso de los productos químicos de síntesis por los orgánicos,

que estimulen las actividades de los organismos beneficiosos para crear suelos vivos. Actualmente dentro de esta nueva generación de abonos naturales, uno de los productos 'redescubiertos' son las algas (Alam *et al.*, 2013, 2014).

Senn (1987) informa que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no sólo todos los macro y micronutrientes que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento. Dentro de los compuestos ya identificados en las algas se tienen agentes quelatantes como ácidos algínicos, fúlvicos y manitol así como vitaminas, cerca de 5000 enzimas y algunos compuestos biocidas que controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas (Xunzhong *et al.*, 2010).

Las algas marinas se aplican en la agricultura tal cual, en forma de harina, de extractos y de polvos solubles. Si los derivados son elaborados en la forma apropiada, los organismos vivos que contienen se conservan en estado viable y se propagan por un tiempo donde se aplican potenciando su acción, lo que hace posible la aplicación de dosis muy bajas (Urbanek *et al.*, 2012). Las algas marinas y sus derivados mejoran el suelo y vigorizan las plantas incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas (Laetitia *et al.*, 2012).

Las enzimas tienen la facultad de provocar y activar reacciones catalíticas reversibles a la temperatura del organismo vivo. Sus reacciones son específicas: de un elemento, de un ion, de un compuesto o de una reacción; para esto, la forma geométrica del "punto activo" de la enzima debe coincidir perfectamente con la geometría del "punto de reacción" de los compuestos que están en el sustrato para que la liga tome lugar, como la llave (sustrato) en una cerradura (enzima) (Sabir *et al.*, 2014).

Hay compuestos tóxicos, cuya forma geométrica del "punto de reacción" se acomoda perfectamente al "punto activo" de la enzima inhibiéndola, de tal manera, que no pueda realizar la liga con el sustrato. Estos compuestos se denominan inhibidores enzimáticos (Senn, 1987).

Al incinerar las algas, dejan un residuo de cenizas cinco o seis veces mayor que el que dejan las plantas; consecuentemente, tienen más metabolitos y, por lo tanto, más enzimas. Esta es la razón del por qué, al usar algas marinas y/o sus derivados en la

agricultura, se aporta un complejo enzimático extra diverso y cuantioso que efectúa cambios en las plantas (y en el suelo) que, sin ellos, no toman lugar. Además, las microalgas cianofitas que los extractos de algas conllevan, ya sea que se apliquen foliarmente o al suelo, fijan el nitrógeno del aire aún en las no leguminosas (Jaraya *et al.*, 2011).

Con las algas se obtienen plantas más sanas con mejor nutrición y más vigorosas. Al aplicar algas marinas o sus derivados al suelo, sus enzimas provocan o activan en él reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles que las enzimas de los seres vivos que en él habitan e inclusive las raíces no son capaces de hacer en forma notoria de tal manera que, al reaccionar con las arcillas silíceas o las arcillas de hidróxidos más arena, actúan del compuesto que se encuentra en mayor cantidad en favor del que se encuentra en menor proporción y tiende a llevarlo al equilibrio; o sea, al suelo franco ajustando también el pH (Sunarpi *et al.*, 2010).

También hidroliza enzimáticamente los compuestos no solubles del suelo, desmineralizándolo, desintoxicándolo y desalinizándolo. En los carbonatos libera el anhídrido carbónico formando poros, lo que sucede así mismo al coagular las arcillas silíceas, descompactándolo; todo, en forma paulatina, se logra así: el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo un medio propicio para que las plantas se desarrollen mejor (Spinelli *et al.*, 2010).

La materia orgánica varía el efecto que tiene sobre las plantas según su origen, ya sea vegetal o animal, y en el caso del aporte de estiércoles hay que indicar que, a pesar de que presentan un amplísimo rango en sus características físicas y su composición en función de la clase de ganado, de su manejo y alimentación, todos suelen ser muy ricos en materia orgánica y con buena parte del nitrógeno y fósforo en forma orgánica. Por lo que, muchas precauciones deben tenerse en su manejo y aplicación, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de sus nutrientes y reducir los riesgos de contaminación ambiental (Ribó 2004).

Por otro lado, la materia orgánica elaborada a partir de restos vegetales debe ser triturada antes de su aplicación para facilitar su descomposición por los microorganismos, y puede dejarse como acolchado o incorporarse a poca profundidad tras un ligero oreo. Si se trata

de materiales pobres en nitrógeno, como rastrojo de cereal o restos leñosos, es recomendable añadir conjuntamente algún residuo rico en nitrógeno para compensar esta deficiencia (Ribó 2004). En el caso de las fuentes utilizadas, el mayor contenido de materia orgánica corresponde al compost tradicional (23,24%) mientras que mayores niveles de nitrógeno se pueden observar en el guano vacuno (1,41%).

La importancia del estudio y del manejo de las sustancias húmicas y fúlvicas, radica en la gran influencia que tienen sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, tanto en forma directa como indirecta. Los efectos indirectos se refieren al papel de las sustancias húmicas en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y específicamente en los atributos físicos, químicos y biológicos del mismo (Almendros *et al.*, 2007).

Los efectos directos se relacionan con la absorción de las sustancias húmicas por las plantas cultivadas y los cambios que promueven en el metabolismo de las mismas, lo cual finalmente puede reflejarse en una mayor tolerancia de la planta al estrés ambiental y una mejor producción y calidad en las cosechas (Wershaw *et al.*, 2007; Almendros *et al.*, 2007).

Las sustancias húmicas en el suelo contribuyen a mejorar la actividad microbiana del mismo (bacterias, hongos y actinomicetos), lo cual resulta en mejores condiciones para el establecimiento de las raíces y consecuentemente de la planta. Asimismo incrementan la capacidad de retención de humedad, aumentan la capacidad de intercambio iónico, elevan la disponibilidad de micronutrientes por medio de la quelatación, contribuyen en la formación de la estructura granular, auxilian en la degradación o inactivación de sustancias tóxicas, mejora la capacidad amortiguadora del suelo en el pH en las sales, entre otros efectos (Almendros *et al.*, 2007).

Las sustancias húmicas pueden ser absorbidas por las plantas y semillas e intervenir en su metabolismo. Esto favorece la germinación de las semillas, el crecimiento radical, la absorción nutrimental. Los residuos orgánicos, vegetales y animales, manejados o depositados en diferentes ambientes, tales como suelo, compostas, biodigestores, turberas, pantanos, carbones, se ven sometidos a un proceso de transformación esencialmente microbiana (Wershaw *et al.*, 2007).

Este proceso consta fundamentalmente de dos vías, la mineralización y la humificación. La mineralización consiste en el paso de los nutrimentos de sus formas orgánicas a formas inorgánicas aprovechables por los cultivos. Un ejemplo de lo anterior es el nitrógeno, el cual puede estar en forma de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, etc., en los residuos orgánicos, compuestos que son consumidos por los microorganismos como fuente energética, liberando amonio como subproducto. La humificación es el conjunto de reacciones que conducen a la formación de sustancias húmicas (Wershaw *et al.*, 2007).

Los ácidos húmicos (AH) comprenden una serie de polímeros formados a partir de la unión aleatoria de compuestos orgánicos de diferente tamaño y peso molecular. Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las plantas (Ahmed y Shalaby, 2012).

Los ácidos húmicos tienen un origen complejo y una estructura macromolecular heterogénea dependiendo de los materiales originales (tipo de vegetación, biomasa microbiana...) y las condiciones ambientales en los diferentes tipos de suelo. Incluyen fracciones aromáticas y alifáticas y unas series de grupos funcionales (principalmente carboxilos y fenoles OH) en superficies con diferentes reactividades. En lo concerniente al análisis estructural de las sustancias húmicas, algunas metodologías consisten en la degradación química o térmica seguida por la identificación de los fragmentos por técnicas como la cromatografía de gases/espectrometría de masas (Guerra y Chacón, 2012).

Algunos fragmentos típicos liberados por sustancias húmicas por estos acercamientos son alcanos, ácidos grasos,  $\alpha,\omega$ -diácidos alcanóicos, OH-ácidos grasos, ácidos fenólicos, ácidos bencenocarboxílicos, compuestos furanos y algunas moléculas conteniendo N- y S-. En algunos casos, estas técnicas ofrecen un diagnóstico interesante de compuestos biomarcadores con un claro valor quimiotaxonómico (Almendros y Dorado, 2005).

Sin embargo, las técnicas de degradación química a menudo conducen a una pérdida selectiva de “bloques de construcción”, lábiles y específicos, así como producciones cuantitativas en polarización negativa de los diferentes constituyentes. Alternativamente, hay técnicas derivativas suaves que dejan grandes cantidades de residuo no-degradado,

pero los compuestos anteriores de la firma o biomarcador pueden ser preservados, ofreciendo pistas válidas en los precursores de ácidos húmicos (Rodríguez *et al.*, 2008).

La aparición de sustancias húmicas, en particular, no puede ser asumida a priori en todo tipo de enmiendas orgánicas derivadas de residuos orgánicos (estiércoles, residuos urbanos, residuos de cosecha), incluso tras un extenso compostaje. Estas sustancias de tipo húmico pueden ser similares en términos de composición y propiedades, pero se requieren una serie de técnicas de caracterización molecular para evaluar su “verdadero carácter húmico” (Martín *et al.*, 2014).

En general, las sustancias húmicas de enmiendas orgánicas compostadas difieren de las sustancias húmicas del suelo por su bajo contenido en grupos funcionales conteniendo oxígeno, de dominio alifático importante, baja intensidad de color (pobre aromaticidad, baja concentración de radicales libre estables), alta hidrolizabilidad (> 50 %) con la presencia de lípidos, proteínas y carbohidratos acompañándolas (Almendros y Dorado, 2005).

En el caso de las sustancias húmicas derivadas de los residuos lignocelulósicos el patrón de lignina es evidente, considerando que en las sustancias húmicas de residuos urbanos la firma alifática es característica, principalmente estructuras álcali (ácidos grasos, alcanos), (Martín *et al.*, 2014).

En general, la biodegradabilidad, esto es, la estabilidad frente a la acción microbiana o el ataque enzimático, es comparable a la susceptibilidad contra la degradación química y térmica en laboratorio, por lo que las técnicas destructivas tienen un interés adicional en pronosticar la estabilidad de la materia orgánica en los suelos, la resistencia del suelo y el funcionamiento de los procesos de secuestro de carbono del suelo (Gómez, 2000).

