



## Efecto de cepa de *Trichoderma* sobre el desarrollo vegetativo de esquejes de *Vanilla pompona*, CCNN Alto Naranjillo

Effect of *Trichoderma* strain on the vegetative development of *Vanilla pompona* Cuttings in CCNN Alto Naranjillo

Luis F. Liñan Escate<sup>1</sup>; Alfredo I. Díaz Visitación<sup>1</sup>; Edward Isla Ramirez<sup>2</sup>\*

<sup>1</sup> Facultad de ecología, Universidad nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.

<sup>2</sup> Conservación Internacional (CI), Perú.

ORCID de los autores:

L. F. Liñan Escate: <https://orcid.org/0000-0003-3628-3260>

A. I. Díaz Visitación: <https://orcid.org/0000-0002-9130-7598>

E. Isla Ramirez: <https://orcid.org/0000-0001-9035-3720>

### RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos en el desarrollo vegetativo de esquejes de *V. pompona* inoculadas con cepas de *Trichoderma*, realizado dentro del territorio de la comunidad nativa de Alto Naranjillo. La cepa se aisló de una muestra de suelo de bosque secundario y se reprodujo en grano de arroz esterilizado. Se aplicaron dosis de 20 y 40 gramos por esqueje en dos diseños experimentales: un diseño completamente aleatorizado con esquejes de 4 nudos y un diseño en bloques con esquejes de 3, 4, 5 y 6 nudos. Los esquejes se plantaron en hojarasca bajo condiciones de sombra controlada. Los resultados mostraron que los esquejes inoculados con 40 gramos de *Trichoderma* nativa desarrollaron más brotes y raíces que los controles y la cepa comercial *Trichoderma harzianum*. El mayor número de brotes y raíces se obtuvo en esquejes con 5 y 6 nudos, y bajo un nivel de sombra de 57-60%, siendo este el ambiente más favorable. Se concluye que el uso de *Trichoderma ghanense* nativa es eficaz para promover el desarrollo vegetativo de *Vanilla pompona*, ofreciendo una alternativa sostenible al uso de agroquímicos.

**Palabras clave:** Biodiversidad; Ecosistema amazónico; Ecología; *Trichoderma*; Compuestos orgánicos.

### ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effects on vegetative development of *V. pompona* cuttings inoculated with *Trichoderma* strains, carried out within the territory of the native community of Alto Naranjillo. The strain was isolated from a soil sample of secondary forest and reproduced on sterilized rice grain. Doses of 20 and 40 grams per cutting were applied in two experimental designs: a completely randomized design with 4-node cuttings and a block design with 3, 4, 5 and 6-node cuttings. The cuttings were planted in leaf litter under controlled shade conditions. The results showed that cuttings inoculated with 40 grams of native *Trichoderma* developed more shoots and roots than the controls and the commercial strain *Trichoderma harzianum*. The highest number of shoots and roots was obtained on cuttings with 5 and 6 nodes, and under a shade level of 57-60%, this being the most favorable environment. It is concluded that the use of native *Trichoderma ghanense* is effective in promoting the vegetative development of *Vanilla pompona*, offering a sustainable alternative to the use of agrochemicals.

**Keywords:** Biodiversity; Amazonian ecosystem; Ecology; *Trichoderma*; Organic compounds.

## 1. Introducción

La demanda agrícola en el mundo actual promueve el uso de agroquímicos para garantizar mayores rendimientos (Puig-Montserrat et al., 2017) (Zhou et al., 2024), lo cual va en ascenso y generando con ello la pérdida de biodiversidad y sobre explotación de suelos (Mubeen et al., 2023), además de promover la resistencia de agentes fitopatógenos por el uso irracional. Razón por la cual se busca opciones más sostenibles y amigables al medio ambiente, rápidas y efectivas como alternativas de solución al uso de agroquímicos (Husaini & Sohail, 2024).

Los hongos del género *Trichoderma* son considerados controladores eficaces de diversos fitopatógenos, siendo excelentes degradadores de materia orgánica y con ello favorecen a la disponibilidad de nutrientes (Amareesan et al., 2019), mejoran la defensa de las plantas contra patógenos (Jiménez-Bremont et al., 2024), siendo de uso seguro por resultar no tóxicos para los seres humanos, medio ambiente y plantas (Li et al., 2025), 4caracteriza por un crecimiento lento, siendo poco aprovechada por el limitado conocimiento de su cultivo y del como acortar el largos periodos desde la siembra hasta obtención del fruto, por tal razón que la investigación busca responder a la interrogante ¿El uso de *Trichoderma* puede generar efectos positivos sobre el desarrollo vegetativo de esquejes de *Vanilla pompona*?

