

Universidad Central de Venezuela

Escuela de Biología

Facultad de Ciencias

Departamento de Ecología



ACTA

Quienes suscribimos, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado del Bachiller Eliécer Centeno Núñez de C.I. 17.078.494, titulado **“Evaluación del uso de inoculos de hongos glomeromycota y compost para la producción en viveros de especies forestales vulnerables y en peligro de extinción”**, para optar al título de Licenciado en Biología, consideramos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos en los reglamentos respectivos y lo consideramos aprobado.

En la ciudad de Caracas, a los 22 días del mes de Noviembre de 2016.

Dra. Alicia Cáceres

(Jurado)

Lic. Rafael Ortiz

(Jurado)

Dra. Marcia Toro

(Tutora)



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DEL USO DE INOCULOS DE
HONGOS GLOMEROMYCOTA Y COMPOST
PARA LA PRODUCCIÓN EN VIVEROS DE
ESPECIES FORESTALES VULNERABLES Y EN
PELIGRO DE EXTINCIÓN**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por el bachiller Eliécer Centeno Núñez como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Biología

Tutor(a): Dra. Marcia Toro

CARACAS, VENEZUELA
OCTUBRE - 2016

Evaluación del uso de inóculos de hongos Glomeromycota y compost para la producción en viveros de especies forestales vulnerables y en peligro de extinción

E. Centeno^a y M. Toro^a

*(^a) Laboratorio de Ecología de Agroecosistemas, Instituto de Zoología y Ecología Tropical,
Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*

Resumen

Los bosques de Venezuela han sido objeto de una intensa explotación para la extracción de madera, especialmente durante el siglo XX. Por las cualidades de sus maderas (dureza, color, etc.) las poblaciones de algunas especies de interés forestal fueron más afectadas que otras, lo que ha llevado a estas especies a distintos niveles de amenaza de extinción. Entre éstas destacan *Swietenia macrophylla* (Caoba), y *Albizia saman* (Samán), las cuales fueron objeto de protección legal por parte del estado venezolano mediante decretos de veda o regulación de su explotación. Entre las estrategias para la recuperación de estas especies se encuentra su producción en viveros forestales institucionales dependientes de la Misión Árbol para ser utilizadas en jornadas de reforestación de zonas degradadas o deforestadas, lo cual busca incrementar la cobertura boscosa a nivel nacional. También se sugiere la utilización de compost como sustrato para su desarrollo inicial en fase de vivero, ya que posee un bajo costo de producción, se ha comprobado que mejora de manera significativa algunas de las principales características del suelo, como lo son la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, equilibra el pH, evita cambios extremos en la temperatura y fomenta la actividad microbiana. Se

realizaron ensayos para estudiar la supervivencia y desarrollo en vivero de estas especies, al ser inoculadas con hongos pertenecientes al *Phyllum Glomeromycota* formadores de micorrizas arbusculares, provenientes de suelos del Estado Guárico en los que se desarrollan ambas especies; a su vez la inoculación iba acompañada o no de compost elaborado en el Vivero Forestal Santa Rosa (Ministerio de Ecosocialismo y Aguas, Estado Miranda), aplicado en diferentes proporciones (30% y 100%) a fin de proporcionar una adecuada condición nutricional para su desarrollo. El compost obtenido mostró un 71,41% de materia orgánica, 0,13% de Nitrógeno Total, y 0,09% de Fósforo Total, con una relación C/N de 319,37. La combinación de 100% compost e inoculación con Hongos Glomeromycota fue el tratamiento con mejor respuesta en producción de Biomasa (4,47 y 3,31 g.) y contenido de P (0,196 y 0,172 %) en el vástago para el Samán y la Caoba, respectivamente. Se discute la idoneidad de estos procedimientos para la obtención masiva de plántulas de las especies forestales mencionadas.

Palabras Clave: Reforestación, Caoba, Samán, Micorrizas, Compost.

Índice General.

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
1. Introducción	5
2. Antecedentes	7
3. Hipótesis	15
4. Objetivos	15
5. Materiales y Métodos	16
6. Resultados y Discusión	33
7. Conclusiones	61
8. Recomendaciones	61
9. Bibliografía	62

Índice de Figuras.

<u>Figura</u>	<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
1	Plantaciones en la Guayana Venezolana	8
2	Localización relativa del sitio de muestreo del suelo rizosférico	21
3	Macetas trampa. Ensayo de enriquecimiento de esporas	23
4	Compost utilizado	25
5	Esporas aisladas	36
6	Altura Alcanzada de las plántulas de caoba.	38
7	Biomasa producida en vástago de plántulas de caoba.	39
8	Biomasa producida en raíz de plántulas de caoba.	40
9	Relación vástago/raíz de biomasa producida en plántulas de caoba.	41
10	Contenido de nitrógeno (%N total) en vástago de plántulas de caoba.	42
11	Contenido de fósforo (%P total) en vástago de plántulas de caoba.	43
12	Altura Alcanzada de las plántulas de samán.	47
13	Biomasa producida en vástago de plántulas de samán.	49
14	Biomasa producida en raíz de plántulas de samán.	50
15	Relación vástago/raíz de biomasa producida en plántulas de samán.	51
16	Contenido de nitrógeno (%N total) en vástago de plántulas de samán.	52
17	Contenido de fósforo (%P total) en vástago de plántulas de samán	53

Índice de Tablas.

<u>Tabla</u>	<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
1	Diseño experimental.	27
2	Análisis químicos realizados en el compost y material vegetal.	29
3	Valores nutricionales del compost utilizado.	33
4	Comparación de resultados medidos en el compost.	34
5	Altura promedio por tratamiento alcanzada por plántulas de caoba.	38
6	Altura promedio por tratamiento alcanzada por plántulas de samán.	48
7	Número de nódulos producidos por tratamiento en raíces de plántulas de samán.	54
8	Biomasa de nódulos producida por tratamiento en raíces de plántulas de samán.	55
9	Porcentaje de colonización micorrízica en plántulas de samán.	56

1. Introducción

Cerca de un 52,9 % de la superficie terrestre total de Venezuela (91,2 millones de ha) está cubierta con bosques naturales. Actualmente la tasa anual de deforestación se ubica en 164.400 ha/año (0,3% de pérdida anual de bosques), correspondiente al periodo 2010-2015, sin embargo dicha tasa ha presentado un retroceso, ya que para el período desde 1990 a 2015 la tasa de deforestación fue 213.700 ha/año (0,4% de pérdida anual de bosques) (FAO, 2015). Esto ubica a Venezuela entre los cinco países dotados con la mayor área de bosques naturales en América del Sur Tropical. Aunque Venezuela posee una de las extensiones de bosque más grande de América Latina, la historia de la explotación maderera está pobremente documentada (Kammesheidt *et. al.*, 2003), por lo cual podemos suponer que no hubo los controles pertinentes para el aprovechamiento sustentable de las especies maderables. Sin embargo, sabemos que, en su fase temprana iniciada en la década de 1920, la explotación comercial fue altamente selectiva, centrándose en caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*), y se basó en permisos anuales, lo que resultó en la eventual conversión de los bosques a pastizales (Kammesheidt *et. al.*, 2003). Las especies maderables más valiosas muestran una distribución errática con una proporción muy baja de individuos entre 20 – 40 cm d.a.p. en rodales no explotados (saqui-saqui, 5%; caoba, 1% y cedro, 1%) (Veillon, 1997). Como estas especies, otras de interés maderero también han sido explotadas en el país. Son de especial atención aquellas que por su grado de vulnerabilidad recientemente han sido objeto de protección legal por parte del Estado Venezolano, entre éstas destacan las establecidas en veda por la resolución 217, de Fecha 23 de mayo del 2006, Gaceta Oficial N° 38.443, de fecha 24 de Mayo del 2006, Acapro

(*Tabebuia serratifolia*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), Cedro (*Cedrela odorata*), Mijao (*Anacardium excelsum*), Pardillo Negro (*Cordia thaisiana*) y Saqui-saqui (*Bombacopsis quinata*). El Samán (*Pitecellobium saman*), cuyo uso, afectación y aprovechamiento está regulado, mediante la resolución 058, de Fecha 22 de Julio del 2014, Gaceta Oficial N° 40.474, de fecha 13 de agosto del 2014; y el Nogal de Caracas (*Juglans venezuelensis*), cuya población silvestre estimada es de sólo 100 individuos adultos (Ortiz y Salazar, 2004), por lo cual está considerada en peligro crítico de extinción (Llamozas *et al*, 2003). La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN/IUCN), es una organización internacional que tiene como misión conservar la herencia natural del planeta, nuestra biodiversidad global y demostrar que las sociedades humanas son capaces de vivir en armonía con la naturaleza. Es el ente responsable de las iniciativas de creación de las listas rojas, a través de un sistema de categorías, las cuales tiene como finalidad proveer un marco objetivo y explícito para la clasificación de las especies según su riesgo de extinción. De acuerdo a dichas categorías la especie caoba (*Swietenia macrophylla*) se encuentra en Peligro Crítico (Enfrenta un riesgo de extinción extremadamente alto en vida silvestre en el futuro inmediato, según cualquiera de los criterios A-E establecidos), mientras el samán (*Pitecellobium saman*), es Vulnerable (enfrenta un riesgo de extinción en vida silvestre a mediano plazo, según cualquiera de los criterios A-E establecidos) (Llamozas *et al*, 2003). Protegiendo y promoviendo el desarrollo de estas especies, promovemos la protección y la recuperación de los bosques, la cual debe ser una política pública de primer orden en nuestra nación. Ello es reconocido por diversos organismos multilaterales, estableciéndose por ejemplo que los bosques constituyen una solución esencial a los problemas ligados al cambio climático y a la mitigación de sus efectos. Los bosques gestionados de forma

sostenible incrementan la resiliencia de los ecosistemas y de las sociedades y permiten aprovechar de manera óptima la función de los bosques y los árboles como sumideros y almacenes de carbono al mismo tiempo que proporcionan otros servicios ambientales (F.A.O., 2016). Esta situación motiva a realizar todos los esfuerzos e investigaciones necesarias para la conservación y mejoramiento de la reproducción de estas especies que representan una parte importante de nuestra biodiversidad e identidad cultural, así como también constituyen recursos genéticos y forestales invaluableles.

2. Antecedentes

La historia del aprovechamiento forestal en Venezuela está escasamente documentada, esto hace que el estado original de algunas poblaciones forestales de interés sea desconocido o difícil de determinar. Sin embargo, su situación actual es relativamente conocida, y, por ejemplo, El Libro Rojo de la Flora Venezolana (Llamozas *et al*, 2003) contiene datos que nos ayudan a tener una idea concreta al respecto. En el caso de la caoba, se documenta que esta especie se encuentra en Peligro Crítico, lo cual significa que enfrenta un riesgo de extinción extremadamente alto en vida silvestre en el futuro inmediato, mientras el Samán se encuentra en estado Vulnerable, es decir que enfrenta un riesgo de extinción en vida silvestre a mediano plazo de acuerdo con los criterios tomados por el Libro Rojo para su categorización. Así las poblaciones de algunos de los árboles más explotados como caoba y samán han sido afectadas de tal forma que se ha hecho necesario tomar medidas legales para su salvaguarda como decretos de veda y regulaciones de aprovechamiento. También se han tomado acciones, como reforestaciones y plantaciones para incrementar sus poblaciones (Dirección General de Bosque, 2010), sin embargo, las

plantaciones y programas de reforestación frecuentemente no han obtenido los resultados esperados, por causas tales como ataque de plagas, baja fertilidad de los sitios de establecimiento y falta de prácticas adecuadas de producción de plántulas en vivero (Mexal *et al.*, 2002). Como consecuencia, es común que existan bajas tasas de supervivencia y crecimiento en campo (Mexal, 1996), ocasionando bajos rendimientos en las plantaciones forestales (Negreros, 1996). Esta situación se ha presentado, por ejemplo, en especies forestales empleadas para la reforestación y plantaciones comerciales en diversas regiones tropicales de México y otros países Latinoamericanos, tales como la caoba de hoja ancha (*Swietenia macrophylla* K.) y el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), cuyas maderas poseen un alto valor económico en mercados internacionales (Rodríguez-Morelos *et al.*, 2011).

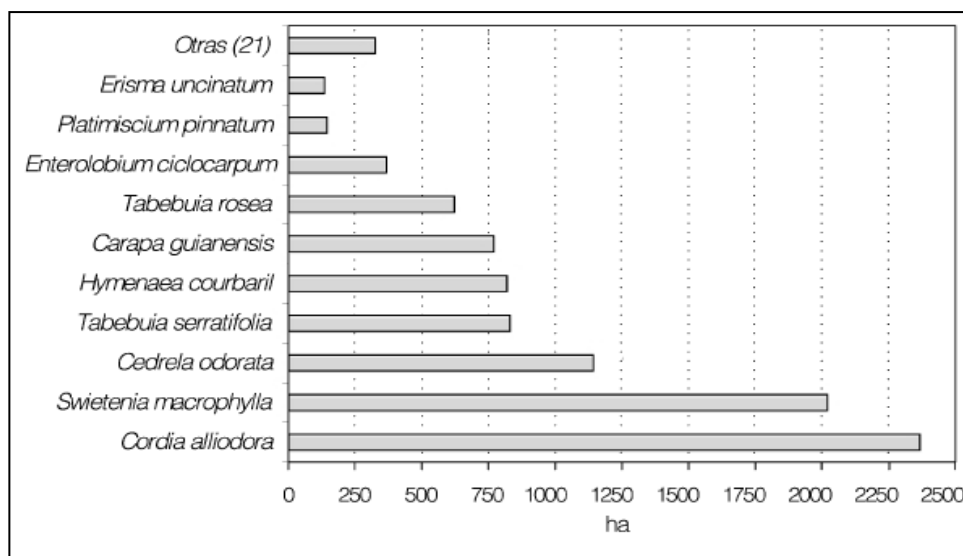


Figura 1. Plantaciones en la Guayana Venezolana. (Tomado de: Lozada, J. et al. 2003).

En el caso particular venezolano, podemos observar esta realidad en la Figura N° 1, donde podemos apreciar como la caoba es la segunda especie en importancia para el establecimiento de plantaciones realizadas en la Guayana venezolana, lo cual nos da una

idea de la importancia estratégica de mejorar los procesos de producción en viveros de esta especie cuya madera posee un alto valor comercial, siendo este un tipo de plantaciones con fines productivos. Las plantaciones efectuadas con fines de protección y restauración de ecosistemas, realizadas por la Misión Árbol desde el año 2006, programa adscrito al Ministerio del Ambiente hasta el año 2015 (Ahora Ecosocialismo y Aguas), han sido escasamente documentadas y no se cuenta con información oficial que nos permita tener una idea cierta de la efectividad del referido programa.

Existen alternativas para mejorar los rendimientos de producción tanto en viveros como para la supervivencia en campo. Actualmente son bien conocidos los efectos beneficiosos de las micorrizas arbusculares (MA), sabiéndose que influyen en el establecimiento y el crecimiento de las plantas en los ecosistemas. Ésta es una asociación simbiótica que se establece entre las raíces secundarias de la mayoría de las plantas y los hongos del phylum Glomeromycota u hongos formadores de la micorriza arbuscular (HMA). La MA se presenta en la mayoría de los ecosistemas terrestres del planeta, manteniéndose así una estrecha coevolución entre las plantas y los HMA del suelo. La MA se caracteriza por formar vesículas y arbusculos, estructuras fúngicas que se generan en el interior de las células corticales, en donde se realiza el intercambio de nutrientes entre los participantes los cuales comprenden la mayor absorción de elementos poco móviles en el suelo como el fósforo, cobre y zinc por parte de las plantas micorrizadas (Smith y Read, 2008). Además, gracias al uso más eficiente que hacen las plantas micorrizadas de los nutrientes del suelo, permite ahorrar fertilizantes químicos y reducir por consiguiente los

problemas de contaminación que el uso excesivo de fertilizantes conlleva (Cuenca *et al*, 2007).