Las sustancias húmicas tienen enormes efectos en la fertilidad del suelo. Mejoran la actividad microbiana, con lo cual se incrementa la producción de sustancias que ayudan en la formación de la estructura del suelo o pertenecen a los reguladores del crecimiento de las plantas; incrementan la capacidad de retención de humedad (Martín *et al.*, 2014).

# MATERIALES Y MÉTODOS

### III.-MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación

El trabajo se desarrolló en el vivero de Santa Maria sobre un sustrato de suelo pardo sialítico mullido carbonatado con una proporción de materia orgánica 3:1. En el periodo de marzo de 2020 a septiembre de 2021. Las variables climáticas se muestran en la Tabla 1.

Insertar Mapa de Vivero de Santa Maria.

#### 3.2 Condiciones climáticas

**Tabla.1. Variables climáticas en el periodo experimental**

Variables climáticas	Meses en el período experimental						
	M	A	M	J	J	A	Medias
T. Máx Media °C	29,9	28,6	30,6	30,9	32,8	34,6	31,23
T. Min. Media °C	19,0	18,0	20,6	18,6	20,7	22,6	19,92
Humedad %	69,1	67,7	72,2	73,1	85,3	72,2	73,27

### 3.3. Metodología empleada

Se utilizaron semillas de *Cedrela odorata* cedidas por el proyecto de fitomejoramiento participativo de especies forestales del Instituto Forestal, las mismas fueron peletizadas una hora antes de la siembra con agua destilada y las micorrizas, según los criterios de Rivera y Fernandez (2003). El acondicionador de suelos CTA- Humus® se asperjó en la parte superior del sustrato en el momento de la siembra según las dosis estipuladas por el proveedor.

### 3.4 Tratamientos

T1- (Testigo absoluto producción)

T2- Aplicación de *Glomus cubense*

T3 – Aplicación de CTA- Humus®

T4 – Aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense*

### 3.5 Variables evaluadas

**Variables de crecimiento:** Estas fueron evaluadas a los 45 y 60 días posteriores al trasplante.

- Altura de las plantas (cm.): Estas fueron medidas con una regla graduada, midiendo desde ras de tierra hasta el ápice.
- Número de hojas (U): se contaron las hojas emitidas por las plantas en los diferentes momentos de medición.
- Diámetro del pseudotallo (mm): se midió con un pie de rey a la altura de 1 cm del suelo.
- Masa fresca total (g): se pesaron 20 submuestras de plántulas por tratamientos.
- Masa seca total (g): se pesaron 20 submuestras de plántulas por tratamientos secadas a 70° C por espacio de una semana.
- Con los datos anteriores se estimaron el índice de esbeltez: El índice de esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura en cm entre el diámetro del tallo en mm, mediante la formula.  $Ie = H/dn$

### **3.6 Diseño experimental y Análisis estadístico**

Los resultados experimentales fueron sometidos a Análisis de Varianza según el diseño empleado de bloque al azar con cuatro tratamientos y cinco réplicas por tratamiento. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, las comparaciones de medias se realizaron según el test de rangos múltiples de Duncan para el 5% de probabilidad de error (Duncan, 1955). Para el análisis estadístico fue utilizado el paquete STATGRAPHICS Versión 5.1

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de la altura de las plantas.

En la respuesta altura de las plantas (Tabla 2), se encontró diferencias significativas entre tratamientos, los tratamientos estimulados son superiores a partir de los 120 días con relación al testigo, observándose que el tratamiento (4) que se corresponde con la aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* ofreció una mejor respuesta para esta variable de crecimiento, en los diferentes momentos de medición.

**Tabla 2. Efecto de los tratamientos evaluados en la variable altura**

Tratamientos	Altura (cm)		
	120 días	150 días	180 días
	Media ± EEx	Media ± EEx	Media ± EEx
(T1) (Testigo absoluto producción)	36,8 ± 1,436b	45,8 ± 1,436b	61,2 ± 1,857d
(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i>	36,3 ± 2,682b	48,3 ± 2,682b	69,5 ± 1,955c
(T3) Aplicación de CTA- Humus®	40,1 ± 2,084a	55,1 ± 2,084a	75,3 ± 1,304b
(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i>	41,4 ± 1,869a	56,4 ± 1,869a	80,6 ± 1,576a

**Medias seguidas de letras desiguales difieren significativamente de ( $p < 0.05$ )**

En vivero, la morfología y el estado nutrimental de las plántulas de *C. odorata* se mejoran con el uso de microorganismos y bioproductos. A partir de ello, es probable, así como lo demuestra Orikiriza *et al.* (2009) que cuando hubo un buen crecimiento radical, las plántulas presentaron una mayor capacidad de absorción de agua, nutrientes y oxígeno, favoreciéndoles tanto un buen crecimiento de sus demás estructuras, como un adecuado estado nutrimental.

Esta hipótesis es sustentada por estudios cuyo contexto es similar al del presente trabajo. Por ejemplo, Annapurna *et al.* (2004), Ferraz y Engel (2011), Lisboa *et al.*, (2012) y Abreu *et al.* (2014) registraron un mejor crecimiento y más formación de biomasa aérea y radical en plántulas de diversas especies forestales que se producen en vivero. Asimismo, la

incorporación de bioproductos al sustrato muestra un efecto benéfico sobre el crecimiento y formación de biomasa de plántulas de otros taxa en estudios desarrollados por Oriquiriza *et al.* (2009), Maldonado *et al.* (2011), Chirino *et al.* (2011), Bernardi *et al.* (2012) y Navroski *et al.* (2015).

Los estudios de inoculación a *C. odorata* con HMA son escasos (Zulueta *et al.*, 2000; Chable, 2007; Amador, 2010) y se han enfocado a utilizar cepas comerciales. Aunque se ha documentado la importancia de los HMA nativos en la producción de planta en vivero (Trejo *et al.*, 2011).

Lozano *et al.*, (2015) enunciaron que el fenómeno de micorrización fue más efectivo donde las plantas se desarrollaron en condiciones de más baja disponibilidad de nutrientes, relación estudiada (suelo: abono orgánico 7:1), donde existió una mayor ganancia neta para las plantas con esta asociación. El hongo utilizó los productos del metabolismo de la planta para realizar sus funciones y a su vez le retribuyó a esta con el incremento en la absorción y traslocación de nutrientes, aportados por el estiércol, para realizar sus funciones vitales.

La aplicación de productos biológicos permite que la planta logre ser más tolerante a los factores de estrés, sequía, desequilibrios en el pH, altos contenidos de sales, exceso de viento, entre otros. Estos mismos autores plantean que las plantas realizan mayor transpiración por sus hojas, porque pierden y ganan agua, según su tamaño (grande, pequeña o mediana), en relación con la capacidad de absorber a través del sistema radical.

Lo anterior confirma lo alcanzado por algunos autores Pérez *et al.* (2011) quienes informaron buena efectividad cuando utilizaron la cepa *Glomus mosseae* y *Glomus intraradices* en suelos con características similares al utilizado en el experimento, en las especies forestales *Albizia cubana* (Bacona) y *Swietenia macrophylla* (caoba de honduras). Estos autores interpretan sus resultados con el argumento de que el hongo incrementa la toma de fósforo mediante las hifas extraradicales, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de nutrientes.

Este resultado puede estar dado por la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo lo que sugiere los aportes de nutrientes derivados de la mayor dosis de abono orgánico (5:1), para garantizar los requerimientos nutrimentales de las posturas, donde el hongo utiliza los productos del metabolismo de la planta para realizar sus funciones y, a su vez, le retribuyó a esta con el incremento en la absorción y traslocación de nutrientes, necesarios para realizar sus funciones vitales (Rivera y Ferández, 2003).

Dentro de la información científica relacionada con el efecto de los hongos MA sobre el crecimiento de diferentes cultivos de importancia económica se encuentra, entre otros, el trabajo realizado por Llonín y Medina, (2002) quienes confirmaron el efecto beneficioso de los HMA al observar que resultaba factible la sustitución de la fertilización nitrogenada establecida para el cultivo en más de un 80 % mediante la inoculación con la especie *Glomus mosseae* en semilleros.

En otras investigaciones sobre distintos suelos cubanos, dirigidas a conocer el efecto de la inoculación con diferentes cepas de HMA sobre el desarrollo de plántulas de ocho variedades de tomate, donde luego de realizada la fertilización mineral, se evidenció una marcada estimulación del crecimiento, que se manifestó en incrementos entre 30 y 100 % para la altura de las plantas y el diámetro del tallo, entre 20 y 50 % para el número de hojas y entre 35 y 50 % para la masa seca; el tiempo necesario para el trasplante se acortó entre 7 y 10 días, con el consiguiente ahorro de agua, plaguicidas y mano de obra (Pérez-Luna *et al.*, 2012).

Esto está dado, porque las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas existentes entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas superiores. Donde los hongos se benefician con el suministro de fuentes carbonatadas provenientes de la planta y esta se beneficia por mayor exploración del suelo, lo que aumenta la capacidad de absorción de agua, nutrientes minerales y el crecimiento y desarrollo de la planta (Bustamante *et al.*, 2010).

El “cedro” es considerado una especie generalista (Cintrón 1990), y es común encontrarlo en suelos ácidos derivados de roca (Ultisoles). Paniagua (2004) citado por Ramírez (2014) en un ensayo de vivero con plántulas de *Cedrela odorata*, utilizó como sustrato suelo ácido al que adicionó diferentes cantidades de  $\text{CaCO}_3$ , como resultado de la adición de cal, el

pH aumentó de 4,4 a 5,1 el cual tuvo un efecto positivo y significativo en el incremento de la altura, diámetro y biomasa aérea de dichas plántulas.

#### 4.2 Análisis del diámetro del tallo de las plantas

En la siguiente Tabla (3) se encontró diferencias significativas entre tratamientos, los tratamientos estimulados son superiores con relación al testigo en comparación con el testigo, observándose que el tratamiento (4) que se corresponde con la aplicación de CTA-Humus® + *Glomus cubense* ofreció una mejor respuesta para esta variable de crecimiento, en los dos momentos de medición.