Durante miles de años las plantas vienen desarrollando la ramificación como mecanismo evolutivo de adaptación por su forma de vida sésil (Guo et al., 2020), este es el caso de la *Vanilla pompona*, especie nativa de la selva peruana, la cual trepa en forma de enredadera por los árboles presentes en humedales, buscando condiciones adecuadas de sombra que le brinda protección en horas de fuerte de calor. El género *Vanilla* posee un potencial a ser aprovechado en el mercado mundial (Medeiros et al., 2024), sin embargo presenta ciertas limitaciones para su aprovechamiento comercial, como el ataque de hongos fitopatógenos que ocasionan pudrición a la raíz (*Fusarium oxysporum*), así también antracnosis (*Collectotrichum* sp.) (Hernández et al., 2019).

*V. pompona* posee flores efímeras, razón por la cual presenta pocos frutos en estado natural, pese a ser hermafroditas (Watteyn et al., 2022), razón que en una producción comercial requieren de polinización manual y esperar un periodo de 7 a 9 meses para ser un fruto maduro; Además *V. pompona* posee altos contenidos de vainillina,

alcohol 4-hidrobencílico y alcohol anisílico, lo cual hace de esta Vainilla peruana ser adecuada para su conservación y aprovechamiento comercial (Maruenda et al., 2013); Además de ser la especie de Vainilla peruana más abundante y reportada por diversos estudios (Leyva et al., 2021).

Garrido & Vilela (2019) realizaron estudios con dos cepas de *Trichoderma*, *harzianum* y nativa, comparando el desarrollo radial de la cepa de *T. harzianum* (Comercial), con la cepa nativa de *Trichoderma*, determinando que la cepa nativa logró un mejor desarrollo radial en el medio de cultivo PDA, evidenciando mejoras en el aprovechamiento de nutrientes y espacio en el medio, que se traduce en un mayor desarrollo de la colonia, siendo superior a la cepa comercial de *Trichoderma harzianum*; sin embargo y aun cuando las cepas de *Trichoderma* nativa generaron un mayor desarrollo micelial y rápido de 2,5 a 3 días, la cepa de *T. harzianum* (comercial) generó una mayor producción de conidias, en un incremento de producción del 29,53%.

*Trichoderma* promueve la formación de bioestimulantes (Chen et al., 2024), actuando eficientemente como biocontrol de patógenos (Leyva-Morales et al., 2024), lo cual favorece al desarrollo vegetativo en plantas, estudios anteriores demostraron efectos positivos de *T. álbum* en *Allium cepa* (cebolla), obteniendo como resultados bulbos con mayor contenido de macro elementos como potasio y calcio, además de aminoácidos y otros. Utilizando dosis baja (2,0 g/L<sup>-1</sup>) logrando efectos positivos en comparación a una dosis alta (4,0 g/L<sup>-1</sup>) de *T. album* para promover el crecimiento de la cebolla, todo esto por un periodo de 6 meses (Younes et al., 2023). Moo-koh et al. (2017) realizaron estudios con diversas cepas de *Trichoderma* en plántulas de *Solanum lycopersicum* L. llegando a concluir que *T. ghanense* presentó un mayor efecto en el desarrollo de las plántulas, llegando a superar en ciertas variables a *T. harzianum*.

*Trichoderma ghanense* se caracteriza por generar una ganancia de peso en brotes, debido a la producción de enzimas celulolíticas, siendo tolerante a rangos amplios de pH en comparación a otras especies de *Trichoderma* (Bridžiuvienė et al., 2022), formando quelato de hierro asimilable para la planta (Kabir & Bennetzen, 2024) pero no aprovechable por microorganismos patógenos, logrando inhibir el crecimiento del hongo *Fusarium* (GAO et al., 2014), el cual suele generar daños económicos en *Vanilla pompona* que es apreciada por la vainillina contenida en su

fruto (Zhao et al., 2021). Los hongos del género *Trichoderma* resultan beneficiosos al incorporarlos con el cultivo de *Vanilla pompona*, pues está demostrado que incrementan la producción de clorofila y carotenoides (Rauf et al., 2024).

