

Efecto de *Trichoderma harzianum* sobre esquejes de tacaco (*Sechium tacaco*)

Effect of *Trichoderma harzianum* on tacaco (*Sechium tacaco*) cuttings

Karen M. Muñoz-López,¹ José E. Monge-Pérez,^{1*}

¹ Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

*Autor de correspondencia: jose.mongeperez@ucr.ac.cr

RESUMEN. Objetivos: evaluar el efecto de dos dosis de *Trichoderma harzianum* sobre el enraizamiento y crecimiento de esquejes de tacaco (*Sechium tacaco*). Metodología: se utilizó esquejes de brotes secundarios con al menos tres nudos. En la fase de establecimiento en invernadero, se utilizó una dosis de 0,30mg de ácido indol butírico (AIB) por esqueje. Luego de alcanzar el enraizamiento óptimo, se pasó a la fase de aclimatación en casa sombra, donde se aplicó vía “drench”, a los 0, 7 y 15 días después del trasplante, tratamientos con dosis de 5 y 10ml/l del producto Trichofos (*T. harzianum*, a 2.0 x 10⁷ ufc/ml), y un tratamiento testigo con agua destilada. Resultados: El testigo obtuvo un valor significativamente mayor de peso seco de raíz (2,523.06mg/planta), con respecto a los tratamientos con 5 y 10ml/l de Trichofos (704.12 y 1,175.21mg/planta, respectivamente). Para la concentración de *T. harzianum* en el sustrato, se hallaron diferencias significativas entre el testigo y la dosis de 5ml/l de Trichofos (82.5 y 1,525ufc/g de *T. harzianum*, respectivamente). No se hallaron diferencias significativas entre tratamientos para las demás variables. En todos los tratamientos, el porcentaje de supervivencia de esquejes varió entre 83-100%. Conclusiones: No se recomienda el uso de *T. harzianum* en el proceso de aclimatación de esquejes de tacaco, hasta que se genere información sobre su compatibilidad con otros organismos rizosféricos. El proceso de aclimatación de las plantas resultó exitoso, según la metodología empleada. Este trabajo constituye el primer informe publicado sobre el efecto de *Trichoderma harzianum* sobre *Sechium tacaco*.

Palabras clave. *Cucurbitaceae*, enraizamiento, esqueje, propagación, *Sechium tacaco*, *Trichoderma harzianum*

ABSTRACT. Objectives: to evaluate the effect of two doses of *Trichoderma harzianum* on the rooting and growth of tacaco (*Sechium tacaco*) cuttings. Methodology: secondary-shoot cuttings with at least three nodes were used. In the greenhouse establishment phase, a dose of 0.30mg of indole-butyric acid (IBA) per cutting was used. After reaching optimal rooting, we moved on to the acclimatization phase in a shade house, where treatments with doses of 5 and 10ml/l of the product Trichofos (*T. harzianum*, at 2.0 x 10⁷ cfu/ml), and a control treatment with distilled water were applied via “drench” at 0, 7 and 15 days after transplanting. Results: The control obtained a significantly higher value of root dry weight (2,523.06mg/plant), compared to the treatments with 5 and 10ml/l of Trichofos (704.12 and 1175.21mg/plant, respectively). Regarding the concentration of *T. harzianum* in the substrate, significant differences were found between the control and the dose of 5ml/l of Trichofos (82.5 and 1,525cfu/g of *T. harzianum*, respectively). No significant differences were found between treatments for the other variables. In all treatments, the survival percentage of cuttings varied between 83-100%. Conclusions: The use of *T. harzianum* in the acclimatization process of tacaco cuttings is not recommended, until information is generated on its compatibility with other rhizospheric organisms. The acclimatization process of the plants was successful, according to the methodology used. This work constitutes the first published report on the effect of *Trichoderma harzianum* on *Sechium tacaco*.

Keywords. *Cucurbitaceae*, rooting, cutting, propagation, *Sechium tacaco*, *Trichoderma harzianum*.

1. Introducción

El tacaco, *Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey, es una planta de la familia de las cucurbitáceas, endémica de

Costa Rica [1], [2]. Se consume como hortaliza, en sopas, cocido, y se puede usar en ensaladas y postres, entre otros [2].

Citación: K. Muñoz y J. Monge, “Efecto de *Trichoderma harzianum* sobre esquejes de tacaco (*Sechium tacaco*)”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 2, pp. (0), 2024.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 17 de noviembre 2023. **Recibido con correcciones:** 20 de febrero de 2024. **Aceptado:** 20 de febrero de 2024.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v20.2.4073>

Copyright: 2024 K. Muñoz y J. Monge. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

El tacaco posee frutos con gran potencial nutricional [3], [4]. Otro autor halló en *S. tacaco*, *S. talamancense* y *S. pittieri*, siete tipos de saponinas, llamadas tacacósidos [5], que presentan propiedades inhibitoras de células cancerosas y del crecimiento microbiano [6], [7].

