

Inoculación de *Trichoderma* spp. como Estrategia para Optimizar el Desarrollo de *Vanilla odorata* en Condiciones Controladas

Darío Javier Sanguano Coronel¹ y Santiago Xavier Mafla Andrade¹

¹Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI), Av. Jorge Guzmán Rueda 10-01, 100150, Ibarra, Imbabura, Ecuador.

Autor de correspondencia: djsanguanoc@pucesi.edu.ec

RESUMEN

La adaptación de *Vanilla odorata* fuera de su hábitat amazónico nativo representa un desafío importante para la producción sostenible; mejorar su vigor temprano es esencial para su viabilidad comercial. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto morfofisiológico de la inoculación con *Trichoderma* spp. sobre el desarrollo vegetativo de *V. odorata* en condiciones de invernadero. Se implementó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (control, 1×10^6 UFC·mL⁻¹ y 5×10^5 UFC·mL⁻¹) y tres repeticiones. Las variables medidas incluyeron elongación del brote, densidad foliar e índice de clorofila (SPAD). Los datos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas debidas a la inoculación: una longitud media final del brote de 64,97 cm en el tratamiento de 5×10^5 UFC·mL⁻¹ frente a 24,26 cm en el control ($p = 0,00683$), y un índice SPAD medio de 35,07 frente a 23,03 en el control ($p = 0,00339$). El mejor tratamiento logró un incremento de aproximadamente el 167% en elongación respecto al control. La prueba de Tukey agrupó ambos tratamientos inoculados sin diferencias significativas entre ellos. Se concluye que la inoculación quincenal con *Trichoderma harzianum* mejora significativamente el vigor y la eficiencia fotosintética de *V. odorata* en condiciones de invernadero, identificándose la dosis de 5×10^5 UFC·mL⁻¹ como la más eficiente técnica y económicamente.

Palabras clave: bioestimulación, invernadero, inoculación, inóculo, *Trichoderma harzianum*, *Vanilla odorata*.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Vanilla odorata* representa tanto una oportunidad estratégica como un desafío técnico para la agricultura sostenible, especialmente en regiones fuera de su hábitat

amazónico nativo. Esta especie posee un alto valor genético y aromático; sin embargo, su establecimiento exitoso en condiciones controladas sigue siendo limitado debido a sus estrictos requerimientos ecológicos. Según Romero (2022), aunque *V. odorata* puede encontrarse en un rango de altitudes, requiere un clima tropical cálido y húmedo para alcanzar un crecimiento óptimo, lo que explica las bajas tasas de supervivencia observadas cuando el material vegetal es trasladado a ambientes de vivero fuera de su nicho natural. Esta limitación se acentúa en valles interandinos como Ibarra, donde las fluctuaciones de temperatura y las condiciones de humedad relativa inducen estrés fisiológico y restringen el desarrollo vegetativo.

El problema se agrava por la ausencia de protocolos eficientes de adaptación para especies de vainilla no comerciales. Warner et al. (2023) señalan que las estrategias inadecuadas de aclimatación generan material vegetal de bajo vigor, limitando así la escalabilidad de los sistemas de cultivo. Bajo tales condiciones de estrés, *V. odorata* exhibe reducida eficiencia fotosintética, deterioro en la asimilación de nutrientes y síntesis de clorofila limitada, lo que afecta directamente la elongación del brote y la formación foliar. Martínez et al. (2021) enfatizan que las variaciones en la disponibilidad de agua y luz influyen significativamente en la capacidad regenerativa de la vainilla, tanto *in vitro* como *in vivo*, reforzando la importancia de la optimización fisiológica durante las etapas tempranas de crecimiento.

Adicionalmente, el material vegetal debilitado se vuelve altamente susceptible a patógenos del suelo, particularmente *Fusarium* spp., que puede impactar severamente las plantaciones en etapas tempranas. Franco & Mosquera (2023) reportan que la incidencia de enfermedades puede alcanzar hasta el 80% en condiciones de estrés, lo que resalta la necesidad de estrategias integradas que mejoren tanto el vigor vegetal como la resiliencia fitosanitaria.