El ácido indol-3-acético (AIA) es un derivado de auxinas y está asociada a diversos procesos fisiológicos en las plantas, como la dominancia apical, los tropismos, el alargamiento de los brotes, la inducción de la división celular cambial y la iniciación de la raíz (Vega-Celedón et al., 2016). Do Prado et al. (2019) confirmó la producción de este compuesto mediante el hongo *T. atroviride* pudiendo incrementar su producción con adición del aminoácido triptófano, el cual actúa como un precursor del AIA.

Se denomina metabolitos secundarios a los compuestos elaborados por seres vivos, pero que no son indispensables en sus organismos. *Trichoderma* suelen producir diferentes compuestos de metabolitos secundarios, entre ellos antibióticos, fungicidas y/o promotores de fitohormonas (Kubicek & Harman, 2002).

En base a los antecedentes mencionados, se afirma que el género *Trichoderma*, es de importancia para una agricultura sostenible en biocomercio con especies no tradicionales como la *Vanilla pompona*, además de existir escasos estudios sobre biodiversidad de *Trichoderma* en climas tropicales, así que el presente estudio busca llenar ese vacío de *Trichoderma* y los posibles beneficios en el desarrollo vegetativo de *V. pompona*, con lo cual se beneficiaría el cuidado del medio ambiente.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto en el desarrollo vegetativo de esquejes de *V. pompona* inoculadas con cepas de *Trichoderma* desarrolladas en granos de arroz (comercial y nativa).

## 2. Metodología

Se trabajó dos diseños, uno completamente aleatorizado y otro diseño en bloques, aplicando dosis de 20 g y 40 g por esqueje, utilizando cepas comercial y nativa de *Trichoderma* para el primer diseño que estaba conformado por esquejes de 4 nudos, mientras que para el segundo diseño se trabajó con esquejes de 3, 4, 5 y 6 nudos, estos inoculados con 40 g de *Trichoderma* nativa, ambos diseños fueron instalados en un área que se encontraba al costado del vivero instalado por la ONG Conservación Internacional.

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa SPSS 27, donde se ordenaron la matriz de datos y utilizándose el ANOVA debido a que se

contaba con más de dos tratamientos y con variables cuantitativas, buscando evaluar si existe o no diferencia significativa entre los tratamientos analizados.

Los esquejes de *Vanilla pompona* necesarios para la propagación vegetativa fueron recolectados dentro del área de la comunidad de Alto Naranjillo. Posteriormente, se inocularon hojas caídas del bosque (hojarasca) que se utilizaron como sustratos, el cual fue acondicionado en agujeros previamente preparados con dimensiones de 40 cm x 40 cm x 30 cm de profundidad. Un día después de la inoculación, se realizó la siembra de los esquejes, los cuales fueron cortados durante la fase de cuarto creciente y dejados en un lugar sombreado y seco durante 7 días. Este proceso aseguraba un sellado adecuado en los cortes, limitando así posibles ataques de patógenos.

Se realizó la inoculación de *Trichoderma*, esto utilizando regulador de pH y aceite agrícola en el agua, esto para dar las condiciones apropiadas y favorecer la adherencia del producto biológico, así como el desprendimiento de las esporas contenidas en los granos de arroz, todo ello en horas de la tarde para evitar las horas con fuerte radiación solar.

## Reproducción de cepas nativa de *Trichoderma*

El género pertenece a los ascomicetos y presenta un potencial antagonista frente a muchos fitopatógenos, por esta razón se le puede encontrar en todas partes del mundo que exista materia orgánica (Vieira et al., 2018). La cepa de *Trichoderma* nativa fue recolectada de una muestra de suelo de un bosque secundario perteneciente a la comunidad nativa de Alto Naranjillo, luego de recorrer un aproximado de 3 km se observó un bosque secundario en donde había especies forestales de Moena (entre ellos Moena blanca y Palta Moena), así también "Ocuera" y "Cetico", especies indicadoras de un bosque en regeneración, recolectándose suelo superficial a 10 cm de profundidad como máximo, medio kilo de suelo embolsado y roturado, dicha muestra fue trasladada al laboratorio de química y biología de la Facultad de ecología de la Universidad Nacional de San Martín y mediante una disolución seriada se procedió a inocular las placas Petri conteniendo agar Sabouraud, previamente esterilizadas en autoclave durante 30 minutos.

