



Inoculación de *Trichoderma* sp. en plantas destinadas a la restauración de suelos degradados de la Amazonía ecuatoriana

Prado Andrade, José Andrés

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Dr. Chiriboga Novillo, Carlos Eduardo

26 de octubre del 2020

URKUND

Document Information

Analyzed document Trichoderma_Prado_Urkund.docx (D82346399)
Submitted 10/21/2020 10:37:00 PM
Submitted by
Submitter email jevilacis@espe.edu.ec
Similarity 0%
Analysis address jevilacis.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W URL: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/3344/Villac%3ADs%20Buena%3%B1o%202019.pdf>
Fetched: 10/6/2019 10:27:57 PM

 1





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *"Inoculación de Trichoderma sp. en plantas destinadas a la restauración de suelos degradados de la Amazonia ecuatoriana"* fue realizado por el señor **Prado Andrade, José Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 26 de octubre de 2020

Dr. Chiriboga Novillo, Carlos Eduardo

CC: 1706484613



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Prado Andrade, José Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 1723714836, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Inoculación de Trichoderma sp. en plantas destinadas a la restauración de suelos degradados de la Amazonía ecuatoriana*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 26 de octubre de 2020

Prado Andrade, José Andrés

CC: 1723714836



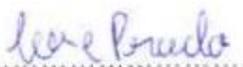
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Prado Andrade, José Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 1723714836, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***Inoculación de Trichoderma sp. en plantas destinadas a la restauración de suelos degradados de la Amazonía ecuatoriana*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 26 de octubre de 2020


.....

Prado Andrade, José Andrés

CC: 1723714836

Dedicatoria

A mis padres Dolores y José, mis hermanas Erika y María José y a mi sobrino Francisco por apoyarme, guiarme y ser las bases que me ayudaron a alcanzar este objetivo profesional.

Agradecimientos

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Carrera de Ingeniería Agropecuaria - IASA, por permitirme realizar mi carrera profesional.

A Petroamazonas EP, por las facilidades prestadas para poder realizar la presente investigación.

A mis profesores y amigos que me ayudaron a hacer bien las cosas y me ofrecieron valiosos consejos y sugerencias. En particular quiero expresar mis agradecimientos a los Doctores: Carlos Chiriboga, Wilmer Pozo y Jaime Villacís.

A los Ingenieros: Karina García, Andrea Urbina, Patricia Yáñez, Daniel Hidalgo y Juan Carlos López, investigadores del centro de investigaciones ambientales CITGAV, por toda su ayuda y buena predisposición en la realización del proyecto.

A Mariví Vargas y Geovanny Ureña por su colaboración, ayuda en el laboratorio y toma de datos durante la ejecución del proyecto.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Urkund.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Capítulo I.....	16
Introducción.....	16
Objetivos.....	18
<i>General</i>	18
<i>Específicos</i>	18
Hipótesis.....	19
Capítulo II.....	20
Revisión de literatura.....	20
La Amazonía Ecuatoriana.....	20
Extracción de Petróleo en el Ecuador.....	20
Impacto Ambiental de la Industria Petrolera en la Amazonía Ecuatoriana.....	21
Reforestación en la Amazonía Ecuatoriana.....	22
Remediación Ambiental de los Ecosistemas Degradados.....	22
Competencia Biológica.....	23
Simbiosis.....	24
Microorganismos Endófitos.....	24
Control Biológico.....	25
<i>Trichoderma</i> sp.....	25
Características de las especies forestales evaluadas.....	26

<i>Caoba (Platymiscium stipulare)</i>	26
<i>Cedro (Cedrela odorata)</i>	27
<i>Chíparo (Zygia longifolia)</i>	27
<i>Flemingia (Flemingia macrophylla)</i>	28
<i>Flor de abril (Caesalpinia pulcherrima)</i>	28
<i>Guaba (Inga densiflora)</i>	29
<i>Guarango espinudo (Piptadenia pteroclada)</i>	29
<i>Guayacán pechiche (Vitex cymosa)</i>	30
<i>Pachaco (Schizolobium parahybum)</i>	30
<i>Peine de mono (Apeiba tibourbou)</i>	31
<i>Pomarrosa (Eugenia malaccensis)</i>	31
Capítulo III.....	33
Metodología	33
Ubicación	33
Obtención de <i>Trichoderma</i> sp.	33
Masificación de <i>Trichoderma</i> sp.	34
Preparación de las Diluciones.....	35
Recolección de Semillas.....	36
Siembra	36
Repique y Pre-aclimatación.....	36
Medición de Variables	37
Diseño Experimental	38
Análisis de la Información	39
Capítulo IV.....	40
Resultados y discusión.....	40
Resultados	40
<i>Caoba (Platymiscium stipulare)</i>	40
<i>Cedro (Cedrela odorata)</i>	41
<i>Chíparo (Zigia longifolia)</i>	42
<i>Flemingia (Flemingia macrophylla)</i>	43
<i>Flor de Abril (Caesalpinia pulcherrima)</i>	45
<i>Guaba (Inga densiflora)</i>	46

	10
<i>Guarango espinudo (Piptadenia pteroclada)</i>	47
<i>Guayacán pechiche (Vitex cymosa)</i>	48
<i>Pachaco (Schizolobium parahybum)</i>	50
<i>Peine de mono (Apeiba tibourbou)</i>	51
<i>Pomarrosa (Eugenia malaccensis)</i>	52
Discusión	55
Capítulo V	61
Conclusiones y recomendaciones	61
Conclusiones	61
Recomendaciones	63
Referencias bibliográficas	64

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Platymiscium stipulare bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	40
Tabla 2	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Platymiscium stipulare bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp... </i>	41
Tabla 3	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Cedrela odorata bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	41
Tabla 4	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de las plantas de Cedrela odorata bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	42
Tabla 5	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Zigia longifolia bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	42
Tabla 6	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Zigia longifolia bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	43
Tabla 7	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Flemingia macrophylla bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	44
Tabla 8	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Flemingia macrophylla bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp. </i>	44
Tabla 9	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Caesalpinia pulcherrima bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	45
Tabla 10	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de Caesalpinia pulcherrima bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	46
Tabla 11	<i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Inga densiflora bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	46
Tabla 12	<i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Inga densiflora bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp.....</i>	47

Tabla 13 <i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Piptadenia pteroclada bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	47
Tabla 14 <i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Piptadenia pteroclada bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i> ..	48
Tabla 15 <i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Vitex cymosa bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	49
Tabla 16 <i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Vitex cymosa bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	49
Tabla 17 <i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Schizolobium parahybum bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	50
Tabla 18 <i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de Schizolobium parahybum bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	51
Tabla 19 <i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Apeiba tibourbou bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	51
Tabla 20 <i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Apeiba tibourbou bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i> ...	52
Tabla 21 <i>Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Eugenia malaccensis bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i>	53
Tabla 22 <i>Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Eugenia malaccensis bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp</i> ...	53
Tabla 23 <i>Promedio \pm error estándar de las unidades formadoras de colonia (UFC) de Trichoderma sp. Masificadas en cinco medios alternativos</i>	54

Índice de figuras

Figura 1 <i>Croquis del experimento en campo</i>	39
---	----

Resumen

Trichoderma es un género de hongos muy importante en la rizosfera, es utilizado en procesos de control biológico y como bioestimulante. La implementación de este microorganismo en los procedimientos forestales ha sido poco estudiada. Por tal motivo el objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de una cepa nativa de *Trichoderma* sp. en el desarrollo de plántulas de: *Platymiscium stipulare*, *Cedrela odorata*, *Zygia longifolia*, *Flemingia macrophylla*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Inga densiflora*, *Piptadenia pteroclada*, *Vitex cymosa*, *Schizolobium parahybum*, *Apeiba tibourbou* y *Eugenia malaccensis*. Se inocularon tres diluciones correspondientes a dos dosis fúngicas que contenían 5×10^5 y 5×10^7 UFC/ml y una dilución nula utilizada como testigo, estas diluciones fueron aplicadas 5 veces cada 15 días. Las plantas se mantuvieron en el transcurso del experimento en el vivero forestal. Las variables que se evaluaron fueron: la altura y el diámetro del tallo con frecuencia quincenal; y el peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces que se midieron en el laboratorio una vez finalizada la fase de campo. Con estos datos se determinó el índice de calidad de Dickson de las especies evaluadas. Los tratamientos que contenían *Trichoderma* sp. aumentaron la altura y el diámetro del tallo de varias especies forestales evaluadas con respecto a las plantas del grupo de control. Estos resultados sugieren que *Trichoderma* sp. afecta positivamente el desarrollo de varias especies forestales amazónicas.

Palabras clave: bioestimulante, inoculación, altura, diámetro, dickson

Abstract

Trichoderma is a very important fungi genus on the rhizosphere, is used in biological control processes and as a biostimulant. The implementation of this microorganism in forestry procedures has been little studied. For this reason, the objective of this research was to evaluate the effects of a native strain of *Trichoderma sp.* in the development of seedlings of: *Platymiscium stipulare*, *Cedrela odorata*, *Zygia longifolia*, *Flemingia macrophylla*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Inga densiflora*, *Piptadenia pteroclada*, *Vitex cymosa*, *Schizolobium parahybum*, *Apeiba tibourbou* and *Eugenia malaccens*. Three dilutions corresponds to two fungal doses containing 5×10^5 and 5×10^7 CFU / ml were inoculated and a null dilution used as a control, these dilutions were applied 5 times every 15 days. The plants were kept throughout the experiment on the forest nursery. The variables that were evaluated were: the height and diameter of the stem every two weeks; and the fresh and dry weight of the aerial part and of the roots that were measured in the laboratory once the field phase was completed. With these data, the Dickson quality index of the evaluated species was determined. Treatments containing *Trichoderma sp.* the height and diameter of the stem of several evaluated forest species increased with respect to the plants of the control group. These results suggested that *Trichoderma sp.* positively affects the development of various Amazon forest species.

Keywords: *biostimulant, inoculation, height, diameter, Dickson*

Capítulo I

Introducción

Desde la década de 1970 la industria petrolera ha sido la principal vía de crecimiento económico y desarrollo del Ecuador, representado aproximadamente el 40% de las exportaciones de la nación. Las actividades de extracción petrolera incluyen daños al medio ambiente, el grado de contaminación depende de la técnica y de las prácticas ambientales utilizadas por las compañías petroleras (San Sebastián y Hurtig, 2004).

