



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

### Efecto de *Trichoderma harzianum* como bioestimulante en el crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla* en condiciones de vivero

#### Effect of *Trichoderma harzianum* as a biostimulant of *Swietenia macrophylla* seedlings growth under nursery conditions

Cristian Santiago Jácome Segovia<sup>1</sup>\*, Yudel García Quintana<sup>2</sup>, Jessy Guerrero Rubio<sup>3</sup>, Yasiel Arteaga Crespo<sup>2</sup>, Yamila Lazo Pérez<sup>2</sup>, Arliet Morales<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Silvicultura, Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador

<sup>2</sup> Docente, Universidad Estatal Amazónica, Puyo -Ecuador

<sup>3</sup> Investigador Independiente

\* Correspondencia: csantij@hotmail.com

## Resumen

En Ecuador son escasos los trabajos realizados sobre germinación y crecimiento en vivero de *Swietenia macrophylla*, así como la aplicación de microorganismos eficientes que permitan comprobar el efecto estimulante en fase de vivero. La especie *Swietenia macrophylla*, reconocida por su importancia económica y ecológica se encuentra en aprovechamiento acondicionado, lo que amerita buscar alternativas que propicien un crecimiento y desarrollo acelerado en las condiciones amazónicas como contribución al genofondo de este valioso recurso forestal. El propósito de este proyecto fue evaluar el efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla* en condiciones de vivero forestal. Se realizó un diseño experimental con tres tratamientos y un testigo a diferentes dosis y se midieron los atributos morfológicos de las plantas y las relaciones índice de esbeltez, calidad de Dickson, altura/peso seco aéreo, peso seco aéreo/peso seco radical e índice fibrosidad. Los resultados del análisis multivariado de la varianza reflejaron que T3 con dosis superiores de *Trichoderma* ( $3 \times 10^8$ ) presentó mayor crecimiento en altura, diámetro en el cuello de la raíz, número de hojas, volumen de raíz, biomasa aérea y radical, comprobándose el efecto bioestimulante en la morfología de las plantas, aspecto prometedor para incentivar a los productores el cultivo de esta especie a partir de la aplicación de *T. harzianum* en los viveros forestales. Los parámetros hídricos, derivados de las curvas presión-volumen mostraron diferencias significativas entre el testigo, T0 y T3, excepto para  $\psi_w 0$ , lo que evidenció el efecto de la inoculación en la capacidad de absorción de agua y el reflejo en las relaciones hídricas. La respuesta de las plantas es importante para lograr su calidad fisiológica y regular las condiciones de riego para obtener plantas con mayor arraigo y resistencia a las condiciones del sitio.

**Palabras claves:** microorganismos eficientes, cultivo, especie forestal, morfología, índices

## Abstract

In Ecuador, there are few works on germination and growth of *Swietenia macrophylla* in nursery, as well as the application of efficient microorganisms that allow to verify the stimula-



tory effect in the nursery phase. *Swietenia macrophylla* species, recognized for its economic and ecological importance, is in conditioned use, allowing researches to seek alternatives that promote its accelerated growth and development in Amazon conditions as a contribution to the genofund of this valuable forest resource. The aim of this study was to assess the biostimulant effect of *Trichoderma harzianum* on the growth of *Swietenia macrophylla* seedlings under forest nursery conditions. An experimental design was carried out with three treatments and a control at different doses. Morphological parameters of plants, the slenderness index, Dickson's quality, height / aerial dry weight, aerial dry weight / radical dry weight and fiber index were measured. The results of multivariate variance analysis showed that T3 which had a higher dose of *Trichoderma* ( $3 \times 10^8$ ) turned out to be the highest growth, diameter at the root neck, number of leaves, root volume, aerial and radical biomass; proving the biostimulant effect in plants morphology, a promising aspect to encourage producers to grow this species with the application of *T. harzianum* in forest nurseries. The hydric parameters, derived from the pressure-volume curves, showed significant differences among the control, T0 and T3, except for  $\psi_{w0}$ , which evidenced the effect of inoculation on water absorption capacity and the reflection on water relations. The response of the plants is important to achieve their physiological quality and regulate the irrigation conditions to achieve seedlings with greater roots and resistance to the conditions of the site.

**Keywords:** efficient microorganisms, culture, forest species, morphology, indices

## Introducción

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) se considera la principal especie de maderera neotropical debido a su alto valor en el mercado internacional (Free et al., 2014). Se encuentra distribuida geográficamente en Belice, Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Venezuela y Ecuador (Flora y Fauna Internacional, 2006). Durante décadas de intensa exploración y extracción ilegal, esta especie ha sufrido un grave riesgo de extinción en todo su rango de distribución natural (Souza et al., 2008). La caoba se considera una especie en peligro de extinción catalogada por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (Pérez et al., 2012). En la normativa forestal ecuatoriana se considera una especie de aprovechamiento condicionado y en todo lo largo de su distribución natural es considerada como una especie vulnerable, según las categorías y criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Ministerio del Ambiente, 2017).