En los últimos años se han realizado algunas investigaciones en tacaco, sobre los diferentes genotipos [2], el comportamiento poscosecha [8], la variabilidad morfológica de los frutos a través del tiempo [9], así como diversas temáticas de la morfología de la planta [10], [11], [12].

La forma tradicional de propagar el tacaco es mediante la semilla sexual, que es relativamente poco eficiente [13], además de la inconsistente calidad del fruto, debido a que se trata de una especie alógama, donde existe un flujo de genes proveniente de otras poblaciones cercanas que impediría obtener la misma calidad de frutos que la planta madre [14].

La germinación de la semilla puede tardar hasta seis meses, y si se realiza escarificación [15], podría reducirse a 28 días. Finalmente, se debe esperar alrededor de 4 a 6 meses para obtener los frutos. Para mejorar la producción comercial del tacaco es necesario buscar técnicas de propagación asexual que permitan acortar el tiempo necesario para llegar a floración y fructificación, mejorar y mantener la calidad y uniformidad de frutos, así como garantizar la continuidad de la producción a lo largo del año.

Recientemente, se estudió la reproducción *in vitro* de tacaco, mediante microestacas y ápices [16], así como acodos y estacas [17]. En el caso de la especie *S. talamancense*, se realizó un estudio de macropropagación con el uso de dos tipos de estaca y tres dosis de un regulador de crecimiento, donde se halló un enraizamiento máximo de 44.0% con uno de los tipos de estaca y con 200ppm de ácido indol butírico (AIB) [18]. En Costa Rica se han realizado trabajos en propagación por esquejes en chayote, a partir de brotes secundarios [19], [20], [21].

Las dificultades para enraizamiento y trasplante de *S. tacaco* se han reportado desde la germinación de los almácigos, y el trasplante de almácigo a campo o casa sombra [22], así como también en la micropropagación por explantes de microestacas, donde se obtuvo como máximo resultado un 53% de enraizamiento en microestacas con 0.2mg/l de ácido indolacético, con porcentajes de 35% de contaminación total [16].

Además, se reporta que los esquejes mediales tratados por inmersión en una solución con AIB a 50mg/l no superaron el 15% de enraizamiento, y alcanzaron un 25% y 75% de necrosis a los 14 y 21 días, respectivamente [17].

Con el fin de mejorar la producción de raíces en esquejes de *S. tacaco*, es conveniente evaluar el uso de estimulantes de raíz, y uno de los más estudiados, no sólo por sus cualidades en el control de plagas y enfermedades, sino también por su efecto enraizador, es *Trichoderma* spp. [23], [24], [25].

Trichoderma spp. se ha asociado con funciones en la regulación del crecimiento, inducción de defensa y control biológico. Se han identificado numerosas especies del género *Trichoderma*, y se han estudiado sus beneficios en la agricultura [26], [27], [28]. En papaya, se usó *T. harzianum* aplicado al sustrato previo al trasplante, para estimular el sistema radical durante el proceso de aclimatación; se obtuvo 95% de supervivencia, versus el testigo con un 65%, así como diferencias significativas a favor de *T. harzianum* en todas las variables de crecimiento evaluadas [29]. También, *T. asperellum* ha mostrado resultados significativamente superiores en longitud y peso seco de raíces (85% y 50,5% superior al testigo, respectivamente) en el cultivo de palma aceitera [30].

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de efecto de dos dosis de *Trichoderma harzianum* sobre el enraizamiento y crecimiento de esquejes de tacaco (*Sechium tacaco*) durante la fase de aclimatación en casa sombra.

2. Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en Ujarrás, Paraíso, Cartago, en un invernadero diseñado para propagación de esquejes de chayote. Los esquejes se tomaron de plantas madre de tacaco (*Sechium tacaco*) procedentes de tres fincas, ubicadas en los cantones de Alvarado y Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica, el 20 de julio de 2022 (tabla 1).

Tabla 1. Ubicación del origen de los esquejes de tacaco (*S. tacaco*).

Coordenadas geográficas	Localidad
83° 48' 31,80" W 9° 52' 43,52" N	Cervantes, Alvarado, Cartago
83° 49' 58,00" W 9° 52' 41,90" N	Lapunte, Cervantes, Alvarado, Cartago

83° 47' 14,41" W 9° 53' 12,38" N	Santiago, Paraíso, Cartago
-------------------------------------	----------------------------

Para la selección de plantas madre, se escogieron plantas sanas y con alto vigor vegetativo, y en etapa de fructificación. Se utilizó un tipo de esqueje tomado a partir del brote secundario del tallo principal, con al menos tres nudos, junto con una hoja del eje principal [19], [20], [21], [31]. Se eliminaron los frutos, flores y zarcillos del esqueje. El producto comercial que se utilizó como fuente de ácido indol butírico (AIB) fue Hormolin 2 DP; la dosis utilizada fue de 0.30mg de AIB por esqueje, correspondientes a 15mg de Hormolin 2 DP. Los esquejes se colocaron en el invernadero, en macetas con capacidad de un litro, rellenas de sustrato 100% turba, humedecida a capacidad de campo.