Las actividades petroleras también incluyen procedimientos de remediación que tratan de solucionar la contaminación derivada al ambiente, su objetivo es la protección de la salud pública y ambiental (San Sebastián y Hurtig, 2004).

La empresa pública Petroamazonas a través de su Proyecto Amazonía Viva (PAV) es la encargada del tratamiento de los pasivos ambientales que fueron afectados por las actividades extractivas, con la finalidad de restituir un ambiente libre de contaminación para el aprovechamiento de las comunidades amazónicas (Petroamazonas EP, 2014).

Varios de los procedimientos de remediación utilizan medios biológicos para su ejecución, esta técnica se conoce como biorremediación, en el caso específico del uso de plantas este procedimiento recibe el nombre de fitorremediación. Las plantas y sus microorganismos asociados a las enmiendas apropiadas devuelven el equilibrio ambiental a un ecosistema degradado (Yao et ál., 2012)

Trichoderma es un hongo que pertenece a la familia Hypocreaceae, está ampliamente distribuido en todo el mundo, este género de hongos es muy importante en

los procesos biológicos que se llevan a cabo en la rizósfera. *Trichoderma* sp. es muy resistente en ambientes degradados y se relaciona con las plantas de forma endofítica y mutualista (Druzhinina et ál., 2011).

Varias cepas de *Trichoderma* sp. son utilizadas como agentes de biocontrol en el manejo de enfermedades causadas por microorganismos patógenos. Estos hongos compiten con otros microorganismos oportunistas que podrían ser fitopatógenos, permitiéndole a la planta desarrollarse adecuadamente en un ambiente desfavorable (Harman, 2006).

Las recientes investigaciones demuestran los efectos favorables de la aplicación de *Trichoderma* sp. en las plantas. Este microorganismo vive en las cortezas de las raíces donde libera moléculas de señalización que inducen los procesos de resistencia y estimulan el desarrollo de las plantas (Druzhinina et ál., 2011). Este hongo produce sustancias que impiden el desarrollo de otros hongos, incluidos los hongos patógenos. Es por ello que está empezando a utilizarse en la agricultura como producto fitosanitario de origen biológico (Harman, 2006).

Con el propósito de instaurar un ambiente idóneo para la realización de las actividades biológicas, el PAV trabaja en procesos de biorremediación, mediante el uso plantas nativas y microorganismos que se adapten de mejor manera a los ambientes restaurados (Petroamazonas EP, 2014).

El PAV produce plantas nativas bajo la demanda de las comunidades, el desempeño de varias especies de las plantas producidas en los viveros no siempre es el adecuado en las áreas intervenidas ambientalmente. La supervivencia de plántulas en suelos degradados depende de varios factores ambientales, cualquier alteración podría

afectar de manera negativa el prendimiento en campo provocando el aumento en los costos de los procedimientos de remediación (Petroamazonas EP, 2014).

En el entorno de las plantas los organismos macroscópicos y microscópicos influyen en su desempeño. Estos organismos se relacionan a través de redes biológicas que se forman y regularizan mediante los ciclos de nutrientes, competencia biológica, antagonismo y señalización. La regulación del fitobioma podría dar lugar a nuevas estrategias biológicas para mejorar la salud y la productividad de las plantas reforestadas (Leach et ál., 2017).

En esta investigación se inoculó una cepa nativa de *Trichoderma* sp. para determinar el efecto de este microorganismo sobre el desarrollo de once especies forestales amazónicas empleadas en los programas de reforestación que realiza el PAV. Los procedimientos de propagación y manejo de la cepa nativa de *Trichoderma* sp. utilizados en este trabajo, serán aplicados en la producción de plantas más resistentes en los procesos de restauración ambiental y reforestación.

Objetivos

General

Evaluar el efecto de *Trichoderma* sp. sobre la calidad de las plántulas de once especies forestales destinadas a la restauración ambiental en la Amazonía ecuatoriana.

Específicos

- Evaluar el efecto de tres dosis de *Trichoderma* sp. sobre la calidad de las plantas de especies amazónicas.
- Establecer el procedimiento de masificación de *Trichoderma* sp. sobre un medio alternativo.

- Capacitar al personal de Petroamazonas EP en la producción y aplicación de *Trichoderma* sp. en plantas que utiliza el proyecto Amazonía Viva.

Hipótesis

H0: La inoculación de *Trichoderma* sp. en plantas forestales no incrementa el índice de calidad de Dickson.

H1: La inoculación de *Trichoderma* sp. en plantas forestales incrementa el índice de calidad de Dickson.

Capítulo II

Revisión de literatura

La Amazonía Ecuatoriana

La Amazonía del Ecuador es una región natural del país, se encuentra conformada por las provincias de: Orellana, Pastaza, Napo, Sucumbíos, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. La superficie de esta región amazónica es de 120 000 km² aproximadamente y representa el 43% del territorio nacional. Limita con la cordillera de los Andes al oeste, Colombia al norte y Perú al sur.

La región amazónica del Ecuador es un área geográfica que presenta vegetación, fauna y microbiota propias del bosque tropical lluvioso. Los hábitats conformados son los más biodiversos del planeta y constituyen la reserva de plantas y animales más grande del país. En esta área se localizan las reservas petroleras. Su población aproximada es de 739 814 habitantes que incluyen ocho etnias indígenas y campesinos (López et ál., 2013).

Extracción de Petróleo en el Ecuador

El petróleo es una actividad económica muy importante para el Ecuador, desde la década del setenta se ha convertido en la principal actividad económica del país. La extracción de petróleo a gran escala ha tenido resultados positivos en el desarrollo económico del país, pero también ha generado problemas ambientales que no han sido tratados apropiadamente. No disponer de un programa de mitigación ambiental ha repercutido considerablemente sobre los ecosistemas aledaños (Bustamante & Jarrín, 2013).

Las actividades de extracción de petróleo se extienden sobre 1 000 000 de hectáreas aproximadamente, considerando 60 bloques de producción en los que se estima una producción bruta es de alrededor de 550 000 barriles por día (Mateo y García, 2014).

La tecnología para la extracción del crudo ofrece estrategias ambientales aplicables a los problemas que genera la actividad petrolera. Sin embargo, Estas estrategias no han sido aplicadas exitosamente y son de reciente implementación (Petroamazonas EP, 2014).

Impacto Ambiental de la Industria Petrolera en la Amazonía Ecuatoriana

El petróleo es la principal fuente de energía del planeta, sus derivados se utilizan en: la industria, el transporte y los hogares. Esta gran demanda produce contaminación en los lugares de explotación con efectos negativos sobre los ecosistemas aledaños (San Sebastián y Hurtig, 2004)

Las actividades de extracción petrolera incluyen varios procesos contaminantes, el grado de contaminación depende de la tecnología utilizada por las empresas petroleras. Los procesos de extracción de petróleo causan daños al ecosistema del lugar, razón por la cual la industria petrolera debe cumplir normas y procedimientos para proteger el medio ambiente. Garantizar la remediación de los predios que serán para el uso posterior de las comunidades aledañas (Petroamazonas EP, 2014).

La infraestructura petrolera genera deforestación en las áreas de extracción provocando una pérdida de los bosques y una disminución de la biocapacidad del ecosistema. El excedente ecológico de la Amazonía ve reducido debido también al crecimiento de la población (San Sebastián y Hurtig, 2004).

Reforestación en la Amazonía Ecuatoriana

La reforestación es la regeneración natural o intencional de los bosques que han sido explotados con anterioridad generalmente debido a la actividad antropogénica. La reforestación tiene el objetivo de mantener bosques, reconstituir hábitats naturales y ecosistemas, mejorando así la calidad de la vida (Hua et ál., 2016).

La incorporación de nuevos bosques ayuda a tratar la contaminación del aire, controlar la erosión del suelo, mitiga el calentamiento global. La reforestación se puede ejecutar en un sistema de gestión sustentable, que protege a las especies nativas y mejora la calidad de vida del ser humano a través de la explotación responsable de las especies maderables (Busch et ál., 2019).

En los procesos de reforestación hay que tener en cuenta que el futuro bosque tendrá o no la misma biodiversidad que el bosque original, dependiendo de la selección de las especies vegetales a incorporar. Por lo general la siembra se realiza de diferentes selecciones de plántulas de varias especies tomadas del área a reforestar (Hua et ál., 2016).

La regeneración natural brinda como resultado una amplia variedad de especies de plantas, animales y microorganismos en zonas abatidas ambientalmente. En algunas áreas realizar pequeños cortes claros aumenta la biodiversidad al crear una mayor variedad de árboles de diferentes edades (Hua et ál., 2016).

Remediación Ambiental de los Ecosistemas Degradados

La remediación ambiental es un conjunto de técnicas utilizadas con la finalidad de cancelar los efectos nocivos de los elementos tóxicos que se encuentran en un

ambiente alterado. Estos procedimientos tienen como beneficiario al ser humano y el resto de los seres vivos que se encuentran en un área determinada (Macek et ál., 2000)

El objetivo de la remediación es restituir un sistema diverso y similar al original antes de su explotación. La composición y estructura del ecosistema resultante debe brindar autosuficiencia ecológica y social. De esta manera las comunidades aledañas podrán explotarlo de manera racional obteniendo recursos económicos que garanticen su conservación (Megharaj y Naidu, 2017).

Cuando se sospecha que un sitio está contaminado el primer paso consiste en una evaluación cuantitativa y cualitativa, ya que hay que conocer el anterior uso del sitio y los materiales que se utilizaron o se extrajeron. La evaluación determinara las medidas a tomar ante la contaminación del suelo o del agua que es frecuente en las zonas de extracción petrolera. Los contaminantes también pueden migrar hacia la vegetación y la fauna (Ekperusi y Aigbodion, 2015).

Competencia Biológica

Los seres vivos que usan los mismos recursos limitados del medio ambiente, interfieren y compiten entre ellos. Esta competencia puede ocurrir de manera interespecífica o intraespecífica. De estas la competencia biológica interespecífica se considerada un factor importante en la regulación de las densidades de la población pudiendo llegar a ser un factor de selección. El principio de exclusión ecológica dice que las especies con un nicho ecológico idéntico o muy similar no pueden coexistir permanentemente (Ghoul y Mitri, 2016).

Simbiosis

El término hace referencia a cualquier coexistencia cercana y a largo plazo de dos o más organismos heteroespecíficos. Un individuo que entra en una relación simbiótica se llama simbiote. El término simbiosis abarca la coexistencia mutuamente beneficiosa y también a los modelos de coexistencia entre mutualismo y parasitismo. Los enlaces simbióticos pueden ser de carácter obligatorio u opcional (Zipfel y Oldroyd, 2017).