**Tabla 3. Efecto de los tratamientos evaluados en la variable diámetro del tallo**

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)		
	120 días	150 días	180 días
	Media ± EEx	Media ± EEx	Media ± EEx
(T1) (Testigo absoluto producción)	20,5 ± 1,195c	25,4 ± 1,550c	31,2 ± 0,807d
(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i>	19,9 ± 0,065c	24,7 ± 0,378c	35,5 ± 0,905c
(T3) Aplicación de CTA- Humus®	25,5 ± 0,306b	30,0 ± 0,894b	41,3 ± 0,004b
(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i>	29,9 ± 0,243a	35,6 ± 0,781a	45,6 ± 0,506a

**Media seguida de letras desiguales difieren significativamente de ( $p < 0.05$ )**

De acuerdo a Birchler *et al.* (1998) el diámetro nos da una aproximación de la sección transversal del transporte de agua, y está correlacionado con la sobrevivencia en campo.

El contenido de sales en la solución del suelo (potencial hídrico) debe mantenerse por debajo de los límites de estrés de la planta, para así obtener un óptimo crecimiento y desarrollo de la planta (Birchler *et al.* 1998).

El estudio de los caracteres morfológicos y morfométricos a través de métodos exploratorios ha sido de gran utilidad para la caracterización de gran variedad de especies de plantas (Albert *et al.* 1991, 2002, Henderson 2006, Mondragón *et al.* 2007, Sánchez-Urdaneta *et al.* 2008).

De igual forma Starck y Lukaszuk (1991) informaron en investigaciones de producción de plántulas que con altas dosis de fertilizantes es posible incluir aserrín crudo hasta en un 75%, y que con esta mezcla se obtienen los más grandes tallos y diámetros de especies ornamentales. Pudelski (1983) encontró que la mezcla de aserrín crudo y turba en volumen de 75 y 25% respectivamente, sin olvidar que se deben realizar los ajustes correspondientes con la aplicación de nutrientes.

Las micorrizas con su acción, facilitan la interacción suelo-planta, por lo que propicia el desarrollo de la rizosfera, la cual elabora hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal (Tamayo *et al.*, 2014; 2015ab). Abdel-Fattah y Shabana, (2002) argumentaron que la exudación es una estrategia de las plantas que estimula la actividad de los microorganismos del suelo provechosos para las mismas; a su vez los microorganismos mejoran el estado nutricional de las plantas, pueden ser capaces de modificar los exudados que estas producen para favorecer y seleccionar a las bacterias que más contribuyan a su desarrollo. Siguiendo estos mismos criterios, informan resultados similares (Bonfante y Requema, 2011).

La alteración de ecosistemas debido a la deforestación sigue en muchas ocasiones un proceso de erosión muy acelerado, lo que ocasiona una baja productividad, menor calidad y cantidad de agua, así como una alteración en la diversidad biológica microbiana (Kennedy y Smith, 1995). Cierta microbiota interactúa simbióticamente con la mayoría de las plantas, siendo operada por un consorcio o grupo de microorganismos capaces de transportar y suministrar los nutrimentos necesarios al interior de sus raíces (Fitter y Garbaye, 1994; Bonfante y Anca, 2009).

Una de las interacciones mutualistas más sobresalientes en la naturaleza, la forman los hongos micorrízicos arbúsculares (HMA) con las plantas, dada su capacidad de: 1) facilitar la transferencia de fósforo y otros elementos importantes para el desarrollo celular (Dever *et al.*, 2001; Cuenca *et al.*, 2007); 2) contribuir a la formación de la estructura del suelo (Piotrowski *et al.*, 2004); 3) permitir una mayor tolerancia a periodos prolongados de estrés por sequía (Sieverding y Toro, 1998); 4) actuar como antagonistas contra patógenos del suelo (Baath y Hayman, 1983); 5) mantener la diversidad de plantas en los diferentes

ecosistemas terrestres (Lovelock *et al.*, 2003). Por las características anteriormente citadas, se considera a esta asociación parte primordial en los procesos de restauración en zonas altamente degradadas (White *et al.*, 2008), como sucede en las selvas tropicales de México (Mas *et al.*, 2003).

De forma similar, Reyes, (2013), Tamayo *et al.*, (2015a), plantearon que la mayor o menor eficiencia en la asociación entre una bacteria y una especie vegetal determinada depende de varios factores, entre los que se destacan la propia especie de planta, sus condiciones de crecimiento o estado fisiológico y las condiciones ambientales como temperatura, radiación solar, contenido de nutrientes en el suelo, todo lo cual trae como consecuencia que se puede modificar la producción de exudados radicales y, por tanto, haber más influencia sobre una especie microbiana dada que sobre otra.

Según Tamayo *et al.*, (2014) el efecto más evidente de los HMA está en su papel sobre la nutrición de las plantas, representado en los efectos sobre el crecimiento y la producción de las plantas. Numerosos eventos del ciclo de vida de las plantas se ven favorecidos con el establecimiento de la simbiosis con hongos micorrizógenos; favoreciendo el crecimiento, la reproducción y la tolerancia a la sequía y la resistencia a patógenos (Tamayo *et al.*, 2015ab), pero todos están influenciados de forma directa o indirecta con la nutrición de la planta.

Los estudios realizados por Llonín y Medina, (2002) revelaron que la aplicación de las diferentes relaciones de nutrientes produjo en las plantas respuestas superiores a las obtenidas en el testigo sin fertilizar, encontrando los valores más altos con la adición de NPK, que aventajó significativamente al resto de los tratamientos. Se conoce que plantas con deficiencias de estos elementos producen brotes enanos, delgados y rígidos, por lo que, para la obtención de plántulas de calidad, es necesaria la aplicación de niveles apropiados de nutrientes minerales.

### 4.3 Análisis de la variable: Número de hojas

Al analizar la variable número de hojas se puede apreciar, que hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 4) se encontró que los tratamientos estimulados son superiores con relación al testigo, y se aprecia que el tratamiento (4) que se corresponde con la aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* ofreció una mejor respuesta para esta variable de crecimiento a partir de los 180 días. Es un resultado lógico si se entiende que el efecto del estimulante y las micorrizas han favorecido la emisión de hojas en esta fase de crecimiento.

**Tabla 4. Efecto de los distintos tratamientos en el número de hojas. Falta revisar.**

Tratamientos	Número de hojas (U)		
	120 días	150 días	180 días
	Media ± EEx	Media ± EEx	Media ± EEx
(T1) (Testigo absoluto producción)	12,4 ± 0,024b	21,9 ± 0,613c	41,2 ± 0,244d
(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i>	13,9 ± 0,70b	28,2 ± 0,442b	49,5 ± 0,102c
(T3) Aplicación de CTA- Humus®	19,5 ± 0,826a	30,2 ± 0,112b	55,3 ± 0,044b
(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i>	19,8 ± 0,225a	39,7 ± 0,213a	56,6 ± 0,321a

**Media seguida de letras desiguales difieren significativamente de ( $p < 0,05$ )**

Se destaca un efecto positivo de la aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* en el número de hojas, *Cedrela odorata*; Webb *et al.* (2000) citado por Ramírez (2014) encontraron que la respuesta frente a la fertilización, especialmente con nitrógeno, está relacionado al aumento en tejido foliar de plantas de esta especie. Asimismo, Benito y Chiesa (2000) citados por Ramírez (2015), indican que el nitrógeno ocasiona incrementos en el área foliar, el cual repercute en un mayor número y tamaño de las hojas.

En cultivos perennes como el cacao (Aguirre-Medina *et al.*, 2007) y café (Aguirre-Medina *et al.*, 2011) se ha registrado mayor desarrollo vegetal con la inoculación de

microorganismos. Este hecho sugiere que el incremento en el desarrollo de la planta hospedera, puede deberse a una mayor capacidad de absorción de nutrientes.

En ensayos realizados por Aguirre-Medina *et al.*, (2014) la simbiosis doble (*R. intraradices* y *A. brasilense*) sin fertilizante químico produjo nueve hojas más que el testigo. En el caso de los hongos micorrízicos, la actividad fotosintética se incrementa después de la colonización (Sylvia, 2005).

En todos los casos, los tratamientos propuestos por Aguirre-Medina *et al.*, (2014), con los microorganismos solos o combinados indujeron mayor crecimiento en el cedro en comparación con el testigo. Posiblemente, el crecimiento se produjo por el aumento en la capacidad de absorción de las plantas micorrizadas (Leigh, Hodge, & Fitter, 2009) y la mineralización y solubilización de nutrientes (Wright, Scholes, Read, & Rolfe, 2005), o bien, por el mayor crecimiento radical promovido por *A. brasilense* (Hungría, Campo, Souza, & Pedresa, 2004).

Según Aguirre-Medina *et al.*, (2014), las diferencias pueden estar influenciadas por la fase de colonización de los microorganismos en la raíz, sobre todo en el primer muestreo, que corresponde a la fase de establecimiento de la simbiosis. La simbiosis micorrízica genera un sistema radical complementario que favorece el aporte de nutrientes y agua a la planta y, con ello, cambios en su fisiología (Barea, Azcón y Azcón-Aguilar, 2002) que pudieron inducir las diferencias en el desarrollo de las estructuras de la planta.

Estas prácticas agrícolas han mostrado en su empleo por separado beneficios a diversos cultivos agrícolas y han sido recomendados por diversos investigadores como soluciones paliativas a necesidades nutricionales de las plantas y se percibe a través de este estudio que su uso de manera conjunta trae consigo indiscutibles ventajas en el desarrollo agrícola (Fundora *et al.*, 2011).

Este comportamiento pudo deberse a que los exudados radicales aceleraron los procesos microbianos, con el aumento de las cantidades de nutrientes disponibles que pueden ser asimilados por las plantas o la intensificación de los procesos fisiológicos que influyen en el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Vallejo-Quintero, 2013).

El número de hojas es una variable de consideración cuando se evalúa la fertilización foliar o se realizan aplicaciones foliares de hormonas, estimulantes y otros. Esto está dado porque en la superficie epidérmica foliar presenta un gran número de poros microscópicos llamados estomas. La apertura de dichos poros se controla a través de los cambios en el tamaño y la forma de dos células especializadas, llamadas células oclusivas, que flanquean la apertura estomática y poseen una estructura característica que les permite regular la apertura del poro estomático (Gamper *et al.*, 2017).

Estas estructuras que conocemos se encuentran en todas las partes aéreas de la planta, pero son más abundantes en las hojas, dado que la epidermis y la cutícula de los órganos aéreos forman una capa continua y los estomas son las discontinuidades por donde la planta realiza la mayor parte del intercambio de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, vapor de agua y otros gases. La actividad estomática es una de las estrategias a través de las cuales las plantas regulan la pérdida de agua y la ganancia de carbono, ya que los estomas responden rápidamente a los cambios ambientales (Sanchez *et al.*, 2013).