Por otra parte, las plantas micorrizadas son capaces de hacer un mejor uso de los fertilizantes orgánicos, bien sea debido a la producción de fosfatasas por parte de los hongos mismos (Dodd *et al.*, 1987, Joner y Johansen, 2000) o bien gracias a la asociación existente entre las hifas de las MA y los microorganismos que participan en la mineralización de la materia orgánica (Azcón-Aguilar y Barea, 1992). Investigaciones relativas con el impacto de los HMA en la composición y funcionamiento de las comunidades vegetales concluyen que la diversidad y actividad de los HMA son un mecanismo clave para el funcionamiento de los ecosistemas (Barea, *et al.* 2011). Los mecanismos por los cuales esto se logra esto son, a través de la exploración del volumen de suelo, incrementando la disponibilidad de nutrientes, ya que el diámetro de los pelos radicales es normalmente mayor a 10 μm , en comparación con el de las hifas de 2 a 4 μm . Así, se da el movimiento más rápido del fósforo a la hifa micorrízica, incrementando la afinidad de los iones P, y disminuyendo la concentración mínima requerida para la absorción de P. Algunos autores indican que la MA producen ácido oxálico y enzimas que poseen mayores constantes de formación de complejos para el Ca, Fe, Al, y solubilizan cantidades considerables de fósforo (Suri, *et al.* 2011). Sin embargo, en ecosistemas degradados o intervenidos, por deforestación o por actividad agrícola intensiva, generalmente con el establecimiento de monocultivos, se genera una drástica perturbación en dicho ecosistema, lo cual afecta la composición especies y número de Glomeromycota (Toro, 2008). En Australia (Jasper *et al*, 1987) reportaron un descenso en la composición de

especies y número de Glomeromycota después de la perturbación causada por pérdida de la vegetación. En Venezuela (Toro *et al*, 2008) observaron una disminución del número de esporas en sistemas agrícolas del estado Guárico, al aplicar manejos que involucraban fertilización química. En el caso particular de los ecosistemas boscosos ubicados en las cuencas hidrográficas que se buscan recuperar o restaurar mediante programas de reforestación como la Misión Árbol, que han sido afectados por una fuerte intervención antrópica, como deforestación, quemas, e incendios forestales, se debe considerar este aspecto. Así en un sistema natural, sólo ciertas plantas con estrategias muy particulares (alta tasa reproductiva, poco micótrofas) pueden colonizar suelos perturbados, modificando paulatinamente las condiciones edáficas hasta favorecer el establecimiento y repoblación de los hongos Glomeromycota (Toro, 2008). En la fase inicial de los sistemas agrícolas, es necesario inocular las plantas con estos hongos, para que puedan establecerse en estas nuevas condiciones del suelo (Johnson y Pflieger, 1992), igualmente esto es aplicable para las plantas de especies forestales a ser establecidas en ecosistemas degradados ó en prácticas de reforestación. La inoculación con hongos Glomeromycota permitirá asegurar que la planta se establezca en un suelo desprovisto de estos organismos. La repoblación con los Glomeromycota y restablecimiento de los contenidos nutricionales del suelo, constituyen una estrategia de manejo diseñada para tal efecto (Toro, 2008).

Para el manejo de la especie samán, debemos tomar en cuenta su naturaleza como leguminosa, y en especial el hecho de ser partícipe en la simbiosis con las bacterias tipo rizobios, fijadoras simbióticas de N, lo que hace que las leguminosas tengan una asociación tripartita planta-bacteria-hongo. La fijación simbiótica de N₂ es llevada a cabo por bacterias

que poseen la enzima nitrogenasa, la cual reduce el N_2 atmosférico a amonio en nódulos simbióticos que forman en las raíces de la planta. Las bacterias responsables pertenecen a los géneros: *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* y *Azorhizobium*, llamadas colectivamente rizobios (Barea, *et al.* 2005). La simbiosis tripartita es sumamente importante para la agricultura, ecosistemas naturales y programas de reforestación (Cuenca, 2015). Las leguminosas muestran un incremento en la concentración de Nitrógeno cuando están micorrizadas, los altos requerimientos energéticos de la fijación simbiótica de nitrógeno son compensados por el aporte de fósforo de la micorrización, de allí el efecto sinérgico frecuentemente observado cuando una leguminosa es inoculada tanto con rizobios como con HMA (Barea, *et al.* 1992; Sprent y James 2007, Azcón y Barea 2015)

Por otra parte, el uso de abonos orgánicos es atractivo por su menor costo en producción y aplicación, por lo que resulta más accesible a los productores, sobre todo en países donde la mayor parte de la producción de alimentos se logra a través de una agricultura no tecnificada tal como ocurre en América Latina (Roe, 1998).

Uno de los abonos orgánicos que ha sido más estudiado en los últimos años es el compost. Se ha comprobado que mejora algunas características del suelo como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fósforo y potasio, mantiene pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión. Los efectos mencionados permiten mejorar los suelos agrícolas incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrimentos, capacidad de retención de agua y pH alto (FAO, 1991; Trueba, 1996; Ruíz, 1996). Así

mismo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y agricultura (FAO) mantiene actualizados una serie de documentos donde hacen del dominio público las ventajas de la utilización del compost en la agricultura, y sus bondades frente a la fertilización química. En el Manual de Compostaje del Agricultor (FAO, 2013), se reconoce que el compost permite el reciclaje de residuos orgánicos, reduciendo la contaminación y el costo de fertilizantes como insumo para la producción agrícola, y así mismo ofrece una alternativa a la problemática de la escasez de suelos de buena calidad para la producción de la agricultura familiar por medio de estrategias sencillas. También se indica que es necesario difundir tecnologías de mejoramiento de suelos como el compostaje en la agricultura urbana y periurbana y en la producción agrícola familiar ya que la sostenibilidad y el incremento de la fertilidad del suelo son aún un reto para la región.

De la consulta bibliográfica realizada, se observó que se han llevado a cabo gran variedad de estudios de la asociación micorrízica arbuscular en especies de importancia ecológica o agronómica, con diversidad de enfoques. Sin embargo, en las regiones neotropicales, los estudios detallados de la diversidad y funcionamiento de las MA, especialmente aquellos vinculados con la producción y manejo de especies de importancia forestal han sido limitados (Rodríguez-Morelos *et al*, 2011), y se debe hacer un particular énfasis en la producción de las especies forestales que actualmente se encuentran en estado vulnerable o en peligro de extinción, como caoba y samán.

En Venezuela se han realizado algunos estudios con especies de ecosistemas donde se desarrollan las especies en estudio. En el Bosque Deciduo Tropical se han estudiado los efectos de la inoculación con MA sobre la leguminosa *Piscidia carthagenensis* (Kallinhoff,

et al. 2010). De las especies en veda, el saqui-saqui (*Pachira quinata*), autóctona de los bosques inundables del occidente del País, fue objeto de un estudio donde se evaluó el crecimiento de plántulas en vivero como respuesta ante la inoculación con MA, indicando una fuerte dependencia micorrízica de la especie (Mora, 2010). Sin embargo, estos estudios deben ampliarse a las demás especies con prioridad de protección y recuperación.

También el uso de compost, se ha limitado al área agrícola y no ha sido tan popular en la silvicultura. Por esto se considera prioritario evaluar la interacción y potencial de estas dos tecnologías agrícolas, y su aplicación en la producción de especies forestales cuya conservación es prioritaria dada su vulnerabilidad actual. En Venezuela los trabajos sobre compostaje se centran especialmente en evaluar el proceso de producción, así como la calidad del producto final, mas no así su idoneidad como sustrato para la producción de especies forestales en particular. Una de estas caracterizaciones se realizó del compostaje de residuos azucareros (Sánchez, 2009), también del compost a partir de pulpa de café (Pierre *et al*, 2009).

En nuestro País, La ley de Bosques, principal Ley del marco legal forestal, establece en su Artículo 58, que: “El Estado fomentará los bosques plantados y los sistemas agroforestales, para la recuperación y conservación de áreas boscosas, así como para la conformación de nuevas fuentes de materia prima forestal”, así la presente investigación tiene un fuerte basamento tanto ecológico como legal, que busca ser un aporte para mejorar la eficiencia y efectividad con que los diversos programas tanto públicos como privados, realizan la producción y establecimiento de estas dos especie objetos de estudio, con la

finalidad tanto de protección y conservación, como productiva y aprovechamiento bajo sistemas agroforestales.

La experiencia de trabajo en los Viveros Forestales Institucionales del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas, ha permitido al autor constatar la elaboración de abonos orgánicos (compost) para la producción de especies forestales y ornamentales, sin embargo esto se realiza de forma empírica sin que exista un método homogéneo para obtener el referido producto, uno de los objetivos de este trabajo es caracterizar el compost producido por el Vivero Forestal Santa Rosa, del Estado Miranda y evaluar su potencial como sustrato para la producción de Caoba y Samán en combinación con la inoculación de HM.

3. Hipótesis:

El crecimiento de plántulas de especies forestales en peligro de extinción en vivero, podrá ser mejorado con el uso de micorrizas arbusculares y la aplicación de compost como sustrato.

4. Objetivos

Objetivo General.

Evaluar el efecto del uso combinado de inoculos de hongos del Phylum Glomeromycota formadores de micorrizas arbusculares y compost, en el crecimiento de especies forestales vulnerables y en peligro de extinción, caoba (*Swietenia macrophylla* King) y samán (*Albizia saman* (Jacq.)).

Objetivos Específicos.

- Estudiar la presencia de hongos del Phylum Glomeromycota, asociados a especies forestales vulnerables y en peligro de extinción.
- Cultivar los hongos Glomeromycota asociados a las especies en estudio.
- Analizar la composición nutricional del compost producido por el Vivero Santa Rosa (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, hoy Ecosocialismo y Aguas).
- Valorar el efecto de la combinación de distintos tratamientos con compost e inóculos de hongos Glomeromycota sobre el crecimiento y desarrollo de las especies en estudio. Caoba (*Swietenia macrophylla* King) y samán (*Albizia saman* (Jacq.)).

5. Materiales y Métodos.

5.1. Especies vegetales a estudiar.

- a) **Caoba:** *Swietenia macrophylla* King. (www.theplantlist.org).

Nombres comunes: Caoba, Caoba negra, Caobano, Orura (U.L.A., 2005).

Familia: Meliaceae

Descripción botánica: La caoba es un árbol imponente, de gran tamaño, fuste recto, fisurado, sin ramas hasta aproximadamente un 50% de su altura total, perfectamente cilíndrico, de copa ancha en los ejemplares viejos, ramificación robusta, bien distribuida y follaje tupido. En ejemplares de gran edad, suelen observarse expansiones basales de sostén, que generalmente no llegan a alcanzar la altura de medición (1,30 m). Puede alcanzar alturas de 40 a 45 m y en casos excepcionales, hasta 2 m de diámetro, sin embargo, el promedio es de 30 a 35 m de altura y 0,8 a 1,6 m de diámetro. Las hojas nacen de las yemas axilares de la planta, son alternas, paripinnadas (a veces imparipinnadas) de

15 a 45 cm de largo, incluyendo el raquis, aunque en los árboles jóvenes son más largas aún.

Los árboles de esta especie son caducifolios en las zonas más secas de su área geográfica, en las selvas tropófitas venezolanas la caoba pierde sus hojas por un breve período en lo más acusado del verano que dura desde noviembre hasta marzo, y los renuevos rebrotan rápidamente durante el mismo verano, revistiendo a los árboles de un follaje de color marrón verduzco brillante. (U.L.A., 2005).

El género *Swietenia* es monoico, con flores estructuralmente perfectas, pero funcionalmente imperfectas, es decir, los árboles producen flores tanto funcionalmente pistiladas como estaminadas, generalmente en inflorescencias separadas; sin embargo, las flores de *S. macrophylla* son funcionalmente unisexuales; la mayoría de los botánicos las describen como hermafroditas y perfectas, debido a que cada flor parece tener ambos órganos reproductivos.

El fruto es una cápsula erecta, elongada a elongada-ovoide, de color pardo grisácea, lisa o diminutamente verrugosa, de 10 a 22 cm de largo, 6 a 10 cm de ancho, con 4 valvas leñosas de 6 a 8 mm de grueso. Cada cápsula contentiva de 45 a 70 semillas. Los árboles de caoba son fáciles de reconocer desde grandes distancias pues prácticamente en la punta de cada rama hay un fruto apuntando hacia arriba de forma muy llamativa.

Cuando el fruto alcanza la madurez, se abre dejando salir entre 45 y 70 semillas, las cuales se encuentran envueltas en una estructura de unos 6 a 10 cm de longitud, con forma de aspa, consistente en un ala membranosa muy amplia, delgada y frágil, y de una cabeza

formada por un tejido grueso y corchoso en donde se aloja una semilla única; esta estructura es un apéndice que sirve a la semilla para desplazarse lejos del árbol madre. El endospermo o la semilla propiamente dicha es de 1.5 - 1.8 cm de largo, con la forma de un haba de color blanco con un largo hilum u ombligo de color negro (Betancourt, 1983). Las semillas son aladas, livianas, de 7.5 a 8.9 cm de longitud y de 2.0 a 2.5 cm de ancho (CATIE, 1997). Son de color marrón – rojizo, provistas de un ala membranosa, de dimensiones que oscilan entre 7,5 x 2 cm; encontrándose alrededor de 40 semillas en cada fruto y unas 1800/kg. (U.L.A., 2005).

De acuerdo con Lamprecht (1990), la caoba crece en un espectro de altitud que abarca desde el nivel del mar hasta los 1500 – 1800 m., concentrada principalmente en altitudes que oscilan entre 0 y 450 m.

Crecimiento en Viveros: Las experiencias de Caparo indican que la caoba debe permanecer en el vivero por un tiempo de 11-13 meses para poder alcanzar unos 80 cm. de altura y 1,5– 2,5 cm de diámetro a nivel del cuello. (U.L.A., 2005).

Nivel de Amenaza: En Peligro Crítico según (Llamozas et al, 2003).

Micotrofia: La especie presenta respuesta efectiva a la inoculación con MA (Oconor, 2010). La presencia de MA asociadas a esta especie en las poblaciones presentes en bosques inundables del occidente de Venezuela, especialmente del Estado Barinas, no ha sido estudiada (Cuenca, 2015).

- b) **Samán:** *Albizia saman* (Jacq.) Es un sinónimo de *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth Merr. (otro sinónimo: *Samanea saman* (Jacq.) Merr.) (www.theplantlist.org)

Nombres Comunes: Samán, Urero, Carabalí, Cenicero.

Familia: Mimosaceae.

Descripción Botánica: Árbol de 20-30 m de alto que rara vez alcanza hasta 50m. Copa ancha y tendida de hasta 30 m o más de diámetro. Hojas compuestas, alternas, bipinnadas, estípulas presentes. Hojuelas de ovado-oblongas a casi redondas, de 2-4 cm de largo, brillantes en su cara superior y algo pubescente en la inferior. Inflorescencia en cabezuelas. Flores cortamente pediceladas. Cáliz de 7-10 mm de largo. Corola de 9-14 mm de largo. Estambres numerosos y llamativos, filamentos blancos en la base y rosados en su parte más distal, de 2-4 cm de largo. Fruto en forma de legumbre recta, ligeramente curvada, indehiscente, de 10-20 cm de largo y 1,5-2,5 cm de ancho, marrón oscuro cuando maduro (Pittier 1926, Schnee 1960, Barneby & Grimes 1996). Presenta un crecimiento medianamente lento y un sistema radical superficial. Se propaga por semillas (Hoyos 1985, 1987). Inicia su floración en febrero extendiéndose hasta finales de abril. La floración es gregaria y muy llamativa. Los frutos inicialmente se mantienen muy pequeños, casi imperceptibles, observándose un crecimiento significativo a mediados de diciembre, siguiendo inmediatamente la madurez y caída del fruto en la temporada seca (Ortiz 1990).

Se encuentra con mayor frecuencia en tierras calientes, llanuras y bosques semidecíduos. Crece principalmente en suelos aluvionales de bosques de galería de los ríos afluentes al Orinoco, al norte de país; también se encuentra en bosques húmedos, sabanas inundables, sabanas boscosas, bosques tropófilos y bosques secos. (Llamozas et al, 2003). Reportado entre 50 y 1000 msnm. (Hokche et al, 2008)

Nivel de amenaza: Vulnerable. (Llamozas et al, 2003).

Micotrofia y asociación con bacterias simbióticas o rizobios: Ha sido estudiada la simbiosis con bacterias de la familia Rizobiaceae (Allen y Allen, 1936), también presenta un alto grado de dependencia a la simbiosis con MA (Zarate y De La Cruz, 1991), así en este caso se presenta la simbiosis tripartita, Rizobio-planta-MA, la cual es de gran interés en los manejos de especies de leguminosas, y para su utilización en programas de reforestación y restauración ecológica. Así mismo su mayor capacidad de adaptación a entornos pobres en Nitrógeno, mayor eficiencia para captar otros nutrientes y aportes nutricionales al suelo han sido bien documentados para las leguminosas.

5.2. Sitio de Estudio.

La toma de muestras de suelo rizosférico se realizó en una sabana no inundable (sabanas estacionales según Sarmiento, 1990), localizada al Sureste del estado Guárico. Municipio Santa Maria de Ipire (8° 24' 49" N- 68° 26' 48" W) comprendida dentro de los límites de la unidad de producción “Estación Experimental La Iguana” que pertenece a la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Estando ubicada en la Provincia Fisiográfica de los Llanos y en la región natural de los llanos orientales. El ambiente se describe seguidamente:

Clima: Precipitación promedio anual: 1369 mm

Temperatura promedio: 27.3 °C

Evapotranspiración: 2300 mm

Meses Secos: 6

Uso del Suelo: Agrícola-Pecuario. Ensayo Sistema de Manejo Conservacionista (Maíz – Ganado).

Ambiente Geomorfológico: Estructura Geológica: Cuenca Sedimentaria.

Altitud msnm: 104 m

Material Parental: Formación Chaguaramas

Permeabilidad: Moderada

Clase de Drenaje: Moderadamente Bien Drenado

Erosión: Laminar superficial



Figura N° 2. Localización relativa del sitio de muestreo del suelo rizosférico.