En la simbiosis las de relaciones entre los organismos son diversas, a veces los simbiotes intercambian sustancias orgánicas e inorgánicas y brindan protección. A nivel interespecífico se conocen varias asociaciones entre algas autótrofas, plantas superiores con hongos y entre organismos heterótrofos (Rosenberg et ál., 2010).

La sostenibilidad de la asociación es relativa y cubre una parte considerable de la vida útil de al menos uno de los dos organismos. Cuando los dos organismos se benefician de la asociación mantienen una relación mutualista, cuando se beneficia solo uno de los dos organismos y el otro se perjudica se llama relación parasitaria. Incluso puede haber una relación comensalista beneficiosa para un organismo, pero es neutral para el otro organismo (Zipfel y Oldroyd, 2017).

Microorganismos Endófitos

Los microorganismos endófitos o endosimbiontes en su mayoría son hongos o bacterias que colonizan parte de la estructura de una planta, generalmente las raíces, viven ahí gran parte de su vida, algunos causan enfermedades y otros no causan daño llegando a tener algún tipo de relación simbiótica (Contreras et ál., 2018).

La simbiosis mejora el crecimiento de la planta huésped, la disponibilidad de nutrientes y la respuesta fisiológica para tolerar el estrés abiótico que podría ser causado por la sequía o las condiciones adversas del entorno. Cuando los resultados son mutuamente beneficiosos se dice que son causados por coevolución entre el hospedador y los colonos de una relación originalmente parasitaria (Contreras et al., 2018).

La mayoría de los hongos endofíticos pertenecen al filo Ascomycota, y también hay representantes de los filos Basidiomycota, Zygomycota y Oomycota. Estos organismos están presentes en todo tipo de plantas. Su presencia se ha observado en un amplio espectro taxonómico que incluye algas, briófitas, pteridofitas, caducifolios, coníferas y líquenes (Deng y Cao, 2017).

Control Biológico

Es un método de manejo para plagas y enfermedades de las plantas utilizando organismos antagonistas de los patógenos que causan enfermedades a los cultivos. Son conocidos como agentes de control biológico porque su presencia disminuye las poblaciones de patógenos en las plantas. Solamente se utilizan organismos patógenos, parasitoides, depredadores y fitófagos para el control sanitario que no incluye pesticidas. Su objetivo es mantener las poblaciones de plagas por debajo de un umbral perjudicial (Tscharntke et ál., 2016).

Trichoderma sp.

Trichoderma es una forma anamórfica de un género de hongos que pertenece al orden Hypocreales de los Ascomicetos. De la mayoría de especies de *Trichoderma* solo se conoce la forma anamórfica. Las formas teleomórficas se encuentran en el género *Hypocrea*. Estos hongos filamentosos se encuentran en casi todos los tipos de suelos,

plantas, restos de plantas en descomposición y en la madera. Muchas especies son simbioses de plantas que actúan como oportunistas no patógenos. Varias especies de *Trichoderma* tienen una relación endofítica con diversas especies de plantas (Harman et ál., 2004).

Debido a la competencia con otros microorganismos, varias especies de *Trichoderma* se usan como antagonistas en el control biológico. Ciertas cepas de *Trichoderma harzianum* se usan como fungicidas en el control de *Botrytis*, *Fusarium* y *Penicillium* sp.. Los conidios de este hongo se rocían en las hojas y en el suelo, también se puede usar directamente sobre las semillas antes de la siembra (Druzhinina et ál., 2011).

Trichoderma crece mejor entre los 25-30° C, en cultivo de laboratorio el hongo forma un micelio de rápido crecimiento blanco y denso. Cuando el hongo se ha desarrollado es de color verde o amarillo verdoso, debido a la presencia de las esporas. Crecen más rápido con Agar Papa Dextrosa (PDA, por sus siglas en inglés) que con Agar Dextrosa Sabouraud. Muchas especies de *Trichoderma* se utilizan como biofertilizantes, biofungicidas y para la producción industrial de enzimas celulolíticas (Kubicek et ál., 2019).

Características de las especies forestales evaluadas

Caoba (*Platymiscium stipulare*)

La caoba es una planta dicotiledónea de la familia Fabaceae, es nativa de las regiones tropicales de América. Estos árboles que alcanzan alturas promedio de 28 m, con troncos de 120 cm de diámetro a la altura del pecho, presentan hojas opuestas y flores papilionáceas amarillas agrupadas en racimos axilares. Ciertas especies son muy cotizadas por su madera.

La madera se usa principalmente para la elaboración de muebles, pisos e instrumentos musicales. El duramen de la caoba es rojizo o marrón, la albura es ligera y claramente separada del duramen. La estructura anatómica de la madera está dispersa y presenta vasos que le dan apariencia rayada (Martínez et ál., 2012).

Cedro (*Cedrela odorata*)

Es un árbol perteneciente a la familia Meliaceae, se distribuye ampliamente desde México hasta Argentina. Alcanza 35 m de altura y 150 cm de diámetro. Sus hojas son compuestas. Tiene un tallo áspero, sus flores son amarillas y aparecen en los meses de diciembre a mayo. Los frutos son dehiscentes, tiene una longitud de 2,0 a 3,5 cm. Sus hojas tienen forma lanceolada.

Su madera se caracteriza por su interior rojo y es muy utilizada para la fabricación de muebles. Se utiliza también para la extracción de aceites esenciales utilizados en perfumería. El cedro está en peligro de extinción como resultado de la sobreexplotación de los bosques donde se encuentra naturalmente. Es un gran aliado para la restauración forestal amazónica (Dünisch et ál., 2003).

Chíparo (*Zygia longifolia*)

Es una especie vegetal de la familia Fabaceae, originaria de Centroamérica, alcanzan una altura aproximada entre 5 - 15 m. Crece a baja altitud, en hábitats ribereños. Presenta un tronco delgado cubierto por una corteza gris y agrietada, sus ramas son algo caídas, presenta follaje bipinado y flores blancas o rosadas, que después forman vainas amarillas.

Zygia longifolia es un excelente árbol ornamental o de sombra para los trópicos húmedos. Sus inflorescencias están en fascículos de 2–4 espigas caulifloras,

pedúnculos poco desarrollados o hasta 5 mm de largo, glabros, espigas laxas hasta 4 cm de largo, bráctea floral triangular, 1,5 mm de largo, estriada, glabra, flores blanquecinas o rosadas (Brako y Zarucchi 1993).

Flemingia (*Flemingia macrophylla*)

Es una planta leñosa, leguminosa, tiene varios usos entre los que sobresalen el mejoramiento de suelos, complementación de forrajes, extracción de pigmentos y para usos terapéuticos. Es una especie muy versátil y se adapta muy bien a las condiciones adversas del suelo. Es una planta perenne de clima subhúmedo a húmedo, habita en los trópicos, puede llegar a tolerar hasta 6 meses secos, su enraizamiento es profundo.

Tiene aproximadamente 0,6 - 2,4 m de altura. El tallo principal es recto y presenta numerosas ramificaciones que brotan de una sola base. Las ramas jóvenes son verdosas de sección triangular, los tallos maduros son marrones, casi redondos. Las hojas son trifoliadas. Presenta muchas inflorescencias en panículas. Las vainas son pequeñas y se vuelven marrones cuando maduran, generalmente presentan dos semillas negras brillantes en su interior, estas semillas son esféricas, de 2–3 mm de diámetro (Mannetje y Jones, 1992).

Flor de abril (*Caesalpinia pulcherrima*)

Es una planta de crecimiento arbustivo, alcanza alturas de 5 a 6 m. Tiene una corona floja y translúcida y es de hoja caduca. Su corteza es gris y lisa. Las hojas alternas son pinnadas en pares dobles de unos 30 cm de largo. Las flores se disponen juntas en inflorescencias de 30 a 40 cm de largo. Las flores son hermafroditas, tienen cinco pétalos de color naranja o rojo, a menudo con bordes amarillos, el superior a menudo tiene un color diferente y está algo enrollado a lo largo. Los estambres y los

pistilos sobresalen lejos de la flor. Las vainas son de color marrón cuando maduran tienen hasta 12 cm de largo y 2,5 cm de ancho.

Es común en los trópicos como planta ornamental. La flor de abril tolera la sequía y es resistente a la salinidad. Además de su valor como planta ornamental, las frutas se utilizan para producir taninos, que luego se procesan en pigmentos. Las hojas tienen un efecto laxante y antipirético (Srinivas et ál., 2003).

Guaba (*Inga densiflora*)

Es una planta nativa de Centroamérica, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. El árbol puede alcanzar 20 m de altura, la floración ocurre al final de la época seca. Es de climas tropicales y subtropicales. Está adaptada a condiciones de precipitación entre 1 000 y más de 5 000 mm, y a los suelos ácidos. Su fruta es una vaina gruesa, aparece en la estación lluviosa, en su interior se encuentran semillas recubiertas de una carnosidad suave de color blanco, comestible y de sabor dulce.

Este árbol no es muy alto, está ramificando, y su copa es algo rala. Sus hojas son compuestas pinnadas, las inflorescencias terminales están dispuestas en las axilas de las hojas. Sus flores manifiestan un cáliz verde y una corola blanca, se encuentran en el ápice del raquis (Lim, 2012).

Guarango espinudo (*Piptadenia pteroclada*)

El guarango espinudo es un árbol perteneciente a los bosques lluviosos, de altitud baja ubicado próximo a los ríos, es propio de los bosques tropicales y subtropicales. Esta especie de leguminosa presenta hojas pinadas orientadas en doble fila. Es fuente de madera y de taninos. Se extiende sobre América central y Sudamérica. Principalmente se lo encuentra en la Amazonía.

Las ramas presentan espinas curvas a menudo se encuentran dispersas en las ramas y pecíolos. Las hojas son bastante variables, ya sea compuestas por una gran cantidad de hojas más pequeñas o una cantidad más pequeña de hojas más grandes. Las flores están dispuestas en espigas estrechas. El cáliz tiene forma de campana, acabado con dientes cortos. Las hojas de la corona están sueltas o fusionadas. Las semillas son redondas y planas (Filardi et ál., 2018).

Guayacán pechiche (*Vitex cymosa*)

El guayacán pechiche es una especie amazónica de árbol caducifolio perteneciente a la familia Lamiaceae. Se encuentra en América central el Caribe y América del Sur. Su tronco es de forma acanalada y alcanza 30 m de altura aproximadamente, su diámetro aproximado es de 80 cm, su copa es casi esférica, su follaje es denso. Muy útil para láminas de enchape y muebles.