Estudios recientes han destacado el papel ecológico de los microorganismos benéficos en el género *Vanilla*. Gamboa (2014) y Ordoñez et al. (2012) demuestran que las asociaciones simbióticas naturales con hongos endofíticos mejoran significativamente el desarrollo radicular y la acumulación de biomasa. En este contexto, *Trichoderma* spp. ha surgido como una herramienta biotecnológica clave debido a su doble función como agente de biocontrol y promotor del crecimiento vegetal. Herrera et al. (2022) describen su capacidad para estimular el metabolismo vegetal mediante mecanismos como la producción de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y el mejoramiento de la síntesis de clorofila.

De manera similar, Sandheep et al. (2013) reportaron que la inoculación con *Trichoderma* incrementa la absorción de nitrógeno y fósforo en la vainilla, influyendo directamente en el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética.

Dado este contexto, la aplicación de *Trichoderma* spp. representa una estrategia prometedora para mitigar el estrés ambiental, mejorar el desempeño fisiológico y potenciar el desarrollo inicial de *V. odorata* en condiciones de invernadero. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto morfofisiológico de la inoculación con *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento vegetativo de *Vanilla odorata* en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio y Condiciones Experimentales

El experimento se realizó en un invernadero controlado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador -Ibarra, ubicada en Ibarra (0,348747; -78,105668). La infraestructura incluyó mallas de sombra, sistemas de nebulización y ventilación forzada para regular las condiciones microclimáticas. El área experimental abarcó 81 m², con un mínimo de 3 m entre unidades experimentales para evitar la contaminación cruzada entre tratamientos. Las condiciones ambientales fueron monitoreadas durante todo el ensayo para garantizar uniformidad y reducir la variabilidad externa.

Material Vegetal y Preparación del Sustrato

Se seleccionaron estacas uniformes de *Vanilla odorata* con base en criterios fitosanitarios y morfológicos. Las plantas se establecieron en un sustrato enriquecido compuesto por perlita esterilizada y cascarilla de arroz carbonizada (2:1), suplementado con 30% de fibra de coco y corteza de pino, y 5% de vermicompost. La esterilización del sustrato se realizó en autoclave (Autoclave Vertical) para eliminar microorganismos contaminantes.

Aislamiento, Purificación y Caracterización del Inóculo

Las muestras se recolectaron de la rizósfera de plantas del orquidario universitario. El aislamiento de *Trichoderma* spp. se realizó mediante siembra en diluciones seriadas en Agar Papa Dextrosa (PDA) suplementado con cloranfenicol (0,05%). Los cultivos se incubaron a 25 ± 2 °C durante 5–7 días. Las colonias con características morfológicas de *Trichoderma* se purificaron mediante la técnica de punta y se subcultivaron hasta obtener

cepas axénicas. La identificación molecular se realizó externamente mediante secuenciación del marcador TEF.

Preparación y Estandarización del Inóculo

El inóculo se obtuvo a partir de cultivos puros crecidos en PDA. Se preparó una suspensión conidial utilizando agua destilada estéril con Tween 20 (0,1%) y se filtró para eliminar fragmentos miceliales. La concentración se determinó mediante dilución seriada y conteo en placa. Se establecieron dos tratamientos: 5×10^5 y 1×10^6 UFC·mL⁻¹, calculados utilizando la ecuación de dilución ($C1V1 = C2V2$). Las suspensiones se prepararon frescas antes de cada aplicación.