5.3. Descripción de muestras de suelo, semillas y compost.

5.3.1. Toma de muestras de suelo Rizosférico.

Se procedió mediante un palín a extraer tres muestras de suelo rizosférico, una asociada a cada especie (caoba y samán) y una tercera del suelo de sabana cercano a donde se desarrollan las especies. Para las muestras procedentes de los árboles en estudio, se excavó

a una profundidad suficiente (alrededor de un metro) para encontrar raíces finas de los individuos y se recolectó una cantidad aproximada de 2 kg de cada uno (caoba y samán). Para la muestra de suelo de sabana, se retiró la capa superficial con raíces finas, entre 0 y 20 cm de profundidad, en una porción de 12 a 15 kilogramos. La mayor parte de este suelo se utilizó para la reproducción de los hongos Glomeromycota asociados a cada especie, cernidas por un tamiz de 2 mm de apertura. Las muestras procedentes de los árboles fueron colocadas en macetas trampa de 2 Kg de capacidad mientras la muestra de sabana se colocó en un contenedor plástico de 15 kg de capacidad. Las porciones restantes de cada muestra fueron almacenadas en nevera hasta que se realizó la extracción de esporas de los hongos Glomeromycota, según el método de filtración y decantación húmeda (Gerdemann & Nicolson, 1963), para su cuantificación y caracterización.

5.3.2. Caracterización y enriquecimiento de esporas de las muestras rizosféricas.

Se tomó una porción de 100 g de cada una de las muestras de suelo rizosférico almacenada y refrigerada, tres (3) en total, asociadas a las especies en estudio (caoba, samán y suelo de Sabana) para aplicar la extracción de esporas de MA, según el método de filtración y decantación húmeda (Gerdemann & Nicolson, 1963) para su conteo y caracterización de los principales géneros presentes en cada caso.

Este método consiste en la suspensión de una muestra de 100 gr. de suelo, en agua corriente, y luego su filtración a través de tres (3) tamices (53 μ m, 82 μ m y 200 μ m), la fracción que queda entre 53 μ m-82 μ m, es resuspendida en agua y centrifugada a 2500 rpm

durante 5 minutos y el sedimento (pelet) resultante se centrifuga 2500 rpm durante 2 minutos en un gradiente de sacarosa (60%-20%), el sobrenadante de este gradiente se filtra nuevamente en un pequeño tamiz de 53 μ m, en el cual quedan separadas las esporas de HMA. Posteriormente se seca en estufa a 80° C, durante 24 horas, una muestra de 100 gr de dicho suelo, para reportar el número de esporas/gr de peso seco de suelo, siendo menor a 20 esporas/100 gr. suelo para las 3 muestras. La porción restante de la muestra rizosférica se colocó en macetas trampa para el cultivo y reproducción de hongos formadores de MA para obtener los inóculos según el método de enriquecimiento de esporas (Brundrett et al., 1996). Se sembraron en macetas con suelo nativo de cada especie, tres especies altamente micótrofas, maíz (*Zea mays*), frijol (*Vigna unguiculata*) y *Centrosema macrocarpum*, se sometieron a condiciones de estrés hídrico y poda periódica. Se realizó el conteo de esporas a los 4 y 6 meses, para verificar si había incrementado el número de esporas. Se prolongó el ensayo hasta 10 meses, obteniéndose resultados positivos sólo en el inóculo de sabana.

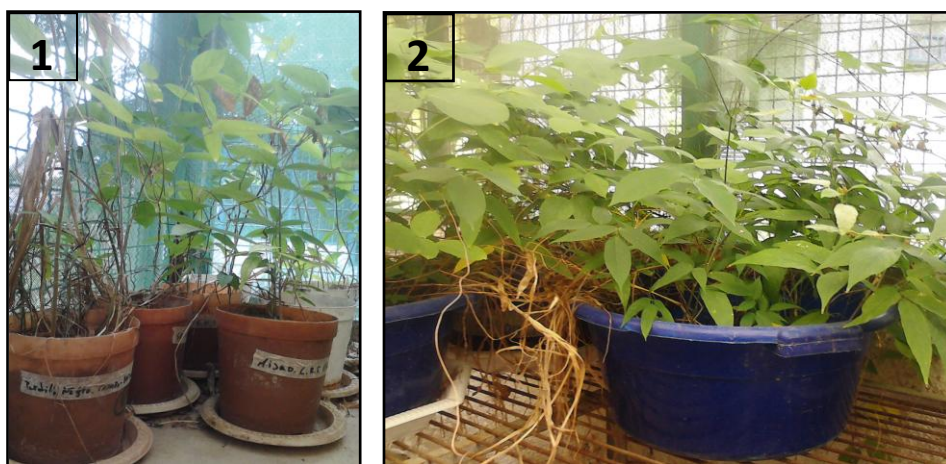


Figura N° 3. Macetas trampas con las muestras de suelo rizosférico de las especies en estudio y especies micótrofas maíz (*Zea mays*), Frijol (*Vigna unguiculata*) y *Centrosema macrocarpum*. 1. Muestras de las especies arbóreas. 2. Muestra de suelo de Sabana.

5.3.3. Origen de las semillas de las especies en estudio.

Las semillas de ambas especies, caoba y samán, fueron suministradas por la Dirección General de Bosques del Ministerio del Ambiente y por el Centro de Recursos Fitogenéticos, El Limón, Edo. Aragua. Sin embargo, debido a la baja tasa de germinación presentada por las semillas de caoba, se realizó también su recolección en zonas urbanas de Caracas de esta especie que se encontraba en fructificación para el momento del ensayo.

5.3.4. Esterilización de las semillas de las especies en estudio.

Para la esterilización de las semillas de las 2 especies utilizadas, se procedió a sumergirlas en cloro al 10% durante 10 minutos, luego se lavaron con agua destilada estéril. Para las semillas de caoba no se utilizó ningún tratamiento pregerminativo (CATIE, 1997), se germinaron en arena esterilizada a 80 °C por 48 horas. En el caso del samán, las semillas se sumergieron en agua durante 24 horas, que es el tratamiento recomendado (CATIE, 2000), y se pregerminaron sobre papel de filtro para facilitar su trasplante. Posterior a su germinación se trasplantaron a las macetas con cada uno de los respectivos tratamientos. Para Caoba el porcentaje de germinación fue del 90% mientras para el samán se obtuvo un porcentaje de germinación del 83%.

5.3.5. Compost.

Se utilizó el compost producido por el Vivero Forestal Institucional Santa Rosa, dependiente de la Dirección General de Bosques del Ministerio del Poder Popular para Ambiente, ubicado en la Autopista Petare-Guarenas, sentido Caracas, a 200 m del Terminal de Oriente, Municipio Sucre del Estado Miranda. Este vivero produce las plantas utilizadas

en los programas de reforestación, recuperación y ornato de sectores ubicados en el área metropolitana de Caracas, y Parque Nacional Waraira Repano. (Dirección General de Bosques, 2010). El abono se preparó a partir de una mezcla de restos vegetales, aserrín, estiércol de caballo y cascara de café, las proporciones utilizadas por el vivero varían en gran medida debido a la disponibilidad de dichos insumos básicos y su tiempo de compostaje fue de cuatro meses. Su color pardo oscuro, ligeramente negro y su olor a tierra mojada, buena textura, poroso, lo que muestra su estado de madures apropiado como sustrato, y fue cernido por un tamiz de 1cm para retirar fragmentos de ramas y piedras. Se midieron algunos parámetros químicos, entre éstos su pH es 7,18, % Materia Orgánica de 71,41 %, % Nitrógeno Total de 0,13 %, % Fósforo Total 0,09% y presenta una Relación C/N de 319,37.



Figura N° 4. Compost Utilizado en el ensayo. Producido en el Vivero Santa Rosa.

5.4. Preparación del Sustrato.

Las prácticas de producción de plantas forestales realizadas en el Vivero Forestal Institucional Santa Rosa, se caracterizan porque se ajustan a la disponibilidad de sustratos con que cuentan al momento de iniciar la producción, sin embargo se pudieron observar a

grandes rasgos dos prácticas, una que consiste en la utilización directa del compost sin ningún tipo de aditivo como arena u otras tierras o sustrato y otra que consiste en una mezcla 2:1 de arena y compost, de tal manera que para este ensayo se reprodujeron ambas prácticas que constituyen dos estados nutricionales diferentes, uno máximo y otro mínimo, que identificaremos como concentraciones del sustrato.

Sustrato al 100%. Consiste en el compost puro, sin ningún tipo de aditivo, tal cual se produce en el Vivero, lo identificaremos como **COMPOST 100%**.

Sustrato al 30%. Consiste en una dilución 3:10 de Compost puro en arena estéril (arena esterilizada a 80 °C por 48 horas), es una mezcla homogénea de 3 partes de compost y 7 partes de arena. Lo identificaremos como **COMPOST 30%**.

5.5. Preparación del inóculo de hongos Glomeromycota nativos.

En la maceta trampa donde fue colocada la muestra rizosférica de suelo de sabana para el cultivo de MA (Brundrett et al., 1996), por un periodo de 10 meses, se cortó toda la parte aérea de las plantas hospederas (maíz (*Zea mayz*), frijol (*Vigna unguiculata*) y *Centrosema macrocarpum*), y luego se homogenizó todo el suelo del recipiente mediante palín. El sustrato resultante fue el utilizado como inóculo y valorado según el método de filtración y decantación húmeda (Gerdemann & Nicolson, 1963), contabilizando 368 esporas/100 gr. suelo seco.

5.6. Diseño Experimental. Ensayo de inoculación con MA y compost de las especies en estudio. Análisis de Laboratorio. Análisis Estadístico.

5.6.1. Diseño Experimental.

Para ambas especies (caoba y samán), se utilizó el mismo diseño factorial, con el mismo número de réplicas (N=10). Dicho diseño permite determinar el efecto y las interacciones entre los dos factores a evaluar, la concentración del compost (Primer Factor) y la inoculación con HMA (Segundo Factor). A su vez cada factor se presenta a dos niveles, para la concentración de Compost, (Nivel 1= Compost 100% y Nivel 2= Compost 30%), para la Inoculación tenemos (Nivel 1= Con Inoculación y Nivel 2= Sin Inoculación).

De tal manera que la combinación de factores y niveles origina cuatro tratamientos que se detallan a continuación:

Tratamiento 1. (T-1). Concentración de **Compost 100%** y **Con MA**.

Tratamiento 2. (T-2). Concentración de **Compost 100%** y **Sin MA**.

Tratamiento 3. (T-3). Concentración de **Compost 30%** y **Con MA**.

Tratamiento 4. (T-4). Concentración de **Compost 30%** y **Sin MA**.

Dicho diseño se representa de forma gráfica en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño Experimental utilizado para las especies de caoba y samán, con uso de 2 concentraciones de compost e inoculación o no con hongos Glomeromycota.

FACTORES	NIVELES	Concentración de Compost	
		100 %	30%
Inoculación con Hongos Glomeromycota	Con MA	T-1	T-3
	Sin MA	T-2	T-4

5.6.2. Crecimiento de las especies en vivero

Para el crecimiento de los individuos de ambas especies se utilizaron bolsas para plantas de polietileno de 1,5 Kg de capacidad. Para la siembra de las plantas en vivero, en cada una se agregaron 500 gr de sustrato seco, cernido por un tamiz de 1cm, y mezclado homogéneamente dependiendo del tratamiento a aplicar. En los tratamientos T1 y T2, que poseen 100% compost, se utilizó el sustrato suministrado sin ningún otro tipo de aditivo, mientras en los tratamientos T-3 y T-4, el sustrato utilizado consistió en una mezcla 3/10 partes de Compost puro y 7/10 partes de arena esterilizada a 80 °C por 48 horas. Para los tratamientos con inoculación (T-1 y T-3) se les agregó 30 gr. de inóculo de hongos *Glomeromycota* nativos de sabana con 368 esporas/100 gr. suelo seco, en la abertura en el sustrato donde se trasplantó cada plántula. A los tratamientos T-2 y T-4 no se aplicó inoculación.

El ensayo se estableció en el vivero del Laboratorio de Estudios Ambientales, Instituto de Zoología y Ecología Tropical. U.C.V; 80 plantas en total, 40 de caoba y 40 de samán en condiciones de iluminación natural y se aplicó riego interdiario (cada 48 horas) mediante regadera manual. El experimento duró 204 días para caoba y 271 días para samán. La diferencia en entre ambas especies se debió a la dificultad para lograr la germinación de la caoba. Se determinó el crecimiento de las plantas (altura en cm) cada 7 a 15 días. Al finalizar el experimento, se analizaron las 80 plantas en el laboratorio determinando la biomasa del vástago y de la raíz (peso seco a 60 °C), contenido de N y P (Chapman et al., 1973) en el vástago, porcentaje de colonización radical por MA (Phillips & Hayman, 1970;

Sieverding, 1983). En el caso del samán se contaron y pesaron los nódulos formados espontáneamente por los rizobios fijadores de N₂ en las raíces.

5.6.3. Análisis químico de laboratorio

En el Laboratorio de Estudios Ambientales se midieron los siguientes parámetros químicos, tanto del compost utilizado como de las plantas del experimento.

Tabla 2. Análisis realizados en el laboratorio, en el sustrato como en la biomasa del vástago las plantas del estudio.

Parámetro	Metodología
pH (proporción 5:1 agua: sustrato)	Potenciométrico, (Jackson. 1982)
% Materia Orgánica	Chapman (1973)
% Nitrógeno Total	Kjeldhal (1973)
% Fósforo Total	Murphy y Riley (1972)
Relación C/N	Matemático
% de Colonización Radical por MA	Phillips & Hayman (1970)

Medición de pH. El pH se determinó en el compost puro. Se pesaron 2 gramos de compost, por triplicado, en un tubo de ensayo ancho, se agregaron 10 mL de agua destilada, luego se agitó con agitador mecánico, se dejó reposar 30 minutos y se midió el pH, mediante pHmetro Modelo Star A211, marca Thermo Scientific Orion, según Jackson, 1982.

Determinación de Materia Orgánica. Esta medición también se realizó sólo en el compost puro, la cual consistió en pesar 1,5 gr. de compost seco por triplicado, en crisoles completamente limpios y secos, llevados a calcinar en la mufla durante 2 horas a 600 ° C.

Cuando las muestras alcanzan peso constante, se promedia la pérdida de peso como el carbono liberado, y ésta es la fracción de materia orgánica presente en la muestra (Chapman, 1973).

Digestión del material vegetal. Se pesó 0,05 g de cada una de las 10 réplicas de muestra del vástago (previamente secadas y pulverizadas) correspondientes a los 4 tratamientos por cada especie y por triplicado en el caso del compost; se colocaron en tubos de digestión, se agregaron 3mL de ácido sulfúrico y se colocaron en el bloque digestor. Se elevó progresivamente la temperatura hasta 200° C, se retiran durante 1 minuto del bloque para se agregar 2 mL de peróxido de hidrógeno (reacción fuertemente exotérmica), se colocan nuevamente en el bloque, hasta alcanzar 350° C, durante aproximadamente 3 horas, hasta que las muestras estuvieron completamente claras. Se dejaron enfriar y se diluyó con agua destilada hasta un volumen de 50 ml. Los extractos se reservaron para las determinaciones de los elementos nitrógeno y fósforo.

Determinación de Nitrógeno y Fosforo Total. Esta medición fue realizada tanto en el compost puro como en las muestras vegetales provenientes del experimento (vástago de individuos de caoba y samán).

Nitrógeno. La metodología utilizada fue la de Kjeldhal (1973). En los tubos especiales para este instrumento (Modelo UDK-149) se colocaron 15ml del extracto de la digestión y 7 ml de hidróxido de sodio, dichos tubos se colocan en el destilador donde ocurre la reacción de extracción del nitrógeno presente en la muestra. El producto de la destilación es recogido en fiolas de 125 ml donde se colocaron 5ml de ácido bórico más 5 gotas del indicador.

Luego con una bureta de 50 ml preparada con HCl a 0,01N, se realizó la titulación de cada solución que se encontraba en las fioles, indicando su finalización el paso de verde turquesa a rojo con matiz de violeta, y determinándose los ml de HCl gastados.

La ecuación utilizada para la determinación de **NTOTAL** fue la siguiente: $\% N = (T - B) \times N \times 1,4 / S$, donde:

T: ml de ácido gastado en la titulación/**N:** Normalidad del ácido/**B:** Blanco/**S:** Peso de la muestra/ $1,4: 10^{-3} \times 1,4 \text{ g/eq} \times 100$.

Fósforo. Se utilizó la medición por colorimetría (Murphy y Riley. 1972). En balones de 25 ml se añadieron entre 3 y 5 ml de extracto de las digestiones, se colocaron 3 gotas de p-nitrofenol se ajustó el pH de la solución hasta que fue incolora. Se añadieron 4 ml del reactivo mixto. Se esperó 30 minutos hasta que la solución adquirió un tono azul, luego se enrasó con agua destilada hasta 25 ml. Se determinó la absorbancia de las muestras en el espectrofotómetro Marca Thermo Scientific, Modelo Genesys 10S UV-Vis, a una longitud de onda 840 nm junto a la respectiva curva de calibración.