En Ecuador son escasos los trabajos realiza-

dos sobre la germinación y crecimiento en vivero, además de la información sobre los efectos de la aplicación de microorganismos eficientes en especies forestales de interés, más aún en la Amazonía ecuatoriana. Los microorganismos eficientes han sido empleados mayoritariamente como controladores biológicos, como alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos y bioestimulantes de semillas para el incremento de la producción. Es por ello que la determinación del efecto estimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre el desarrollo de las plántulas de caoba, reviste gran importancia para el establecimiento y diseminación de esta especie en la Amazonía ecuatoriana, lo que permitirá acelerar el proceso de crecimiento de plántulas como contribución al genofondo de este valioso recurso forestal.

La presente investigación está orientada a evaluar los efectos de *Trichoderma harzianum* Rifai en el crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla* King, como una nueva alternativa de producción en viveros forestales que permita el manejo adecuado y la conservación de la especie, lo cual propiciará bases científicamente fundamentadas para la toma de decisiones de los actores

claves del territorio.

## **Materiales y métodos**

La presente investigación se realizó en el vivero forestal del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pastaza, ubicado en el Paseo Turístico del Río Puyo del Cantón Pastaza, provincia de Pastaza, en las coordenadas UTM 166665 de longitud y

9837319 de latitud, zona 18 Sur, a partir de semillas de *S. macrophylla* provenientes de la localidad de Pastaza sector Don Bosco, del Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza. Se realizó un diseño de bloques completos al azar con la aplicación de tres tratamientos, con tres réplicas y una prueba testigo a base de *T. harzianum* en las concentraciones que se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Dosis empleada de *T. harzianum* para el cultivo de *S. macrophylla*

Tratamientos	Descripción
T1	0.75*10 UFC
T2	1.5*10 UFC
T3	3*10 UFC
T0	Testigo

**Elaborado por:** Autores

### **Altura y diámetro de cuello de raíz**

Para la medición de la altura de las plántulas, se empleó una regla graduada de 30 cm, las medidas se tomaron desde la base del tallo hasta el ápice de la plántula y el diámetro del cuello de la raíz se determinó con la ayuda de un calibrador Vernier.

### **Peso fresco de las plantas**

Para realizar el estudio de biomasa se sacrificaron cinco plántulas por tratamiento y repetición, estas muestras fueron lavadas con agua común y posteriormente secadas con papel absorbente, se separó la biomasa en componentes aéreo y radical (tallo, hojas y raíz) y con la ayuda de una balanza digital se determinó el peso fresco de cada componente de la biomasa.

### **Atributos del sistema radical**

Para medir la longitud de la raíz se tomó las dimensiones desde el cuello de la raíz hasta el extremo distal de la misma, empleando una regla graduada de 30 cm. Para determinar el volumen de la raíz se utilizó una probeta de 100 mL con agua común a 60 mL, posteriormente se sumergieron las raíces en el interior de la probeta y se consideró el

volumen de agua desplazado como el volumen del sistema radical. Se contabilizaron las raíces secundarias nuevas mayores a 1 cm, para determinar el potencial de crecimiento radicular y el índice de fibrosidad se determinó como la relación volumen de la raíz y peso seco de la raíz.

Peso seco de la parte aérea (PSA) y parte radical (PSR)

Las muestras de los componentes de la biomasa seleccionados fueron colocados en la estufa a una temperatura de 60 °C durante 48 horas y posteriormente cada fracción de las plántulas fueron pesadas en una balanza analítica para obtener el peso seco de la biomasa aérea y radical.

La relación parte aérea–parte radical se determinó mediante el cociente entre el peso seco aéreo y el peso seco radical (Thompson, 1985). Se determinó el índice de esbeltez mediante la relación altura y diámetro del tallo (Toral, 1997). El índice de calidad de Dikcson se calculó en función del peso seco total, el índice de esbeltez y la relación parte aérea y parte radical, según lo propuesto por Dikcson et al., (1960), mediante la ecuación (1).

$$IQ = \frac{Pst}{\frac{h}{d} + \frac{Psa}{Psr}} \quad (1)$$

Dónde:

IQ = Índice de calidad de Dikcson

Pst = Peso seco total

h = altura

d = diámetro

Psa = Peso seco aéreo

Psr = Peso seco radical

Los parámetros morfológicos y desarrollo de las plantas cultivadas en las condiciones del vivero fueron procesados mediante un análisis multivariado de la varianza (MANOVA), además se realizó una matriz de correlación de Pearson para establecer correlaciones entre las variables morfológicas. Todo el procesamiento estadístico fue realizado con el programa SPSS ver.22.0.