Su madera tiene buenas condiciones para el trabajo manual y tiene una buena resistencia al esfuerzo de cizallamiento, se la puede impermeabilizar con tratamiento. Esta especie está amenazada debido a la pérdida de su hábitat natural (Leitão et ál., 2011)

Pachaco (*Schizolobium parahybum*)

Es un árbol de la familia Fabaceae, se distribuye desde el norte de América del Sur y América Central hasta el sur de México. Es una especie de árbol caducifolio, de buen crecimiento que puede llegar a medir 30 m aproximadamente. El tronco generalmente solo se ramifica en los especímenes más viejos que pueden alcanzar un diámetro de hasta 1 m. En especímenes jóvenes, el tallo contiene resina pegajosa. Puede crecer de 3 a 5 m por año, lo que lo convierte en uno de los árboles de más rápido crecimiento en el mundo. La corteza lisa es de color verde pardo.

Las hojas son muy largas, se asemejan a la disposición del helecho, están pinnadas en dos pares y miden hasta 1,5 m de largo en las plantas más jóvenes, luego son algo más de la mitad, más cortas. Las estípulas están inclinadas. Las hojas a menudo caen en la floración (Richter et ál., 1975).

Peine de mono (*Apeiba tibourbou*)

El peine de mono es un árbol nativo de la Amazonía, alcanza 20 m de altura, su tronco es recto y cilíndrico, su diámetro aproximado es de 50 cm. Sus hojas son simples, alternas, estipuladas, rugosas, finamente dentadas, con un tamaño promedio de 28 cm, presenta inflorescencias paniculadas, con un tamaño promedio de 9 cm, sus flores son de color amarillo. Es un árbol semi caducifolio, su período de floración es en el mes de mayo y es polinizado por polinizadores naturales.

Su madera tiene baja densidad y baja durabilidad natural, es porosa y fácil de trabajar. Tiene varios usos entre los que destacan la producción de celulosa y la construcción de balsas debido a su flotabilidad (Pacheco y Matos, 2009).

Pomarrosa (*Eugenia malaccensis*)

Es un árbol de la familia Myrtaceae. Está presente en el Caribe y América del sur. Su fruto tiene una piel roja y se asemeja a una manzana, pero es más pequeña y alargada, La consistencia es ligera y jugosa tiene un contenido de agua muy alto. Algunas variedades tienen una acidez agradable.

Es un árbol vertical con una copa densa cilíndrica. La altura esta entre 7.5 a 20 m. El diámetro de la altura del pecho es de 20 a 140 cm. La corteza es de color marrón claro y lisa o ligeramente agrietada. La corteza interna está veteada de marrón. La albura es de color marrón claro. Las flores son hermafroditas, de 5 a 7 cm de tamaño,

son de color rosa brillante y muy atractivas. Tienen cuatro sépalos que son relativamente anchos y gruesos y tienen una forma redonda. Los cuatro pétalos redondos también son de color rosa, naranja o rojo oscuro, con menos frecuencia amarillo o blanco. Los estambres son de 2.5 a 3 cm de largo, sobresalen lejos y tienen anteras amarillas (Whistler y Elevitch, 2006).

Capítulo III

Metodología

Ubicación

Esta investigación se realizó en el vivero de Amazonía Viva perteneciente a Petroamazonas EP, ubicado en el cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana que está a una altura de 250 m snm, presenta una temperatura media mensual de 24° C, una precipitación anual de 3 100 mm, humedad relativa del 80% (INAMHI, 2019).

La conformación vegetal corresponde a bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía ecuatoriana (Sierra, 1999).

La propagación del microorganismo *Trichoderma* sp. se la realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Laboratorio de microbiología de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, ubicado en la Hacienda “El Prado” IASA I, en cantón Rumiñahui provincia de Pichincha.

Obtención de *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. se aisló del material colectado en el proyecto Diversidad de hongos rizosféricos aislados de suelos perturbados de la Amazonía ecuatoriana (Sosa 2018 y Quisasamin 2019)

Se identificaron cinco morfotipos de *Trichoderma* sp., que fueron cultivados en cajas Petri con medio PDA para su reactivación. Se realizaron siembras sucesivas hasta obtener cajas puras de los cinco morfotipos. De los microorganismos puros se realizó el procedimiento de dilución y plateo para obtener cultivos monospóricos que garanticen cajas con un solo tipo de *Trichoderma*.

A partir de estas cajas con cultivos monospóricos se tomaron tres discos de PDA de 1 cm de diámetro de cada morfotipo y se realizaron diluciones seriadas de 1×10^5 ; 1×10^6 y 1×10^7 , las cuales fueron sembradas en medio PDA. A las 48 h se extrajeron colonias fúngicas originadas a partir de una sola espora y se sembraron en medio PDA nuevamente. Se masificó sobre arroz cocido para la elaboración de las diluciones de prueba. Para esto, se contabilizó el número de esporas por gramo de arroz utilizando la cámara de Neubauer y se realizaron cinco diluciones de concentración de 1×10^6 UFC/ml, con cada morfotipo. Estas soluciones se aplicaron sobre plántulas brócoli germinadas en turba estéril. En las plántulas de 10 días de edad se observó en sus raíces la presencia del microorganismo; este procedimiento se lo realizó en un microscopio óptico utilizando la tinción azul de lactofenol sobre las raicillas ligeramente aplastadas con la placa cubreobjetos.

Se seleccionó el morfotipo del hongo *Trichoderma* sp. del que se observó presencia de materia fúngica en las raicillas de las plantas y que su presencia no haya causado problemas a las plantas hospedadoras. Además, este morfotipo presentó mayor rapidez de crecimiento y mayor esporulación por gramo de sustrato de masificación. Esta cepa fue purificada nuevamente en medio PDA y se colocó en tubos con glicerina para su crioconservación.

Masificación de *Trichoderma* sp.

Se partió de los viales de *Trichoderma* sp., estos tubos fueron sembrados en medio PDA para su reactivación. Desde los cultivos en medio PDA que se aislaron inicialmente en el laboratorio de microbiología del IASA I. Se sembró el hongo *Trichoderma* sp. en cinco medios alternativos de masificación de bajo costo elaborados en el laboratorio. Los medios que se probaron fueron: arroz y sacarosa; arroz, sacarosa

y nitrofoska crecimiento; arroz, sacarosa y extracto de levadura; arroz, sacarosa y minerales traza orgánicos (Zn, Cu, Mn, Fe) y un medio testigo preparado solo con arroz.

En los medios se midió la capacidad productora de esporas del hongo *Trichoderma* sp. Las esporas se contabilizaron utilizando la cámara de Neubauer obteniendo el número de UFC/g.

Posteriormente se realizó un procedimiento de control de calidad utilizando la técnica de dilución y plateo para determinar la viabilidad de las esporas producidas y confirmar el valor obtenido en el conteo celular.

Las diluciones seriadas para la evaluación fueron: 1×10^5 , 1×10^7 y 1×10^9 elaboradas a partir de 1 g del medio alternativo a evaluar.

El conteo de UFC en las cajas Petri se realizó con el medio PDA que permitió corroborar el estado de viabilidad de las UFC y también evaluar la presencia de contaminación que no fue el caso. Esta parte del experimento se realizó en el medio agar rosa de bengala.

Para la obtener la dosis óptima de fertilizante a utilizarse en la preparación del medio de masificación alternativo se evaluaron tres dosis de fertilizante: 0,25; 0,5 y 0,75 g/l.

Preparación de las Diluciones

Las diluciones de esporas para la aplicación en las plantas se prepararon con el medio arroz y agua ya esporulado y estabilizado. Primero se disolvió un peso aproximado de 20 g de sustrato seco en 200 ml de agua destilada y esterilizada adicionada una gota de tween 20, luego se agito para desprender las esporas del sustrato y se filtró la solución utilizando una bomba de vacío para eliminar los cúmulos

de esporas homogenizando así el tamaño de partículas en la solución. Posteriormente se tomó una muestra para contabilizar las esporas presentes por mililitro de solución. El pH de la solución fue 5,11 y conductividad eléctrica 6,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las diluciones elaboradas de *Trichoderma* sp. fueron en concentración: 5×10^5 y 5×10^7 UFC/ml dosis derivadas de la investigación de Regliński *et al.* (2012), más una dilución nula que corresponden a las dosis mínima, máxima y testigo a evaluar en el experimento.

Recolección de Semillas

La recolección de semillas se realizó de los árboles semilleros que están georeferenciados y que abastecen los viveros de PAV. Las semillas se conservaron en sacos de yute y fueron desinfectadas aplicando Vitavax 400 a razón de $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de semillas previo a su siembra.

Siembra

Este procedimiento se realizó en sustrato elaborado con tierra agrícola y tamo de café obtenidos en la zona aledaña al vivero. Las semillas se colocaron sobre este sustrato y a una profundidad adecuada para cada especie según las recomendaciones del técnico. El riego se aplicó todos los días para brindar la humedad requerida por las semillas para germinar ya que el aérea de germinación estaba cubierta de la lluvia.

Repique y Pre-aclimatación

Cuando las semillas germinaron y empezaron a brotar sus hojas verdaderas se realizó el repique en bolsas plásticas de dimensión 23 cm x 15 cm, que contenían el sustrato preparado en el vivero con tierra agrícola y tamo de café. Las diluciones de *Trichoderma* sp., preparadas en el laboratorio, fueron aplicadas directamente sobre el sustrato utilizando una pipeta automática según los cálculos de la dilución madre preparada en el laboratorio.

La inoculación se realizó sobre 15 plántulas de cada especie forestal, se hizo directamente en el sustrato en el área aledaña al cuello de la raíz y se la realizó por 5 ocasiones cada 15 días. Las plantas inoculadas se ubicaron en el área de pre-aclimatación que tiene un recubrimiento de sarán-malla de 65% de sombra.

Medición de Variables

Se evaluó la altura y el diámetro en las 15 plántulas de cada especie desde el repique hasta la etapa de trasplante 3 meses para las especies: Chíparo, Flemingia, Flor de abril, Guaba, Guarango espinudo, Pachaco y Pomarroza. La especie caoba se evaluó durante 5 meses y las especies: Cedro, Guayacán pechiche y Peine de mono se evaluaron durante 4 meses.

Todos los datos se registraron con frecuencia quincenal. La altura de planta se midió desde el cuello de la raíz hasta el meristemo apical del tallo más alto, utilizando una regla graduada +/- 0,001 m. La medida del diámetro se realizó aproximadamente a 2 cm desde la base de la planta para ello se utilizó un calibrador +/- 0,0001 m.