Relación C/N. Se calculó aplicando: $\% \text{ Carbono Orgánico} / \% \text{ Nitrógeno Total}$. $\% \text{ Carbono Orgánico} = \% \text{ Materia Orgánica} / 1,72$ (Jackson, 1982).

Evaluación del porcentaje de colonización de raíces. Tinción con azul de tripán.

Finalizado el experimento, se extrajeron las raíces finas de los individuos cosechados, limpiando con agua corriente cuidadosamente para limpiar restos de sustrato. Se colocaron las raíces en una solución de KOH al 10% a temperatura ambiente durante 24 horas. Se calentaron en baño de María, durante una hora. Para las raíces de caoba adicionalmente se

decoloraron con peróxido de hidrógeno al 10 % v/v, durante un período de 2 minutos. Nuevamente se lavaron las raíces en agua corriente y se colocaron en una solución de HCl al 10%, cubriéndolas completamente durante 15 minutos. Posteriormente se descartó el ácido y se agregó el colorante (azul de tripán en lactoglicerina al 0.05 %) y se calentaron a baño de maría durante 5 minutos. Se decantó el colorante y se conservó las raíces en lactoglicerina (ácido láctico- glicerina- agua 1:1:1) hasta su observación en el microscopio o lupa (Phillips y Hayman, 1970).

Porcentaje de colonización por MA. Para evaluar el porcentaje de colonización por micorrizas arbusculares (%MA) en las raíces se realizó la observación directa en microscopio, evidenciando presencia o ausencia de las estructuras típicas: arbúsculos, vesículas, enrollados e hifas solas independientemente de la abundancia de cada estructura. Las raíces teñidas son colocadas en un portaobjeto previamente delineado con líneas paralelas, de forma perpendicular a las líneas, de tal manera de contabilizar unos 100 campos de observación, y los cálculos se realizan de la siguiente manera: **Colonización total por MA** = $((N^{\circ} \text{ total de campos}) - (N^{\circ} \text{ de campos no infectados})) * 100 / N^{\circ} \text{ total de campos}$ (Sieveriding, 1983).

5.6.4. Análisis estadístico.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Sigmaplot versión 11.0, año 2008, siendo realizado un análisis de varianza de 2 vías (ANOVA), en el que los factores considerados fueron la Concentración del Compost y la Inoculación con Hongos Glomeromycota. Se evaluaron dos niveles en ambos factores, compost al 100% y al 30%

para la concentración del compost, y para la inoculación, los niveles fueron: Con MA y Sin MA. Si las medias poblacionales de los tratamientos presentaban diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey para su verificación.

6. Resultados y Discusión.

6.1. Composición del compost utilizado.

El compost fue preparado a partir de una mezcla de restos vegetales, aserrín, estiércol de caballo y cascara de café, su tiempo de compostaje fue de cuatro meses. Su color pardo oscuro, ligeramente negro y su olor a tierra mojada, buena textura y porosidad muestran su estado de madurez apropiado como sustrato. Fue cernido por un tamiz de 1cm para retirar fragmentos de ramas y piedras. Se midieron algunos parámetros químicos, éstos se pueden apreciar en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Valores nutricionales del compost puro producido en el Vivero Forestal Institucional Santa Rosa.

pH	% Materia Orgánica	% Nitrógeno Total	% Fósforo Total	Relación C/N
7,18 (± 0,1)	71,41 (± 0,3)	0,13 (± 0,04)	0,09 (± 0,005)	319,37

*Los datos son el promedio de tres muestras. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

Los contenidos nutricionales del compost varían mucho en función de los materiales utilizados para su elaboración (OMS, 1999), sin embargo, en base a algunos estudios consultados, en promedio un compost ideal tendrá un pH cercano a 7 (6,5-8), un %N>1%, %P total>1%, un porcentaje de materia orgánica de 25% y una relación C/N entre 15-18 (OMS, 1999, NTC, 2004, Sorli, 2001). El rango de variación de los indicadores de calidad

de compost observado en los estudios consultados es muy amplio, motivado a esto, en algunos países industrializados como EEUU y Europa, se han establecido algunos criterios y publicaciones como TMECC (Test Methods for the Examination of Composting and Compost) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y the Composting Council Research (CCR) (<http://tmecc.org>), que han establecido criterios estándar para evaluar los procesos de elaboración y madurez de este tipo de material. A nivel latinoamericano también se observaron algunas experiencias de evaluación de compost provenientes de distintos residuos. En Colombia, Guerrero (2007) realiza la evaluación de compost elaborado a partir de subproductos de faenado de ganado. En Venezuela tenemos el ejemplo a partir de residuos azucareros (Sánchez, 2009) y de pulpa de café (Pierre, 2009). En la tabla N° 4, podemos contrastar nuestros resultados con los obtenidos por (Guerrero, 2007) y también respecto a los óptimos considerados.

Tabla N° 4. Comparación de las características químicas del compost del Vivero Forestal Santa Rosa en los parámetros determinados, con resultados de análisis similares realizados en compost por otros autores.

Parámetro	Vivero santa Rosa	Compost faenado ganado (Guerrero E., 2007)		Rango o valor óptimo según referencia
		Pila 1	Pila 2	
pH	7,18 (± 0,1)	7,5	8	6,5-8(OMS, 1999)
% M.O	71,41 (± 0,3)	24,94	24,41	25%(Sorli, 2001)
% N	0,13 (± 0,04)	2	1,49	≥1%(NTC, 2004)
% P	0,09 (± 0,005)	25,3	23,56	≥1%(NTC, 2004)
Relación C/N	319,37	18,13	17,75	15-18(Sorli, 2001)

(*) Entre paréntesis, al lado de los valores, se muestra la desviación estándar.

El compost analizado presenta un pH óptimo, el cual es cercano a la neutralidad pH=7 (OMS, 1999), el contenido de materia orgánica es de 71,41 %, el contenido de N total de

0,13 % es bajo respecto a lo optimo, igual o mayor al 1% (NTC, 2004) y lo mismo ocurre para P total, 0,09%, que es bajo ya que lo ideal es que sea mayor o igual a 1% (NTC, 2004). La relación de carbono/nitrógeno obtenida, 319,37 indica que la proporción C/N de materiales utilizados para la elaboración del compost en el Vivero Santa Rosa, fue muy elevada, ya que como previamente se dijo uno de los elementos que se usa en el vivero para la elaboración del compost es el aserrín, el cual es muy pobre en nitrógeno, y su relación C/N de 400 (OMS, 1999). Al ser alta la proporción inicial C/N, el producto final también tendrá una elevada proporción C/N, que es lo que determinamos, ocasionando que su proceso de compostaje sea incompleto y más lento, originando también pérdida de nutrientes como el nitrógeno y el Fósforo (OMS, 1999). Esto nos lleva a concluir que aunque el abono utilizado posee un pH adecuado y presenta contenidos aceptables de nutrientes para el desarrollo de las plantas, haría falta utilizar proporciones más balanceadas para obtener un producto de mejor calidad.

6.2. Caracterización de las esporas encontradas.

6.2.1. Contaje de esporas en los inóculo Micorrizas.

Las esporas provenientes de las muestras de suelo rizosférico de las especies en estudio no prosperaron durante el tiempo que duró el ensayo, mientras que la trampa contentiva del suelo de sabana cercano si se logró un incremento en el número de esporas por cada 100 gr. de suelo, ya que luego de 10 meses de enriquecimiento el contaje pasó de menos de 20 esporas/100 gr. suelo a 368 esporas/100 gr. suelo.

6.2.2. Caracterización de las esporas de hongos Glomeromycota nativas del suelo de la sabana de Guárico.

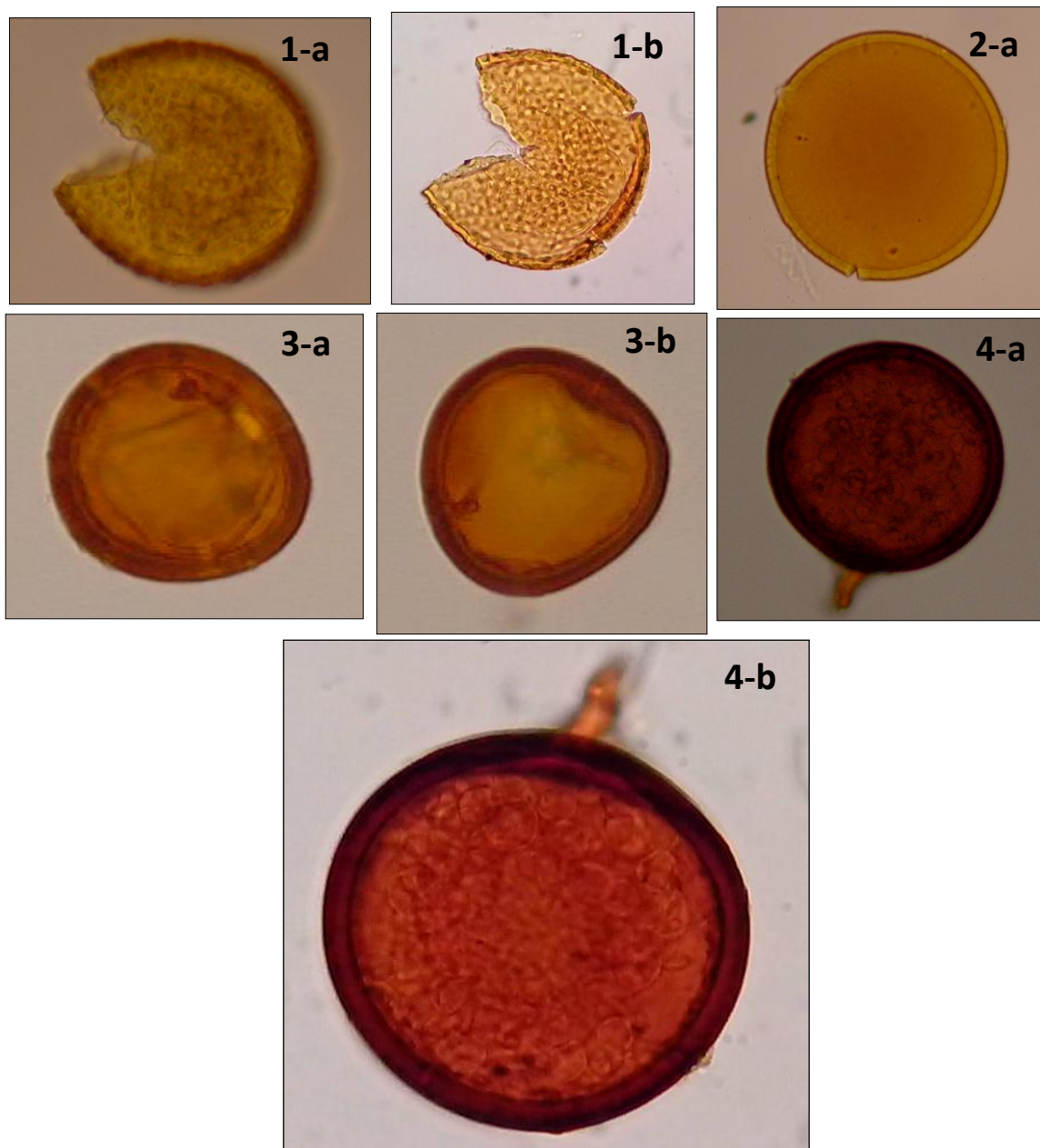


Figura N° 5. Esporas nativas del suelo de la sabana de La Iguana, Santa María de Ipire.

Morfotipo 1. Fotos identificadas como 1-a, 1-b. Se presume un mismo morfotipo de forma esférica, color amarillo, con ornamentos de la pared como cavidades. Por los ornamentos y carencia de hifa (que se pierde al separarse de la espora madre) pudiera pertenecer al género *Acaulospora* (*Acaulospora* sp.1).

Morfotipo 2. Corresponde a la figura 2-a. Forma esférica, color amarillo. Por la carencia de hifa (que se pierde al separarse de la espora madre) pudiera pertenecer al género *Acaulospora* (*Acaulospora* sp.2).

Morfotipo 3. Esporas identificadas como 3-a y 3-b. De pared gruesa, forma ligeramente ovoide, de color amarillo ligeramente anaranjado, sin hifa de sustentación. Por la carencia de hifa (que se pierde al separarse de la espora madre) pudiera pertenecer al género *Acaulospora* (*Acaulospora* sp.3).

Morfotipo 4. Este morfotipo observado en las imágenes 4-a y 4-b, presenta pared gruesa, forma redonda, color marrón rojizo oscuro, con hifa de sustentación recta, sin bulbo y glóbulos de lípidos internos. Por el tipo de hifa pudiera corresponder al género *Glomus* (*Glomus* sp.1). (Schenck y Perez, 1990; Página web de Invam, consultada en Octubre de 2016).

6.3. Especie Caoba. Resultados del análisis de crecimiento del ensayo en vivero de la especie Caoba (*Swietenia macrophylla*).

6.3.1. Altura.

Se describe el crecimiento promedio por día en cada uno de los tratamientos aplicados, así como la altura final promedio que se alcanzó al final del experimento de 204 días de duración. En la Figura N° 6 podemos ver los resultados de este ensayo. Se observa que el tratamiento T3 mostró ser superior a demás tratamientos a partir de 30 días de crecimiento.

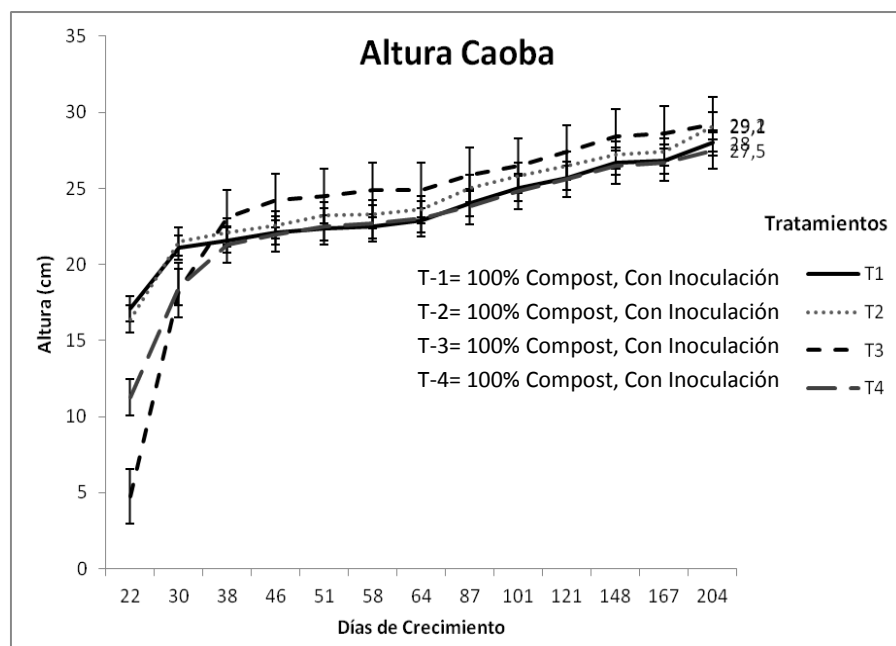


Figura N° 6. Altura promedio (cm) de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) a lo largo del experimento (204 días) afectadas por los tratamientos de inoculación o no con MA y concentraciones de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Seguidamente se muestra el promedio por tratamiento de la altura final alcanzada al cabo de los 204 días del ensayo, en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5. Altura promedio (cm) de las plántulas de Caoba (*Swietenia macrophylla*) (N=10) alcanzada al final del experimento (204 días) en diferentes tratamientos de inoculación con MA y concentración de compost.

Tratamiento	Altura (cm)
T-1	28 $\pm$ (1,491) a
T-2	29,1 $\pm$ (1,362) a
T-3	29,2 $\pm$ (1,153) a
T-4	27,5 $\pm$ (1,522) a

Entre paréntesis se muestra el error estándar. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas. (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

La ausencia de diferencias significativas en la altura de los distintos tratamientos podría deberse o bien a que el tiempo de desarrollo (204 días) es insuficiente para observar diferencias o bien porque la riqueza del sustrato es tal que las respuestas en cada uno de los tratamientos son similares. Sin embargo se deben evaluar las otras variables para tener una idea global de los efectos sobre las plantas.