Para evaluar los parámetros relacionados con el funcionamiento hídrico de la especie se construyeron curvas presión-volumen. Se realizaron tres curvas por tratamiento, lo cual equivale a 12 curvas en total. Las curvas se elaboraron siguiendo la técnica desarrollada por Tyree y Hammel (1972) y Turner (1986) y a partir de las cuales se determinaron los componentes del potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), según metodología descrita por Azcón y Talón (2008): contenido hídrico en

el punto de pérdida de la turgencia (CHRo), potencial osmótico a cero turgencia ( $\Psi_s^0$ ), potencial osmótico a plena turgencia ( $\Psi_s^{100}$ ) y módulo de elasticidad de la pared celular ( $\epsilon$ ).

Para la construcción de las curvas presión-volumen las plantas fueron sometidas a un período de hidratación con agua destilada y en la oscuridad. Se realizaron medidas sucesivas de  $\Psi_w$  con la cámara de presión (Model 1000, PMS Instruments, Corvallis, USA), antecedida por la pesada de las muestras. Se efectuaron medidas de  $\Psi_w$ , hasta obtener potenciales hídricos bajos, finalmente el peso seco se determinó en estufa a 80 °C hasta peso constante. Para las pesadas se utilizó balanza analítica Sartorius AG GOTTINGEN SP61S con 0,0001 g de precisión.

El contenido hídrico relativo se calculó por la expresión (2):

$$CHR = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} * 100 \quad (2)$$

Donde:  $P_f$ , representa el peso fresco;  $P_s$ , peso seco;  $P_t$ , peso turgente

El peso turgente se estimó a partir de la linealidad existente entre  $\Psi_w$  y el peso fresco, tomando los datos correspondientes a las primeras mediciones que ofrecieron un mayor grado de correlación, según criterios de Kubiske y Abrams (1991). Gráficamente se determinó el punto de pérdida de turgencia para el cual el  $\Psi_w = \Psi_s$  ( $\Psi_p = 0$ ), que corresponde al punto en que la curva se hizo lineal.

El potencial osmótico a plena turgencia ( $\Psi_s^{100}$ ), se estimó mediante la extrapolación

de la zona lineal de la curva presión-volumen, a partir del punto de pérdida de turgencia hasta el valor de  $1/\Psi_w$  correspondiente al 100% del contenido de agua del tejido.

El potencial osmótico a turgencia cero ( $\Psi_s^0$ ), corresponde al valor del potencial en el punto de inicio de la plasmólisis. Además, se determinó el módulo de elasticidad de la pared celular ( $\epsilon$ ), expresada en megapascales (MPa), aplicado a los cinco o seis primeros puntos de la curva P-V hasta llegar a la marchitez, dada por la ecuación (3):

$$\varepsilon = \frac{dP}{dCHR} \quad (3)$$

Donde: dP/dCHR es la relación entre la variación del potencial de presión y el contenido hídrico relativo entre el punto de máxima turgencia y a turgencia cero.

### Resultados y discusión

Los resultados del análisis multivariado de la varianza representado mediante modelo lineal (Tabla 2), obtenidos a partir de los parámetros morfológicos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plántulas de *S. macrophylla*, cultivada en condiciones de vivero, indicaron que existen diferencias

significativas entre las variables morfológicas para los cuatro tratamientos. Esto demuestra el efecto de la aplicación de dosis de *Trichoderma* como microorganismo eficiente contribuye al crecimiento y desarrollo de las plantas. Los resultados del contraste multivariado confirmaron que los tratamientos T0, T1, T2 y T3 mostraron diferencias en las medias ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 2.** Resultado del contraste multivariado de la varianza en relación a la morfometría de las plantas.

Efecto		Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Interceptación	Traza de Pillai	0,997	1874,524	8,000	49,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,003	1874,524	8,000	49,000	0,000
	Traza de Hotelling	306,04	1874,524	8,000	49,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	306,04	1874,524	8,000	49,000	0,000
Tratamientos	Traza de Pillai	1,534	6,675	24,000	153,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,075	8,547	24,000	142,716	0,000
	Traza de Hotelling	5,552	11,027	24,000	143,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	4,422	28,190 <sup>e</sup>	8,000	51,000	0,000

Elaborado por: Autores

Los valores medios y desviación estándar de los parámetros morfológicos utilizados en el análisis multivariado de la varianza (MANOVA) (Tabla 3), indicó que las plantas cultivadas con mayor dosis de *Trichoderma* 3\* [10] ^8 UFC, presentaron mayor creci-

miento en los valores promedios de altura, diámetro en el cuello de la raíz, número de hojas, volumen de raíz, biomasa aérea y radical. Los valores medios en todas las variables analizadas fueron significativamente inferiores al testigo.