La funcionalidad de los microorganismos en los sistemas agrícolas se expresa de acuerdo a una serie de factores bióticos, tales como la competencia con otros microorganismos, la composición biológica del suelo y el reconocimiento planta-microorganismo inducido por la liberación de exudados radicales, tales como flavonoides, que permiten y estimulan la germinación de esporas y el crecimiento y ramificación de hifas, lo cual puede de alguna manera controlar la preferencia planta-hongo (Azcón- Aguilar y Barea, 2000).

Relacionado con lo anterior se han obtenido resultados significativos sobre diferentes parámetros morfológicos en las especies teca, amarillón, melina y ronrón con aplicación de micorriza del género *Glomus*, evidenciando una mayor absorción de nutrientes, que le permite a la planta mayor eficiencia fisiológica (González *et al.*, 2007).

La micorriza en el medio forestal, les ofrece a sus clientes un producto de alta calidad, a través de especies forestales en localidades de alta fragilidad, con alto por ciento de supervivencia, aumento del número total de raíces y mayor vigorosidad de la parte aérea (González *et al.*, 2007; Lozano *et al.*, 2015).

Los HMA forman diferentes fuentes de inóculo que son indispensables para formar la nueva asociación micorrízica; estas fuentes pueden ser: esporas, hifas extraradicales y raíces colonizadas por hifas, vesículas y arbusculos; sin embargo, no todos los hongos tienen la misma capacidad de formar estas asociaciones con las estructuras antes mencionadas (Klironomos y Hart, 2002). Esta característica se corroboró con los resultados de esta investigación, demostrando que ambas fuentes pueden tener diferente potencial para la producción de plántulas en vivero.

Generalmente, el uso más común que se le ha dado a estas fuentes de inóculo, ha sido para la propagación de especies micorrízicas en cultivos trampa (Bellgard, 1992). Básicamente, estas fuentes pueden ser útiles para replicar cepas nativas con alto potencial y que posteriormente pueden ser utilizadas en la producción de plántulas con fines de restauración o de plantación comercial.

En síntesis y de acuerdo con otros autores, una deficiencia de nutrientes puede provocar una caída en los rendimientos por su efecto sobre la formación del área foliar y, por lo tanto sobre la cantidad de radiación capturada, y también por su efecto sobre la eficiencia de conversión de esta radiación en materia seca. La suma de estos efectos provoca un menor crecimiento (Morales *et al.*, 2011).

Aumentan la capacidad de intercambio iónico; elevan la disponibilidad de micronutrientes por medio de la quelatación; contribuyen en la formación de la estructura granular y consecuentemente en la aireación y drenaje de los terrenos auxilian en la degradación o inactivación de sustancias tóxicas como los metales pesados y pesticidas; mejora la capacidad amortiguadora del suelo, de tal manera que modulan el pH y pueden disminuir el nivel de salinidad o cantidad de sales disueltas (Cordova, 2010).

Los fertilizantes líquidos elaborados con extracto de humus de tierra aportan ácidos húmicos y fúlvicos, microorganismos vivos propios para la nitrificación y solubilización de minerales quelatados en el suelo (Almendros y Dorado, 2005).

Aplicado al suelo o a la planta actúa como racionalizante de fertilización ya que hace asimilables en todo su espectro a los macro y micro nutrientes, evitando la concentración de sales. Crea además un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos, bacterias, hongos, etc; que impiden el desarrollo de patógenos, reduciendo sensiblemente

el riesgo en el desarrollo de enfermedades. Además, estimula la humificación propia del suelo ya que incorpora y descompone los residuos vegetales presentes en el suelo (Salinas *et al.* (2014).

En un ensayo en macetas de fertilización foliar con sustancias húmicas en maíz llevada a cabo por Salinas *et al.* (2014), se encontraron efectos benéficos de la pulverización de extracto de sustancias húmicas sobre el cultivo de maíz.

Por lo antes descrito puede decirse que el lixiviado de humus incrementa la biomasa de microorganismos presentes en el suelo, estimula un mayor desarrollo radicular, incrementa la producción de clorofila en las plantas, aumenta la producción en los cultivos, disminuye la actividad de chupadores como áfidos, actúa como potenciador de la actividad de muchos pesticidas y fertilizantes del mercado. Su aplicación disminuye la contaminación de químicos (Almendros y Dorado, 2005).

Los ácidos húmicos y fúlvicos son portadores de fertilizantes foliares excelentes. La aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos en combinación con elementos y nutrientes de plantas, tal como las pulverizaciones foliares, pueden mejorar el crecimiento del follaje de las plantas, raíces y frutas. Al incrementar los procesos de crecimiento en las hojas e incrementar el contenido de los carbohidratos (Salinas *et al.*, 2014).

### 4.3 Análisis de la variable Masa fresca total

En el estudio de la respuesta agronómica del cultivo se puede observar que al analizar la variable Masa fresca total, (Tabla 5), se encontró que los tratamientos estimulados son superiores con relación al testigo, y se aprecia que el tratamiento (4) que se corresponde con la aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* ofreció una mejor respuesta para esta variable de crecimiento, en los dos momentos de medición. Y se evidencia que las plantas que fueron beneficiadas con la combinación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* mostraron mayor masa.

**Tabla 5. Efecto de los tratamientos evaluados para la variable: Masa fresca total en el momento del trasplante (180 días).**

Masa fresca total (g)				
Momento del trasplante	Plántulas de <i>Cedrela odorata</i>			
	(T1) (Testigo absoluto producción)	(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i>	(T3) Aplicación de CTA- Humus®	(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i>
	Media	Media	Media	Media
	691,33c	747,25b	840,95b	858, 32a
<b>EEx</b>	2, 982			

*Media seguida de letras desiguales difieren significativamente de ( $p < 0.05$ )*

Se infiere que la aplicación del estimulante, reflejó los mejores valores, mostrando veracidad en el aumento de estas variables, dando una clara expresión de la diferencia que existe en el desarrollo vegetal de este cultivo bajo la incidencia de este producto. La aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* en momentos de elevada exigencia de producción o en momentos de estrés permite el refuerzo de la zona radicular necesario para la recuperación y reactivación de los cultivos.

Un nivel adecuado de nitrógeno como el que proporciona el CTA-Humus® ayuda a promover el desarrollo de tejidos robustos y lignificados, así como la elongación tallo y

crecimiento suculento de la parte aérea en etapas tempranas y de crecimiento rápido (Landis *et al.* 1989). Por el contrario, altos niveles de nitrógeno en el sustrato conllevan a un desbalance entre la parte aérea y la parte radicular, y de esta manera se produce una acumulación de este elemento en el tejido foliar (Ramírez, 2015).

Aparte de la inversión de biomasa en hojas, la morfología de las hojas es un factor importante en la intercepción de luz. Dos especies: (*Swietenia* y *Cedrela*) tuvieron un Área Foliar Específica elevada en la sombra, captando así con la misma biomasa foliar una mayor cantidad de luz. *Bertholletia* tuvo una AFE baja en el tratamiento con poca agua (cf. Burslem *et al.* 1996). Una reducción en el AFE resulta en una tasa de fotosíntesis más elevada por unidad de área, y por lo tanto, en un uso de agua más eficiente en condiciones de sequía (Van den Boogaard *et al.* 1995).

En otros estudios, la inoculación con hongos micorrizicos incrementó el contenido de N en el tejido vegetal de *A. graveolens* Jacq., *T. grandis*, *T. amazónica* (J. F. Gmel.) Excell, *G. arborea* (Hernández y Salas, 2009) y *C. arabica* (Aguirre-Medina *et al.*, 2011). El contenido de P incrementó en los tratamientos con *R. intraradices* y fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) al testigo y al tratamiento fertilizado químicamente.

Uno de los principales beneficios que las plantas reciben en simbiosis con los hongos micorrizicos es la aportación de P. Muchos estudios han demostrado que las plantas micorrizadas absorben P del suelo de manera más eficiente que las plantas no colonizadas (Aguirre-Medina y Kohashi-Shibata, 2002).

Se han obtenido resultados semejantes en el incremento de absorción de P en plantas de *C. arabica* y *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze inoculadas con *G. intraradices* y *R. intraradices*, respectivamente (Aguirre-Medina *et al.*, 2011; Moreira-Souza & Cardoso, 2002). De acuerdo con los resultados obtenidos, los microorganismos pueden facilitar el transporte de N y P en las plantas de cedro; cabe mencionar que es posible establecer que *R. intraradices* beneficia la reducción del uso de fertilizantes fosfatados en los viveros.

Se debe destacar que las plantas no solamente responden en su crecimiento, sino también en su morfología, a las diferentes condiciones de luz o agua. El comportamiento

de las plantas y la inversión que realizan en sus diferentes partes refleja las condiciones medio ambientales. Normalmente, la planta va a invertir más biomasa en el órgano de la planta que sea responsable de captar el recurso que está limitando su crecimiento (Poorter y Nagel 2000).

En condiciones con alta radiación y escasez de agua, uno espera que las plantas inviertan más biomasa en sus raíces, para captar agua y compensar de esta manera su alta transpiración. Sin embargo, en estudios realizados comparando el género *Cedrela* y *Swietenia* fue la única especie que invirtió una mayor proporción de su biomasa en raíces en alta luz, mientras que agua no tuvo ningún efecto en la PPR.

Aunque en general se encuentra que la disponibilidad de agua tiene un efecto en la PPR (Kolb *et al.* 1990, Burslem *et al.* 1996, Poorter y Nagel 2000), hay también excepciones (Wang *et al.* 1998). En condiciones de poca luz, uno puede esperar que las plantas inviertan más biomasa en sus hojas para captar una mayor cantidad de luz (Osunkoya *et al.* 1994, Poorter 1999, Zuidema *et al.* 1999).

Al analizar los resultados obtenidos con la masa fresca se debe considerar la importancia del agua en las plantas. El agua es la sustancia más abundante en los tejidos vegetales. Sin embargo, las partes aéreas de las plantas presentan una mala economía de la misma, ya que del total de agua que absorben por la raíz (100 %) retienen una pequeña porción, que la emplean fundamentalmente en la fotosíntesis (1-2 %) y pierden en forma de vapor por la transpiración entre el 98-99 % del total. La cutícula cubre las células epidérmicas, formando un límite entre la planta y su ambiente exterior; representa una barrera primaria, que minimiza la pérdida de agua y de solutos y, protege la planta contra el estrés biótico y abiótico.