Utilizando medio de cultivo Sabouraud comercial, se procedió a evaluar el crecimiento micelial de la cepa nativa de *Trichoderma*, la cual invadía la

totalidad de una placa Petri de 9 cm de diámetro, en 3 días, mientras que la cepa comercial de *Trichoderma* (*T. harzianum*) lo hizo en 2,7 días, esto a temperatura ambiente y luz natural, para los hongos patógenos contaminantes se tardó tiempos mayores a dos semanas en lograr invadir toda la placa Petri en las mismas condiciones, cosa que al momento de enfrentarlas en una misma placa Petri, la cepa nativa de *Trichoderma* resulto muy agresiva y veloz, logrando en múltiples ocasiones bloquear el crecimiento a determinados contaminantes que pudieran aparecer.

### Efectos en el desarrollo de esquejes de *V. pompona* con diferentes concentraciones del inoculo de *Trichoderma*

Para el primer diseño experimental (ver Tabla 1), se utilizó 40 esquejes con 4 nudos, teniendo un testigo ( $T_0$ ) al cual no se aplicó ninguna dosis de *Trichoderma*, en  $T_1$  se aplicó 20 g de *Trichoderma* nativa por esqueje, en  $T_2$  se aplicó 40 g de *Trichoderma* nativa por esqueje, para  $T_3$  se aplicó 20 g de *Trichoderma* comercial por esqueje y  $T_4$  se aplicó 40 g de *Trichoderma* comercial por esqueje.

### Efectos en el desarrollo de esquejes de *V. pompona* con diferentes números de nudos e inoculadas con *Trichoderma* nativa

Para el segundo diseño experimental (ver Tabla 2), se utilizaron 24 esquejes, 6 de 3 nudos, 6 de 4 nudos, 6 de 5 nudos y 6 de 6 nudos, aplicándose en todos los tratamientos 40 gr de *Trichoderma* nativa por esqueje de *Vanilla pompona*, esto para evaluar el desarrollo vegetativo con *Trichoderma*, teniendo en cuenta que los nudos son tejidos meriste-máticos encargados de la producción de auxinas (Murray, 2006), las cuales en una dosis de  $10^{-10}$  molar, promueve la aparición de brotes por medio de las yemas, cosa opuesta puede ocurrir si se incrementa la dosis (Ville, 2021).

Para el caso de ambos diseños, se utilizó *Erythrina sp.* como tutor y sombra, una por cada esqueje sembrado, teniendo en cuenta que las especies del género *Vanilla* requieren de un cierto porcentaje de sombra para un desarrollo adecuado

Las especies del género *Trichoderma* generan una diversidad de metabolitos secundarios, entre ellos metabolitos fúngicos derivados del ciclo del ácido tricarbóxico, estos compuestos fúngicos, que también los hay bactericidas, son los compuestos que en un inicio fueron aislados de *Trichoderma*. Otro de los metabolito secundario importantes a mencionar es el ácido shikimico, no

derivado del acetato, el cual es un precursor de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano (Kubicek & Harman, 2002).

### 3. Resultados y discusión

Realizando mediciones del tamaño de brotes en cada uno de los esquejes inoculados con *trichoderma*, se obtuvieron la medición de brotes a 5 meses de iniciado la siembra, reflejados en la Tabla 1, pudiendo observarse una superioridad en sumatoria total del tratamiento 2 inoculado con doble dosis de *trichoderma* nativa, seguido del tratamiento 1 y muy cerca el tratamiento 3, sin embargo el tratamiento 4 con doble dosis de *Trichoderma* comercial es superada por el testigo (Tabla 2), esto es posiblemente a un incremento en auxinas, ocasionado por una doble dosis de *Trichoderma*, los cuales promueven la formación de auxinas.

**Tabla 1**

Brotes en esquejes de 4 nudos

Repetición	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R-1	25	58	30	6	2
R-2	0	11	27	50	6
R-3	13	8	34	15	23
R-4	15	6	16	8	19
R-5	0	6	15	18	0
R-6	18	7	18	54	29
R-7	0	60	67	30	0
R-8	48	43	25	8	5

Nota: T<sub>0</sub>= Testigo, T<sub>1</sub>= 20 g. *Trichoderma* nativa, T<sub>2</sub>= 40 g. *Trichoderma* nativa, T<sub>3</sub>= 20 g. *Trichoderma* comercial, T<sub>4</sub>= 40 g. *Trichoderma* comercial.