El 30 de agosto de 2022, 41 días después de la siembra, los esquejes ya habían alcanzado el enraizamiento deseado, por lo que se trasplantaron en bolsas plásticas bajo condiciones de casa sombra, hasta el 26 de setiembre del 2022 (27 días después del trasplante-ddt). En casa sombra se utilizó malla tipo sarán color negro al 30% sombra, y bolsas plásticas negras perforadas, de dimensiones 38 x 94cm, las cuales se rellenan con sustrato de suelo de la finca junto con abono orgánico elaborado en la finca, en una relación 1:1. Se aseguró que, previo al trasplante, el sustrato contara con humedad a capacidad de campo. Se fertilizó con la fórmula química 10-30-10, a una dosis de 5g/planta, a los 3ddt.

Los tratamientos fueron realizados con el producto comercial Trichofos, con una concentración de $2,0 \times 10^7$ ufc/l de *T. harzianum*. Se evaluaron dos dosis de aplicación en “drench” del producto Trichofos (500 ml/planta), más un testigo que recibió 500ml de agua destilada por planta (tabla 2); todos los tratamientos se aplicaron a los 0, 7 y 15ddt.

Tabla 2. Dosis de Trichofos aplicado a esquejes de *S. tacaco* en casa sombra.

Tratamiento	Dosis de Trichofos (ml/l)
1	5
2	10
Testigo	0

Además, el día del montaje del experimento, se tomó una muestra del sustrato antes de realizar la aplicación de los tratamientos con Trichofos, para determinar la concentración inicial de *T. harzianum* en el sustrato. Las plantas permanecieron en casa sombra hasta los 27ddt.

La unidad experimental estuvo constituida por tres esquejes (un esqueje por bolsa) colocados en una hilera de 99cm de largo y 33cm de ancho, con una distancia entre esquejes e hileras de 33cm.

Las variables evaluadas fueron: conteo de ufc de *T. harzianum* por ml de sustrato, inicial y final; cambio de altura del esqueje; número de nudos por esqueje; número de brotes nuevos por esqueje, grosor de tallo contiguo al primer nudo, y peso seco de raíces y parte aérea.

Se realizaron las mediciones de altura de esqueje, desde la base del esqueje en contacto con el suelo, hasta la punta del brote terminal. Además, se contabilizó el número de brotes nuevos y, con ayuda de un calibrador marca Mitutoyo, modelo N° 60125117, con una capacidad de 150mm, se midió el grosor de la base del tallo, contiguo al primer nudo. La medición inicial se hizo en el momento de realizar el trasplante a casa sombra, y la medición final se hizo a los 27ddt.

En el conteo del número de nudos se consideró únicamente los nudos sobre el eje principal de la planta, y para el conteo de brotes nuevos se tomaron en cuenta todos los brotes nuevos presentes en la totalidad de la planta.

El conteo de ufc de *T. harzianum* por ml de sustrato, se realizó por medio de análisis en muestras de sustrato tomadas de cada repetición de cada uno de los tratamientos, tanto en el momento previo a la aplicación del tratamiento, como a los 27ddt.

Para las mediciones de peso seco, se tomó la parte aérea y el sistema radical de cada esqueje de cada unidad experimental. Estos se lavaron, se escurrieron, y fueron colocados en bolsas de papel debidamente identificadas. Luego se colocaron en una estufa por 5 días, a temperatura constante de 60°C, para finalmente ser pesados en una balanza analítica.

El diseño experimental fue irrestricto completamente al azar, con tres tratamientos (dos dosis de *T. harzianum* (Trichofos), más el testigo), con cuatro repeticiones por tratamiento, y tres esquejes por repetición.

Para cada variable de medición y conteo, se realizó un análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0.05, y para las variables donde se hallaron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para los datos del análisis microbiológico de sustratos, previamente se realizó una transformación logarítmica de los datos de la concentración de *T. harzianum* (ufc/g). Para todos los análisis de datos se utilizó el paquete estadístico InfoStat [32].

3. Resultados y discusión

La concentración de *T. harzianum* a los 27ddt obtenida con el tratamiento de 5ml/l de Trichofos fue mayor que la obtenida con el testigo (tabla 3), mientras que la concentración hallada con el tratamiento de 10ml/l de Trichofos no presentó diferencias significativas con el testigo. Por lo tanto, la aplicación de Trichofos a 5ml/l aplicado en “drench” tuvo efecto sobre las concentraciones de *T. harzianum* halladas en el sustrato donde se sembraron los esquejes de tacaco.

Tabla 3. Concentración de *T. harzianum* a los 27ddt en sustrato, según tratamiento.

Tratamiento	Concentración de <i>T. harzianum</i> (ufc/g)	Logaritmo de concentración de <i>T. harzianum</i> (ufc/g)
Testigo	82.5	1.92 ± 0.01 b
Trichofos, 5ml/l	1,525	3.16 ± 0.09 a
Trichofos, 10ml/l	1,375	2.78 ± 0.37 ab

Nota: ufc: unidades formadoras de colonias. Los valores del logaritmo corresponden a la media ± error estándar. Medias que comparten la misma letra no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

La presencia de *T. harzianum* en el sustrato utilizado para la siembra de los esquejes, se puede deber a que dicho sustrato es una mezcla del suelo de la finca, en combinación con abono orgánico elaborado con materiales disponibles en la misma finca y zonas aledañas. En el manejo convencional de la finca se utilizan desde hace varios años productos biológicos, algunos elaborados por ellos mismos, y otros de origen comercial.