6.3.2. Biomasa Producida en el Vástago de las plántulas de Caoba.

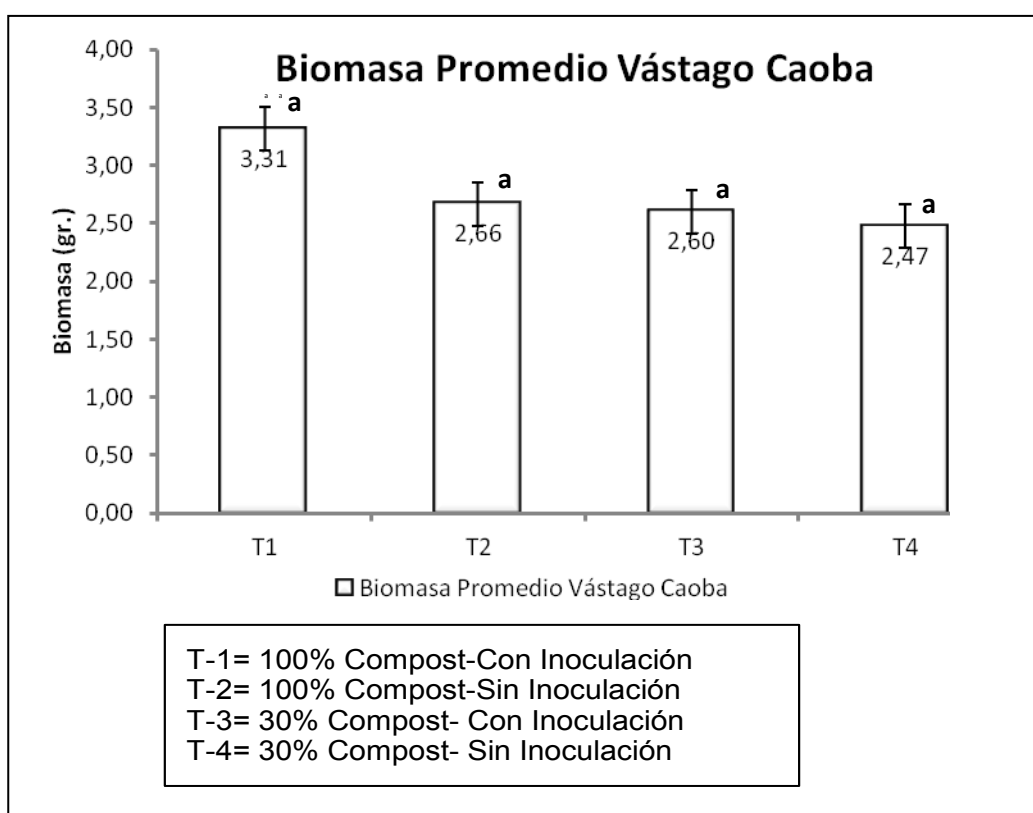


Figura N° 7. Biomasa producida (gr) por los vástagos de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) al finalizar del experimento (204 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

En este caso para la biomasa del vástago de las plántulas de caoba, tratamiento T1 mostró una media mayor respecto de los demás tratamientos, pero las diferencias entre tratamientos no fueron significativas.

6.3.3. Biomasa producida en la raíz de las plántulas de caoba.

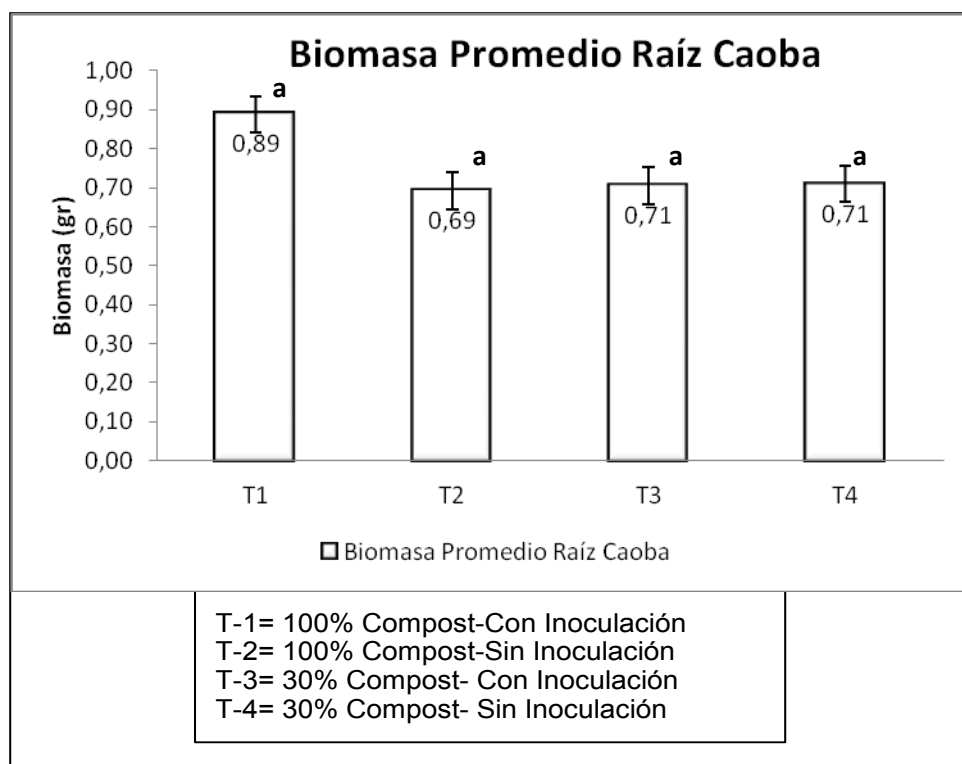


Figura N° 8. Biomasa (gr) producida por las raíces de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) a lo largo del experimento (204 días) afectadas por cada uno de los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

En la biomasa producida por las raíces de las plántulas de caoba, el primer tratamiento (compost al 100% con Inoculación) muestra una media mayor respecto de los demás tratamientos, ya que este grupo presentó los mayores valores extremos del ensayo, sin embargo, el nivel de error y la varianza de los otros tratamientos impidió observar diferencias significativas.

6.3.4. Relación de Biomasa Vástago/raíz de plántulas de caoba.

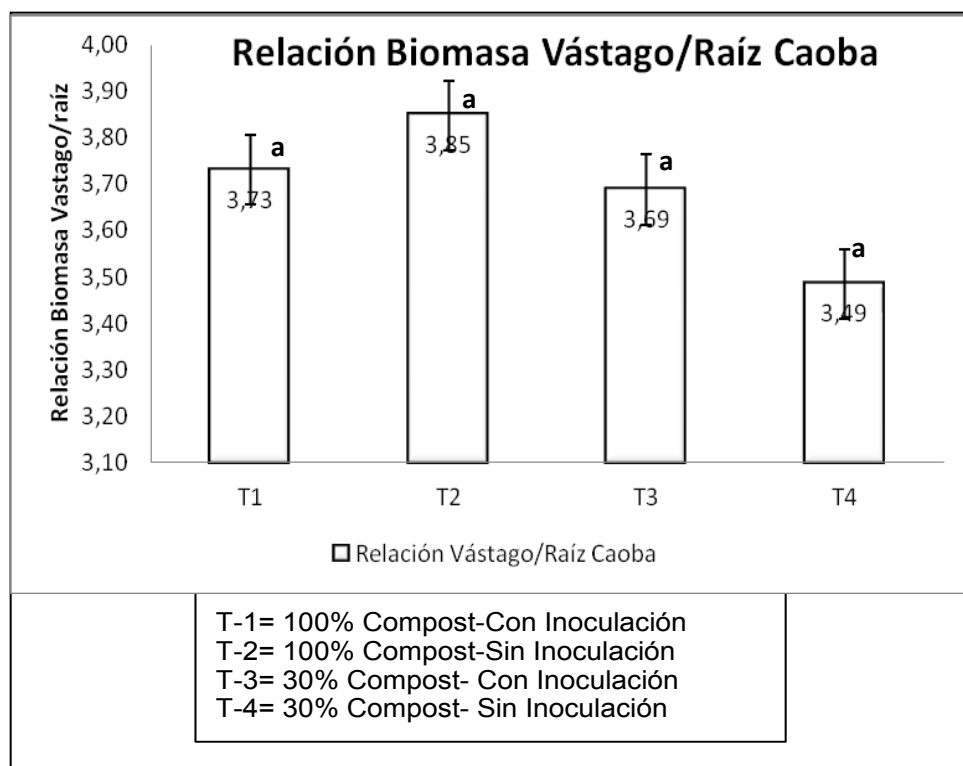


Figura N° 9. Relación Biomasa Vástago/Raíz. Para las plantas de caoba (*Swietenia macrophylla*) inoculadas o no con MA y con concentraciones diferentes de compost, al finalizar el experimento (204 días). N=10. Las barras representan el error estándar. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Dentro de las medias de la relación biomasa vástago/raíz, se destaca el tratamiento T-2 como el que presenta la mayor, y el tratamiento T-4, cuya respuesta evidencia el mayor crecimiento relativo de la raíz respecto al vástago, lo que puede deberse a que este tratamiento posee la menor riqueza nutricional, favoreciendo el desarrollo de la raíz para maximizar la asimilación de nutrientes, sin embargo la dispersión de los datos en los distintos tratamientos impidió determinar que estas diferencias fueran significativas. (ANOVA, $p < 0,05$).

6.3.5. Contenido de Nitrógeno en el Vástago de plántulas de caoba.

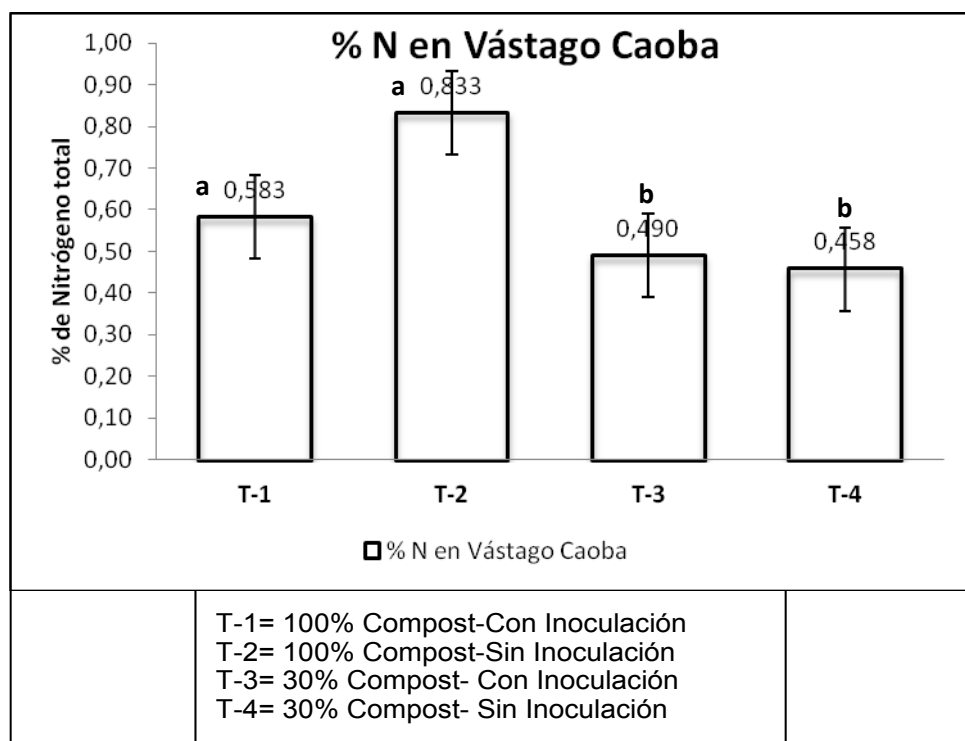


Figura N° 10. Contenido de Nitrógeno total (% N total) del vástago de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) al final del experimento (204 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey $p < 0,05$).

El resultado del análisis estadístico realizado muestra diferencias significativas entre los niveles de compost aplicado (concentración 100 % y 30 %), lo que corresponde a los tratamientos con mayor riqueza nutricional (T-1 y T-2) frente a los menos enriquecidos (T-3 y T-4), mientras no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con inoculación, es decir las diferencias se debieron al factor concentración de compost, mas no así al factor de inoculación (ANOVA, $p < 0,05$).

6.3.6. Contenido de Fósforo en el vástago de plántulas de caoba.

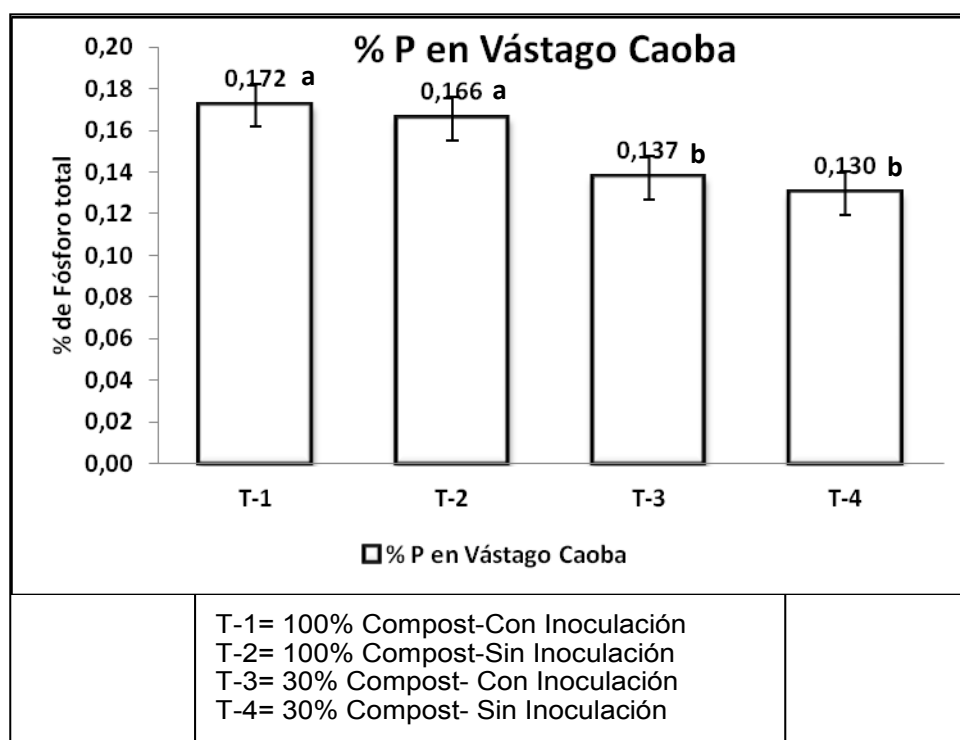


Figura N° 11. Contenido de Fósforo total (% P total) del vástago de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) al final del experimento (204 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$)

El resultado del análisis estadístico realizado muestra diferencias significativas entre los niveles de compost aplicado (concentración 100 % y 30 %). El mayor contenido de fósforo en los tratamientos T-1 y T-2, puede deberse a que estos poseen los tratamientos con la mayor riqueza nutricional (100%), lo que concuerda también con la biomasa que fue mayor en el tratamiento T-1 que en los demás. También se observó la misma respuesta para la concentración de nitrógeno en vástago que fue mayor significativamente en los tratamientos con compost al 100% que al 30%. Las diferencias observadas se debieron al factor concentración de compost, mas no así al factor de inoculación. (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