Los valores de desviación estándar obtenidos muestran qué tan dispersos están los datos en relación con el valor promedio, destacándose un mayor valor en  $T_1$ , seguido de  $T_3$  y  $T_2$ , respectivamente.  $T_1$  se encuentra 24,4 cm por encima del promedio. Los datos presentan una alta variación, ya que el coeficiente de variación en todos los tratamientos es superior al 25%, siendo  $T_2$  el tratamiento con la menor variación. Además, se observa una probabilidad superior al alfa ( $\alpha = 0,05\%$ ), lo que indica que no hay una diferencia significativa estadísticamente, aunque los tratamientos con la cepa nativa de *Trichoderma* superaron al testigo, así como la cepa comercial de *Trichoderma* en una dosis de 20 g por esqueje. También se realizó el análisis del número de brotes aparecidos por esquejes, siendo  $T_1$  y  $T_3$  los únicos en presentar esquejes con dos nudos en una ocasión y mediante el análisis estadístico se determinó que si existe diferencia significativa entre el número de nudos obtenidos por esquejes de 4 nudos.

En la Tabla 2 se aprecia resultados del segundo diseño conformado por esquejes con diferentes números de nudos (3, 4, 5 y 6), todos inoculados con 40 g de cepa nativa de *Trichoderma*. Se observa que los esquejes con diferentes números de nudos e inoculados con cepa nativa de *Trichoderma*, presentó el valor acumulado más alto (nivel de sombra de 57% - 60%).

**Tabla 2**

Brotos en esquejes con diferente número de nudos

Sombra (%)	T 3 NUDOS	T 4 NUDOS	T 5 NUDOS	T 6 NUDOS
45-56	20	43	8	5
57-60	33	46	91	63
61-65	0	15	5	56
66-70	48	18	12	28
71-74	4	24	51	69
75-80	27	29	63	78

Los valores de probabilidad obtenidos, 0,11 para los tratamientos y 0,19 para los bloques, indican que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos y bloques empleados en relación con el desarrollo de brotes. Sin embargo, al analizar los datos mensuales acumulados por tratamiento, se observa que el mayor desarrollo coincidió con los periodos de mayor precipitación. Además, se encontró una probabilidad inferior al alfa ( $\alpha = 0,05$ ), lo que confirma la existencia de una diferencia entre los tratamientos empleados.

La Tabla 3 muestra el desarrollo de raíz a los 100 días de realizada la siembra de esquejes con cuatro nudos, pertenecientes al primer diseño. El tratamiento T<sub>1</sub> presentó el coeficiente de variación más bajo (0,197), lo que indica que sus datos fueron más consistentes y menos dispersos en relación con su promedio. En contraste, el tratamiento T<sub>4</sub> presentó el mayor coeficiente de variación (0,378). Se obtuvo un p-valor < 0,05, por lo tanto, existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados para el desarrollo de raíz a los 100 días en *Vanilla pompona*.

**Tabla 3**

Desarrollo de raíz (cm) en esquejes de 4 nudos a 100 días

Repeticiones	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R-1	12	21	17	13	6
R-2	5	15	19	12	11
R-3	13	13	15	10	6
R-4	9	16	13	8	12
R-5	12	15	9	6	8
R-6	13	19	12	16	16
R-7	6	23	9	11	8
R-8	10	20	7	10	7

En la Tabla 4 se aprecia que el bloque con nivel de sombra 57% - 60% mostró los mejores resultados en el desarrollo de la raíz, tanto en la sumatoria total como en el promedio, además de presentar un coeficiente de variación aceptable (CV = 0,25). Asimismo, se observó una probabilidad en los bloques inferior al alfa ( $\alpha = 0,05$ ), lo que indica que existe una diferencia significativa entre los bloques empleados. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en los tratamientos.

**Tabla 4**

Desarrollo de raíz (cm) esquejes con diferente número de nudos

Sombra (%)	T 3 Nudos	T 4 Nudos	T 5 Nudos	T 6 Nudos
45-56	8	29	13	7
57-60	16	19	28	19
61-65	5	15	14	12
66-70	17	18	19	13
71-74	6	16	27	26
75-80	28	18	36	33
Total	80	115	137	110
Promedio	13,33	19,17	22,83	18,33

En el proceso ANOVA para número de brotes en esquejes de 3, 4, 5 y 6 nudos, se obtuvo una probabilidad que es inferior a 0,05 (0,022), por lo tanto, se afirma que existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados para el número de brotes por esqueje de *Vanilla pompona*. Considerando al tratamiento con 5 nudos como el de mayor número de brotes obtenidos, seguido del tratamiento con 6 nudos, seguido de los tratamientos con 4 nudos y 3 nudos respectivamente.