Similar a este resultado Jeong, (1996), encontró un incremento en las masas fresca y seca en plántulas de *Mentha rotundifolia* cuando fueron expuestas a prolongadas etapas de fotoperíodo e intensidad lumínica en condiciones in vitro; estas plántulas alcanzaron mayores niveles fotosintéticos y lograron altos porcentajes de supervivencia cuando fueron trasladadas a condiciones de aclimatización.

Aguirre-Medina *et al.*, (2014), indicó que la falta de interacción entre los tratamientos puede estar relacionada con la demanda de fotosintatos por los microorganismos en la etapa inicial de su establecimiento. En esta etapa, la disponibilidad de carbohidratos hacia el vástago disminuye, dado que la mayoría de los compuestos son requeridos por la raíz (Roveda & Polo, 2007).

Wright *et al.* (2005) reportaron concentraciones mayores de carbohidratos solubles en las raíces micorrizadas de maíz. Después del periodo de establecimiento, normalmente, inicia el mecanismo de transporte de nutrientes a la planta y el concomitante incremento en biomasa. Resultados semejantes se encontraron en plantas de *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y *Prosopis glandulosa* Torr. inoculadas con *G. intraradices* FS-18 (Hernández-Martínez, Cetina-Alcalá, González-Chávez, & Cervantes-Martínez, 2006).

El peso fresco de las hojas fue contrastante por efecto de los microorganismos de los 112 a los 140 ddt según Aguirre-Medina *et al.*, (2014), pero la mayor influencia se presentó al final de la evaluación con *R. intraradices*. El área foliar presentó similitud con la biomasa fresca de la hoja, en general, la respuesta a la inoculación de los microorganismos a través del tiempo presentó diferencias estadísticas desde los 28 ddt; este efecto fue semejante hasta los 112 ddt.

Al final del estudio realizado por Aguirre-Medina *et al.*, (2014), la mayor área foliar del cedro se presentó con *R. intraradices*. Los beneficios de la simbiosis micorrízica sobre la inducción de mayor área foliar en la planta huésped se han encontrado en otras especies como *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (Pereira, Sánchez, Ríos, & Miguel, 2001) y *C. arabica* (Aguirre-Medina *et al.*, 2011). Los resultados anteriores indican que la acumulación de materia seca en los órganos de la planta de *C. odorata* varía según el microorganismo aplicado y que su efecto también es diferencial a través del tiempo.

Similares resultados fueron alcanzados en *Gerbera jasmenioni* Van Huylbroec *et al.* (1995) y también en *Spathiphyllum* donde se encontró un incremento en los niveles de almidón, fructosas y glucosa, así como en la actividad enzimática de las invertasas ácidas en los primeros días de permanencia de las plántulas.

Cuando aparecen las nuevas raíces y hojas en las plántulas, no se observan incrementos de estos compuestos, lo que indica que existe una movilización de dichos compuestos durante esta etapa y comienza a declinar la actividad enzimática, según transcurre el tiempo de permanencia de las plántulas en la fase de aclimatización se pueden observar algunas variables de crecimiento y desarrollo de las plántulas evaluadas durante la aclimatización. Estos carbohidratos son transportados por el tallo hasta las raíces en donde son en parte liberados de la raíz para proveer nutrientes a varios microorganismos del suelo y la rizosfera. Los microorganismos entonces liberan ácidos y otros compuestos orgánicos los cuales incrementan la disponibilidad de nutrientes para la planta (Pettit, 2007).

Otros microorganismos liberan compuestos como las hormonas los cuales son tomados por las raíces de la planta. La concentración requerida de ácidos húmicos y fúlvicos en la pulverización son relativamente bajos, generalmente de menos de 50 mg de sustancias húmicas concentrada por litro de agua (Hernández *et al.*, 2008).

Diferentes procesos simultáneos e interrelacionados están envueltos en el secuestro de C: preservación selectiva de biomasa, alteración diagenética de biomacromoléculas y humificación por neoformación en sensu stricto (microbiana, enzimática o abiótica) (Almendros y Dorado, 2005).

Investigaciones realizadas muestran que el crecimiento en vivero depende de otros factores como la luz. Los plantines de tres especies a 25% de luz tuvieron un crecimiento en diámetro de dos a cuatro veces mayor en comparación con plantines a 3% de luz. En otros estudios realizados con las mismas especies también se encontró que el crecimiento era mejor en condiciones de 25-50% de luz (Poorter 1999, Zuidema *et al.* 1999).

En otros estudios también se encontró que la luz tuvo un efecto más marcado que el agua en la distribución de biomasa sobre los diferentes órganos de las plantas (Poorter & Nagel 2000). Esto no quiere decir que el balance hídrico de la planta no es un factor importante para el comportamiento de la planta. Una alta radiación implica una alta transpiración de las plantas, y por lo tanto, las plantas a 25% de luz respondieron con un AFR, AFE, y PPH reducido salvo en *Cedrela* y *Bertholletia* y un PPR aumentado en *Swietenia*.

Estos resultados indican que estas especies tienen un mejor crecimiento en claros que en el sotobosque. En el caso de uso de los plantines para el enriquecimiento de bosques es recomendable plantarlos en claros grandes o en áreas abiertas (Kainer *et al.* 1998).

Ensayos realizados por Aguirre-Medina *et al.*, (2014) El peso seco radical presentó la mayor variación de respuesta en los tratamientos biofertilizados. La biomasa radical incrementó cuando los microorganismos se aplicaron individualmente. Al final de la evaluación, el mayor incremento se obtuvo con *R. intraradices* y representó el doble de la biomasa radical del testigo y alrededor de 40 % más que los otros tratamientos biofertilizados.

Por su parte Luna- Ramírez *et al.*, (2010) determinó que los sustratos en general, en la acumulación de peso seco foliar, tallos y raíz no se determinó un efecto significativo de la interacción de las mezclas de sustratos con las fertilizaciones evaluadas

El sustrato usado para la obtención de posturas deben tener apropiada densidad aparente, pH, retención de agua y aireación, que generalmente se obtienen con la mezcla de diversos materiales, y para el abastecimiento de nutrientes, se agregan soluciones nutritivas (Mohammed y Vidaver, 1988).

#### **4.5. Análisis de la variable: Masa seca total**

Al analizar la masa seca se evidencia que las plantas que fueron beneficiadas con la aplicación de CTA- Humus® + *Glomus cubense* ofrecen una mejor respuesta para esta variable. Se infiere que la aplicación, reflejó los mejores valores, mostrando veracidad en el aumento de estas variables, dando una clara expresión de la diferencia que existe en el desarrollo de este cultivo bajo la incidencia de estos productos, lo que mejora la posibilidad de éxito en la fase obtención de posturas de calidad.

Los resultados están influenciados por los nutrientes que aportan el CTA- Humus® + *Glomus cubense* al ser absorbido por las raíces y por su efecto en el incremento de la actividad microbiana cuando es segregado por las raíces, haciendo más eficiente la

asimilación de los nutrientes, y con esto logra un equilibrio nutricional, mejorando la resistencia de las plantas a las condiciones adversas estresantes para el cultivo.

**Tabla 6. Efecto de los tratamientos evaluados para la variable Masa seca total en el momento del trasplante (180 días).**

Masa seca total (g)				
Momento del trasplante	Plántulas de <i>Cedrela odorata</i>			
	(T1) (Testigo absoluto producción)	(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i>	(T3) Aplicación de CTA- Humus®	(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i>
	Media	Media	Media	Media
	28,53d	33,20c	36,25b	41,43a
<b>EEx</b>	Media seguida de letras desiguales difieren significativamente de ( $p < 0.05$ ) 0, 211			

El

CTA- Humus® posee un alto contenido en fósforo, sin embargo, las plántulas de *Cedrela odorata*, no existe un efecto marcado en relación al contenido de fósforo, de acuerdo a Ramírez (2014) la necesidad de este elemento se encuentra como última prioridad entre los requerimientos de macronutrientes. Por otra parte, Paniagua (2004) citado por Ramírez (2014) demostró que el fósforo tiene un efecto positivo en el crecimiento de altura y diámetro cuando el contenido de calcio aumenta, debido a prácticas como el encalado.

Por otra parte, Martiarena *et al.* (2006) demostró que la fertilización con potasio tiene un efecto positivo en el diámetro del tallo, pero que cuando tienen altos contenidos de este elemento los sustratos pueden presentar alta mortalidad. Bidwell (1979) afirma que el potasio cumple un papel catalítico en la planta, principalmente en el transporte de nutrientes; Buamscha (2012) asimismo señala que el potasio está involucrado en la transpiración y translocación de carbohidratos, pero al ser un elemento muy móvil y lixiviable.

El mayor crecimiento puede estar relacionado con el incremento de algunas sustancias del crecimiento, producto de la simbiosis. Aguirre-Medina *et al.* (2011) citan incremento en el

peso seco del sistema radical de *C. arabica*, al aplicar *G. intraradices* y *A. brasilense* solos y combinados.

Senn, (1987) informa que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no sólo todos los macro y micronutrientes que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento.

Dentro de los compuestos ya identificados en las algas se tienen agentes quelatantes como ácidos algínicos, fúlvicos y manitol así como vitaminas, cerca de 5000 enzimas y algunos compuestos biocidas que controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas (Xunzhong *et al.*, 2010).

Con relación al resultado, Jones (1983), afirma que la producción de biomasa, particularmente durante la fase vegetativa de crecimiento, es una función lineal de la cantidad de la radiación interceptada, y que los factores como la nutrición y la condición hídrica de la planta tienen gran efecto en el rendimiento al alterar el índice del área foliar y en consecuencia la interceptación de luz.

La obtención de plantas con óptimo crecimiento en presencia de cantidades menores de nutrientes se debe al incremento en eficiencia del proceso de absorción de estos por las plantas micorrizadas y por tanto al aumento del coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes (Rivera y Fernández, 2003).

La alta disponibilidad de nutrientes hace decrecer la presencia de estructuras micorrízicas en el interior de las raíces, lo que indica que la disminución en la efectividad micorrízica es consecuencia de un mal funcionamiento o de la inhibición de la simbiosis. En suelos de baja fertilidad se hace necesaria una mayor cantidad de estructuras fúngicas para garantizar el funcionamiento adecuado de la simbiosis (Azcón *et al.*, 2007).