En cuanto al peso seco de la parte aérea, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El mayor valor de peso seco de la parte aérea fue de 5,367.75mg/planta (figura 1A).

Se obtuvo diferencias significativas en el peso seco de la raíz, entre el testigo (2,523.06mg/planta) y las dos concentraciones de Trichofos de 5 y 10ml/l, con 704.12 y 1,175.21mg/planta, respectivamente (figura 1B). Por lo tanto, existe un efecto negativo de la aplicación del producto a base de *T. harzianum*, sobre el desarrollo de las raíces de los esquejes de tacaco bajo condiciones de casa sombra.

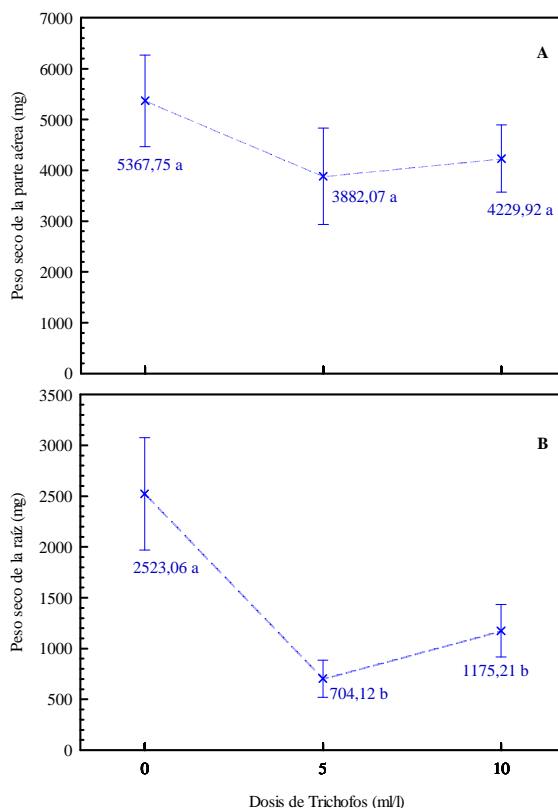


Figura 1. Peso seco de parte aérea (A) y de raíces (B), en esquejes de *S. tacaco* a 27ddt, según dosis de Trichofos. Las barras indican el error estándar. Medias que comparten la misma letra no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En cuanto al porcentaje de supervivencia, cambio en altura, cambio en grosor de tallo, cambio en número de brotes, y cambio en el número de nudos, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que se infiere que no hubo influencia de las concentraciones de *T. harzianum* sobre estas variables (tabla 4). Los valores de porcentaje de supervivencia de todos los tratamientos (entre 83% y 100%) se consideran bastante altos.

Tabla 4. Valores de variables a 27ddt, en esquejes de *S. tacaco*, según dosis de Trichofos.

Variable	Dosis de Trichofos (ml/l)		
	0	5	10
Porcentaje de supervivencia (%)	100 a	83 a	92 a
Cambio en altura (cm)	144.92 a	106.33 a	128.88 a
Cambio en grosor de tallo (mm)	3.3 a	2.0 a	1.7 a

Cambio en número de brotes	12.25 a	11.08 a	10.50 a
Cambio en número de nudos	15.17 a	11.58 a	14.75 a

Nota: Medias que comparten la misma letra no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

De acuerdo con [33], *Trichoderma* sp. tiene la capacidad de liberar auxinas, péptidos y otros metabolitos en la rizosfera, que promueven la ramificación de raíces y la absorción de nutrientes para aumentar el crecimiento y el rendimiento, al reportar efectos positivos de *T. harzianum* sobre el crecimiento en varios cultivos. Sin embargo, en zuchinni (*Cucurbita pepo*), se obtuvo que, al inocular *T. harzianum*, la colonización en las raíces fue exitosa, pero no mostró diferencias con respecto al testigo en variables como desarrollo de raíces, productividad y control de patógenos [28].

Para el caso de tacaco, hubo diferencias significativas en la colonización de *T. harzianum* sobre el sustrato inoculado con 5ml/l de Trichofos con respecto al testigo, mientras que la dosis más alta de Trichofos no mostró diferencias con el testigo. Entonces, surge la interrogante sobre qué factor pudo haber causado este comportamiento.

Con relación a la calidad del inóculo aplicado, en este caso específico fue muy buena, ya que el análisis de calidad de producto fue consistente en reportar una pureza y concentración de *T. harzianum* de acuerdo con lo informado en la etiqueta del producto Trichofos; por lo tanto, este producto comercial cumplió a cabalidad con la calidad microbiológica ofrecida.