**Tabla 3.** Valores medios y desviación estándar de los parámetros morfológicos utilizados en el análisis multivariado de la varianza (MANOVA)

T	H	DCR	No hojas	Largo de la raíz	No. raíces	Volumen de raíz	PSA	PSR
T0	11,57±1,60 <sup>b</sup>	0,20±0,03 <sup>c</sup>	4,40±0,74 <sup>c</sup>	4,83±1,06 <sup>c</sup>	7,40±1,24 <sup>c</sup>	1,53±0,26 <sup>c</sup>	0,38±0,03 <sup>c</sup>	0,08±0,01 <sup>c</sup>
T1	14,19±1,31 <sup>a</sup>	0,28±0,049 <sup>b</sup>	4,67±0,62 <sup>c</sup>	7,57±2,21 <sup>a</sup>	9,40±1,81 <sup>b</sup>	2,07±0,52 <sup>b</sup>	0,40±0,05 <sup>c</sup>	0,11±0,02 <sup>b</sup>
T2	14,81±1,53 <sup>a</sup>	0,30±0,040 <sup>b</sup>	5,07±1,16 <sup>b</sup>	5,87±1,17 <sup>bc</sup>	12,27±2,43 <sup>a</sup>	2,47±0,51 <sup>ab</sup>	0,45±0,03 <sup>b</sup>	0,12±0,01 <sup>b</sup>
T3	14,93±1,43 <sup>a</sup>	0,35±0,039 <sup>a</sup>	5,74±1,10 <sup>a</sup>	6,63±1,84 <sup>b</sup>	10,20±1,74 <sup>b</sup>	2,60±0,52 <sup>a</sup>	0,49±0,02 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>

Elaborado por: Autores

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente mediante la prueba de Tukey con  $p \leq 0,05$ .

Santana y Castellanos (2018), mencionan que el efecto del *Trichoderma* sobre *Cedrela odorata*, incrementó las variables altura, número de hojas y biomasa seca de la parte aérea de la planta. Ramírez et al., (2015), concluye que la aplicación de *Trichoderma* en el sustrato favorece el desarrollo y calidad de las plantas.

La altura de la planta en condiciones de vivero es un indicador del grado de desarrollo de la parte aérea, de ahí que la tendencia debe ser conseguir una planta en vivero cuya altura maximice la supervivencia, mostrando al tratamiento T3 medias superiores al resto de los tratamientos. El diámetro del cuello de raíz (DCR) se considera un predictor de la supervivencia y desarrollo, ofrece una relación muy favorable entre el bajo costo de su medición y su capacidad de pronóstico de respuesta en campo. Este parámetro morfológico muestra una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo, por lo que las plantas cultivadas en T3 manifiestan mayor resistencia mecánica. DCR, es uno de los atributos morfológicos más utilizados en la caracterización de la calidad y de pronóstico de supervivencia de la planta, por su bajo costo de su medición y capacidad predictiva de respuesta en el campo (Barnett, 1984).

Esto se fundamenta en la relación que existe, entre el diámetro del cuello de raíz y el grado de lignificación del tallo, y por otro lado con el desarrollo radical, el cual a su vez se correlaciona con otros parámetros como la masa total de la planta o la masa radical (Mexal y Landis, 1990; Peñuelas y Ocaña, 1991; Serrada, 1995). El peso seco es una medida mucho más estable que el peso fresco, este último está sujeto a cambio debido a las fluctuaciones ambientales y fisiológicas (Thompson, 1985). Las propiedades de los atributos de la raíz, dada su estrecha relación

con la capacidad absorbente de la planta, son más adecuados para pronosticar la supervivencia en plantación que los atributos de la parte aérea, de modo que la obtención en vivero de sistemas radicales más y mejores desarrollados puede constituir una garantía de la actividad de la planta, especialmente en zonas de plantación con condiciones adversas (Oliet, 2000).

Esto refleja que las plantas cultivadas con los tratamientos T1, T2 y T3 reflejaron mayor cantidad de raíces en relación al testigo y por consiguiente mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes. Romero et al., (2008) observaron que la inoculación de *Trichoderma* en el sustrato tuvo efecto promotor en el crecimiento y desarrollo.

Las variables morfológicas relacionadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas mostraron una correlación significativa ( $p \leq 0,05$ ), expresada a través de la matriz de correlación de Pearson (Tabla 4). Las variables asociadas a la biomasa aérea reflejaron una relación fuerte con la biomasa radical, como indicador del equilibrio estructural de las diferentes partes de la planta, esto refleja que a mayor altura de la planta, mayor DCR, mayor número de hojas, peso y mejor sistema radical.