La aplicación conjunta de la inoculación y dosis bajas de fertilizantes aumentan la efectividad de la simbiosis, lo cual se expresa en el incremento de la colonización micorrízica y el rendimiento y se obtiene una dosis óptima de fertilizantes menor que la

recomendada para obtener volúmenes de producción similares, en ausencia de inoculación (Rivera y Fernández, 2003).

La aplicación de dosis superiores a las óptimas para las plantas micorrizadas reduce la simbiosis micorrízica hasta casi inhibirla, sin embargo, los rendimientos no disminuyen, lo que indica que las plantas garantizan sus requerimientos nutricionales pero no a través de la micorrización. Las dosis óptimas de fertilizantes para las plantas micorrizadas dependen de los cultivos en cuestión y de la fertilidad del suelo (Siqueira y Franco, 1988; Bittman *et al.*, 2006).

Los factores abióticos, como las características físicas y químicas del suelo influyen directamente en el tipo de interacción de estos organismos y en la expresión de los efectos benéficos o detrimentales, determinantes en el desarrollo de las especies vegetales (Azcón- Aguilar y Barea, 1992).

Otros factores que pueden afectar positiva o negativamente la estructura y diversidad de comunidades de HMA son las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego, fertilización y labranza y en forma indirecta el microclima y la topografía que afectan a las comunidades de plantas y por tanto afectan a las comunidades de HMA. Es de destacar, entre los factores abióticos, el control que ejercen las condiciones del suelo en las comunidades microbianas (Azcón- Aguilar y Barea, 1992).

Los cambios permanentes en el ambiente edáfico son un reflejo del dinamismo existente y se observa en variables como humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, debido a condiciones naturales o al efecto de las prácticas culturales para mejorar la productividad de los cultivos; adicionalmente, el suelo puede sufrir procesos de degradación y contaminación con sustancias químicas tóxicas para plantas y microorganismos (Entry *et al.*, 2002).

También Siqueira y Franco (1988) señalaron la importancia del pH en el funcionamiento de la simbiosis micorrízica y distribución de las cepas HMA en los agroecosistemas. Por otra parte, trabajos recientes de Rivera *et al.*, (2015) han mostrado relaciones altas entre la efectividad de las cepas HMA inoculadas y el pH del suelo e indicaron que el pH parece

ser una de las propiedades del suelo fundamentales en el cambio de efectividad de las cepas de HMA con el tipo de suelo.

En Cuba, se dispone tanto de inoculantes micorrízicos que se aplican en dosis bajas, del 6 al 10 % del peso de las semillas como de una información experimental amplia para el manejo efectivo de las cepas inoculadas de HMA en diferentes cultivos, ambientes edáficos e integrados a las prácticas culturales y validados a escala productiva en cultivos como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot sculenta* Crantz) entre otros (Rivera *et al.*, 2012).

Por otra parte, el sistema de inoculación y el manejo cultural de los HMA constituyen tecnologías ecológicamente racionales y aparecen como prácticas de base biológica promisorias para la producción agraria (Rivera *et al.*, 2012).

La cepa de HMA eficiente es aquella con cuya inoculación se logran los mayores efectos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas (generalmente incrementos entre 30 y 40 % en la masa seca o rendimiento) y a su vez presentan los mayores porcentajes de colonización micorrízica, densidad visual y producción de esporas; para una condición edáfica puede haber más de una cepa eficiente (Rivera *et al.*, 2007).

En los casos más favorables, la evaluación de su amplitud variable (en escala espacial o temporal) puede ser realizada usando técnicas de aislamiento y análisis de compuestos biomarcadores libres – o marcados – que se dan en las fracciones lipídicas. Esto es complementado por los análisis moleculares de sustancias húmicas macromoleculares por degradación química y/o térmica seguida de una espectrometría de masas, o el uso de métodos no destructivos como los espectroscopios de resonancia visible, infrarroja o nuclear (Salinas *et al.*, 2014).

En general, no hay una única aproximación experimental para identificar exactamente las sustancias formadas en cada uno de los procesos mencionados anteriormente, como las diferentes rutas de humificación que llevan con frecuencia a sustancias de estructuras y propiedades comunes (Almendros y Dorado, 2005).

Resultados de otros bioensayos demostraron que las mayores tasas de crecimiento en *C. odorata* se observaron cuando interactuaron simbióticamente con cualquier fuente de inóculo de estos HMA. Los tratamientos que involucran suelo nativo estéril o ausencia de fuentes de inóculo, fueron los que desarrollaron una menor tasa de crecimiento; por ende, se concluye que la interacción planta-micorriza es esencial para lograr un mayor crecimiento en esta especie maderable, tal y como lo documentó Amador (2010) al inocular este tipo de plantas con propágulos de *Rhizophagus intraradices*.

Aún con la interacción planta-micorriza, se observó que las plántulas son capaces de responder de manera diferente cuando se utiliza uno u otro tipo de inóculo. Esta diferencia es atribuida a la capacidad que tienen ciertos inoculantes del suelo para lograr una pronta colonización en un tiempo más corto. Lo anterior fue documentado por Bellgard (1992), quien encontró que los fragmentos de raíces estimulan una rápida inoculación con respecto a las esporas o ciertos fragmentos hifales, lo cual puede traducirse en un mayor crecimiento inicial de las plántulas establecidas en vivero.

Por último, los HMA desempeñan un papel importante en la sucesión ecológica (White et al., 2008); por ello, el uso de inoculantes nativos es ideal para fomentar la interacción entre estos hongos y *C. odorata*. Además, estas fuentes pueden ser utilizadas en el futuro para la producción de plántulas con fines de reforestación o plantaciones forestales comerciales en áreas deforestadas del trópico mexicano, lo que puede propiciar una pronta recuperación de estas áreas y, por ende, una mayor adaptación, tal y como lo sugiere Allen et al. (2003) en sus resultados con algunas especies tropicales.

Rengifo (2014), determinó el efecto de cuatro abonos orgánicos con diferentes dosis en el crecimiento en diámetro y altura en plantones de Paliperro (*Vite pseudolea*) a los 140 días de repique en fase de vivero en Huánuco, Perú. Los abonos utilizados fueron humus de lombriz, guano de la isla, gallinaza, y bocashi en proporciones de 10, 20 y 30% para cada abono. Asimismo, estos fueron mezclados con tierra preparada (tierra agrícola 50%, aserrín descompuesto 33,33% y arena fina 16,67%).

Rengifo (2014), aplicó un Diseño Completamente al Azar con un arreglo factorial de 4 por 4, y concluyó que la interacción de los abonos con diferentes dosis influye en el

incremento en diámetro, altura y biomasa de plántulas de Paliperro. El mayor incremento en diámetro fue obtenido con humus de lombriz en un 30%, mientras que el mayor incremento en altura fue obtenido con gallinaza en un 30%. La mayor cantidad de biomasa para hojas, tallos y raíces se obtuvo con humus en un 30%.

En México, solo el 40% de la reforestación tiene un nivel aceptable de supervivencia; Negrerros et al. (2010), realizó un estudio para determinar el efecto que producía el sustrato en la calidad de plántulas de Cedro, Caoba y Roble. En dicho estudio, el tratamiento “suelo + composta” tuvo un efecto significativo en el crecimiento de diámetro, altura, peso de la raíz y relación tallo/raíz, las cuales son características de las plántulas que deben tomarse en cuenta para la supervivencia en campo definitivo.

Los sustratos comerciales tales como el peat moss, agrolita y vermiculita tienen un elevado costo para los viveros, por lo que se necesitan buscar sustratos alternativos. En el estado de Guerrero (México), Mateo et al. (2011) utilizó el aserrín de pino que es un subproducto de la industria forestal barato y disponible en áreas forestales; con dicho insumo evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín sobre el crecimiento de *Cedrela odorata*. Determinó así que el 80% de la mezcla aserrín más 20% peatmoss-agrolita-vermiculita produjo el mayor valor en altura.

Quispe (2015), determinó el efecto de tres biofertilizantes (EM, B. Lac, SHI) aplicados a individuos de Tara (*Caesalpinia spinosa*) de dos procedencias de semilla en condiciones de vivero en Lima, Perú. Los resultados obtenidos muestran que son mayores los incrementos de diámetro y altura frente a la aplicación del biofertilizante SHI en plántulas de la procedencia B frente a los de la procedencia A, que por su parte mostraron menor incremento en diámetro y ninguna diferencia significativa en crecimiento en altura comparado con el tratamiento testigo.

Mondragón (2016) y Espinosa (2018), realizaron un estudio en el Vivero Forestal de La Molina en Lima, Perú donde determinaron y compararon el crecimiento de plántulas de *Caesalpinia spinosa*, con combinaciones diferentes de tierra agrícola, compost tradicional y compost de elaboración industrial. Los resultados que produjeron los mayores crecimientos fueron la mezcla de tierra agrícola y compost tradicional en proporción 2:1.

Ramírez (2014), realizó un estudio para determinar la absorción de nutrimentos en árboles de *Cedrela odorata* de tres edades diferentes (5, 14 y 19 años) en plantaciones de Costa Rica. Con las muestras colectadas de ramas, tronco y peciolos midió peso fresco mientras que, con las muestras de hojas, realizó digestión húmeda en laboratorio. Mediante espectrometría atómica con plasma acoplado determinó contenido de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al en las hojas, mientras que para determinación de nitrógeno utilizó combustión seca. Los resultados obtenidos muestran que las hojas tienen mayor concentración de macronutrientes en comparación con el resto de partes del árbol y de acuerdo a la cantidad acumulada se pueden ordenar de la siguiente manera N>Ca>K>P>Mg>S.

Ramírez (2015) estudió el efecto de dosis del fertilizante compomaster en el crecimiento de *Cedrela odorata* en campo definitivo en Tingo María, Perú. Utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con 15 unidades experimentales, las que fueron distribuidos en cinco tratamientos incluido el testigo y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 120, 160, 200 y 240 g de fertilizante formulado compomaster (20-20-20) a las plantas de cedro y para conocer su efecto evaluó altura, diámetro y área foliar. A los seis meses de instalada la plantación, el tratamiento de 160 g de fertilizante) registró el mayor valor de crecimiento en altura y diámetro y área foliar.

#### **4.5. Análisis de la variable: Índice de Esbeltez**

La relación altura/ diámetro o índice de esbeltez (tabla 7), es otro indicador que combina los valores de las variables altura y diámetro, con el fin de tener una mejor predicción de la calidad de la planta. En este sentido se debe subrayar que los valores obtenidos en el presente trabajo indican que las plántulas crecieron equilibradamente en altura y en diámetro, por lo que se obtuvieron plantas de “complexión” media.