6.3.7. Porcentaje de Colonización micorrízica en plántulas de caoba.

Para los tratamientos sin inoculación, T-2 (Compost al 100% sin inoculación) y T-4 (Compost al 30% sin inoculación), no se observó colonización, lo cual nos permite corroborar que el sustrato utilizado carecía de hongos Glomeromycota. Para el tratamiento T-1 (Compost al 100% Con Inoculación) la colonización fue del 9,11 %, mientras para T-3 (Compost al 30% Con Inoculación) fue del 1,02 %. Como referencia un ejemplo de colonización de raíces en esta especie lo vemos en (Rocha, 2012) que contabiliza esporas de HMA en una plantación de caoba, en la zona sur del Lago de Maracaibo, con un conteo de (2285 ± 472) , y también porcentajes de colonización micorrízica entre el 60% y 70%, lo que contrasta con la colonización medida en nuestro estudio (9,11% para T-1 y 1,02% para T-3). Estos resultados nos podrían indicar que la riqueza nutricional del sustrato está inhibiendo la colonización, como discutiremos más adelante. De acuerdo a los resultados obtenidos en altura, biomasa del vástago, biomasa de la raíz y relación vástago/raíz, en los que no se observaron diferencias significativas, y en los parámetros en donde se observaron diferencias significativas, contenido de nitrógeno del vástago, contenido de fósforo del vástago, así como el bajo porcentaje de colonización de la raíz en comparación con las referencias consultadas para estos, el análisis estadístico realizado concluye que el factor que influyó en estos resultados fue el nivel de concentración de compost. En nuestro caso, los contenidos de Nitrógeno medidos en el compost al 100% (%N=0,13) y de Fósforo (%P=0,09), bajos en comparación con un compost ideal, no habrían afectado las variables de crecimiento cuantificadas (altura y biomasa), pero si en las variables nutricionales (%N y %P) del vástago. Es decir, entre los niveles del factor concentración del sustrato, compost

al 100% (T-1 y T-2) y compost al 30% (T-3 y T-4) hubo diferencias significativas en estas variables, así las plantas de caoba tratadas con 100% compost mostraron un significativo mayor contenido de estos 2 macronutrientes en sus vástagos, lo cual indica una mejor asimilación de nitrógeno y fósforo, esto es debido al hecho de encontrarse éstos en una mayor concentración en los tratamientos con sustratos al 100% (T-1 y T-2) que en los que tenían 30% de concentración (T-3 y T-4). Así en conclusión dichos resultados observados en las variables medidas en la especie Caoba, donde mostraron poco o ningún efecto significativo como consecuencia de los tratamientos aplicados, esto puede tener tres causas principales, en primer lugar la riqueza del compost está limitando el efecto benéfico de la simbiosis, lo cual ya ha sido documentado, para este tipo de abonos orgánicos, por ejemplo en plantas de cafeto (Rivera *et al.* 2007) la cantidad de vermicompost recomendada es de 3 partes de suelo por una parte de compost (aproximadamente 25%), como se ve menor que en nuestro tratamiento de menor concentración (30% de compost), pero en presencia de inoculación con MA la dosis óptima se reduce a 5/1, (aproximadamente 17%), casi la mitad de nuestra dosis mínima. Otro ejemplo de esta tendencia lo vemos con *Clusia multiflora* (Cáceres y Cuenca. 2006), la cual fue cultivada en suelos ácido donde se desarrolla normalmente, y respondió favorablemente ante la inoculación con MA, incrementando significativamente su biomasa respecto a una planta no micorrizada, mientras que al cultivar la misma planta inoculada con el mismo HMA en un suelo con un suministro óptimo de fósforo, ésta creció menos que el prueba deigo no inoculado. Adicionalmente hallazgos recientes indican que el Fósforo actúa reprimiendo genes que son esenciales para la simbiosis, como los implicados en la biosíntesis de carotenoides y estrigolactonas y los transportadores de fosfato asociados a la simbiosis (Breuillin, 2010). El segundo factor que

puede influir es la afinidad de la especie caoba (*Swietenia macrophylla*) hacia las especies de HMA presentes en el inóculo de sabana utilizado. Por ejemplo Guerra, (2009) constata el efecto benéfico de los HMA sobre el crecimiento de otras especies del género *Swietenia* en Honduras, donde evalúa el efecto de la inoculación con *Acaulospora* sp., *Entrophospora* sp., y *Glomus* sp., sobre el crecimiento en viveros de plántulas de Caoba (*Swietenia* sp.) donde todas las especies de HMA seleccionadas tuvieron un efecto significativo en el incremento de la altura respecto al control, sin embargo sólo *Glomus* sp. tuvo un efecto positivo sobre la biomasa producida, lo cual nos indica un efecto diferenciado en la capacidad de esta especie de establecer simbiosis con los diversas especies de hongos Glomeromycota inoculados, fenómeno que ya ha sido observado, y mediante evidencias obtenidas con técnicas moleculares (Vandenkoornhuyse *et al.*, 2002) que indican que las plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA en base a sus efectos diferenciales sobre el crecimiento vegetal. Esto también se podría evidenciar por el bajo porcentaje de colonización alcanzado. El tercer factor a tomar en cuenta es la duración del experimento, ya que los arboles en general son de lento crecimiento, y sus ciclos de vida son muy largos, por ejemplo en la caoba su primera floración se da entre los 12 y 15 años (ULA, 2005), y que el tiempo de desarrollo (204 días) podría ser insuficiente para observar diferencias significativas en los parámetros de crecimiento, y que de haberse prolongado el experimento pudieran observarse diferencias, o bien debido a una mayor colonización o a una mayor efectividad de la infección. Pero hay que destacar que en particular en el caso de la caoba, fueron pocos los estudios detallados encontrados relacionados con la evaluación del efecto benéfico, en términos de crecimiento y contenido nutrimental de la inoculación con HMA, y esto es común en meliáceas

tropicales, hecho también reportado por (Rodríguez-Morelos *et al*, 2011), ya que dichos estudios están mayormente centrados en especies de interés agronómico y no así en especies forestales, por lo cual se recomienda hacer estudios con mayor detalle para la especie caoba (*Swietenia macrophylla*).

6.4. Especie Samán. Resultados del análisis de crecimiento del ensayo de vivero de la especie Samán (*Albizia saman*).

A continuación se transcriben sobre estas líneas los resultados de las determinaciones realizadas culminado el experimento de crecimiento en vivero de 271 días, bajo los 4 tratamientos nutricionales aplicados, siendo las variables a reportar: altura, biomasa del vástago, biomasa de la raíz, relación vástago/raíz, contenido de nitrógeno del vástago, contenido de fósforo del vástago, número y biomasa de nódulos simbióticos de rizobios de la raíz y porcentaje de colonización micorrízica.

6.4.1. Altura. Alturas promedio por día. Altura final Alcanzada por tratamiento.

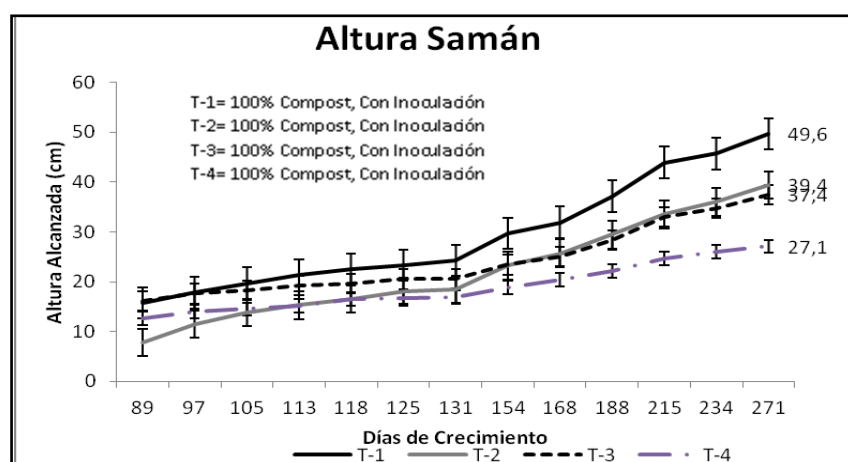


Figura N° 12. Altura (cm) de las plántulas de samán (*Albizia saman*) a lo largo del experimento (271 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y dosis de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos. (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

La tendencia que se observa en la Figura N° 11, es que entre los días 89 y 131 las medias de cada uno de los tratamientos aplicados se mantuvieron similares entre sí, sin embargo entre los días 131 y 154 del experimentos, los tratamientos comenzaron a diferenciarse. Lo que apoya lo reportado, que en especies forestales los tiempos de respuesta a los tratamientos de inoculación con HMA tienden a ser mayores que para especies agronómicas (ULA, 2005).

Tabla N° 6. Altura promedio (cm) de las plántulas de Samán (*Albizia saman*) alcanzada al final del experimento (271 días). Se muestra el efecto de los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10.

Tratamiento	Altura (cm)
T-1	49,6 ± (5,784) a
T-2	39,4 ± (3,232) b
T-3	37,4 ± (1,360) c
T-4	27,1 ± (1,906) d

Entre paréntesis, al lado de cada valor se muestra el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

El resultado del análisis estadístico realizado muestra diferencias significativas tanto entre ambos factores (Concentración de Compost e Inoculación con HMA) al igual que en los niveles de ambos (Compost 30 % y 100 %) y (inoculación y no inoculación), (ANOVA, $p < 0,05$ y Prueba de de Tukey, $p < 0,05$), así mismo las diferencias se observan entre cada uno de los tratamientos aplicados. En el caso de la especie samán, la altura que es el principal indicativo que se toma en cuenta a la hora de llevar una planta a campo, respondió de manera muy positiva y de acuerdo a lo que se esperaba. Más adelante se profundizará en los elementos autoecológicos y fisiológicos de la especie que hacen que nos permitan observar estas respuestas, una vez sean expuestos los resultados de las otras variables determinadas.

6.4.2. Biomasa Producida en el Vástago de las plántulas de Samán.

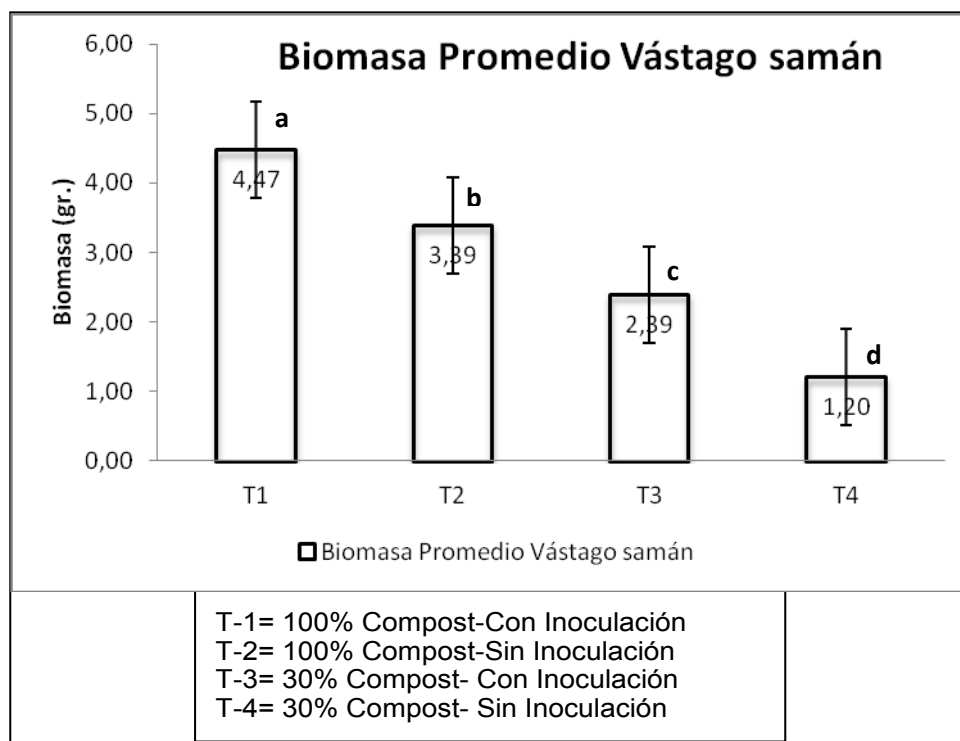


Figura N° 13. Biomasa (gr) producida por los vástagos de las plántulas de samán (*Albizia saman*) al finalizar el experimento (271 días), afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. Se muestra el promedio por tratamiento N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

También para la biomasa producida por los vástagos de las plántulas de samán se observó que todos los tratamientos fueron significativamente diferentes, teniendo efecto sobre el crecimiento de las plantas tanto el factor concentración de compost como la micorrización. (Tukey, $p < 0,05$).

6.4.3. Biomasa producida en la Raíz de las plántulas de Samán.

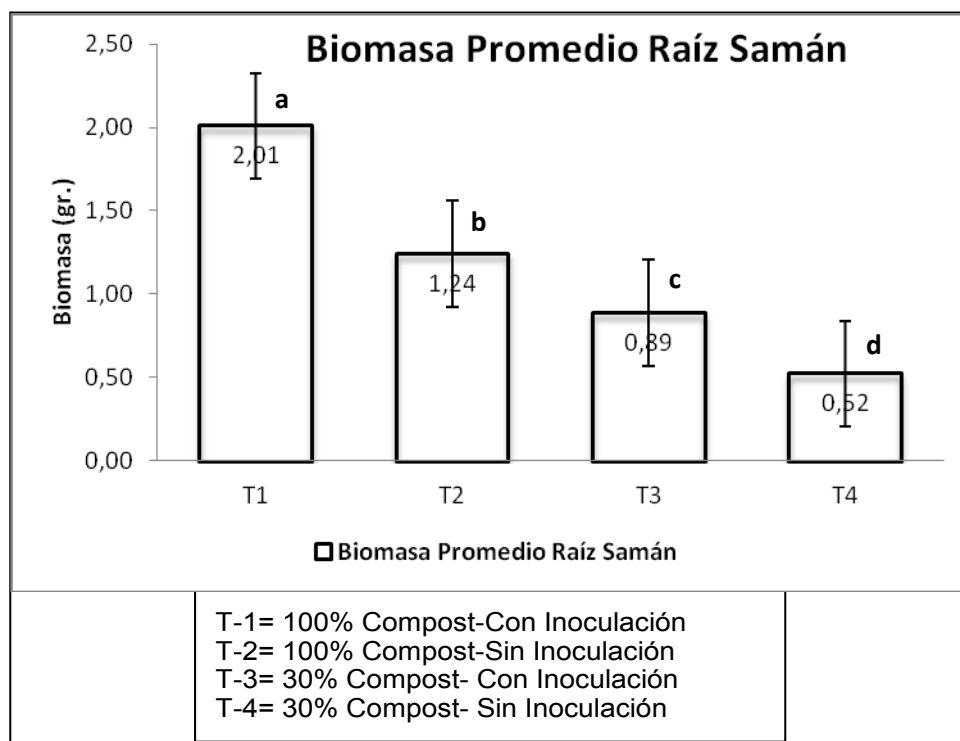


Figura N° 14. Biomasa (gr) producida por las raíces de las plántulas de samán (*Albizia saman*) a lo largo del experimento (271 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

En el caso de para la biomasa producida por las raíces de las plántulas de samán se observó que todos los tratamientos fueron significativamente diferentes, teniendo efecto sobre el crecimiento de las plantas tanto el factor concentración de compost como la micorrización. (Tukey, $p < 0,05$).

6.4.4. Relación de Biomasa Vástago/Raíz de plántulas de samán.

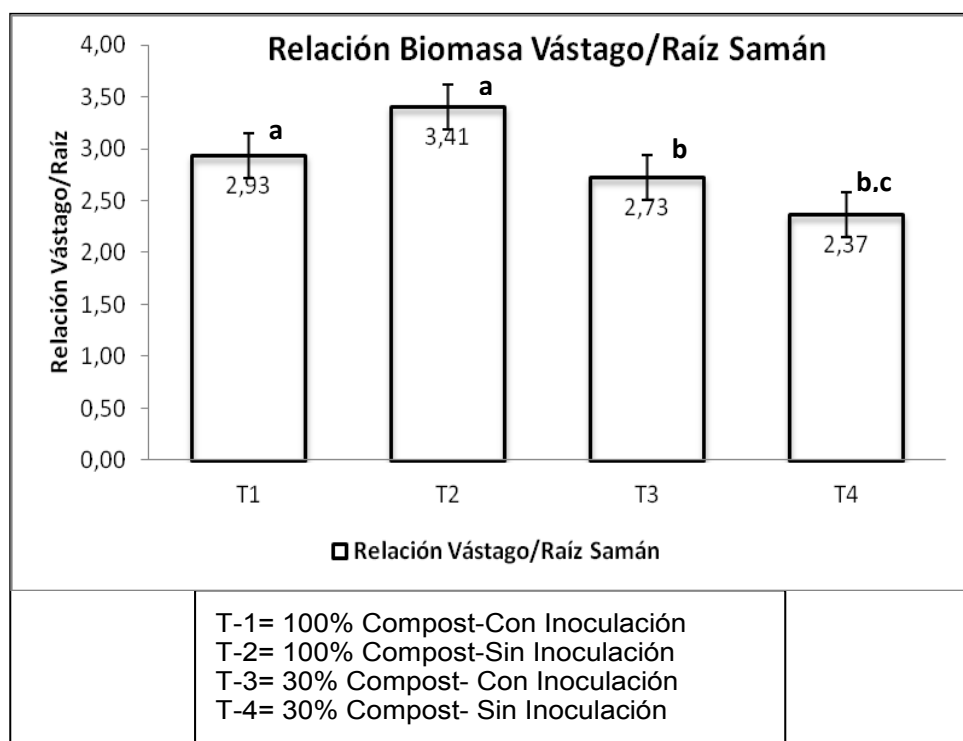


Figura N° 15. Relación biomasa vástago/raíz. Se muestra el cociente para cada uno de los tratamientos aplicados de inoculación y concentración de compost, entre la biomasa (gr) promedio en vástago y biomasa (gr) promedio en raíces de las plántulas de samán alcanzadas al finalizar el experimento (271 días). N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Las diferencias significativas ocurren entre los niveles de compost aplicado (concentración 100 % y 30 %), el tratamiento T-4 se diferencia de T-1 y T-2, pero no de T-3. Esto nos está indicando que el mayor desarrollo relativo de las partes aéreas de las plantas ocurre en los tratamientos con mayor riqueza nutricional, es decir en el compost al 100%, y que el factor micorrización no está teniendo efecto sobre la relación biomasa vástago/raíz con el compost al 100%.