La biomasa se registró al finalizar el experimento en campo, en 9 plántulas de cada especie donde se registró: el peso fresco y seco, tanto de las partes aéreas y subterráneas utilizando para ello una balanza digital de apreciación +/- 0,0001 kg.

Para determinar la calidad de la planta, se utilizó el índice de calidad de Dickson (ICD) (Dickson et ál., 1960):

$$ICD = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura del tallo (cm)}}{\text{diámetro del tallo (mm)}} + \frac{\text{peso seco parte aérea (g)}}{\text{peso seco raíces (g)}}$$

Diseño Experimental

Para cada especie evaluada, se dispuso un experimento bajo un diseño en bloques completos al azar DBCA con 5 repeticiones, con el siguiente modelo matemático:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

$$i = 1, \dots, 3$$

$$j = 1, \dots, 11$$

Donde:

y_{ij} = variable aleatoria

μ = media general

α_i = efecto de la i-esima dosis de dilución

β_j = efecto de la j-esima especie

e_{ij} = error experimental

Se seleccionaron 15 plántulas de cada especie, en las cuales se aplicaron las 3 diluciones de *Trichoderma* sp. Cada dilución fue aplicada a 5 individuos al azar (figura 1).

Figura 1*Croquis del experimento en campo*

	Pachaco	Guaba	Guarango espinudo	Flemingia	Flor de abril	Chiparo	Pomarrosa	Caoba	Peine de mono	Cedro	Guayacan
dosis máxima											
											
											
											
											
dosis mínima											
											
											
											
											
testigo											
											
											
											
											

Análisis de la Información

La información se analizó utilizando estadística descriptiva (media, desviación estándar, valores mínimos, valores máximos). Para comparar las variables: altura, diámetro de planta, peso fresco y seco de la raíz y parte aérea e índice de Dickson se realizaron análisis de varianza mediante modelos mixtos, y se utilizó los criterios de AIC y BIC para seleccionar el modelo que más se ajuste a cada una de las variables. Además, se realizaron pruebas de comparación de medias LSD ($\alpha=0,05$). El análisis se desarrolló utilizando el software estadístico Infostat® (Di Rienzo et ál., 2016).

Capítulo IV

Resultados y discusión

Resultados

Caoba (*Platymiscium stipulare*)

Las plantas de *Platymiscium stipulare* inoculadas con los tratamientos T1 y T2, presentaron mayor altura que las plantas del tratamiento T3 ($p= 0,0002$). El diámetro de las plantas fue similar para los tres tratamientos evaluados ($p= 0,9146$) (tabla 1).

Tabla 1

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Platymiscium stipulare bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	28,67 \pm 0,65 a	7,62 \pm 0,26 a
T2 (dosis mínima)	27,39 \pm 0,65 a	7,76 \pm 0,26 a
T3 (testigo)	24,83 \pm 0,65 b	7,75 \pm 0,26 a
p-valor	0,0002	0,9146

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La biomasa radicular y de la parte aérea en peso fresco y seco, así como el índice de calidad de Dickson de las plantas de *Platymiscium stipulare* fue similar para los tres tratamientos evaluados (tabla 2).

Tabla 2

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Platymiscium stipulare bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T1 (Dosis máxima)	57,00 \pm 8,08 a	22,63 \pm 0,33 a	78,60 \pm 10,77 a	21,83 \pm 0,57 a	10,44 \pm 1,19 a
T2 (Dosis mínima)	43,20 \pm 8,08 a	15,63 \pm 0,33 a	82,43 \pm 10,77 a	20,90 \pm 0,57 a	7,49 \pm 1,19 a
T3 (Testigo)	53,57 \pm 8,08 a	19,43 \pm 0,33 a	83,40 \pm 10,77 a	22,03 \pm 0,57 a	9,99 \pm 1,19 a
p-valor	0,4954	0,3102	0,9464	0,9639	0,2491

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cedro (*Cedrela odorata*)

Las plantas de *Cedrela odorata* del tratamiento T1, presentaron mayor altura y diámetro que las plantas de los tratamientos T2 y T3 ($p < 0,0001$) (tabla 3).

Tabla 3

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Cedrela odorata bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	26,81 \pm 0,71 a	5,94 \pm 0,12 a
T2 (dosis mínima)	24,06 \pm 0,71 b	5,22 \pm 0,12 b
T3 (testigo)	17,89 \pm 0,71 c	5,20 \pm 0,12 b
p-valor	< 0,0001	< 0,0001

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso fresco de las raíces de las plantas de *Cedrela odorata* pertenecientes al tratamiento T1 fue mayor que en los demás tratamientos ($p = 0,0565$), el peso seco de las raíces fue similar en los tres tratamientos. La biomasa de la parte aérea de las plantas de *Cedrela odorata* fue similar para los tres tratamientos evaluados en peso

fresco y seco. El índice de calidad de Dickson fue similar para los tres tratamientos aplicados (tabla 4).

Tabla 4

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de las plantas de Cedrela odorata bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	24,53 \pm 5,13 a	8,37 \pm 2,27 a	54,97 \pm 11,92 a	14,00 \pm 3,57 a	3,19 \pm 0,78 a
T₂ (Dosis mínima)	42,63 \pm 5,13 b	14,10 \pm 2,27 a	67,80 \pm 11,92 a	19,03 \pm 3,57 a	5,04 \pm 0,78 a
T₃ (Testigo)	21,97 \pm 5,13 b	7,03 \pm 2,27 a	57,23 \pm 11,92 a	19,03 \pm 3,57 a	3,53 \pm 0,78 a
p-valor	0,0565	0,1433	0,7309	0,5567	0,2771

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Chíparo (*Zigia longifolia*)

Las plantas de *Zigia longifolia* del tratamiento T2, presentaron mayor altura que las plantas de los tratamientos T1 y T3 ($p=0,0402$). El diámetro del tallo de las plantas pertenecientes al tratamiento T2 también fue mayor que los diámetros medidos en las plantas de los tratamientos T1 y T3 ($p = 0,0166$) (tabla 5).

Tabla 5

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Zigia longifolia bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	17,35 \pm 0,55 b	2,95 \pm 0,06 b
T2 (dosis mínima)	19,42 \pm 0,64 a	3,23 \pm 0,09 a
T3 (testigo)	17,82 \pm 0,33 b	2,97 \pm 0,04 b
p-valor	0,0402	0,0166

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La biomasa fresca y seca de las raíces y de la parte aérea registrada en las plantas de *Zigia longifolia* fue similar para las tres inoculaciones evaluadas. El índice de calidad de Dickson también fue similar en los tres tratamientos (tabla 6).

Tabla 6

Promedio ± error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Zigia longifolia bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	2,40±0,72 a	1,67±0,33 a	6,33±0,84 a	2,47±0,57 a	0,47±0,12 a
T₂ (Dosis mínima)	3,30±0,72 a	2,03±0,33 a	5,40±0,84 a	3,10±0,57 a	0,64±0,12 a
T₃ (Testigo)	2,30±0,72 a	1,47±0,33 a	4,23±0,84 a	2,03±0,57 a	0,46±0,12 a
p-valor	0,5874	0,5117	0,2829	0,4626	0,5418

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Flemingia (*Flemingia macrophylla*)

Las plantas de *Flemingia macrophylla* en los tratamientos T1 y T2 obtuvieron mayor altura que las plantas en el tratamiento T3 ($p=0,0028$). El diámetro de las plantas del tratamiento T1 fue mayor al de los otros dos tratamientos evaluados ($p=0,0315$) (tabla 7).

Tabla 7

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Flemingia macrophylla bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	18,90 \pm 0,55 a	3,25 \pm 0,07 a
T2 (dosis mínima)	17,39 \pm 0,68 a	3,08 \pm 0,12 ab
T3 (testigo)	15,04 \pm 0,96 b	2,83 \pm 0,14 b
p-valor	0,0028	0,0315

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso de las raíces y de la parte aérea de las plantas de *Flemingia macrophylla* no tuvo diferencias significativas entre los tres tratamientos evaluados tanto para el peso fresco y seco. El índice de calidad de Dickson fue similar en las plantas de los tres tratamientos aplicados (tabla 8).

Tabla 8

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Flemingia macrophylla bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		IDC
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T1 (dosis máxima)	7,47 \pm 1,08 a	3,67 \pm 0,62 a	24,50 \pm 1,70 a	8,87 \pm 0,87 a	1,27 \pm 0,20 a
T2 (dosis mínima)	7,17 \pm 1,08 a	3,67 \pm 0,62 a	20,90 \pm 1,70 a	8,13 \pm 0,87 a	1,26 \pm 0,20 a
T3 (testigo)	7,67 \pm 1,08 a	3,57 \pm 0,62 a	22,97 \pm 1,70 a	7,90 \pm 0,87 a	1,28 \pm 0,20 a
p-valor	0,9475	0,9915	0,3836	0,7289	0,9983

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Flor de Abril (*Caesalpinia pulcherrima*)

En las plantas de *Caesalpinia pulcherrima* la altura fue superior en los tratamientos T1 y T2 con respecto a las plantas del tratamiento T3 ($p < 0,0001$). En cuanto al diámetro las plantas del tratamiento T1 alcanzaron mayores valores que los otros dos tratamientos evaluados ($p = 0,0024$) (tabla 9).

Tabla 9

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Caesalpinia pulcherrima bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	13,28 \pm 0,50 a	2,93 \pm 0,06 a
T2 (dosis mínima)	12,03 \pm 0,52 a	2,73 \pm 0,09 ab
T3 (testigo)	10,53 \pm 0,19 b	2,69 \pm 0,04 b
p-valor	<0,0001	0,0024

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de las plantas de *Caesalpinia pulcherrima* fue similar en los tres tratamientos evaluados. El índice de calidad de Dickson fue similar en las plantas de los tres tratamientos aplicados (tabla 10).

Tabla 10

Promedio ± error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de las plantas de Caesalpinia pulcherrima bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		IDC
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (dosis máxima)	1,90±0,64 a	1,07±0,41 a	8,87±1,98 a	4,10±0,92 a	0,51±0,17 a
T₂ (dosis mínima)	0,97±0,64 a	0,47±0,41 a	7,57±1,98 a	3,70±0,92 a	0,30±0,17 a
T₃ (testigo)	0,87±0,64 a	0,33±0,41 a	8,77±1,98 a	3,60±0,92 a	0,24±0,17 a
p-valor	0,4931	0,4601	0,8775	0,9223	0,5354

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Guaba (*Inga densiflora*)

La altura de las plantas de *Inga densiflora* que fueron evaluadas en los tres tratamientos fue similar ($p=0,4468$). El diámetro de las plantas inoculadas con los tres tratamientos también fue similar ($p=0,3463$) (tabla 11).