**Figura 1.** Brote de *V. pompona* inoculada con cepa nativa

Los resultados obtenidos en el análisis ANOVA indican que los tratamientos con diferentes niveles de sombra no mostraron una diferencia significativa respecto al desarrollo de los brotes de *Vanilla pompona*, lo que sugiere que los niveles de sombra empleados en la investigación no fueron determinantes para la promoción del crecimiento de los brotes. Sin embargo, sí se encontró una diferencia significativa en el desarrollo de raíces, destacando el nivel de sombra entre el 57% y 60% como el más efectivo para favorecer la formación de raíces. Estos hallazgos coinciden con investigaciones que destacaron la influencia del ambiente de sombra en el crecimiento vegetativo de especies como la *Vanilla pompona*, una planta que busca sombra en ambientes tropicales para su adecuado desarrollo (Medeiros et al., 2024).

Garrido & Vilela (2019) demostraron que el uso del hongo *Trichoderma* promueve un mejor aprovechamiento de nutrientes y espacio, favoreciendo el desarrollo vegetativo en diversas plantas. Este comportamiento es consistente con los resultados obtenidos, donde la inoculación de *Trichoderma* nativa, especialmente en la dosis de 40 g por esqueje, mostró resultados superiores en el desarrollo radicular de *V. pompona*. Por otro lado, los resultados del coeficiente de variación en los bloques y tratamientos revelaron que, si bien no hubo diferencias significativas entre algunos tratamientos, el uso de *Trichoderma* nativa demostró ser más eficiente para promover el desarrollo vegetativo de las plantas en comparación con la cepa comercial, alineándose con estudios anteriores (Younes et al., 2023; Chen et al., 2024). Estos estudios sugieren que el uso de dosis bajas de *Trichoderma* es más efectivo para promover el crecimiento, probablemente debido a la estimulación de la producción de auxinas, como el ácido indol-3-acético (AIA), lo que podría explicar los efectos adversos observados en las dosis más altas de *Trichoderma*.

En resumen, los resultados del estudio indican que el uso de *Trichoderma* nativa, combinado con niveles de sombra controlados, es una estrategia efectiva para mejorar el desarrollo radicular y vegetativo de *Vanilla pompona*, proporcionando una alternativa más sostenible y eficiente para la producción de esta especie de gran valor comercial.

#### 4. Conclusiones

El uso de cepas nativas de *Trichoderma* tiene efectos positivos en el desarrollo vegetativo de los

esquejes de *Vanilla pompona*. Los tratamientos con *Trichoderma* nativa promovieron un mayor crecimiento en brotes y raíces en comparación con el testigo y las cepas comerciales. Este resultado confirma que *Trichoderma* es una opción eficaz como bioestimulante para mejorar la propagación vegetativa de *V. pompona*, siendo una alternativa sostenible frente al uso de agroquímicos convencionales.

La aplicación de 40 g de *Trichoderma* nativa por esqueje resultó en un mayor desarrollo vegetativo en comparación con la dosis de 20 g, lo que sugiere que una mayor concentración de este bioestimulante puede aumentar significativamente el crecimiento de las plantas. Sin embargo, este efecto no se observó en las cepas comerciales, donde el aumento en la concentración no produjo un incremento similar en el crecimiento. Esto evidencia que la dosis adecuada y la elección de la cepa son factores cruciales para maximizar los beneficios de *Trichoderma* en el desarrollo de *Vanilla pompona*.

En el segundo diseño experimental, los esquejes con mayor número de nudos (5 y 6) presentaron un mayor número de brotes en comparación con los esquejes de 3 y 4 nudos. Esto indica que el número de nudos es un factor importante que influye en la capacidad de los esquejes para desarrollar nuevos brotes, y que un mayor número de nudos puede promover un mejor desarrollo vegetativo en *Vanilla pompona*.

El nivel de sombra de 57% a 60% demostró ser más favorable para el desarrollo de las raíces, tanto en términos de sumatoria total como de promedio. Este nivel de sombra proporcionó las condiciones óptimas para el crecimiento de las raíces, lo que es coherente con la biología de *V. pompona*, una planta que crece de forma natural en hábitats de sombra moderada.