**Tabla 4.** Matriz de correlación de Pearson entre variables morfológicas del crecimiento y desarrollo de las plantas

	H	DCR	NH	LR	NR	VR	PSA	PSR
H	1	0,661**	0,433**	0,266*	0,434**	0,436**	0,598**	0,639**
DCR		1	0,342**	0,220	0,366**	0,462**	0,667**	0,718**
NH			1	-0,052	0,482**	0,221	0,378**	0,366**
LR				1	-0,036	0,251	0,096	0,223
NR					1	0,643**	0,355**	0,541**
VR						1	0,504**	0,639**
PSA							1	0,778**
PSR								1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05

Elaborado por: Autores

Los índices y relaciones morfológicas reflejaron diferencias significativas con relación al testigo ( $p \leq 0,05$ ), con excepción del índice de fibrosidad (Tabla 5). El índice PSA/PSR reflejó valores más elevados en T0, esto quiere decir que las plantas de este tratamiento presentan menor capacidad de sobre-

vivencia, obteniendo valores más bajos en los tratamientos sometidos a diferentes dosis de *Trichoderma*, como expresión de una mejor supervivencia en campo, lo cual se debe al reducirse la superficie transpirante respecto a la absorbente.

**Tabla 5.** ANOVA de un factor para los índices y relaciones morfológicas de las plantas cultivadas en vivero.

Índices	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
H/PSA	30,43±1,03 <sup>bc</sup>	35,25±0,09 <sup>a</sup>	33,37±1,06 <sup>ab</sup>	30,63±1,33 <sup>b</sup>
PSA/PSR	4,54±0,06 <sup>a</sup>	3,69±0,60 <sup>b</sup>	3,76±0,05 <sup>b</sup>	3,74±0,05 <sup>b</sup>
E	57,94±0,02 <sup>a</sup>	52,87±0,05 <sup>b</sup>	50,83±0,03 <sup>b</sup>	43,52±0,07 <sup>c</sup>
Qi	0,007±0,01 <sup>d</sup>	0,009±0,02 <sup>c</sup>	0,011±0,02 <sup>b</sup>	0,031±0,01 <sup>a</sup>
IF	17,73±1,02 <sup>a</sup>	18,88±1,11 <sup>a</sup>	20,83±1,17 <sup>a</sup>	19,93±1,22 <sup>a</sup>

**Elaborado por:** Autores

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente mediante la prueba de Tukey con  $p \leq 0,05$ .

La esbeltez resultó con valores más bajos en los tratamientos donde se inoculó el hongo de *Trichoderma* a diferentes dosis, esta disminución del valor significa mayor resistencia mecánica de la planta frente al efecto del viento o la sequía.

El índice de calidad de Dickson resultó con medias superiores en T3, lo cual expresa la potencialidad de la planta en relación con la sobrevivencia y el crecimiento. La relación A/PSA es referido como una medida del grado de lignificación de la planta (Gomes et

al., 2002), sin embargo, puede ser interpretado también como un estimador de la asimilación neta fotosintética de la planta y por tanto indicaría una mayor expectativa de supervivencia; es decir los valores menores serían recomendados. En este sentido, los tratamientos utilizados fueron pocos diferenciados. Dicha relación si bien no es usada comúnmente para expresar la calidad pudiera representar una posibilidad para evaluar el grado de lignificación y la tasa de asimilación neta (Gomes et al., 2002; Zumkeller et al., 2009).

El índice de calidad de Dickson que resulta de integrar los valores de la biomasa total, índice de esbeltez y de la relación parte aérea/raíz, muestra que los mayores valores se obtuvo con la dosis  $3 \times 10^8$  UFC de *Trichoderma*, mientras que los más bajos fueron con dosis de  $0.75 \times 10^8$  UFC. Este índice al combinar la información de dos índices y ajustarlo por efecto de tamaño de la planta muestra que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que, por una parte, el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical está equilibrada (Oliet, 2000).

La relación entre materia seca de la parte aérea y la materia seca de la raíz es considerada como un elemento eficiente y seguro para expresar las propiedades de la evaluación en un sistema de producción en tubetes o contenedores, que generalmente para climas secos o tropicales se prefiere valores cercanos a 2.0 que serían la mejor relación entre estos atributos (Navarro et al., 2006). La esbeltez, permite estimar la resistencia física de las plantas durante las operaciones de plantación y su resistencia al efecto mecánico del viento, según indican Aranda et al., (2005).

El consumo de nutrientes por parte de las plantas depende de la habilidad de las raíces para absorberlos, de la capacidad del sustrato

para suministrarlo y de la accesibilidad de los mismos, lo que está determinado por el tamaño y la configuración del sistema radical (Ramírez y Rodríguez, 2004). Ramírez et al., (2015), para el índice de calidad de Dickson obtuvieron valores más altos en los tratamientos en los cuales no se aplicó *Trichoderma*, para la especie forestal *C. violácea* (yarua), en cambio para la relación PSA/PSR obtuvieron resultados favorables para la especie *L. behanensis* (soplillo), destacando la aplicación de *Trichoderma* como mejor tratamiento. Para la determinación de la esbeltez obtuvieron resultados más bajos con la aplicación de *Trichoderma*.