Tabla 11

Promedio ± error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Inga densiflora bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	22,37 ± 0,83 a	4,40 ± 0,07 a
T2 (dosis mínima)	23,63 ± 0,54 a	4,54 ± 0,07 a
T3 (testigo)	23,23 ± 0,57 a	4,46 ± 0,06 a
p-valor	0,4468	0,3463

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La biomasa medida en las plantas de *Inga densiflora* evaluada bajo los tres tratamientos fúngicos fue similar para el peso fresco y seco. El índice de calidad de Dickson también fue similar en los tres tratamientos aplicados (tabla 12).

Tabla 12

Promedio ± error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Inga densiflora bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	9,90±1,10 a	5,73±0,73 a	21,40±1,65 a	11,50±1,33 a	2,20±0,24 a
T₂ (Dosis mínima)	9,60±1,10 a	5,40±0,73 a	22,13±1,65 a	10,70±1,33 a	2,08±0,24 a
T₃ (Testigo)	10,6±1,10 a	6,30±0,73 a	19,03±1,65 a	8,47±1,33 a	1,87±0,24 a
p-valor	0,8107	0,6923	0,4350	0,3186	0,6298

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Guarango espinudo (*Piptadenia pteroclada*)

La altura medida en las plantas de *Piptadenia pteroclada* fueron similares para los tres tratamientos evaluados ($p=0,6082$). El diámetro de las plantas también fue similar en los tres tratamientos evaluados ($p=0,0172$) (tabla 13).

Tabla 13

Promedio ± error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Piptadenia pteroclada bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	27,97 ± 1,60 a	3,93 ± 0,19 a
T2 (dosis mínima)	26,78 ± 0,63 a	3,96 ± 0,04 a
T3 (testigo)	26,08 ± 1,03 a	4,19 ± 0,07 a
p-valor	0,6082	0,0172

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso fresco y seco de las plantas de *Piptadenia pteroclada* sometidas a los tres tratamientos fue similar. El índice de calidad de Dickson también fue similar en los tres tratamientos evaluados (tabla 14).

Tabla 14

Promedio ± error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Piptadenia pteroclada bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	9,33±0,62 a	5,10±0,35 a	18,77±1,22 a	8,33±0,44 a	1,51±0,13 a
T₂ (Dosis mínima)	8,17±0,62 a	4,53±0,35 a	16,70±1,22 a	7,87±0,44 a	1,39±0,13 a
T₃ (Testigo)	10,2±0,62 a	5,47±0,35 a	19,50±1,22 a	8,60±0,44 a	1,55±0,13 a
p-valor	0,1401	0,2419	0,3152	0,5235	0,6837

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Guayacán pechiche (*Vitex cymosa*)

La altura de las plantas de *Vitex cymosa* pertenecientes al tratamiento T1 fue mayor que en los otros dos tratamientos evaluados ($p=0,0038$). El diámetro de las plantas del tratamiento T1 a fue mayor que las plantas de los tratamientos T2 y T3 ($p=0,0451$) (tabla 15).

Tabla 15

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Vitex cymosa bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	34,58 \pm 0,92 a	4,57 \pm 0,08 a
T2 (dosis mínima)	31,29 \pm 0,92 b	4,31 \pm 0,13 b
T3 (testigo)	30,37 \pm 0,92 b	4,39 \pm 0,22 ab
p-valor	0,0038	0,0451

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La biomasa de la raíz de las plantas de *Vitex cymosa* sometidas a los tres tratamientos fue similar, tanto para el peso fresco y el peso seco. La biomasa fresca y seca de la parte aérea de las plantas pertenecientes al tratamiento T3 fue mayor que los otros dos tratamientos evaluados. El índice de calidad de Dickson fue similar para los tres tratamientos evaluados (tabla 16).

Tabla 16

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Vitex cymosa bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		IDC
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T1 (Dosis máxima)	50,10 \pm 19,69 a	18,80 \pm 8,45 a	62,47 \pm 3,34 b	19,33 \pm 0,44 b	3,72 \pm 1,60 a
T2 (Dosis mínima)	68,90 \pm 19,69 a	28,97 \pm 8,45 a	57,57 \pm 3,34 b	20,23 \pm 0,44 b	5,77 \pm 1,60 a
T3 (Testigo)	62,47 \pm 19,69 a	23,57 \pm 8,45 a	80,87 \pm 3,34 a	31,87 \pm 0,44 a	5,22 \pm 1,60 a
p-valor	0,7971	0,7102	0,0060	0,0109	0,6644

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pachaco (*Schizolobium parahybum*)

La altura de las plantas de *Schizolobium parahybum* evaluadas en el tratamiento T2 fue mayor que las alturas de las plantas de los tratamientos T1 y T3 ($p=0,0016$) (tabla 18). El diámetro de las plantas del tratamiento T2 fue mayor que el diámetro de las plantas de los otros dos tratamientos evaluados ($P=0,0010$) (tabla 17).

Tabla 17

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Schizolobium parahybum bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	18,98 \pm 0,63 ab	4,53 \pm 0,15 ab
T2 (dosis mínima)	20,25 \pm 0,34 a	4,82 \pm 0,11 a
T3 (testigo)	18,53 \pm 0,32 b	4,37 \pm 0,04 b
p-valor	0,0016	0,0010

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso fresco de las raíces de *Schizolobium parahybum* sometidas al tratamiento T2 fue mayor que los tratamientos T1 y T3 ($p= 0,0355$). El peso seco de las raíces de las plantas pertenecientes al tratamiento T2 fue mayor que los otros dos tratamientos evaluados ($p=0,0587$). El peso fresco y seco de la parte aérea fue similar entre los tres tratamientos evaluados. El índice de calidad de Dickson de las plantas pertenecientes al tratamiento T2 fue mayor que los otros tratamientos evaluados (tabla 18).

Tabla 18

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Schizolobium parahybum bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	2,77 \pm 0,93 b	1,33 \pm 0,62 b	12,47 \pm 1,52 a	5,97 \pm 0,97 a	0,77 \pm 0,25 b
T₂ (Dosis mínima)	6,60 \pm 0,93 a	3,70 \pm 0,62 a	17,00 \pm 1,52 a	8,80 \pm 0,97 a	1,65 \pm 0,25 a
T₃ (Testigo)	2,50 \pm 0,93 b	1,43 \pm 0,62 b	13,10 \pm 1,52 a	6,20 \pm 0,97 a	0,82 \pm 0,25 ab
p-valor	0,0355	0,0587	0,1517	0,1513	0,0801

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peine de mono (*Apeiba tibourbou*)

La altura de las plantas de *Apeiba tibourbou* pertenecientes al tratamiento T1 fue mayor que las alturas de las plantas de los tratamientos T2 y T3 ($p=0,0134$). En cuanto al diámetro las plantas el tratamiento T1 y T2 fueron mayores que el diámetro de las plantas del tratamiento T3 ($p<0,0001$) (tabla 19).

Tabla 19

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Apeiba tibourbou bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	33,80 \pm 0,74 a	5,13 \pm 0,08 a
T2 (dosis mínima)	30,56 \pm 0,74 b	5,02 \pm 0,08 a
T3 (testigo)	22,44 \pm 0,74 c	4,33 \pm 0,08 b
p-valor	0,0134	<0,0001

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El peso fresco y seco de las raíces de las plantas de *Apeiba tibourbou* fue similar para los tres tratamientos evaluados. ($p= 0,0355$). El peso fresco de la parte aérea de las plantas del tratamiento T1 y T2 fue mayor que las plantas del tratamiento T3 ($p=0,0177$) ($p=0,0465$). El peso seco de la parte aérea de las plantas de *Apeiba tibourbou* pertenecientes al tratamiento T1 fue mayor. El índice de calidad de Dickson evaluado en los tres tratamientos fue similar (tabla 20).

Tabla 20

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de plantas de Apeiba tibourbou bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		ICD
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (Dosis máxima)	55,97 \pm 9,76 a	22,13 \pm 4,58 a	82,63 \pm 5,79 a	20,60 \pm 1,95 a	4,86 \pm 0,81 a
T₂ (Dosis mínima)	42,30 \pm 9,76 a	15,07 \pm 4,58 a	71,50 \pm 5,79 a	17,83 \pm 1,95 ab	3,75 \pm 0,81 a
T₃ (Testigo)	34,50 \pm 9,76 a	11,50 \pm 4,58 a	49,43 \pm 5,79 b	11,80 \pm 1,95 b	2,67 \pm 0,81 a
p-valor	0,3545	0,3184	0,0177	0,0465	0,2406

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pomarrosa (*Eugenia malaccensis*)

La altura de las plantas de *Eugenia malaccensis* fue similar en los tres tratamientos evaluados ($p=0,5308$). El diámetro de las plantas en los tres tratamientos evaluados fue similar ($p=0,1698$) (tabla 21).

Tabla 21

Promedio \pm error estándar de la altura (cm) y el diámetro (mm) de las plantas de Eugenia malaccensis bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (dosis máxima)	17,22 \pm 0,32 a	4,15 \pm 0,08 a
T2 (dosis mínima)	18,10 \pm 0,80 a	4,44 \pm 0,13 a
T3 (testigo)	16,86 \pm 0,95 a	4,22 \pm 0,22 a
p-valor	0,5308	0,1698

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La biomasa en fresco y en seco de las raíces y de la parte aérea de las plantas de *Eugenia malaccensis* fue similar para los tres tratamientos evaluados. El índice de calidad de Dickson también fue similar en los tres tratamientos evaluados (tabla 22).

Tabla 22

Promedio \pm error estándar del peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de plantas de Eugenia malaccensis bajo el efecto de tres dosis de Trichoderma sp., Sacha, Ecuador, 2020.