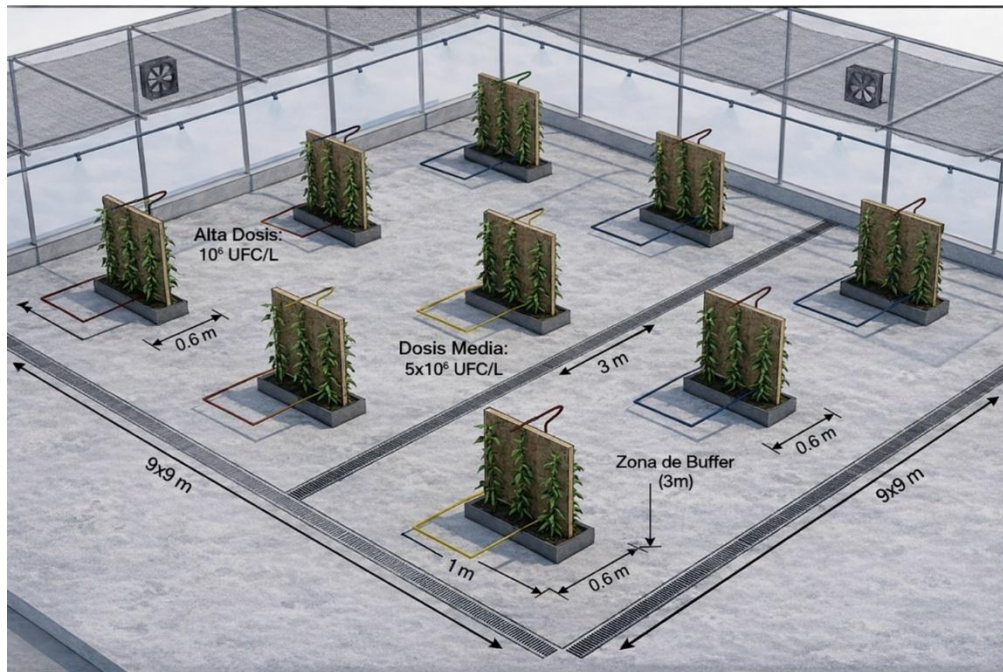
Diseño Experimental y Tratamientos

Como se observa en la figura 1, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental constó de tres plantas, para un total de 27 plantas, tal como se detalla en la tabla 1, los tratamientos fueron: T0 (control sin inoculación), T1 (1×10^6 UFC·mL⁻¹) y T2 (5×10^5 UFC·mL⁻¹). Las plantas se sostuvieron con marcos de 1 m² cubiertos con fibra de coco y tela cambrela para facilitar el crecimiento trepador.

Tabla 1. Esquema de dosis de bioestimulación y unidades experimentales empleadas en el ensayo.

| Tratamiento | Descripción | Repeticiones | Total Plantas |
|--------------|---|--------------|-------------------|
| T0 (Testigo) | Sin inóculo | 3 | 9 |
| T1 | <i>Trichoderma spp.</i> 1×10^6 UFC.mL ⁻¹ | 3 | 9 |
| T2 | <i>Trichoderma spp.</i> 5×10^5 UFC.mL ⁻¹ | 3 | 9 |
| Total | | 9 | 27 Plantas |

Figura 1. Distribución espacial y diseño experimental completamente al azar para la evaluación de *Trichoderma spp.* en el desarrollo de *Vanilla odorata*.



Nota: El esquema ilustra nueve unidades experimentales con una zona de amortiguamiento de tres metros para prevenir la contaminación cruzada. Cada unidad incluye tres individuos de *Vanilla odorata* sostenidos en tutores de fibra de coco, lo que facilita el registro de variables morfofisiológicas bajo condiciones de invernadero.

Inoculación y Manejo del Cultivo

La inoculación se realizó mediante el método drench, aplicando 350 mL de suspensión por planta directamente al sustrato. Las aplicaciones se realizaron cada 15 días. Para garantizar la integridad experimental, los tratamientos se aplicaron de manera secuencial, del control a la mayor concentración, utilizando materiales desinfectados. No se aplicaron fertilizantes químicos ni plaguicidas durante el experimento.

Variables Evaluadas e Instrumentos de Medición

Las variables de crecimiento vegetativo incluyeron longitud del brote (cm), medida con cinta métrica (Stanley, New Britain, CT, EE. UU.), y diámetro del tallo (mm), medido con cinta métrica milimétrica. El estado fisiológico se evaluó mediante un medidor de clorofila (SPAD-502). Las mediciones se realizaron quincenalmente en hojas completamente expandidas.