### Curvas presión volumen

Los parámetros hídricos (Tabla 6), derivados de las curvas presión-volumen (Figura 1) indicaron diferencias significativas entre el testigo (T0) y T3, excepto para  $\psi_w^0$ , lo que evidenció el efecto de la inoculación *Trichoderma* en concentración de  $3 \times 10^8$  UFC, en la capacidad de absorción de agua de las plántulas y el reflejo en las relaciones hídricas de las mismas. La respuesta hídrica de estas debe ser considerada y manejada para lograr su calidad fisiológica, sobre todo si su destino final será sitios de escasas precipitaciones.

**Tabla 6.** Valores medios y desviación estándar de los parámetros hídricos

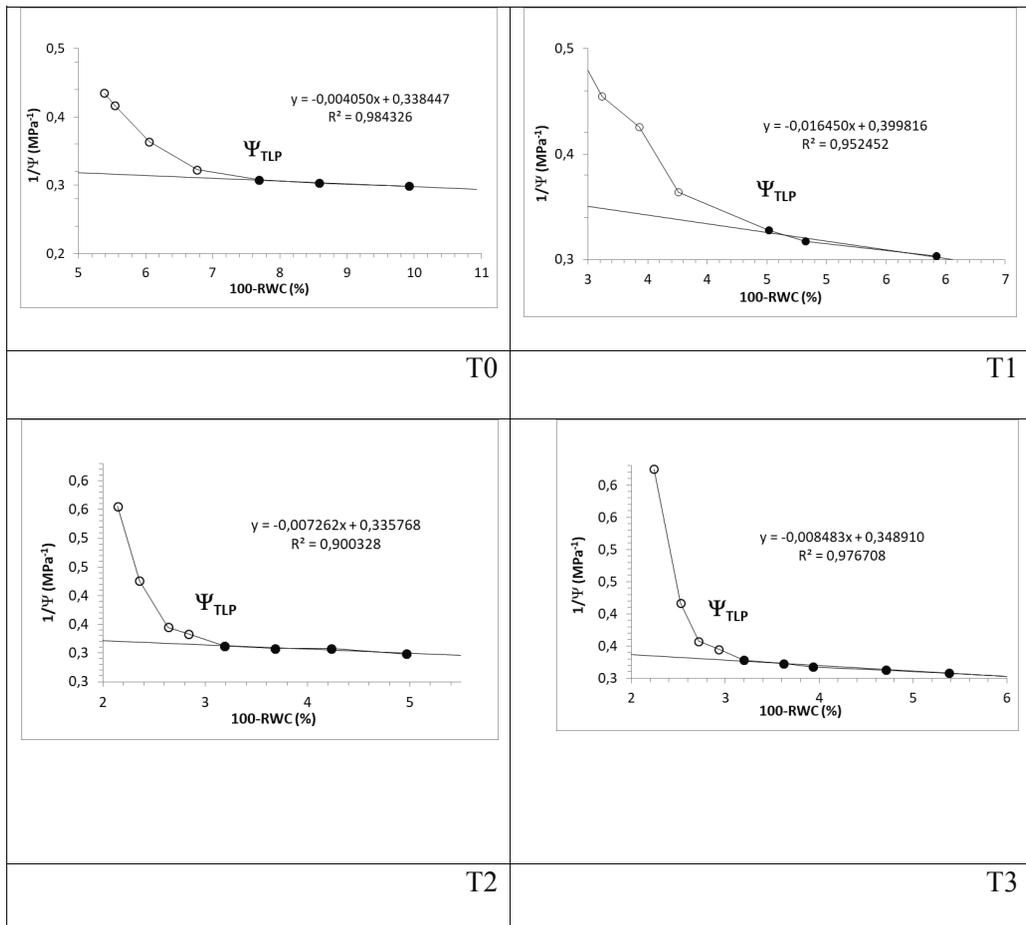
Tratamiento	CHR <sup>0</sup> (%)	$\psi_w^{100}$ (MPa)	$\psi_w^0$ (MPa)	$\epsilon$ (MPa)
T0	91,21±1,09 <sup>a</sup>	-3,12±0,09 <sup>a</sup>	-3,41±0,10 <sup>a</sup>	30,90±1,05 <sup>a</sup>
T1	94,41±1,01 <sup>b</sup>	-2,91±0,20 <sup>c</sup>	-3,16±0,11 <sup>b</sup>	53,43±1,01 <sup>b</sup>
T2	96,07±0,97 <sup>bc</sup>	-2,87±0,04 <sup>ab</sup>	-3,11±0,05 <sup>b</sup>	82,97±1,28 <sup>c</sup>
T3	96,89±0,90 <sup>c</sup>	-2,27±0,20 <sup>b</sup>	-3,05±0,10 <sup>c</sup>	92,73±1,66 <sup>d</sup>