6.4.5. Contenido de Nitrógeno en el Vástago de plántulas de Samán.

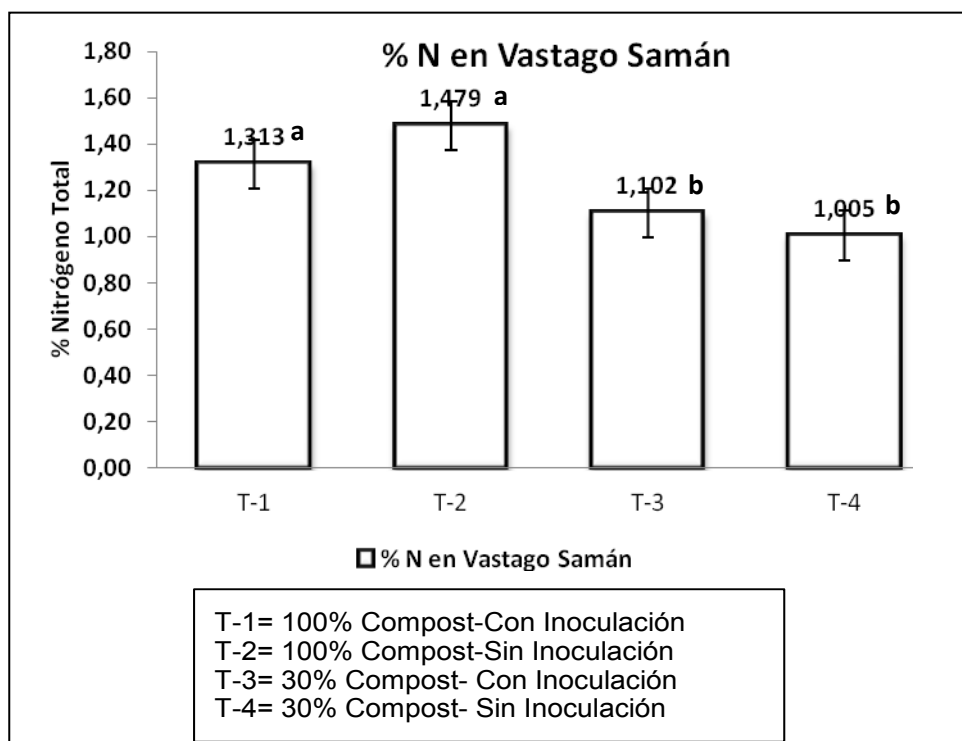


Figura N° 16. Contenido de Nitrógeno total (% N total) del vástago de las plántulas de samán (*Albizia saman*) al final del experimento (271 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Aunque en las variables altura y biomasa tanto de los vástagos como de las raíces de las plantas se observaron diferencias significativas tanto por el factor de concentración de compost como por la micorrización, en el caso del contenido nutricional de nitrógeno en los vástagos de las plántulas de samán esto fue diferente, siendo las diferencias principalmente debidas a la concentración de compost, al tratarse de un sustrato muy enriquecido. La inoculación con hongos Glomeromycota fue más favorable en la captación de N con 30% de compost.

6.4.6. Contenido de Fósforo en el Vástago de plántulas de Samán.

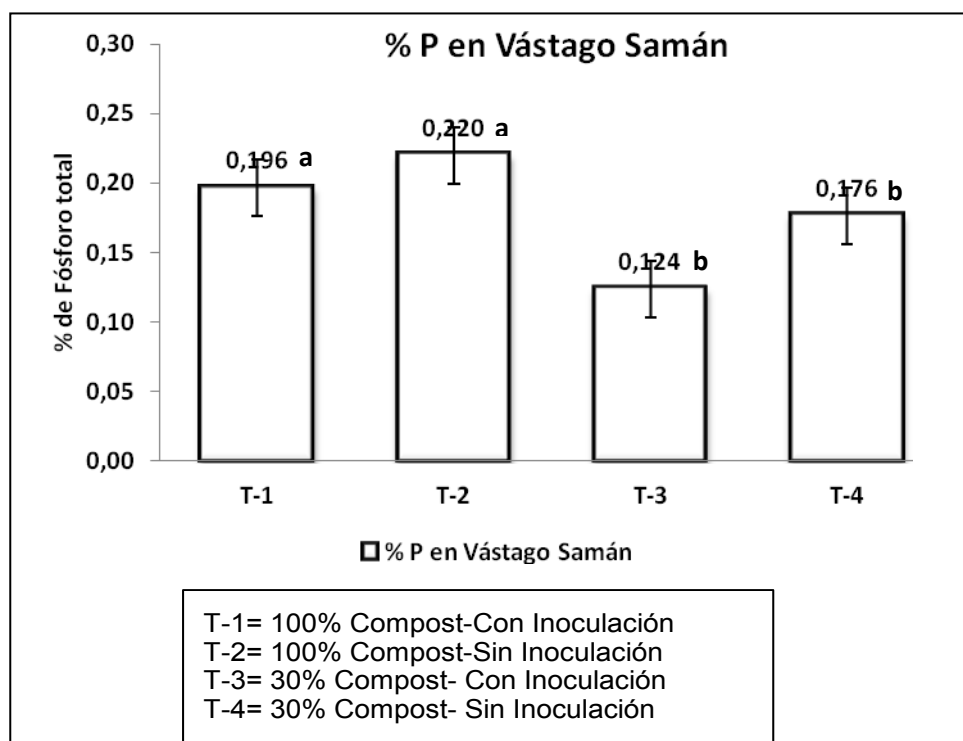


Figura N° 17. Contenido de Fósforo total (% P total) del vástago de las plántulas de samán (*Albizia saman*) al final del experimento (271 días) afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Las barras representan el error estándar. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Las tendencias observadas en el caso del contenido nutricional de fósforo en los vástagos de la plántulas de samán, es que los tratamientos no micorrizados (T-2 y T-4) poseen mayores valores que los micorrizados (T-1 y T-3), sin embargo estas diferencias no son significativas. Se mantuvo la misma tendencia que en el caso del nitrógeno donde las diferencias observadas sólo son debido a la concentración de compost, así al tratarse de un sustrato muy enriquecido, las respuestas pueden deberse a este factor y no a la micorrización.

6.4.7. Nodulación simbiótica observada en raíces de plántulas de Samán.

- Número de nódulos radiculares formados por rizobios en plántulas de Samán.

Tabla 7. Número de nódulos fijadores de nitrógeno observados en las raíces de plántulas de Samán (*Albizia saman*) al final del experimento (271 días), afectadas por los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10.

Número de Nódulos	
Tratamientos	Promedios/planta
T-1	0 ± (0,000) a
T-2	1,3 ± (0,578) a
T-3	31,7 ± (12,125) b
T-4	20,5 ± (7,484) c

Entre paréntesis se muestra el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$)

En la Tabla N° 7 se observa, una marcada diferencia entre los tratamientos T-3 y T-4 con baja concentración de compost (30%) frente a los tratamientos con 100% compost (T-1 y T-2), de tal manera que la riqueza nutricional del sustrato está afectando la formación de nódulos, siendo favorecida a baja concentración e inhibida en el sustrato con alta concentración de compost (100%). En los tratamientos a 30% el tratamiento T-3, que está micorrizado presentó un mayor número de nódulos (31,7) que el no micorrizado T-4 (20,5), así a bajas concentración de compost la nodulación fue favorecida por la presencia de la MA, lo cual está bien documentado en la bibliografía y se discutirá más adelante.

- Biomasa de Nódulos radiculares en plántulas de Samán.

Tabla 8. Biomasa de nódulos fijadores de nitrógeno observados en las raíces de plántulas de Samán (*Albizia saman*) al final del experimento (271 días), bajo el efecto de los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10.

Biomasa de Nódulos (gr.)	
Tratamientos	Promedios
T-1	0 $\pm$ (0,000) a
T-2	0,00476 $\pm$ 0,00246) b
T-3	0,44807 $\pm$ (0,0663)c
T-4	0,28848 $\pm$ (0,0421)d

Entre paréntesis se muestra el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

Igual como se observó con el número de nódulos, en la Tabla N° 8 se evidencia una marcada diferencia en la biomasa de nódulos producida. Entre los tratamientos T-3 y T-4 con baja concentración de compost (30%) frente a los tratamientos con 100% compost (T-1 y T-2) donde fueron muy cercanos a cero, de tal manera que la riqueza nutricional del sustrato está afectando la producción de biomasa de nódulos, siendo favorecida a baja concentración e inhibida en el sustrato con alta concentración de compost (100%). En los tratamientos a 30% el tratamiento T-3, que está micorrizado presentó una mayor biomasa promedio de nódulos (0,44807 gr.), frente al no micorrizado T-4 (0,28848 gr.), así a bajas concentración de compost la formación de biomasa de nódulos fue favorecida por la presencia de la MA, lo que evidencia la dependencia de la respuesta de formación de biomasa nodular a éstas. Este comportamiento coincide con lo reportado por (Abd-alla *et al.*, 2014) donde la presencia de MA aumentó tanto el número de nódulos como su biomasa respecto al control sin MA. Esta interacción MA-rizobio ha sido muy documentada; la presencia de la MA favorece la simbiosis con rizobios, debido al suministro de P para la fisiología de dicha simbiosis, cuyo metabolismo es muy demandante energéticamente. Este proceso es sumo interés para la agricultura, ya que el nitrógeno generalmente es un factor

limitante de la fertilidad de los suelos agrícolas (Azcón y Barea, 2015, Abd-alla *et al.*, 2014).

6.4.8. Porcentaje de Colonización Micorrízica en plántulas de Samán.

Tabla N° 9. Porcentaje de colonización micorrízica observada en las raíces de plántulas de Samán (*Albizia saman*) al final del experimento (271 días), bajo el efecto de los tratamientos de inoculación y concentración de compost. N=10. Entre paréntesis se muestra el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Prueba de Tukey, $p < 0,05$).

% Colonización Micorrízica	
Tratamientos	Promedios
T-1	23,08% $\pm$ (0,0687%) a
T-2	0,67% $\pm$ (0,00606%) b
T-3	8,30% $\pm$ (0,0428%) c
T-4	2,35% $\pm$ (0,0214%) d

Para la especie samán la colonización por MA fue de 23,08 %, y se vio favorecida en el sustrato al 100% frente al de 30% (8,30%) lo que nos lleva a indicar que en este caso la riqueza del sustrato no está teniendo un efecto directo inhibiendo la micorrización.

Lo primero a destacar en los análisis estadísticos realizados es que se observaron efectos significativos (ANOVA, $p < 0,05$, Tukey $p < 0,05$) en todas las variables medidas en este estudio, es decir, las variables medidas respondieron positivamente a los tratamientos aplicados. El factor más influyente en las respuestas fue la concentración de compost, así las plántulas de samán alcanzaron una mayor altura y biomasa en los tratamientos a 100% compost (T-1 y T-2) frente a los tratamientos de 30% compost (T-3 y T-4), también su estado nutricional se vio favorecido en estos tratamientos, donde tanto el nitrógeno como el fósforo total medido en el vástago de las plantas, fue significativamente mayor en los tratamientos con 100% compost que en los tratamientos de 30% compost. Antes de detallar

el efecto de la micorrización y sus interacciones con la concentración de compost, un factor primordial para el análisis de éstos resultados es el hecho de ser *Albizia saman* una leguminosa (www.theplantlist.org), por tanto ser susceptible a formar simbiosis tripartita planta-rizobio-MA. Ya que la fijación simbiótica de N₂ es llevada a cabo exclusivamente por bacterias, por ser organismos con la enzima nitrogenasa, la cual reduce el N₂ atmosférico a amonio en los nódulos simbióticos radicales, la simbiosis tripartita es sumamente importante para la agricultura, ecosistemas naturales y programas de reforestación (Cuenca, 2015), tal como es nuestro caso donde esta especie será utilizada en reforestaciones. Aunque no era el objeto del presente estudio analizar el efecto de este tipo de simbiosis, ya que no se utilizó ningún inoculo bacteriano, sin embargo las plantas tratadas desarrollaron nódulos, lo cual nos indica que los rizobios debieron estar presentes en el compost (que no fue esterilizado) o del inóculo micorrízico. Aunque no se esperaba obtener resultados en términos de nodulación, sin embargo una vez observados, se constato que en otras experiencias se había determinado la presencia de bacterias formadoras de nódulos en inóculos de HMA, (Skwierinski *et al*, 2000), por lo cual esto no es atípico. El efecto que tuvo la inoculación con HMA sobre las plantas de samán, no se vio potenciado por la presencia de estos nódulos fijadores de nitrógeno, por el contrario, se observaron en mayor cantidad en los tratamientos con baja concentración de compost (30%), las respuestas positivas que observamos tanto en altura, biomasa y nitrógeno en el vástago, se debieron a la riqueza del compost, y a la inoculación con HMA, lo cual ha sido previamente documentado, ya que las leguminosas muestran un incremento en la concentración de nitrógeno cuando están micorrizadas, los altos requerimientos energéticos de la fijación simbiótica de nitrógeno son compensados por el aporte de fósforo de la micorrización, de

allí el efecto sinérgico frecuentemente observado cuando una leguminosa es inoculada tanto con rizobios como con HMA, y entre los mecanismos que benefician el crecimiento vegetal se encuentran la producción de amonio, solubilización de fósforo y otros nutrientes esenciales, la producción de hormonas y el control de organismos fitopatógenos (Barea, *et al.* 1992, Tank and Saraf, 2003). Dicho efecto sinérgico aunque no se constató en este sentido, sin embargo en las variables altura y biomasa, se observó un efecto significativo y dependiente sólo de ambos factores (Concentración de Compost e Inoculación con HMA), que presentaron interacción, así el tratamiento T-1 (100% compost + micorrización) fue el que obtuvo el tanto la mayor altura promedio (49,6 cm), como la biomasa (4,47 gr) aérea producida (Vástago), frente a los otros 3 tratamientos, trabajos anteriores han corroborado estos resultados, (Skwierinski *et al.*, 2000), observó que en todas las plantas de samán, inoculadas con HMA una biomasa seca de vástago significativamente mayor respecto al control, así podemos asegurar que la combinación de los 2 factores en esos niveles es recomendable para la producción en vivero de samán, ya que las plantas micorrizadas están aprovechando con mayor eficiencia la riqueza nutricional proveniente del compost puro. Respecto a los efectos de la concentración de compost en la nodulación, el mismo tuvo un efecto negativo sobre el número de nódulos formados donde los grupos con 100% compost (T-1= 0, T-2=1,3) tuvieron valores mucho menores que los tratamientos al 30% de compost (T-3=31,7 y T-4=20,5) igualmente sobre la biomasa de nódulos producida 100% compost (T-1= 0 gr, T-2=0,00476 gr) contra 30% compost (T-3=0,44807 gr y T-4=0,28848 gr), lo cual nos está indicando que esta concentración está inhibiendo la formación de nódulos radiculares y por tanto que el efecto observado sólo se deba los factores aplicados (concentración de compost e inoculación con HMA). Otro efecto beneficioso de los HMA

consiste en un aumento en la biomasa de los nódulos (Cuenca, 2015, Azcón y Barea, 2015, Abd-alla *et al.*, 2014), lo cual se observa sólo en tratamientos al 30% de Compost, donde en el tratamiento T-3 (30% compost con inoculación) que mostró mayores valores de número de nódulos y biomasa de nódulos que el tratamiento sin inocular T-4 (30% compost sin inoculación). En conjunto estos resultados son posiblemente debido al contenido nutricional de fósforo y nitrógeno del compost, éste cumple las demandas nutricionales de las plantas, lo cual tiende a inhibir el establecimiento de la simbiosis tanto por rizobios como por los HMA, este tipo de comportamientos ya ha sido observado en tratamientos con alta fertilización, especialmente de fósforo, donde el impacto de la fertilización química disminuye el potencial infectivo de micorrizas en el suelo (Toro *et al.*, 2008). Sin embargo el tipo de respuesta observada en el caso de la colonización micorrízica, fue contrario a esta premisa, ya que se vio afectada positivamente por la concentración de compost. En los tratamientos al 100% la colonización fue de (T-1=23,08%), mientras la colonización en el tratamiento a 30% fue (T-3=8,30%). Lo cual nos lleva a suponer que a parte de la fertilización mineral, el compost posee otras propiedades que benefician la simbiosis con HMA en esta especie en particular, pero serían necesarios estudios más profundos en el sustrato (como actividad enzimática, presencia de carbohidratos complejos, promotores de crecimiento, etc.) para poder aseverar esto. Como el objetivo de este estudio fue valorar el mejor tratamiento para el desarrollo de la especie en vivero, y también al tratarse de plantas que van a ser sembradas en campo, el desarrollo de las partes aéreas es muy deseable, como medida de vigor de la planta, y uno de los elementos que en general se toma como criterio para decidir su plantación es la altura alcanzada. Sin embargo, esto no es indicativo absoluto de la calidad o estado nutricional de la planta, ni de sus probabilidad de

supervivencia en campo, ya que son varios los factores que pueden influir en esto, así por ejemplo, (Sánchez y Murillo, 2004), indican que es necesario tomar en cuenta que la calidad de plántulas no es un concepto absoluto, por lo cual resulta difícil establecer métodos sencillos para determinar la calidad de plántulas forestales. De tal manera que se debe hacer la valoración de varios factores para establecer un criterio más exacto a la hora de establecer si un tratamiento mejoró integralmente la calidad de la plántula y su capacidad de sobrevivencia en campo. La relación vástago/raíz es un elemento importante para el establecimiento de las plantas en campo, ya que nos da un indicativo de la capacidad para mantener el balance hídrico, así también para absorber agua y nutrientes y su resistencia al déficit hídrico, lo cual son indicadores de su posible supervivencia en campo, así una relación vástago/raíz baja indica abundancia de raíces que es más deseable que el caso inverso (Bernier *et al.* 1995), sin embargo en evaluaciones previas de parámetros del crecimiento en viveros de especies tanto de Fabáceas como en Meliáceas, con potencial para establecerse en sistemas agroforestales y reforestaciones, las conclusiones son que las diferencias de comportamiento se deben fundamentalmente a las características intrínsecas de cada especie (Medina *et al.* 2010), lo cual nos impide generalizar un criterio para definir una relación óptima. Para ello, serían necesarios estudios específicos de supervivencia en campo con plántulas de distintas medidas (relación vástago/raíz). Para nuestro estudio no podemos concluir cual de los tratamientos sería más efectivo para mejorar la supervivencia de las plantas en campo, pero para el crecimiento en viveros de la especie samán, podemos afirmar que el tratamiento con inoculación y 100% compost, fue el que presentó los mejores resultados en las variables medidas, siendo necesario estudios de mayor duración, y establecimiento de las plantas en campo, para

determinar si efectivamente el tratamiento es el más idóneo, o si los tratamientos de menor concentración de compost (30%), aunque con un menor desarrollo de altura, biomasa y nutrientes, sin embargo ofrecen mayores ventajas de supervivencia en campo al tener una menor relación de biomasa Vástago/raíz y mayor respuesta de nodulación radicular.