Análisis Estadístico

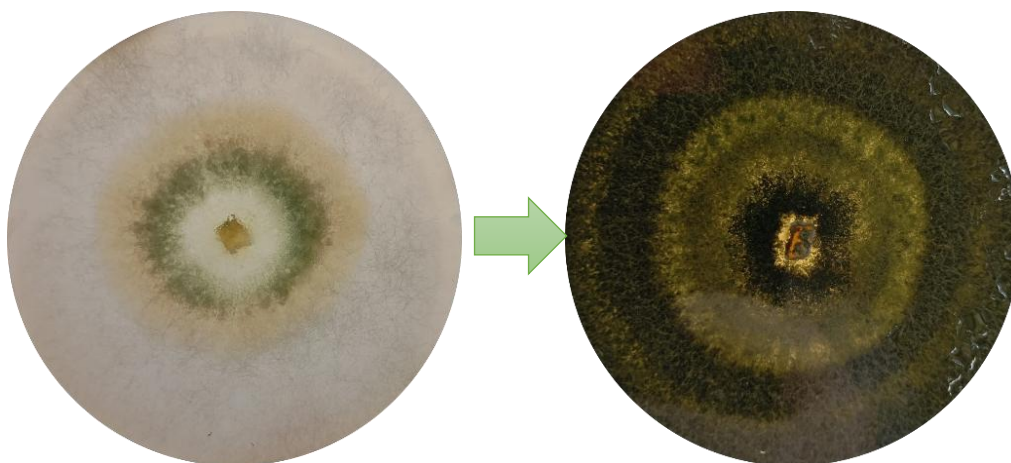
Los datos se analizaron con el software R-Studio (versión 2026, R-Studio Team). Previamente al análisis, se verificaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett). Se realizó un ANOVA de una vía y, cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0,05$). Este enfoque garantizó una inferencia estadística robusta y la reproducibilidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Morfológico y Caracterización Molecular

La caracterización molecular del aislado fúngico confirmó la identidad de la cepa inoculada como *Trichoderma harzianum*, cumpliendo el primer objetivo específico del estudio. Este resultado proporcionó una base taxonómica confiable para las aplicaciones posteriores, asegurando que los efectos evaluados correspondieran a una especie bien documentada por sus propiedades bioestimulantes y de biocontrol. La identificación molecular fortaleció el rigor metodológico del experimento y se alineó con los estándares actuales para el uso de microorganismos benéficos en sistemas agrícolas.

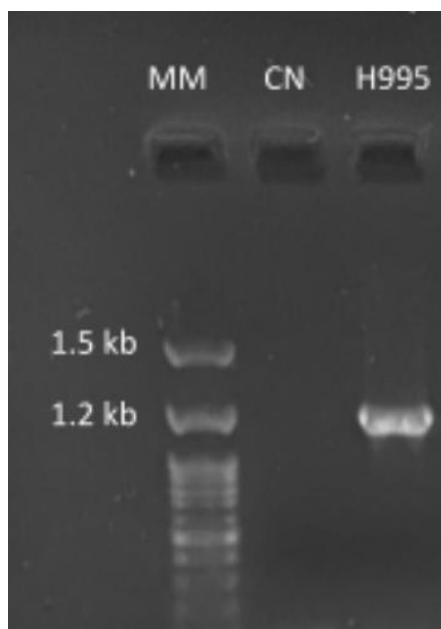
Figura 2. Cepa purificada de *Trichoderma* spp.



En la figura 2 que corresponde al cultivo axénico en medio Agar Papa Dextrosa (PDA) después de 7 a 15 días de incubación a 25 °C, se observa un rápido crecimiento radial, con micelio algodónoso, hialino y blanco en los bordes, que transiciona a una esporulación densa, granular de color verde oliva en el centro. Esta morfología es consistente con las

descripciones de Kubicek y Harman (2003) para el género *Trichoderma*, caracterizado por la formación de anillos concéntricos de conidios en función de la exposición al fotoperíodo.

Figura 3. Análisis electroforético de productos de PCR para la identificación molecular de la cepa aislada.