Por otra parte, se podría descartar un efecto negativo del tipo de sustrato, ya que el análisis de sustrato realizado previo a la inoculación de *T. harzianum*, indicó que reunía las condiciones para albergar altas poblaciones de este hongo. Entre las posibles explicaciones de estos resultados están la concentración de inóculo aplicada, la forma de aplicación del inóculo, o factores ambientales como pH, temperatura y humedad [34], [27].

En este experimento no podría determinarse si el sustrato tuvo un efecto adverso sobre la colonización de *T. harzianum*, pero sí pudo haber sido un factor que influyó en los resultados obtenidos, lo cual concuerda con datos reportados en frijol, donde se halló que el tipo de sustrato influye en el tipo de nutriente que puede llegar a solubilizar *Trichoderma* para la disponibilidad de la planta [35]. De acuerdo con [27], no en todos los casos se logran resultados favorables al realizar inoculaciones

de *Trichoderma* sp. en un cultivo, pues los aislamientos pueden presentar un comportamiento irregular en cuanto a su capacidad de micoparasitismo, regulación del crecimiento e influencia en el rendimiento. Es posible que exista una serie de factores o señales involucradas en favorecer o perjudicar la interacción entre el microorganismo inoculado y la rizosfera, según la respuesta que se evalúe, ya sea por ejemplo el crecimiento de raíces y tallos, o resistencia a enfermedades. Un estudio realizado en frijol mostró de manera consistente el efecto de inhibición de crecimiento en semilleros de frijol tratados con *T. harzianum* [35]. En tomate, *T. harzianum* controló *Botrytis cinerea* a través de una exitosa colonización de raíces, y generó mecanismos de reconocimiento e inducción de rutas metabólicas, que causaron la secreción de reguladores de crecimiento de la planta, así como la activación de mecanismos de resistencia inducida o resistencia dependiente del ácido salicílico, que desencadenaron el fenómeno llamado “priming”; sin embargo, esta interacción no generó respuestas en el crecimiento de la planta o en su contenido de nutrientes [36].

Es posible que la interacción entre *T. harzianum* y la rizosfera de tacaco haya sido exitosa; sin embargo, la respuesta evaluada en la planta (crecimiento en este caso) no necesariamente fue la única que tuvo un efecto entre la relación ocurrida, entrando en juego otras variables bióticas, abióticas, e inclusive de equilibrio endógeno, que llegaron a reflejar un efecto negativo.

Existe una amplia gama de factores climáticos y bióticos que afectan el establecimiento de un microorganismo en el suelo, especialmente si ha sido inoculado artificialmente, tales como el tipo de suelo, la disponibilidad de agua, la temperatura del suelo y su variación, las relaciones con otros organismos, la forma de inoculación, la formulación del inóculo, y las capacidades biológicas del hongo [33], [27].

A pesar de que la mayor parte de estudios publicados sobre *T. harzianum* han mostrado efectos beneficiosos al inocularlo de manera artificial en diferentes cultivos, los resultados del presente estudio sugieren que se debería considerar la relevancia de las interacciones de la planta de tacaco con los microorganismos que forman parte de la rizosfera, y a su vez, la interacción de estos con los inoculantes biológicos que se desean trabajar, en este caso *T. harzianum*, ya que la microbiota vegetal establece un mutualismo habilitado a través de diversos mecanismos bioquímicos, como lo revelan los estudios sobre la promoción del crecimiento de las plantas y bacterias promotoras de la salud de las plantas [37].

Algunos autores han establecido que el factor más determinante en la conformación de un microbioma rizosférico es el tipo de suelo, mientras que el tipo de planta huésped (por efecto de exudados radiculares) se ha considerado un factor de mucha menor influencia [27]. Sin embargo, el tipo de planta podría ser un factor relevante para el caso del tacaco, debido a que las plantas endémicas en los trópicos han mostrado una alta diversidad y especificidad en sus relaciones con microorganismos, incluyendo comunidades de *Trichoderma* sp. altamente específicas, que han mostrado un fuerte antagonismo [38]. Esto permite plantear la hipótesis de que la planta de tacaco, al ser endémica, requiere de ciertas poblaciones de microorganismos muy específicas para desarrollar su sistema radical de manera óptima, y es posible que *T. harzianum* interactúe de alguna manera con estas poblaciones específicas de la rizosfera del tacaco.

De acuerdo con [39], al relacionar los valores de biomasa seca aérea y de raíz en chayote, se obtuvo un mayor desarrollo de la planta al utilizar la combinación de *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en combinación con nutrientes. Esto permite plantear la hipótesis que el chayote puede mantener relaciones simbióticas con especies de microorganismos como micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. Estos resultados también permiten inferir que existe la posibilidad de que el tacaco, del mismo género *Sechium*, establezca un comportamiento de simbiosis similar con estos mismos microorganismos, u otro tipo de micorrizas y bacterias similares.