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente mediante la prueba de Tukey con  $p \leq 0,05$

**Elaborado por:** Autores

Al tratarse de plantas muy jóvenes, a partir de este período se pueden regular las condiciones de riego para obtener plantas más resistentes a las limitaciones de agua, lo que garantice mayor arraigo postrasplante. De acuerdo a los valores de los parámetros hídricos son plantas que, con la pérdida de pequeños volúmenes de agua, entre 9-3% aproximadamente (Ver CHR0 en tabla 6; T0-T3) llegan al punto de pérdida de la turgencia. Los potenciales osmóticos a máxima saturación y a saturación cero también difieren entre tratamientos. Potenciales más bajos son el reflejo de la menor entrada de agua por el sistema radical, lo que es expresado a través de la respuesta de la planta. Aquellas con mayor disponibilidad hídrica tendrá valores

más altos tal y como se reflejó en el tratamiento T3. En relación al módulo de elasticidad de las paredes celulares, se trata de paredes celulares rígidas; en el testigo (T0) se evidenció paredes menos rígidas. Estos resultados obedecen a que se trata de plantas aún muy jóvenes (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Otros investigadores han reportado valores diferentes cuando plántulas de *Talipariti elatum* (Sw) Frixell se han producidos en diferentes sustratos orgánicos con capacidades de retención de humedad diferentes, que aunque se trata de una especie diferente si se comprobó que el comportamiento de los parámetros hídricos está condicionado por la disponibilidad de agua (Arteaga-Crespo et al., 2018).



**Figura 1.** Curvas de presión –volumen de los parámetros hídricos de *S. macropylla*  
**Elaborado por:** Autores

En la tabla 7 se puede observar una alta correlación de los parámetros hídricos con los atributos de la raíz.

**Tabla 7.** Matriz de correlación de Pearson entre las variables hídricas y atributos del sistema radical de *S. macropylla*

	$\Psi_w^{100}$	$\Psi_w^0$	CHR <sup>0</sup>	$\varepsilon$	L.Raíz	NR	VR
$\Psi_w^{100}$	1	0,764**	0,744**	0,568*	-0,454	0,029	-0,096
$\Psi_w^0$		1	0,250	0,074	-0,301	0,540	0,179
CHR <sup>0</sup>			1	0,908**	-0,356	-0,388	-0,163
$\varepsilon$				1	-0,253	-0,439	-0,579
L.Raíz					1	-0,036	0,251
NR						1	0,643**
VR							1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05

**Elaborado por:** Autores

### Conclusiones

El contraste multivariado de la varianza (MANOVA) reflejó el efecto positivo de la aplicación de dosis de *Trichoderma* en las variables de crecimiento y desarrollo, resultando las plantas cultivadas en el tratamiento T3 con mayor crecimiento en altura, diámetro en el cuello de la raíz, número de hojas, volumen de raíz, biomasa aérea y radical. Esto demuestra el efecto de la aplicación de dosis de *Trichoderma* como microorganismo eficiente contribuye al crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos resultados coinciden con lo estudiado por Galeano et al., (2003) que establece que *Trichoderma* tiene efecto estimulador del crecimiento y desarrollo de las plantas

Las variables morfológicas relacionadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas mostraron una correlación significativa ( $p \leq 0,05$ ), como indicador del equilibrio estructural de las diferentes partes de la planta, esto refleja que a mayor altura de la planta, mayor DCR, mayor número de hojas, peso y mejor sistema radical. Santana y Castellanos (2018) concluyen que *T. harzianum* incrementó la altura, el número de hojas y la biomasa seca del área foliar en las plántulas de cedro, mientras que en leucaena y samán

solo provocó incrementos del diámetro basal de las plántulas a los 60 días bajo las condiciones de los llanos de Apure en Venezuela.

El índice PSA/PSR reflejó valores más elevados en T0, esto quiere decir que las plantas de este tratamiento presentan menor capacidad de sobrevivencia, obteniendo valores más bajos en los tratamientos sometidos a diferentes dosis de *Trichoderma*, como expresión de una mejor supervivencia en campo, lo cual se debe al reducirse la superficie transpirante respecto a la absorbente. La simbiosis con *Trichoderma*, las plantas son capaces de captar mayor cantidad de nutrientes y a su vez le proporcionan un equilibrio entre la parte aérea y la raíz proporcionándole una mayor tolerancia al estrés hídrico (Galeano et al., 2003)

Los parámetros hídricos, derivados de las curvas presión-volumen, mostraron diferencias significativas entre el tratamiento T0 y el tratamiento T3, excepto para  $\psi_w^0$ , lo que evidenció el efecto de la inoculación de dosis de *Trichoderma* en la capacidad de absorción de agua de las plántulas. En relación al módulo de elasticidad de las paredes celulares, indicó que se trata de paredes celulares rígidas; siendo menores en el testigo (T0).