Tratamiento	Peso de la raíz (g)		Peso de la parte aérea (g)		IDC
	Fresco	Seco	Fresco	Seco	
T₁ (dosis máxima)	6,50 \pm 1,99 a	3,50 \pm 1,34 a	26,13 \pm 4,64 a	9,23 \pm 1,50 a	1,76 \pm 0,53 a
T₂ (dosis mínima)	5,17 \pm 1,99 a	2,83 \pm 1,34 a	26,47 \pm 4,64 a	9,07 \pm 1,50 a	1,36 \pm 0,53 a
T₃ (testigo)	8,50 \pm 1,99 a	5,07 \pm 1,34 a	29,97 \pm 4,64 a	10,33 \pm 1,50 a	2,20 \pm 0,53 a
p-valor	0,5281	0,5205	0,8171	0,8164	0,5712

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Productividad de *Trichoderma* sp. en el medio alternativo

Sobre el medio elaborado con arroz sacarosa y Nitrofoska se observó mayor rendimiento con un valor aproximado de $6,09 \times 10^7$ UFC/g (tabla 23).

Tabla 23

Promedio \pm error estándar de las unidades formadoras de colonia (UFC) de Trichoderma sp. Masificadas en cinco medios alternativos, Sacha, Ecuador, 2020.

Medio de Masificación	UFC/g
Sacarosa + Nitrofoska	60976313,13 \pm 4062856,84 a
Sacarosa + Extracto de levadura	43628272,50 \pm 4103370,83 b
Sacarosa + Minerales traza	41351425,38 \pm 3187655,13 b
Sacarosa	37502524,38 \pm 4419982,90 bc
Testigo (agua)	32222929,25 \pm 954363,91 c
p-valor	<0,0001

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Se contabilizaron las UFC/g en cada medio donde se evaluó la dosis de fertilizante y se determinó que la dosis óptima fue de 0,5 g/l con una producción de $5,6 \times 10^7$ UFC/g con respecto a las dosis 0,25 y 0,75 g/l.

Discusión

En la evaluación realizada al final del experimento se encontró diferencias significativas en el desarrollo de las plantas evidenciado en la altura, el diámetro y la biomasa, registrados en los tratamientos que contenían *Trichoderma* sp. con respecto al grupo de control.

Entre las especies arbóreas que presentaron mayor altura se encuentran *Inga densiflora*, *Piptadenia pteroclada* y *Eugenia malaccensis* que no presentaron diferencias significativas entre las dosis de *Trichoderma* sp. aplicadas.

Platymiscium stipulare, *Cedrela odorata*, *Vitex cymosa*, *Apeiba tibourbou* y *Schizolobium parahybum* también alcanzaron mayor altura con respecto a las demás especies evaluadas, y lo hicieron en las plantas inoculadas con los tratamientos que contenían *Trichoderma* sp.

Castellanos y Santana (2017) en su experimento para evaluar efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre plantas de *Cedrela odorata*, obtuvieron plantas con mayor altura, diámetro y biomasa bajo la aplicación del tratamiento que incluía el microorganismo. Demostrando así el efecto bioestimulante de la aplicación de *Trichoderma harzianum*.

Yin (2016) observó resultados favorables de la inoculación de *Trichoderma* sp. en el vivero forestal reportando medias de crecimiento más altas en plantas de *Picea koraiensis*. Lo que demuestra que la aplicación de este hongo proporcionó una alternativa eficiente a los tratamientos químicos convencionales que se realizan en la producción de plantas en los viveros forestales.

De igual manera López (2016) obtuvo resultados favorables en la altura de las plantas de *Pinus radiata* que fueron sembradas en compost inoculado con *Trichoderma asperellum*, en relación a las plantas del grupo de control, en donde también influyo en tipo de sustrato en donde las plantas fueron sembradas.

Lo que nos demuestra que las buenas prácticas en conjunto influyen en el desarrollo de las plantas en el vivero, también el tipo de nutrientes que tienen a disposición el conjunto de microorganismos que permiten la liberación de estos elementos a las plantas.

Los metabolitos producidos por *Trichoderma* sp. aumentaron significativamente la altura del tallo en las plantas del vivero forestal. Evidenciándose la eficaz forma de acción de *Trichoderma* sp. como un agente de biocontrol para mantener las poblaciones de microorganismos patógenos controladas y permitir el mayor desarrollo de las plantas al mejorar su condición sanitaria (Yao et ál., 2016).

Las especies: *Platymiscium stipulare*, *Cedrela odorata* y *Apeiba tibourbou* alcanzaron mayor diámetro al final del experimento. *Cedrela odorata*, *Zigia longifolia*, *Flemingia macrophylla*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Vitex cymose*, *Apeiba tibourbou* y *Schizolobium parahybum* alcanzaron mayor diámetro en las plantas pertenecientes a los tratamientos que contenían la dilución de esporas del microorganismo *Trichoderma* sp.

Esto implica que el efecto del aumento del diámetro del tallo es debido a la aplicación de *Trichoderma* sp. y la relación que ha establecido con la planta huésped como reporto Santos (2020) en su investigación realizada en plantas de *Handroanthus serratifolius* en dónde las plantas tratadas con *Trichoderma* sp. mostraron diferencias

significativas para la variable diámetro del tallo en la evaluación realizada 365 días después de la siembra.

Por otra parte Yu (2020) inoculó varias concentraciones de *Trichoderma* sp. sobre plántulas de *Solanum lycopersicum* produciéndose resultados que revelaron que las dosis de las inoculaciones promovieron significativamente el crecimiento del diámetro del tallo, altura y biomasa llegando a tener diferencias significativas entre sí. Esto demuestra que el microorganismo actúa también según la concentración en que es aplicado.

En la presente investigación también ocurre este fenómeno y al evaluar las dosis sobre varias especies amazónicas se puede decir que cada especie reacciona de manera diferente según la cantidad de UFC de *Trichoderma* sp. aplicadas. Lo que demuestra que la concentración de la dilución influye en las variables que registran el desarrollo de las plantas evaluadas.

Hi (2010) evaluó el diámetro del tallo en plantas de *Acacia mangium* tratadas con *Trichoderma* sp., que en un promedio de 25% obtuvieron valores más altos para esta variable. Demostrándose que el mayor desarrollo ocurre en plántulas que fueron inoculadas en comparación con el tratamiento control.

Entre los resultados que causó la aplicación de esporas de *Trichoderma* sp. en las plantas se encontró que la biomasa fresca y seca de la parte aérea y de la raíz de las plantas utilizadas en la investigación en su mayoría no tuvieron diferencias significativas entre los tres tratamientos evaluados.

En la investigación de Santos (2020) la aplicación del microorganismo provocó mayor acumulación de biomasa en las plantas tratadas con *Trichoderma* sp. que se

evidencio en el incremento de las variables peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces de las plantas inoculadas. El peso seco de la parte aérea y de las raíces mostraron diferencias significativas en la evaluación realizada 365 días después de la siembra.

Al parecer el mayor tiempo de evaluación en el experimento muestra el aumento de la biomasa que ocurre más lentamente en comparación a las otras variables como la altura y el diámetro. Así se demuestra que la biomasa aumenta en un mayor periodo de tiempo en el que va tomando significancia en relación al grupo de control.

El desarrollo de la planta y aumento de su peso puede también estar influenciado por el tipo de sustrato utilizado y a la especie de microorganismo predominante en dicho sustrato, como ocurre en la investigación de López (2016) en donde el sustrato influyo en conjunto con el hongo *Trichoderma* mostrando diferencias significativas para el peso de las plantas en varias combinaciones de sustratos y cepas de *Trichoderma* sp.

En esta investigación el aumento de la biomasa ocurre en un periodo de tiempo mayor al de las otras variables evaluadas que si tuvieron diferencias significativas, por lo que un mayor tiempo de evaluación podría confirmar si el hongo tiene también efectos positivos sobre la acumulación de la biomasa en las plantas inoculadas como ocurrió en la investigación realizada por Regliński (2012).

La presencia de *Trichoderma* sp. en el sustrato puede ser clave para el desarrollo de las plantas después de trasplantarlas, cuando las plántulas están expuestas a patógenos y a estrés, la asociación permitiría la liberación y posterior

absorción de nutrientes por parte de la planta mejorando así su desarrollo en campo (Yao et ál., 2016).

El índice de Dickson de todas las especies fue similar para los tres tratamientos evaluados a excepción de *Schizolobium parahybum* donde las plantas pertenecientes al tratamiento T2 presentaron mayor índice de calidad de Dickson que las plantas de los otros dos tratamientos evaluados.

Estos valores en el experimento de Santos (2020) muestran diferencias entre los tratamientos evaluados, hay que tener en cuenta que esta variable depende del peso fresco y seco de las plantas que a un mayor tiempo de evaluación tienden a ser significativas para las plantas que tienen *Trichoderma* sp. y las que no lo tienen. Estos datos sugieren que esta variable podría cambiar en un mayor tiempo de evaluación.

El índice de calidad de Dickson es un indicador muy importante en la estimación de la calidad de las plántulas, la razón de la distribución de la biomasa indica cualitativamente el desarrollo de las plántulas de especies forestales. Las especies forestales analizadas no son diferentes significativamente entre los tratamientos evaluados, pero si se obtuvieron valores altos en algunas especies. Lo que indica que las plantas se encuentran en buenas condiciones al finalizar su etapa en el vivero forestal (Santos et ál., 2020).

Shahzad (2018) trabajo en granos de sorgo y arroz como sustratos combinado sacarosa como fuente de carbono y nitrato de amonio como fuente de nitrógeno mejoró significativamente el crecimiento micelial y la producción de esporas de *Trichoderma harzianum*.

En esta investigación se logró incrementar la producción de conidios en el medio alternativo granos de arroz adicionando sacarosa y el fertilizante foliar Nitrofoska (3:1:1) a razón de 0,5 g/l.

Con lo que se demuestra que este fertilizante es una buena fuente de nutrimentos para el hongo con lo que se consiguió la producción más alta de esporas en relación a los otros medios evaluados.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La inoculación del microorganismo *Trichoderma* sp. mostro un efecto bioestimulante significativo sobre varias de las variables estudiadas, incrementando el desarrollo de las especies amazónicas.

La aplicación de las diluciones de *Trichoderma* sp. incrementaron la altura y el diámetro de las plantas, pero no se registró un aumento significativo en la biomasa fresca y seca e índice de calidad de Dickson, con excepción de *Schizolobium parahybum* donde la aplicación de *Trichoderma* sp. aumento el valor del índice de calidad de Dickson.

Las dosis *Trichoderma* sp. en las diluciones aplicadas mostraron diferencias significativas entre sí en varias de las especies amazónicas evaluadas, evidenciándose un mejor resultado con la dosis 5×10^7 UFC/ml.

Las especies: *Inga densiflora*, *Piptadenia pteroclada* y *Eugenia malaccensis* presentaron alturas similares para los tres tratamientos evaluados, lo que indica que la inoculación de *Trichoderma* sp. no influyo sobre el desarrollo esta variable.