Este índice relaciona la resistencia de la planta con su capacidad fotosintética (Toral, 1997). Se recomienda que los valores 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 (Thompson, 1985).

**Tabla 7. Efecto de los tratamientos evaluados para la variable:**

<b>Índice de Esbeltez Momento del trasplante</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Diaméto (mm)</b>	<b>(IE)</b>
<b>(T1) (Testigo absoluto de producción)</b>	<b>61,2</b>	<b>31,2</b>	<b>1,962</b>
<b>(T2) Aplicación de <i>Glomus cubense</i></b>	<b>69,5</b>	<b>35,5</b>	<b>1,958</b>
<b>(T3) Aplicación de CTA- Humus®</b>	<b>75,3</b>	<b>41,3</b>	<b>1,823</b>
<b>(T4) Aplicación de CTA- Humus® + <i>Glomus cubense</i></b>	<b>80,6</b>	<b>45,6</b>	<b>1,768</b>

Los resultados el índice de Esbeltez muestra que las plantas producidas en este sistema de producción tienen una buena capacidad para almacenar los carbohidratos, de acuerdo a Prieto *et al.* (2009), las plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por fauna nociva y plantas con diámetros más pequeños no son capaces de sostener tallos elongados haciéndolos más vulnerables a sufrir daño.

La relación entre el índice de esbeltez y las variantes nutricionales aplicados en el estudio son inversamente proporcional, es decir, que a mayores cantidades se obtendrán menores valores de esbeltez, sin embargo no es absolutamente cierto que esto sea beneficioso para la planta, ya que valores mayores de 10 indicarían una deficiencia en relación a este indicador y sobre todo el crecimiento de la calidad de la planta según lo indicado por Quiroz *et al.*, (2009).

Cano *et al.* (1998) mencionan que en el sistema actual de producción de viveros, las plantas producidas en contenedores cónicos o bloques de unicel son en general altas y delgadas, debido a que las practicas culturales utilizadas en el sistema tecnificado favorecen más el desarrollo de la parte aérea que el de la raíz en comparación con el sistema tradicional.

De igual forma resultaron similares a otras especies con otros sustratos, como los encontrados por Román *et al.* (2001) con *Pinus greggii* Engelm. (*var. Australis* Donahue & Lopez) con valores entre 11,48 y 12,08, para el índice de esbeltez, y valores bajos para el ICD (entre 0,4 y 0,6); el autor atribuyó estos resultados a la presencia de un gran crecimiento aéreo con respecto al radical debido a un exceso de nutrimentos.

Martínez (2005) reportó el mayor ICD cuando las plantas de *Pinus patula* se desarrollaron en un sustrato compuesto por 80 y 90% de aserrín. Cobas *et al.* (2001) con *Hibiscus elatus* Sw, utilizando como sustrato una mezcla de 20% corteza de pino compostada + 40% humus de lombriz + 40% turba, encontraron valores de 0,1 y 0,2 para el ICD, lo que no es adecuado. Barajas *et al.* (2004) trabajando con *Pinus greggii* (*var. Australis*), utilizaron un sustrato que consistió en una mezcla de suelo forestal y arena (3:1); obtuvieron valores de ICD menores a 0,5 a los diez meses de edad.

Existen otras formas de evaluar que indican la calidad de las plántulas producida en vivero y es el cociente que resulta de dividir el peso seco de parte aérea (PSPa) entre el peso seco de raíz (PSR).

En especies de latifoliadas tropicales la relación PSPa/PSR es deseable que sea mayor a 2,0, cuando la planta esté destinada para sitios con disponibilidad de agua normal para su tipo de vegetación (selva alta perennifolia, de los 0 a los 750 msnm). La mejor calidad de planta se obtiene cuando la parte aérea es relativamente grande y la raíz mediana, lo que puede garantizar una mayor supervivencia ya que evita que la absorción exceda a la capacidad de transpiración.

Por lo tanto las plantas obtenidas bajo esta metodología no tendrían problemas de supervivencia en sitios de restauración (principalmente potreros), pero dado que el hábitat natural de *Cedrela odorata* L. es de alta humedad, las plantas producidas serian adecuadas para los lugares en que normalmente se desarrolla esta especie.

Los valores de la relación PSPa/PSR del presente trabajo resultaron similares a otras especies con sustrato a base de aserrín, como los reportados por Reyes (2005) con *Pinus pseudostrobus*, con valores de 2,33. Martínez (2005) por su parte trabajando con *Pinus*

*patula* encontró que el mayor valor para esta relación se obtuvo en una mezcla que contenía 60% de aserrín + 40% de tierra de monte.

En experimentos realizados en condiciones controladas con árboles tropicales se encontró que los plantines mostraron una respuesta limitada (una especie) o ninguna respuesta (siete especies) en su crecimiento en biomasa o altura cuando son sometidos a diferentes frecuencias de riego (Okali & Doodoo 1973, Burslem 1996, Burslem *et al.* 1996). Solamente después de una sequía prolongada se encuentran respuestas marcadas en el crecimiento y la supervivencia de plantines (Fort *et al.* 1997, Veenendaal & Swaine 1998).

El índice de esbeltez viene a ser el cociente entre la altura (cm) y el diámetro normal (mm), y relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Toral, 1997). Los tratamientos presentan un valor final de 5,918, situándose dentro del rango propuesto por Quiróz *et al.* (2009) como un valor aceptable, a diferencia de los otros tratamientos de control de malezas químico y mecánico que se encuentran entre los rangos de 4,214 y 4,658. Esta variación drástica en este indicador con respecto a los demás, se debe a factores externos de plantación, ya que el índice de esbeltez evaluado al primer mes indica valores aceptables (mayores de 50) en los cuatro tratamientos.

**CONCLUSIONES**

## 5. CONCLUSIONES

- 1) La aplicación separada y combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® fue determinante en el crecimiento y vigor de las posturas de *Cedreia odorata*, representadas en las variables fisiológicas evaluadas.
- 2) El estudio determinó que de las variantes estudiadas la aplicación combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® es la más efectiva en la obtención de posturas de alta calidad de *Cedreia odorata* representado en los mejores valores para las variables fisiológicas evaluadas y un índice de esbeltez de 1,768

**RECOMENDACIONES**

## 6. RECOMENDACIONES

- 1) Extender la variante de aplicación combinada de *Glomus cubense* y CTA-Humus® a los productores de posturas *Cedreia odorata*.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdel-Fattah G.M. y Shabana Y.M. 2002. Efficacy of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus clarum*) in protection of cowpea plants from root rot pathogen *Rhizoctonia solani*. *J Plant Dis Protect.* 109(2):207-215.
2. Abdel-Fattah G.M., El-Haddadb S.A., Hafezc E.E., Rashadd Y.M. 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. *Microbiological Research.* 166: 268-281.
3. Ahmed, Y. M. and Shalaby, E. A. 2012. Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *J. Hortic. Sci. Orna. Plants.* 4(3):235-240.
4. Almendros G., Dorado J. 2005. Molecular characteristics related to the biodegradability of humic acid preparations. Structural factors related to the biodegradability of laboratory-modified humic acid preparations. *Eur. J. Soil Sci.* 50, 227-236.
5. Almendros G., Martin F., González-Vila F.J. 2007. Depolymerization and degradation of humic acids with sodium perborate. *Geoderma*, 39, 235–247.
6. Azcón-Bieto, J. y Talon, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Ediciones. Universidad de Barcelona. McGraw-Hill. Interamericana. España. 515 p.
7. Bittman. S.; Kowalenko, C.G.; Hunt, D.E.; Forge, T.A.; Wu, X. 2006. Starterphosphorus and broadcast nutrients on corn with contrasting colonization by mycorrhizae. *Agron. J.* 98: 394 – 401.
8. Bolaños, B.M.M.; Rivillas O.C.A.; Suárez V.S. 2000. Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 51 (4): 245-262.
9. Bolleta, A.; Venanzi, S.; Krügerl, H. 2002. Respuestas del cultivo de trigo a la inoculación con biofertilizantes en el sur de la provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Bordenane. Argentina. 6p.
10. Bonfante P., Genre A. 2008. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. *Trends in Plant Science.* 13(9): 492-498.

11. Bonfante P., Requena N. 2011. Dating in the dark: how roots respond to fungal signals to establish arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*. 14(4):451–457.
12. Bustamante, C.; Viñals, R.; Pérez, A.; Rodríguez, M.I. y Araño, L. 2010. Fertilización mineral y uso de abono verde en *Coffea canephora* Pierre ex -Froehner cultivado bajo poda sistemática en los macizos montañosos de la Sierra Maestra y Sagua - Nipe – Baracoa. Informe final Proyecto Nacional 07.03.087. Cruce de los Baños: ECICC. 253 p.
13. Cabrales, E.; Toro, M.; López, D. 2016. Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico. *Temas Agrarios*, 21 (2): 21-31.
14. Camargo, S.; Esperón, M. 2005. Efecto de la heterogeneidad espacial y estacional del suelo sobre la abundancia de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares en el valle semiárido de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3-4): 339-52
15. Córdova, Georgina. 2010. Mineralización de nitrógeno de diferentes abonos orgánicos. Tesis presentada para obtener el grado de Master en Ciencias. H. Cárdena, Tabasco, México. Colegio de Posgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Tabasco, 85 p.
16. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11.1
17. Entry, J.; Rygielwicz, P.; Watrud, L. y Donnelly, P. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhiza. *Advances in Environmental Research*, no. 7, p. 123-138. ISSN 2234-1730.
18. Fernández, F. 1999. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*C. Arábica* L. var. Catuaí) en algunos tipos de suelos. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas), INCA 102p.
19. Fernández, F. 2003. La simbiosis micorrízica arbuscular. En: Rivera, R. y Fernández, K.(Eds). Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana., 166 p.
20. Fernández, F., Gómez, R., Martínez, M.A. y de la Noval, B.M. 2001 Producto inoculante micorrizógeno. Patente No. 22 641. Cuba.
21. Fundora, L. R.; Rivera, R.; Martín, J. V.; Calderón, A. y Torres, A. 2011. Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de

- portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 2, p. 23-29.
22. Genre A., Chabaud M., Timmers T., Bonfante P., Barkerb D. 2005. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Elicit a Novel Intracellular Apparatus in *M. truncatula* Root Epidermal Cells before Infection. *Plant Cell*. 17:3489-3499
23. Gómez, Z. J. 2000. *Abonos Orgánicos*. Santiago de Cali: Feriva, 2000. 19-68p.
24. González, P. J.; Arzola, J.; Morgan, O.; Rivera, R.; Plana, R. y Fernández, F. 2008. Manejo de las asociaciones micorrízicas en pastos del género *Brachiaria* cultivados en suelos Ferralítico Rojo y Pardo Mullido. En Congreso Científico del INCA (16: 2008, nov 24-28, La Habana). Memorias. [CD-ROM]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-16-0953-3.
25. González, P.J.; Fernández, D.; Plana, R.; Crespo, G. 2007. Efectos del antecedente cultural en las micorrizas nativas y la productividad del pasto *brachiaria* (*Brachiaria decumbens* cv. Señal). *Pastos y Forrajes*, 30 (1): 1.
26. Guerra, S.B.E.; Chacón, M.R. 2012. Simbiosis micorrízica arbuscular y acumulación de aluminio en *Brachiaria decumbens* y *Manihot esculenta*. *Rev.Bio.Agro*, 10 (2): 87-98.
27. Hernández, M., Nasarova, L., Chailloux, M. y Salgado, J. 2008. Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA 3019. *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 1, pp. 73-81. ISSN 1819-4087.
28. Janovka D, Kubikova K, Kokoska L. 2003. Screening for antimicrobial activity of some medicinal plant species of traditional Chinese medicine. *Czech J Food Sci.*; 21(3):107-10.
29. Jeong, B. R. 1996. Stem elongation and growth of *Mentha rotundifolia* in vitro as influenced by photoperiod, photon flux, and difference between day and night temperatures. *Acta Horticulturae*, vol. 440, p. 539-544.
30. Kaviraj L y Sharma, S. 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *bioresource technology*, 90, p.169-173.

31. Kisangau D, Hosea K, Joseph H, Lyaruu C. 2007. *In vitro* antimicrobial assay of plants used in traditional medicine in Bukoba rural district, Tanzania. *Afr J Trad CAM*. 4(4):510-23.
32. Llonín Desirée y N. Medina. 2002. Nutrición mineral con N, P Y K en la simbiosis hongos micorrizógenos-tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN FERRALSOLS. *Cultivos Tropicales*, vol. 23, no. 4, p. 83-88.
33. Lozano, S.J.; Armbrecht, I.; Montoya, L.J. 2015. Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronómica*, 64 (4): 289-296.
34. Luna-Ramírez, Miguel Ramón. José Raymundo Enríquez del Valle, Vicente Arturo, Velasco y José Luis Chávez, Servia. 2010. Efecto del sustrato y fertirriego en el crecimiento inicial de vitroplantas de *Musa* sp. cv. Roatán. *Naturaleza y Desarrollo*. 8 (2), 39p.
35. Martín, G. M.; Rivera, R.; Pérez, A.; Arias, L. 2012. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrizica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*.33(2): 20-28
36. Martín, G.; González, P.; Rivera, R.; Arzola, J.; Pérez, A. 2014. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno e inoculación micorrizica sobre el crecimiento y producción de semillas de *Canavalia ensiformis* en suelos ferralíticos rojos lixiviados. *Cultivos Tropicales*. 35(1): 86-91
37. Martínez, R.V. 1994. El uso de los biofertilizantes. Curso de Agricultura Orgánica. La Habana: ICA.
38. Mohammed, G.H. & W. E. Vidaver. 1988. Root production and plant development in tissue-cultured conifers. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 14:137-160.
39. Morales, C; Calaña, J. M; Corbera, J. y Rivera, R. 2011. Evaluación de sustratos y aplicación de hongos micorrizicos arbusculares en *Begonia* sp. *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 2, p. 17-22.
40. Moshi M, Mbwambo Z, Nondo R, Masimba P, Kamuhabwa A, Kapingu M. 2006. Evaluation of ethnomedical claims and Brine shrimp toxicity of some plants used in Tanzania as traditional medicines. *Afri J Trad CAM*. 3(3):48-58.
41. Pérez, A.; Rojas, J.; Montes, D. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los

- agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano. *Revista Colombiana Ciencia Animal*, 3 (2): 366-85.
42. Pérez-Luna, Y., Álvarez-Solís, J.D., Mendoza-Vega, J., Pat- Fernández, J.M., Gómez-Álvarez, R., Cuevas, L. 2012. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana. Botánica*, 69 (1): 46-56.
43. Pettit, E. 2007. Organic Matter, Humus, Humate, Humic Acid, Fulvic Acid and Humin: Their Importance In Soil Fertility And Plant Health, Texas A&M University.
44. Rahuman A, Gopalakrishnan G, Venkatesan P, Geetha K. 2008. Larvicidal activity of some Euphorbiaceae plant extracts against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Parasitol Res.* 102(5):867-73.
45. Reyes, R. 2013. Efecto de la coinoculación de cuatro cepas de *Rhizobium* y dos de HMA sobre *Canavalia ensiformis* crecida en dos suelos cubanos. Tesis presentada en opción al grado de Ingeniero Agrónomo. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana. 36 p.
46. Riera, M. 2003. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo ferralítico rojo. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. INCA, La Habana.
47. Rivera, R.; Calderón, A.; Nápoles, María C. y Ruiz, L. 2012. La validación a escala productiva del biofertilizante EcoMic® y su aplicación conjunta con rizobios en el cultivo del frijol, en el centro y occidente del país. INCA. Mayabeque. 19 p. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: [www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/extensiones/2010-2012Frijol.pdf](http://www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/extensiones/2010-2012Frijol.pdf).
48. Rivera, R.; Fernández, F. 2003. La simbiosis micorrízica arbuscular. En: Rivera, R. y Fernández, K.(Eds). Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana., 166 p.
49. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, Kalyanne, Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystem. En: Editores Hamel, C. y Plenchette, C. *Mycorrhizae in Crop Production*. Editorial Haworth Press, Binghamton, N. Y., p. 151-196. ISBN 978-1-56022-306-1. DOI: 10.13140/RG.2.1.1771.2162

50. Rivera, R.; González, P. J.; Hernández, A.; Martín, Gloria, Ruiz, L.; Fernández, Kalyanne, Simó, J.; García, Milagro, Pérez, A.; Riera, M.; Bustamante, C.; Joao, J. P. y Ruiz, M. 2015. La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos. En: VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. (2 al 5 de junio de 2015). [CD-Rom] Memorias. La Habana, Cuba. ISBN 978-959-296-039-8.
51. Rodríguez, J.; Álvarez, M.; Moya, C.; Plana, D.; Dueñas, F.; Lescay, E. y Rodríguez, S. 2008. Identificación de progenitores de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para la obtención de híbridos f1 adaptados a las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 3, p. 69-72.
52. Salinas-Vásquez, Felipe, Sepúlveda-Morales, Leslie, & Sepúlveda-Chavera, Germán. 2014. Evaluación de la calidad química del humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) elaborado a partir de cuatro sustratos orgánicos en Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 95-99.
53. Sánchez, C.; Caballero, D.; Cupull, R.; González, C.; Urquiag, S. y Rivera, R. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos Cambisoles gléyicos. *Cultivos Tropicales*. 2009, vol. 30, no. 1, p. 25-30.
54. Scheinman D. 2002. The ancient and modern worlds unite to fight HIV/AIDS in Tanga. *Science in Africa*. Tanzania: Merck; [on-line magazine]. Available in: <http://www.sciencein africa.co.za/2002/september/tanga.htm>
55. Senn, T.L. 1987. Seaweed and plant growth. Traducido al Español por Benito Canales López. Crecimiento de alga y planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA.
56. Siqueira, J.O y Franco, A. 1988. Biotecnología do solo. Fundamentos e perspectivas. *Ciencias nos Tropicis Brasileiros*. Serie Agronomía.
57. Smith, S.E. & Gianinazzi-Pearson, V. 1998. Physiological interactions between symbiotic in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.. Plant Mol. Biol.* 39: 221- 244.
58. Tamayo, Y., Martín, G., Corona, Y.; Barraza, F. 2015a. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* (L) D.C. ante la coinoculación de *Rhizobium* y hongos micorrízicos arbusculares. *Hombre, Ciencia y Tecnología*. 19(1): 100-108.

59. Tamayo, Y., Martín, G.; Anselmo, C. 2014. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* (L) D.C. ante la coinoculación de aislados de *Rhizobium* sp. y hongos micorrízicos arbusculares en suelos pardos carbonatados. *Investigación y Saberes*. 3(2):50 - 56.
60. Tamayo, Y.; Lescaille, J.; Ramos, L.; Barraza, F. 2015b. Respuesta productiva de la Habichuela (*Vigna unguiculata*, L.) var. Cantón -1 ante la aplicación combinada de Ecomic<sup>®</sup> y FitoMas- E en condiciones de huertos intensivos. *Agrotecnia de Cuba*. 39 (2): 91- 100.
61. Upadhy B, Parvenn, DhakerA, Kumar A. 2010. Ethnomedicinal and ethnopharmacostatistical studies of Eastern Rajasthan, India. *J Ethnopharmacol*. 129(1):64-86.
62. Vallejo-Quintero, V. E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16 (1): 83-99.
63. Van Huylbroeck, J. M. y De Riek, J. 1995. Sugar and starch metabolism during ex vitro rooting and acclimatization of micropropagated *Spathiphyllum* “Pepite” plantlets. *Plant Science*, vol. 111, p. 9-25
64. Villegas L, Fernández I, Maldonado H, Torres R, Zabaleta A, Vaisberg A, Hammond G. 1997. Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Peru. *J Ethnopharmacol*. 55(3):193-200.
65. Wershaw R.L., Pinckney D.J., Booker S.E. 2007. Chemical structure of humic acids. Part 1. A generalized structural model. *J. Research U.S. Geol. Survey* 5, 565–569.
66. WHO. 2002. *Traditional Medicine: Growing Needs and Potential*. WHO Policy Perspectives on Medicines. Geneva: World Health Organization; p. 1-6.
67. Xunzhong Zhang, Kehua Wang and E. H. Ervin. 2010. Optimizing Dosages of Seaweed Extract-Based Cytokinins and Zeatin Riboside for Improving Creeping Bentgrass Heat Tolerance. *American Society of Agronomy*.

**ANEXOS**