## Literatura Citada

- Aranda, L.; Castro, M.; Pardos, L.; Gil y J.A. Pardos. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.).
- Arteaga, Y., Geada G., García, Y., Guerrero, J., & Vargas, J. (2018). Elastic and osmotic adjustment of *Talipariti elatum* (Sw) Frixell grown in organic substrates. *Floresta e Ambiente*, 25(4)
- Azcón, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGrawHill. 651 pp.
- Barnett, J.P (1984). Relating seedling physiology to survival and growth in container-grow southern pines. En: Duryea, M. L., Brown, G.N. (Eds.): *Seedling physiology and reforestation success*. Nijhoff/Junk Pub. 157-178 p.
- Dickson, A., A., Leaf, L. And Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of White spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.* 36(1): 10-13.
- Free C, Landis RM, Grogan J, Schulze MD, Lentini M, Dünisch O (2014) Management implications of long-term tree growth and mortality trees: a modeling study of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in the Brazilian Amazon. *Forest Ecol Manag.* 320: 46–54.
- Flora y Fauna Internacional. (2006). *Estado y aprovechamiento sostenible de la caoba en Centroamérica*. Reino Unido, ISBN 1903703 21 2.
- Galeano, M., Del Mar, L. L., & Urbaneja, A. (2003). Efecto de *Trichoderma Harzianum* T-22 sobre el cultivo de judía. *Agrícola Vergel*. Abril 2003. Ppp. 249-253
- Gomes, J.M., Couto L., Leite, H.G., Xavier, A. y García, S.L.R (2002). Parametros morfológicos na avaliacao de qualidade de Mudas *Eucalyptus grandis*. *Rev. Arvore.* 26(6):655-664.
- Kubiske ME, Abrams MD (1991). Seasonal, diurnal and rehydration- induced variation of curves pressure-volume relation in *Pseudotsuga menziesii*. *Physiologia Plantarum*; 83(1):107-116.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991>.
- Mexal, J. G. and Landis T. D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: *Target seedlings symposium*. General Technical Report USDA Forests 13:105-119.
- Ministerio del Ambiente. (2017). Hito Ministerial Veda de la especie *Swietenia macrophylla* (Caoba/Ahuano).
- Navarro, M.R, Salvador, S.P. y Del Campo , A. 2006. Morfología y establecimiento de los plantones. In book: *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos*. Estado actual de conocimientos., Chapter: *Morfología y establecimiento de plantones*, Publisher: DGB. Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 10:84-8014-670-2. pp. 67-88.
- Oliet, J. A. (2000). *La calidad de la planta forestal en vivero*. Ed. ETSIAM. Córdoba. España. 93 p.
- Peñuelas, J. y Ocaña, L. (1991). *La calidad de la planta forestal*. Jornada sobres la situación y técnicas modernas para la producción de posturas. Madrid 50 p.
- Pérez-Flores, J., Aguilar-Vega, M., & Roca-Tripepi, R. (2012). Assays for the in vitro establishment of *Swietenia macrophylla* and *Cedrela odorata*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14, 20-30.
- Ramírez, M., Mesa. J.R., & Soto R. (2015).

- Alternativas agroecológicas en la producción de posturas de tres especies forestales en el municipio de Aguada de Pasajeros. Agroecosistemas, 3(1), 387-400.
- Ramírez, A. y Rodríguez T., D. A. (2004). Efecto de calidad de planta, exposición y micro-sitio en una plantación de *Quercus rugosa*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 10: (1), 13-23.
- Romero, G., Crosara, A., & Baraibar A. (2008). *Trichoderma harzianum* un biocontrol y biopromotor en vivero de especies forestales. Ciencia e Investigación Forestal. Instituto Forestal, 14(2), 335-345
- 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.g
- Serrada, R. (1995). Apuntes de Repoblados Forestales. Escuela Universitaria de Ingeniería técnica Forestal. Editorial Conde Valle Salazar. España. 379 p.
- Souza CR, Lima RMB, Azevedo CP, Rossi LMB (2008) Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. Sci For. 36(77): 7-14.
- Toral I, M. (1997). Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. SEDER., Fundación Chile, Consejo Agropecuario de Jalisco. México.
- Turner N. (1986) Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science 1986; 9: 289-308
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. In: M. L. Duryea (ed.). Evaluating seedling quality; principles, procedures, and predictive abilities of major test. Forest Res.Lab., Oregon State University, Corvallis, OR, USA. pp: 59-71.
- Tyree M, Hammel H. (1972). The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure bomb-technique. Journal of Experimental Botany 1972; 23(1): 267-282. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/23.1.267>.
- Zumkeller, S.D., Galbiattib J.A., de Paula R.C., y Gonzales J.L. (2009). Produccion de plantas de *tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación en condiciones de invernadero. Bosque 30(1):27-35