Algunos estudios relacionan las interacciones de *T. harzianum* con dichas poblaciones de microorganismos. Según [40], las poblaciones de micorrizas arbusculares inoculadas en conjunto con *T. harzianum* en *Brachiaria decumbens* mostraron efectos antagónicos con *T. harzianum* sobre el proceso de micorrización, así como efectos negativos de esas micorrizas sobre las poblaciones rizosféricas de *T. harzianum*, con ausencia de efectos estimulantes sobre el crecimiento de las plantas inoculadas. Estos resultados coinciden también con los hallados por [41], quienes observaron el antagonismo específicamente entre las poblaciones de *T. harzianum* y *G. intraradices*, al reportar la ausencia de efecto de los metabolitos secundarios de *T. harzianum* sobre *G. intraradices*, y el antagonismo de *G. intraradices* sobre *T. harzianum* por posible competencia por nutrientes. Con respecto a *Azospirillum* sp., se ha reportado que, en el cultivo de trigo, el efecto de *T. harzianum* inoculado por separado no mostró un efecto

positivo sobre el peso seco de las raíces, y los resultados en combinación directa con algunas bacterias rizosféricas (*Rinorhizobium meliloti*, *Azospirillum zea* y *Azospirillum canadense*) no fueron positivos, ni mostró resultados uniformes en las variables en el momento de la siembra, o posterior a esta [42]. En el caso específico de *Azospirillum brasilense*, reportado en las raíces de chayote, se demostró que fue capaz de inhibir el crecimiento de *T. harzianum*, lo que demuestra el carácter antagónico de la relación entre ambos microorganismos [43]. Esto permite señalar que no todas las interacciones de microorganismos con *T. harzianum* son beneficiosas, y el caso de *G. intraradices* y *A. brasilense* podrían resultar negativas, lo que perjudicaría a su vez que la planta logre tener una estrecha relación de simbiosis con estos organismos y beneficiarse de sus efectos. Por lo tanto, una hipótesis que podría explicar los resultados hallados en el presente estudio, es que la aplicación radical de *T. harzianum* podría haber provocado un efecto perjudicial sobre el crecimiento de las plantas de tacaco, al afectar poblaciones de microorganismos que mantienen relaciones simbióticas con *S. tacaco*, como podrían ser *G. intraradices* y *A. brasilense*.

En cuanto a la respuesta de las plantas de tacaco al proceso de aclimatación en la técnica de propagación asexual, se podría calificar como exitosa con base en la longitud del tallo, y especialmente el peso seco radical alcanzados, ya que son variables fundamentales en el proceso de aclimatación, debido a que el desarrollo de la planta en campo depende en gran medida de las raíces [19], [20], [16]. Además, el éxito en la regeneración de plantas a partir de estacas está estrechamente relacionado con la capacidad de enraizamiento que se logre alcanzar, y esto a su vez se relaciona con la supervivencia y el crecimiento de las plantas [44].

No existen reportes sobre los porcentajes de supervivencia en clones de tacaco propagado por esquejes; sin embargo, si se extrapola al chayote, se ha reportado un 99% de supervivencia en clones de chayote propagados por esquejes al finalizar la fase de aclimatación en casa sombra al 70% sombra, que puede tardar entre los 15 y 22ddt [21]. Además, las plantas de chayote se trasplantan de vivero a casa sombra con una altura de 30 a 50cm, para crecer entre 100 a 120cm durante los 15 a 22ddt y luego poder ser trasplantadas directamente a campo; de lo contrario, las posibilidades de sobrevivir se reducen, debido a enfermedades causadas por un mayor contacto con el suelo, porque no lograrían alcanzar en pocos días los alambres del tutor o

barbacoa a una altura de 150 a 200cm. Por lo tanto, en el caso del presente estudio, resulta importante mencionar que, entre todos los tratamientos evaluados, se alcanzaron porcentajes de supervivencia entre el 83% y el 100% en clones de tacaco, y un cambio de altura entre los 106.33 y 144.92cm a los 27ddt, lo que resulta en valores comparables con los utilizados de manera comercial en la técnica agronómica de aclimatación de esquejes de chayote, lo que confirma el éxito de la técnica ensayada.

Esta investigación constituye una contribución significativa al conocimiento científico, pues se trata del primer reporte del efecto de *Trichoderma harzianum* sobre *Sechium tacaco*.

4. Conclusiones

No se recomienda el uso de *T. harzianum* en el proceso de aclimatación de esquejes de tacaco, hasta que se genere información sobre su compatibilidad con otros organismos rizosféricos asociados a esta especie.

El proceso de aclimatación de las plantas de tacaco en la técnica de propagación asexual fue exitoso, con base en los resultados obtenidos en las variables longitud del tallo, peso seco radical y porcentaje de supervivencia.

Este trabajo constituye el primer informe publicado sobre el efecto de *Trichoderma harzianum* sobre la especie *Sechium tacaco*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido por parte de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, así como la colaboración de Jorge Moya, José Araya, Juan Miguel Calderón, Jadder González y Zaida Morales, y de las empresas B&C Exportadores del Valle de Ujarrás S. A., Coseinca S. A., y Suplidora Verde S. A., en el trabajo de campo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

K.M.M.L. se encargó del trabajo de campo, recolección y análisis de datos, y redacción del documento.