#### Agradecimientos

Agradecemos en gran manera a la organización Conservación Internacional, por el apoyo económico de una beca para la presente investigación, mediante el convenio FE2204, así también agradecer a su equipo técnico quienes en todo momento estuvieron dispuestos a brindar su apoyo en conocimiento sobre el cultivo de *Vanilla pompona*, sin ellos no habría sido posible este trabajo de investigación.

#### Referencias bibliográficas

- Amaresan, N., Sankaranarayanan, A., Kumar, M., y Druzhinina, I. (2019). *Advances in Trichoderma Biology for agricultural Applications* (Springer). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91650-3>
- Bridžiuvienė, D., Raudonienė, V., Švedienė, J., Paškevičius, A., Baužienė, I., Vaitonis, G., Šlepetienė, A., Šlepetys, J., y

- Kaçergius, A. (2022). Impact of Soil Chemical Properties on the Growth Promotion Ability of *Trichoderma ghanense*, *T. tomentosum* and Their Complex on Rye in Different Land-Use Systems. *Journal of Fungi*, 8(85), 1-18. <https://doi.org/10.3390/jof8010085>
- Chen, Y., Fu, Y., Xia, Y., Miao, Y., Shao, J., Xuan, W., Liu, Y., Xun, W., Yan, Q., Shen, Q., y Zhang, R. (2024). Trichoderma-secreted anthranilic acid promotes lateral root development via auxin signaling and RBOHF-induced endodermal cell wall remodeling. *Cell Reports*, 43(4), 114030. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.114030>
- do Prado, D., Okino-Delgado, C., Zanutto-Elgui, M., Gomes, R., Pereira, M., Jahn, L., Ludwig-Müller, J., Silva, M., Velini, E., y Fleuri, L. (2019). Screening of *Aspergillus*, *Bacillus* and *Trichoderma* strains and influence of substrates on auxin and phytaes production through solid-state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19(May), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101165>
- GAO, X., WU, J., XU, G., y YANG, L. (2014). Isolation, Identification of *Trichoderma ghanense* and Optimization of Spores Production. *China Biotechnology*, 34(2), 84-92. <https://manu60.magtech.com.cn/biotech/EN/abstract/abstract3944.shtml>
- Garrido, M., y Vilela, N. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 199-206. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.05>
- Guo, Y., Tian, C., Jiao, Y., y Wang, Y. (2020). Multifaceted functions of auxin in vegetative axillary meristem initiation. *Journal of Genetics and Genomics*, 47(9), 591-594. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2020.10.001>
- Hernández, J., Herrera, E., y Delgado, A. (2019). Variación morfológica del labelo de *Vanilla pompona* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2), 1-9. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2209%0A>
- Husaini, A. M., y Sohail, M. (2024). Agrochemical-free genetically modified and genome-edited crops: Towards achieving the United Nations sustainable development goals and a 'greener' green revolution. *Journal of Biotechnology*, 389(March), 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.04.015>
- Jiménez-Bremont, J., González-Pérez, E., Ortega-Amaro, M., Madrigal-Ortiz, S., Duque-Ortiz, A., y Mendoza-Mendoza, A. (2024). Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma*: Small molecules with biotechnological potential. *Scientia Horticulturae*, 325(November 2023), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112656>
- Kabir, A. H., y Benetzen, J. L. (2024). Molecular insights into the mutualism that induces iron deficiency tolerance in sorghum inoculated with *Trichoderma harzianum*. *Microbiological Research*, 281(November 2023), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127630>
- Kubicek, C., y Harman, G. (2002). *Trichoderma & Gliocladium* (Volumen 1).
- Leyva-Morales, R., Vega-Arreguín, J., Amezcua-Romero, J., González-Rodríguez, A., Alarcón, A., Díaz, T., Jensen, B., y Larsen, J. (2024). Soil fungal communities associated with chili pepper respond to mineral and organic fertilization and application of the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*. *Applied Soil Ecology*, 201(February), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105523>
- Leyva, V. E., Lopez, J. M., Zevallos-Ventura, A., Cabrera, R., Cañari-Chumpitaz, C., Toubiana, D., y Maruenda, H. (2021). NMR-based leaf metabolic profiling of *V. planifolia* and three endemic *Vanilla* species from the Peruvian Amazon. *Food Chemistry*, 358(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129365>