7. Conclusiones.

- Los tratamientos con 100% compost favorecieron tanto en altura, biomasa, contenido de nitrógeno y fósforo en plántulas de samán.
- Para la especie samán los factores Compost y HMA, actuaron sinérgicamente y mejoraron los parámetros de crecimiento y nutricionales de las plántulas, por tanto se recomiendan ambas estrategias para su producción.
- El inoculo de sabana contribuyó en mejorar la producción de biomasa y altura de la plántulas sólo en la especie samán.
- Los tratamientos con 100% Compost contribuyeron a mejorar la asimilación de Nitrógeno y Fósforo en la parte aérea tanto de las plántulas de caoba como de samán.

8. Recomendaciones

- Se recomienda mejorar la mezcla de elementos para elaborar el compost utilizada por el Vivero Forestal Santa Rosa, ésta debe incrementar los elementos ricos en Nitrógeno como estiércol y gallinaza y disminuir el uso de aserrines, para obtener un producto de mayor calidad y con una mejor relación C/N.

- Se sugiere realizar otros análisis más detallados en el compost, examinando elementos que puedan mejorar la efectividad de la colonización con HMA, como por ejemplo presencia de enzimas y otros promotores de crecimiento vegetal.
- Se recomienda evaluar la presencia de bacterias formadoras de nódulos fijadores de nitrógeno tanto en compost como en inoculante de HMA.
- Se sugiere ensayar concentraciones menores de compost ya que su riqueza nutricional pudo haber incidido en una baja colonización por HMA de las especies estudiadas.
- En el caso de la especie caoba se recomienda extender la duración del experimento para futuros ensayos, ya que las respuestas en este caso pueden ser más tardías. Y para el samán prolongar el experimento podrían hacer más evidentes las diferencias entre tratamientos.

9. Bibliografía.

1. Abd-Alla, M H, Abdel-Wahab Elsadek El-Enany, Nivien Allam Nafady, David Mamdouh Khalaf, & Fatthy Mohamed Morsy. 2014. Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil. *Microbiological Research*. 169: 49-58
2. Allen, O.N., y Allen E.K. 1936. Root nodule bacteria of some tropical, leguminous plants: I. Cross-Inoculation studies with *Vigna sinensis* L. *Soil Sci*. 42 (1): 63-76.

3. Azcón-Aguilar, C. and Barea, J.M. 1992. Interactions between Mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. En: Allen, M.F. (Ed.) *Mycorrhizal functioning. A plant fungal Process*. Chapman & Hall. New York, EEUU. pp 163-198.
4. Barea JM, Azcón R. and C Azcón-Aguilar. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen-fixing system. In: J.R. Norris, D.J. Read and A.K. Varma (Editors). *Methods in Microbiology*. Academic Press, London, pp. 167- 189.
5. Azcón-Aguilar, C. and Barea, J.M. 2015. Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 25 (2), 372-396.
6. Barea, JM, Pozo JM, Azcón R and C Azcón-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 56(417): 1761-1778.
7. Barneby, R. C. and Grimes, J. W. 1996. Silk tree, Guanacaste, Monkey's Earring. A Generic System for the Synandrous Mimosaceae of the Americas. Part. I. *Abarema*, *Albizia* and Allies. *Mem. New York Bot. Gard.*, 74 (1): 1-292.
8. Bernier. P.Y, M.S. Lamhamedi y D.G.Simpson. 1995. Shoot/root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters'Notes* 46(3):102-106.
9. Betancourt, A. 1983. *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Editorial científico-técnica 1987. Edición Juan Valdez Montero – Impreso en Cuba.

10. Breuillin, F., Schramm, J. y otros. 2010. Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. *The Plant Journal*. 64 (6): 1002-17.
11. Cáceres A and Cuenca G. 2006. Contrasting response of seedlings of two tropical species *Clusia minor* and *Clusia multiflora* to mycorrhizal inoculation in two soils with different pH. *Trees* 20: 593-600.
12. CATIE, 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Volumen I. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
13. CATIE. 1997. Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales.
14. Chapman, H. D., Pratt, P. F. 1973 Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Edit. Trillas. México.
15. Cuenca, G., Cáceres A., Oirdobro G., Hasmy Z. y Urdaneta C. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en área tropicales. *Interciencia*, 32 (1): 23-29.
16. Cuenca, G. 2015. Las Micorrizas Arbusculares: Aspectos Teóricos y Aplicados. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. 432 pp.
17. Dirección General de Bosques. 2010. “Gestión del Vivero Forestal “Santa Rosa” Estado Miranda, enmarcado en el Programa Nacional de Viveros Institucionales del

- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. *Revista Bosque y Comunidad*. N° 2: 59-60.
18. Dodd, J.C.; Burton, C.C.; Burns, R.G. and Jeffries, P. 1987. Phosphatase activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 107: 163-172.
19. FAO. 1991. Manejo del suelo producción y uso de compost en ambientes tropicales. Boletín de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
20. F.A.O. 1997. State of the world's forests. Rome.
21. F.A.O. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
22. F.A.O. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Roma.
23. F.A.O. 2016. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.
24. FIBV-MARNR-ENDIBIO. 1998. Lista de Trabajo para el nuevo catálogo de la flora de Venezuela. Fundación Instituto botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela.
25. Gerdemann, J.W. and Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46, 235-244.
26. Guerra, J.E. 2009. Evaluación de cepas de micorriza vesículo arbuscular en Caoba (*Swietenia* sp.) en etapa de vivero en Zamorano, Honduras. Proyecto especial de

- programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 13 p. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.
27. Guerrero, J. y Monsalve, J. A. 2007. Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. *Scientia Et Technica. Mayo, año/vol. XIII, número 034.* Pereira, Colombia. Pp.595-600.
 28. Guevara, J.R. 2001. Recursos Fitogenéticos y Relaciones florísticas de la flórula arbórea de las comunidades forestales en la Estación Experimental Caparo, Estado barinas. Tesis de Maestría en Botánica Agrícola. U.C.V.
 29. Hokche O, 2008. Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser, Caracas-Venezuela. Nuevo Catalogo de la flora vascular de Venezuela.
 30. IFLA. 1994. Series maderables comerciales de Venezuela. Ficha técnica numero 38, *C. thaisiana*. Mérida, Venezuela.
 31. INIA-OIMT, 1996. Manual de identificación de especies forestales de la subregión andina. Proyecto PD 150/91. Instituto Nacional de Investigación Agraria. (INIA), Organización de las Maderas Tropicales (OIMT). Lima, Perú.
 32. Jackson, M. L. 1982. Análisis químico de los suelos. Tercera Edición. *Editorial Omega*. Madrid.
 33. Jasper, D.A., A. D. Robson and L. K. Abbott. 1987. The effect of surface mining on the infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Aust. J. Bot.* 35: 641-652.

34. Johnson, N. C. and F. L. Pflieger. 1992. Vesiculararbuscular mycorrhizae and cultural stresses. En *Mycorrhizae in sustainable Agriculture*. (G. J. Bethlenfalvay and R. G. Lindermann, Eds.), ASA Special Publication N° 54. Madison, WI. 71100 pp.
35. Johnson, N. C., Graham J. H., and Smith F. A. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.* (1997), 135: 575-585. USA.
36. Joner, E.J. and Johansen, A. 2002. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol. Res.* 104: 81-86.
37. Kammesheidt, L.; Torres,A.; Franco, W y Plenzack, M. 2003. Historia del aprovechamiento forestal y los tratamientos silviculturales en los bosques de los Llanos Occidentales de Venezuela y perspectivas de manejo forestal sostenible. *Revista Forestal Venezolana*, 1 (47): 87-110.
38. Kalinhoff C, Cáceres A. y R Urich. 2010. Respuesta diferencial de crecimiento en *Piscidia carthagenensis* Jacq. ante diferentes combinaciones suelo-inoculo de micorrizas arbusculares. *XIX Congreso Venezolano de Botánica*. Mayo 2011. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
39. Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Instituto de Silvicultura de la Universidad de Göttingen. Cooperación Técnica. República Federal de Alemania.

40. Llamozas, S.; Duno, R.; Meyer, W.; Riina, R.; Staufer, F. Aymard, G.; Huber, O. y Ortiz, R. 2003. Libro Rojo de la Flora Venezolana. Provita, Fundación Polar, Instituto Botánico de Venezuela. Conservación Internacional, Caracas, Venezuela.
41. Lozada, J., Moreno J. y Suescun, R. 2003. Plantaciones en Fajas de Enriquecimiento. Experiencia en 4 unidades de Manejo Forestal de la Guayana Venezolana.
42. Medina, M. G., García, D. E., Moratinos, P., Cova L. J. y Clavero, T. 2010. Evaluación en vivero de especies para sistemas agroforestales en el estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2010, 27: 232-250. Venezuela.
43. Mexal, J. 1996. Forest Nursery Activities in Mexico. En Landis TD, South DB (Coords.) *National Proceedings. Forest and Conservation Nursery Associations*. Gen. Tec. Rep. PNW-GTR-389. Portland, OR. USDA FS. pp. 228-232.
44. Mexal, J.G.; Rangel, R.A.C.; Negreros-Castillo, P. and Lezama, C.P. 2002. Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. *For. Ecol. Manag.*, 168: 125-133.
45. Mora G. 2010. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento, relaciones hídricas, actividad fotosintética y fotoquímica de *Pachira quinata*. Tesis de Doctorado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 146 pp.

46. Negreros-Castillo, P. and Hall, R.B. 1996. First-year results of partial overstory removal and direct seeding of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Quintana Roo, México. *J. Sust. For.*, 3: 65-76.
47. Negreros-Castillo, P., Apodaca-Martínez, M. y W. Mize, Carl. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Maderas y Bosques* 16(2), 2010:7-18. México.
48. Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167, Materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelo. Bogotá, 2004.
49. Organización Mundial de la Salud. 1999. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos.
50. Ortiz, R. 1990. Fenología de los árboles en un bosque semideciduo tropical del Estado Cojedes. *Acta Bot. Venez.*, 16 (1): 93-116.
51. Ortiz R. y Salazar A. (2004) El Nogal de Caracas, patrimonio emblemático de la ciudad de Caracas. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Caracas, Venezuela.
52. Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55: 158-161.
53. Pierre, F., Rossell, M. Quiroz, A. y Granda Y. 2009. Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito, Municipio Andrés Bello, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21 (2): 105-110. Venezuela.

54. Pittier, H. 1926. Manual de las plantas usuales de Venezuela. Litografía Comercio. Caracas.
55. República Bolivariana de Venezuela, 2001. Resolución Ministerial No 100 Gaceta Oficial No 37.287 del 20 de Septiembre del 2001.
56. República Bolivariana de Venezuela, 2006. Resolución Ministerial No 216 Gaceta Oficial No 38.443 del 24 de Mayo del 2006.
57. República Bolivariana de Venezuela, 2006. Resolución Ministerial No 217 Gaceta Oficial No 38.443 del 24 de Mayo del 2006.
58. República Bolivariana de Venezuela, 2013. Ley de Bosques. Gaceta Oficial N° 40.222 del 6 de Agosto del 2013.
59. República Bolivariana de Venezuela, 2014. Resolución Ministerial No 058 Gaceta Oficial No 40.474 del 13 de Agosto del 2014.
60. Rivera R., Fernaández F., Fernández K., Ruiz L., Sánchez C. and Riera M. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. En: Las Micorrizas Arbusculares: Aspectos teóricos y aplicados. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. 432 pp.
61. ROCHA. I.; M. G. GONZÁLEZ., J. ATENCIO. 2012. Potencial micorrízico de suelos sometidos a diferentes usos. http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/propiedades_procesos/PS30.pdf. Consultado el 5 de mayo del 2016.

62. Rodríguez-Morelos, V. H.; Soto-Estrada, A.; Pérez-Moreno, J. y Negreros-Castillo, P. 2011. Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Interciencia*, 36 (8): 564-569.
63. Roe, E.N. 1998. Compost utilization for vegetable and fruit crops. *Hort. Sci.* 33: 934-937.
64. Ruíz, F.J.F. 1996. Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánica. En: Zapata Altamirano, Calderón Arózqueta (Eds.) *Memorias Primer Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica*.
65. Sánchez S. y O. Murillo. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: Estudio de caso con ciprés (Cupressus lusitanica). *Agronomía Costarricense*. 28 (2): 95-106.
66. Sánchez, Tibayde. 2009. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop.* 59 (3): 309-316. Caracas, Venezuela.
67. Sarmiento, G. 1990. Ecología comparada de ecosistemas de sabana en america del sur. In: G. Sarmiento (Ed.), *Las sabanas americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y manejo*. Fondo editorial Acta Científica Venezolana; Caracas Venezuela.
68. Schnee, L. 1960. Plantas comunes de Venezuela. *Rev. Fac. Agron., Alcance*, 3: 1-663.

69. Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo arbuscular en el laboratorio. CIAT, Cali, Colombia.
70. Skwierinski, R., Marquina, María E., Morales, S., y Herrera R. 2000. Nodulación y crecimiento en *Pithecellobium saman* (Jacq.) Merr. y *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb. inoculadas con micorrizas arbusculares (MA). *PITTIERIA*, vol. 1, N° 29 y 30 (1999-2000): 11-19. Venezuela.
71. Smith, S.L. and Read, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3° Edición. Academic Press. Cambridge, RU. 605 pp.
72. Sprent, J.I. and James, E.K. 2007. Legume evolution: where do nodules and mycorrhizas fit in? *Plant Physiol.* 144, 575-581.
73. Schenck, N. y Perez, Y. 1990. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. Published by Synergistic Publications. Gainesville, Fla. USA.
74. Sorli, Ana. 2001. Uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura. En XVI Encuentros Estadales de amantes de la Basura. Valladolid, España: coordinadora de organizaciones agrícolas y ganaderas (COAG).
75. Suri VK, Anil KC, Girish C, Verma TS. 2011. Influence of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Applied Phosphorus on Root Colonization in Wheat and Plant Nutrient Dynamics in a Phosphorus-Deficient Acid Alfisol of Western Himalayas. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10(42):1177-1186.
76. Tank N, and Saraf M. 2003. Phosphate solubilization, exopolysaccharide production and indol acid secretion by rhizobacteria isolated from *Trigonella foenum-graecum*. *Ind J Microbiol.* 43:37-40. India.

77. Toro, Marcia. 2008. Micorrizas arbusculares como biofertilizantes para el manejo de sistemas agrícolas. *Acta Biol. Venez.* Vol. 28(1): 1-14. Caracas.
78. Toro, M., I. Bazó y M. López. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agron. Trop.* 58(3): 78-83.
79. Trueba, C.S. 1996. Fertilizantes Orgánicos y Compostas. En: Memorias Agricultura Orgánica: Una Opción Sustentable para el Agro Mexicano. UACH. Texcoco, México.
80. U.L.A. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 2005. Estudio autoecológico de las especies *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro), *Anacardium excelsum* (Mijao) y *Tabebuia serratifolia* (Acapro), en la zona centro-occidental de Venezuela, para su manejo sustentable.
81. UICN. 1994. Categoría de las listas rojas de la UICN. Comisión de la Supervivencia de Especies de la UICN. Gland, Suiza.
82. Vandenkoornhuyse P., Husband R., Daniell IJ, Watson JM, Duck M, Fitter AH, and Young JPW. 2002. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plants species in a grassland ecosystem. *Mol. Ecol.* 11: 1555-1564.
83. Veillon, J.P., 1997. Los bosques naturales de Venezuela. Parte III: Los bosques tropófitos de la zona de vida Bosque Seco Tropical. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

84. Zarate J. T. C. y de la Cruz, R. E. 1991. Inoculation of VA Mycorrhiza for the improvement of growth and yield of agricultural crops, fruit trees and forest tree species in grassland soil. *Trans. Nat. Acad. Sci. Tech.* Republic of the Phillipines. XIII: 717-735.
85. www.invam.wvu.edu, consultada en Octubre del 2016.
86. www.theplantlist.org, consultada el Abril del 2016.
87. (www.tmecc.org) consultada en 2016.