El diámetro las especies: *Platymiscium stipulare*, *Inga densiflora*, *Piptadenia pteroclada* y *Eugenia malaccensis* fue similar en los tres tratamientos, demostrando que la inoculación de *Trichoderma* sp. en estas especies no influye en esta variable.

Las especies forestales presentaron similar biomasa fresca y seca en los tres tratamientos evaluados, a excepción de: *Cedrela odorata*, *Vitex cymosa*, *Schizolobium*

parahybum y *Apeiba tibourbou* donde existió diferencias significativas para estas variables entre los tratamientos evaluados que contenían *Trichoderma* sp y el control.

La inoculación de *Trichoderma* sp. no influyo significativamente sobre el índice de calidad de Dickson con excepción de *Schizolobium parahybum* donde las plantas del tratamiento T2 alcanzaron un mayor índice de calidad de Dickson en comparación a los tratamientos T1 y T3.

La adición de Nitrofoska (3:1:1) al medio alternativo para la masificación de *Trichoderma* sp. mejoro la producción de esporas, en donde la aplicación de 0,5 g/l obtuvo mayor producción de esporas.

Recomendaciones

Para estimular el desarrollo y mejorar la calidad de las plantas producidas en el vivero de Amazonía viva se recomienda aplicar *Trichoderma* sp.

Es importante realizar un análisis foliar de las plantas que se producen con la aplicación de *Trichoderma* sp. para evaluar su estado nutricional.

Analizar los metabolitos producidos por esta cepa de *Trichoderma* sp., y su posible uso como agente de biocontrol en el manejo de enfermedades microbianas.

Evaluar las variables en un periodo de tiempo más extenso para poder observar los efectos de *Trichoderma* sp. en las plantas sembradas en campo.

Referencias bibliográficas

- Brako, L., & Zarucchi, J. L. (1993). Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru: Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. *Monographs in systematic botany from the Missouri Botanical Garden*, 45, 1-1286.
- Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, S. C., Griscom, B. W., Kroeger, T., Possingham, H., & Shyamsundar, P. (2019). Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9(6), 463-466.
<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>
- Bustamante, T., & Jarrín, M. C. (2013). Impactos sociales de la actividad petrolera en Ecuador: Un análisis de los indicadores. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 0(21), 19. <https://doi.org/10.17141/iconos.21.2005.77>
- Castellanos González, L., & Santana Díaz, T. (2017). Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de *Leucaena*, Cedro y Samán. *Colombia forestal*, 21(1), 81. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11744>
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2018). The root endophytic fungus *Trichoderma atroviride* induces foliar herbivory resistance in maize plants. *Applied Soil Ecology*, 124, 45-53.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.004>
- Deng, Z., & Cao, L. (2017). Fungal endophytes and their interactions with plants in phytoremediation: A review. *Chemosphere*, 168, 1100-1106.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.097>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
<https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

- Druzhinina, I. S., Seidl-Seiboth, V., Herrera-Estrella, A., Horwitz, B. A., Kenerley, C. M., Monte, E., Mukherjee, P. K., Zeilinger, S., Grigoriev, I. V., & Kubicek, C. P. (2011a). Trichoderma: The genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 9(10), 749-759. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2637>
- Druzhinina, I. S., Seidl-Seiboth, V., Herrera-Estrella, A., Horwitz, B. A., Kenerley, C. M., Monte, E., Mukherjee, P. K., Zeilinger, S., Grigoriev, I. V., & Kubicek, C. P. (2011b). Trichoderma: The genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 9(10), 749-759. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2637>
- Dünisch, O., Montóia, V. R., & Bauch, J. (2003). Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, 17(3), 244-250. <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0230-2>
- Ekperusi, O. A., & Aigbodion, F. I. (2015). Bioremediation of petroleum hydrocarbons from crude oil-contaminated soil with the earthworm: *Hyperiodrilus africanus*. 3 *Biotech*, 5(6), 957-965. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0298-1>
- Ghoul, M., & Mitri, S. (2016). The Ecology and Evolution of Microbial Competition. *Trends in Microbiology*, 24(10), 833-845. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.06.011>
- Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*®, 96(2), 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hi, A. A., Ambrose, A., Sajali, N. A., Yatim, M., Valdez, R. B., Agbayani, F., Minchin, R., & Stewart, A. (2010). *Bioprotection of Acacia mangium using Trichoderma in Malaysia*. 5.

- Hua, F., Wang, X., Zheng, X., Fisher, B., Wang, L., Zhu, J., Tang, Y., Yu, D. W., & Wilcove, D. S. (2016). Opportunities for biodiversity gains under the world's largest reforestation programme. *Nature Communications*, *7*(1), 12717. <https://doi.org/10.1038/ncomms12717>
- Kubicek, C. P., Steindorff, A. S., Chenthamara, K., Manganiello, G., Henrissat, B., Zhang, J., Cai, F., Kopchinskiy, A. G., Kubicek, E. M., Kuo, A., Baroncelli, R., Sarrocco, S., Noronha, E. F., Vannacci, G., Shen, Q., Grigoriev, I. V., & Druzhinina, I. S. (2019). Evolution and comparative genomics of the most common *Trichoderma* species. *BMC Genomics*, *20*(1), 485. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5680-7>
- Leach, J. E., Triplett, L. R., Argueso, C. T., & Trivedi, P. (2017). Communication in the Phytobiome. *Cell*, *169*(4), 587-596. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.025>
- Leitão, S. G., Santos, T. C. dos, Delle Monache, F., Matheus, M. E., Fernandes, P. D., & Marinho, B. G. (2011). Phytochemical profile and analgesic evaluation of *Vitex cymosa* leaf extracts. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *21*(5), 874-883. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000160>
- Lim, T. K. (2012). *Inga edulis*. En T. K. Lim, *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 715-719). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0_80
- López A, Víctor, Calles L, Juan, Espíndola, V., & Ulloa, J. (2013). *Amazonía Ecuatoriana: Bajo presión*.
- López-López, N., Segarra, G., Vergara, O., López-Fabal, A., & Trillas, M. I. (2016). Compost from forest cleaning green waste and *Trichoderma asperellum* strain T34 reduced incidence of *Fusarium circinatum* in *Pinus radiata* seedlings. *Biological Control*, *95*, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.014>

- Macek, T., Macková, M., & Káš, J. (2000). Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances*, 18(1), 23-34. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00034-8)
- Martínez, C. E. C., Tello, C. I. R., López, E. D. J., & Larco, J. D. S. (2012). *Plantas útiles de los Kichwa, centro-norte de la Amazonia ecuatoriana*. 12, 181.
- Megharaj, M., & Naidu, R. (2017). Soil and brownfield bioremediation. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1244-1249. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12840>
- Pablo Mateo, J., & García, S. (2014). El sector petrolero en Ecuador. 2000–2010. *Problemas del Desarrollo*, 45(177), 113-139. [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70865-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70865-X)
- Pacheco, M. V., & Matos, V. P. (2009). Método para superação de dormência tegumentar em sementes de Apeiba tibourbou Aubl. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 62-71. <https://doi.org/10.5039/agraria.v4i1a10>
- Rosenberg, E., Sharon, G., Atad, I., & Zilber-Rosenberg, I. (2010). The evolution of animals and plants via symbiosis with microorganisms: Evolution via symbiosis. *Environmental Microbiology Reports*, 2(4), 500-506. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2010.00177.x>
- San Sebastián, M., & Karin Hurtig, A. (2004). Oil exploitation in the Amazon basin of Ecuador: A public health emergency. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 15(3). <https://doi.org/10.1590/S1020-49892004000300014>
- Santana Díaz, T., & Castellanos González, L. (2018). Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de *Leucaena*, Cedro y Samán. *Colombia forestal*, 21(1), 81-90.

- Santos, M. F. dos, Santos, L. E. dos, Costa, D. L. da, Vieira, T. A., & Lustosa, D. C. (2020). *Trichoderma* spp. on treatment of *Handroanthus serratifolius* seeds: Effect on seedling germination and development. *Heliyon*, 6(6), e04044. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04044>
- Shahzad, S., Khanzada, M. A., & Rajput, A. Q. (2018). Effect of different organic substrates and carbon and nitrogen sources on growth and shelf life of *Trichoderma harzianum*.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. *Fundamental methods of mathematical economics* (No. 581.909866 P965). Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, Quito (Ecuador) EcoCiencia, Quito (Ecuador).
- Srinivas, K. V. N. S., Koteswara Rao, Y., Mahender, I., Das, B., Rama Krishna, K. V. S., Hara Kishore, K., & Murty, U. S. N. (2003). Flavanoids from *Caesalpinia pulcherrima*. *Phytochemistry*, 63(7), 789-793. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00325-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00325-X)
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., Hunt, L., Ives, A., Jonsson, M., Larsen, A., Martin, E. A., Martínez-Salinas, A., Meehan, T. D., O'Rourke, M., Poveda, K., Rosenheim, J. A., Rusch, A., Schellhorn, N., Wanger, T. C., ... Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- Whistler, W. A., & Elevitch, C. R. (2006). *Syzygium malaccense* (Malay apple). 13.
- Yao, Y., Li, Y., Chen, Z., Zheng, B., Zhang, L., Niu, B., Meng, J., Li, A., Zhang, J., & Wang, Q. (2016). Biological Control of Potato Late Blight Using Isolates of

Trichoderma. *American Journal of Potato Research*, 93(1), 33-42.

<https://doi.org/10.1007/s12230-015-9475-3>

Yao, Z., Li, J., Xie, H., & Yu, C. (2012). Review on Remediation Technologies of Soil Contaminated by Heavy Metals. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 722-729.

<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.099>

Yin, D., Deng, X., & Song, R. (2016). Synergistic effects between *Suillus luteus* and *Trichoderma virens* on growth of Korean spruce seedlings and drought resistance of Scotch pine seedlings. *Journal of Forestry Research*, 27(1), 193-201.

<https://doi.org/10.1007/s11676-015-0131-z>

Yu, Z., Wang, Z., Zhang, Y., Wang, Y., & Liu, Z. (2021). Biocontrol and growth-promoting effect of *Trichoderma asperellum* TaspHu1 isolate from *Juglans mandshurica* rhizosphere soil. *Microbiological Research*, 242, 126596.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126596>

Zipfel, C., & Oldroyd, G. E. D. (2017). Plant signalling in symbiosis and immunity. *Nature*, 543(7645), 328-336. <https://doi.org/10.1038/nature22009>