- Li, X., Liao, Q., Zeng, S., Wang, Y., y Liu, J. (2025). The use of *Trichoderma* species for the biocontrol of postharvest fungal decay in fruits and vegetables: Challenges and opportunities. *Postharvest Biology and Technology*, 219(July 2024), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113236>
- Maruenda, H., Vico, M. D. L., Householder, J. E., Janovec, J. P., Cañari, C., Naka, A., y Gonzalez, A. E. (2013). Exploration of *Vanilla pompona* from the Peruvian Amazon as a potential source of vanilla essence: Quantification of phenolics by HPLC-DAD. *Food Chemistry*, 138(1), 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.037>
- Medeiros, M. O., Silva-Cardoso, I. M. de A., da Silva Costa, F. H., Queiroz, P. R. M., Eckstein, B., Xavier de Souza, A. L., y Scherwinski-Pereira, J. E. (2024). Unveiling innovations for enhancing in vitro propagation of *Vanilla phaeantha* Rohb.f. through the use of double-phase technique and temporary immersion bioreactor systems. *Industrial Crops and Products*, 216(February), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118726>
- Moo-koh, F. A., Cristóbal-alejo, J., y Reyes-, A. (2017). Identificación molecular de aislados de *Trichoderma* spp. y su actividad promotora en *Solanum lycopersicum* L. *Redalyc*, 25(71), 5-11. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67452917001.pdf>
- Mubeen, I., Fawzi Bani Mfarrej, M., Razaq, Z., Iqbal, S., Naqvi, S. A. H., Hakim, F., Mosa, W. F. A., Moustafa, M., Fang, Y., y Li, B. (2023). Nanopesticides in comparison with agrochemicals: Outlook and future prospects for sustainable agriculture. *Plant Physiology and Biochemistry*, 198(March), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107670>
- Murray, N. (2006). *Introducción a la Botánica* (Pearson (ed.); Primera ed).
- Puig-Montserrat, X., Stefanescu, C., Torre, I., Palet, J., Fàbregas, E., Dantart, J., Arizabalaga, A., y Flaquer, C. (2017). Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 243(April), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.005>
- Rauf, A., Subhani, M., Siddique, M., Shahid, H., Chattha, M. B., Alrefaei, A. F., Hasan Naqvi, S. A., Ali, H., y Lucas, R. S. (2024). Cultivating a greener future: Exploiting *trichoderma* derived secondary metabolites for fusarium wilt management in peas. *Heliyon*, 10(7), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29031>
- Vega-Celedón, P., Canchignia, H., González, M., y Seeger, M. (2016). Revisión bibliográfica Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37(especial), 33-39. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>
- Vieira, P. M., Zeilinger, S., Brandão, R. S., Vianna, G. R., Georg, R. C., Gruber, S., Aragão, F. J. L., y Ulhoa, C. J. (2018). Overexpression of an aquaglyceroporin gene in *Trichoderma harzianum* affects stress tolerance, pathogen antagonism and *Phaseolus vulgaris* development. *Biological Control*, 126(July), 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.08.012>
- Ville, C. (2021). *Biología* (Octava ed). McGRAW-HILL.
- Watteyn, C., Scaccabarozzi, D., Muys, B., Van Der Schueren, N., Van Meerbeek, K., Guizar Amador, M. F., Ackerman, J. D., Cedeño Fonseca, M. V., Chinchilla Alvarado, I. F., Reubens, B., Piilco Huaracaya, R., Cozzolino, S., y Karremans, A. P. (2022). Trick or treat? Pollinator attraction in *Vanilla pompona* (Orchidaceae). *Biotropica*, 54(1), 268-274. <https://doi.org/10.1111/btp.13034>
- Younes, N. A., Anik, T. R., Rahman, M. M., Wardany, A. A., Dawood, M. F. A., Phan, L.-S., Abdel, A., y Mostofa, M. (2023). Effects of microbial biostimulants (*Trichoderma album* and *Bacillus megaterium*) on growth, quality attributes, and yield of onion under field conditions. *Heliyon*, 9(3), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14203>
- Zhao, X., Zhang, Y., Cheng, Y., Sun, H., Bai, S., y Li, C. (2021). Identifying environmental hotspots and improvement strategies of vanillin production with life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 769, 144771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144771>
- Zhou, J., Mennig, P., Zhou, D., y Sauer, J. (2024). Shadow prices of agrochemicals in the Chinese farming sector: A convex expectile regression approach. *Journal of Environmental Management*, 366(July), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121518>