J.E.M.P. se encargó del trabajo de campo, recolección y análisis de datos, y redacción del documento.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] A. Brenes, «Situación actual y perspectivas del tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] en Costa Rica,» *Boletín Agrario*, vol. 11, n° 39, pp. 1-23, 1992.
- [2] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Caracterización de frutos de cinco genotipos de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] en Costa Rica,» *Tecnología en Marcha*, vol. 30, n° 3, pp. 71-84, 2017. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3274
- [3] C. Hidalgo, C. Cortés y M. Cerdas, «Generation of analytical food composition data for traditionally consumed fruits and vegetables in Costa Rica,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 123, n° 105546, pp. 1-8, 2023.
- [4] Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), «Tabla de composición de alimentos de Centroamérica,» INCAP, Guatemala, 2007.
- [5] J. Ramírez-Wong, «Estudio fitoquímico preliminar de varias especies del género *Sechium*, endémicas de Costa Rica,» Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, 1996.
- [6] V. Castro, E. Ramírez, G. Mora, Y. Iwase, T. Nagao, H. Okabe, H. Matsunaga, M. Katano y M. Mori, «Structures and antiproliferative activity of saponins from *Sechium pittieri* and *S. talamancense*,» *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, vol. 45, pp. 349-358, 1997.
- [7] M. Herrera, M. V. Ramírez, E. Burgueño, E. Cepillo, C. Mirón y B. Hernández, «Screening of antitopoisomerase, antioxidant, and antimicrobial activities of selected triterpenes and saponins,» *Revista Latinoamericana de Química*, vol. 40, n° 3, pp. 165-177, 2012.
- [8] M. Cerdas y J. Castro, «Caracterización postcosecha de frutos de tacaco (*Sechium tacaco* (Pittier) en Cartago, Costa Rica,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, n° 1, pp. 141-148, 2017.
- [9] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Variabilidad morfológica en frutos de una población de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] a través del tiempo,» *Tecnología en Marcha*, vol. 31, n° 4, pp. 15-24, 2018. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3956/3544
- [10] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Primer informe sobre presencia de yemas cotiledonares en plántulas de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey],» *Tecnología en Marcha*, vol. 36, n° 2, pp. 32-36, 2023. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5999/6441
- [11] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Primer informe sobre heteroblastia en protofilas de tacaco (*Sechium tacaco*),» *Tecnología en Marcha*, vol. 36, n° 1, pp. 33-41, 2023. https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/5899

- [12] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Novedad: Presencia de cuatro y ocho suturas longitudinales completas en frutos de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey],» *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 26, pp. 42-46, 2022. <https://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/232/189>
- [13] A. Brenes y R. Campos, «Efecto de la posición de la semilla de tacaco (*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey) sobre la germinación,» *Uniciencia*, vol. 9, n° 1, pp. 13-18, 1992.
- [14] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Cuantificación de la variabilidad entre progenies de tacaco (*Sechium tacaco*),» *Revista Pensamiento Actual*, vol. 18, n° 30, pp. 67-77, 2018. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/33813>
- [15] J. C. Saborío y A. Brenes, «Variación del porcentaje de germinación de la semilla de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey], a lo largo del ciclo productivo de la planta,» de XI Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales, San José, Costa Rica, 1999.
- [16] M. E. Murillo-Quesada, «Establecimiento in vitro de tacaco *Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey syn. *Frantzia tacaco*,» Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, 2019.
- [17] J. E. Monge-Pérez, Interviewee, Propagación de tacaco mediante acodos y estacas. [Entrevista]. 8 Julio 2022.
- [18] J. C. Saborío, A. Brenes y M. Vega, «Propagación vegetativa de *Sechium talamancense* (Wunderlin) C. Jeffrey,» de XI Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales, San José, Costa Rica, 1999.
- [19] W. Gamboa, Producción agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.), San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica, 2005.
- [20] J. Brenes, S. Alvarenga y A. Abdelnour, «Enraizamiento de estacas de chayote (*Sechium edule* Jacq. SW),» *Alcances Tecnológicos*, vol. 8, n° 1, pp. 63-72, 2010.
- [21] A. Abdelnour, J. Brenes y S. Alvarenga, «Establecimiento de un programa de abastecimiento de semilla certificada de chayote en Ujarrás,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2015.
- [22] J. Araya, Interviewee, Propagación de tacaco. [Entrevista]. 10 Enero 2022.
- [23] M. Cano, «Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp.,» *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, vol. 14, n° 2, pp. 15-31, 2011.
- [24] J. Fernández, F. Sosa, L. Castellanos, E. Casanovas y O. Alomá, «Alternativas para el enraizamiento de estacas de *Ixora coccinea* L. var. *coccinea*,» *Centro Agrícola*, vol. 38, n° 2, pp. 45-50, 2011.
- [25] E. Báez, «Evaluación del efecto de cinco cepas de *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento foliar y radicular de portainjertos de rosas var. Natal Brier,» Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, 2016.
- [26] C. Galindo y G. Arbeláez, «Control de la pudrición basal del tallo en *Gypsophila paniculata* L. causada por *Pythium* sp. con tres aislamientos de *Trichoderma harzianum* y con fungicidas,» *Agronomía Colombiana*, vol. 12, n° 2, pp. 134-141, 1995.
- [27] W. Rivera-Méndez, «*Trichoderma* interactions in vegetable rhizosphere under tropical weather conditions,» de *Trichoderma*. Rhizosphere Biology, Singapore, Springer, 2020, pp. 293-314.
- [28] P. Forlano, S. Mang, V. Caccavo, P. Fanti, I. Camele, D. Battaglia y V. Trotta, «Effects of below-ground microbial biostimulant *Trichoderma harzianum* on diseases, insect community, and plant performance in *Cucurbita pepo* L. under open field conditions,» *Microorganisms*, vol. 10, n° 11, p. 2242, 2022.
- [29] M. Cruz, A. Darías, D. Cabrera, A. Pérez, M. Cruz, T. Pichardo, G. Rafael y O. Portal, «Enraizamiento y aclimatización de plantas transgénicas de papaya var. Maradol roja,» *Biología Vegetal*, vol. 8, n° 1, pp. 35-41, 2008.
- [30] V. Bravo, M. Ronquillo, M. Martínez y G. Quezada, «Efecto enraizador de *Trichoderma asperellum* en el cultivo de palma aceitera,» *Ecuador es calidad - Revista Científica Ecuatoriana*, vol. 4, n° 1, pp. 1-8, 2016.
- [31] J. Moya, Interviewee, Propagación de chayote mediante esquejes. [Entrevista]. 28 Diciembre 2021.
- [32] J. Di Rienzo, F. CAsanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. Robledo, «Infostat (programa de cómputo),» Córdoba, Argentina, 2011.
- [33] J. López-Bucio, R. Pelagio-Flores y A. Herrera-Estrella, «*Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus,» *Scientia Horticulturae*, vol. 196, pp. 109-123, 2015.
- [34] Z. Lu, R. Tombolini, S. Woo, S. Zeilinger, M. Lorito y J. Jansson, «In vitro study of *Trichoderma*-pathogen-plant interactions, using constitutive and inducible green fluorescent protein reporter systems,» *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 70, n° 5, pp. 3073-3081, 2004.
- [35] L. Hoyos-Carvajal, A. Cardona, W. Osorio y S. Orduz, «Efecto de diversos aislamientos de *Trichoderma* spp. en la absorción de nutrientes en frijol (*Phaseolus vulgaris*) en dos tipos de suelo,» *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 9, n° 2, pp. 268-278, 2015.
- [36] A. Martínez-Medina, I. Fernández, M. Sánchez-Guzmán, S. Jung, J. Pascual y M. Pozo, «Deciphering the hormonal signalling network behind the systemic resistance induced by *Trichoderma harzianum* in tomato,» *Frontiers in Plant Science*, vol. 4, n° 206, pp. 1-12, 2013.
- [37] D. Bulgarelli, K. Schlaeppi, S. Spaepen, E. Ver Loren van Themaat y P. Schulze-Lefert, «Structure and functions of the bacterial microbiota of plants,» *Annual Review of Plant Biology*, vol. 64, n° 1, pp. 807-838, 2013.

- [38] C. Zachow, C. Berg, H. Müller, J. Monk y G. Berg, «Endemic plants harbour specific *Trichoderma* communities with an exceptional potential for biocontrol of phytopathogens,» *Journal of Biotechnology*, vol. 235, pp. 162-170, 2016.
- [39] J. Cadena-Iñiguez, L. M. Ruiz-Posadas, J. F. Aguirre-Medina y P. Sánchez-García, «Estudio de los síntomas asociados a la pérdida de color del chayote,» *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 11, n° 2, pp. 309-316, 2005.
- [40] T. Sosa, J. Sánchez, E. Morales y F. Cruz, «Interacción micorrizas arbusculares-*Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae),» *Acta Biológica Colombiana*, vol. 11, n° 1, pp. 43-54, 2006.
- [41] H. Green, J. Larsen, P. Olsson, D. Jensen y I. Jakobsen, «Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil,» *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 65, n° 4, pp. 1428-1434, 1999.
- [42] C. Bécquer, G. Lazarovits, L. Nielsen, M. Quintana, M. Adesina, L. Quigley, I. Lalin y C. Ibbotson, «Efecto de la inoculación con bacterias rizosféricas y *Trichoderma* en trigo,» *Pastos y Forrajes*, vol. 38, n° 1, pp. 29-37, 2015.
- [43] C. Bécquer, H. Antoun y D. Prevost, «Estudio de la interacción de *Trichoderma harzianum* con bacterias dinitro fijadoras de vida libre,» *Pastos y Forrajes*, vol. 24, n° 1, p. 35, 2001.
- [44] H. Hartmann y D. Kester, *Hartmann and Kester's Plant Propagation: Principles and practices*, Pearson New International, 2014.