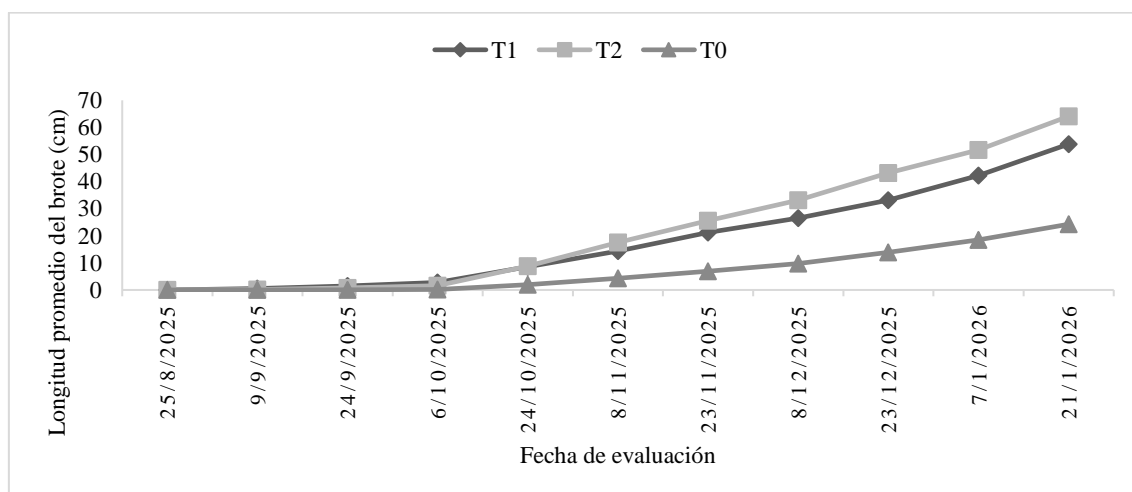
El análisis electroforético en gel de agarosa al 1% evidenció la correcta amplificación del fragmento TEF (Factor de Elongación de la Traducción 1-alfa) en la cepa aislada de *Trichoderma*. Se utilizó un marcador de peso molecular de 1 kb como referencia, lo que permitió estimar el tamaño del amplicón observado. Como se detalla en la tabla 2, la muestra identificada como H995, proveniente del orquideario, presentó una banda definida cercana a 1.2 kb, correspondiente al tamaño esperado para este marcador. Este resultado confirma la integridad y calidad del ADN amplificado, así como la eficiencia del proceso de PCR, constituyendo una base confiable para la posterior identificación molecular del aislamiento.

Tabla 2. Resumen de la identificación molecular de la cepa fúngica aislada

| Código Muestra | Marcador | Longitud (pb) | Especie Identificada | % Identidad | Nº Accesoión |
|-----------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|
| H995 | TEF | 873 | <i>Trichoderma harzianum</i> | 98.97% | OM471990.1 |

Posteriormente, continuando con el resultado de la aplicación de *T. harzianum* en el sustrato de plantas madre de *Vanilla odorata*, correspondiente al segundo objetivo específico, resultó en una mejora significativa del desempeño morfofisiológico en condiciones de invernadero. Tal como se observa en la figura 4, el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para la elongación del brote y el contenido de clorofila. Las plantas inoculadas exhibieron mayor crecimiento vegetativo en comparación con el control, confirmando el efecto positivo de la inoculación fúngica sobre el desarrollo vegetal. El tratamiento con 5×10^5 UFC·mL⁻¹ mostró consistentemente el mejor desempeño, lo que sugiere que las concentraciones intermedias de inóculo favorecen interacciones óptimas planta–microorganismo. Estos resultados son consistentes con los reportados por Herrera et al. (2022), quienes describieron que *Trichoderma harzianum* mejora el crecimiento vegetal a través de mecanismos como la producción de fitohormonas y la mejora en la solubilización de nutrientes.

Figura 4. Cinética de crecimiento longitudinal acumulado de *V. odorata* – *T. harzianum*.



Previo al análisis paramétrico, se verificaron los supuestos del modelo lineal. Los residuos mostraron distribución normal (Shapiro-Wilk: $W = 0.98$; $p = 0.9876$) y homogeneidad de

varianzas entre tratamientos (Bartlett: $p = 0.4188$), confirmando la validez del análisis estadístico y la confiabilidad de las comparaciones realizadas.

Una vez validados los supuestos, se ejecutó el ANOVA para un Diseño Completamente al Azar (DCA). El análisis reveló que el factor Dosis de inóculo ejerce un efecto altamente significativo sobre la elongación de *V. odorata* ($p = 0.00683$).

El estadístico de contraste F (22.208) indica que la variabilidad explicada por la inoculación con *T. harzianum* es 22 veces mayor que la variabilidad residual o error aleatorio. Esto demuestra una potencia estadística elevada, confirmando que la bioestimulación es el factor determinante en el desarrollo del cultivo en Ibarra, por encima de cualquier otra fluctuación ambiental en el invernadero.

Debido a la significancia del ANOVA, se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) como se detalla en la tabla 3, para establecer la jerarquía de los tratamientos. Los resultados categorizaron las medias en dos grupos de significancia estadística claramente diferenciados:

Tabla 3. Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey HSD)

| Tratamiento | Media Final (cm) | Error Estándar | Grupo Estadístico |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|
| T2 | 64.97 | 4.47 | a |
| T1 | 54.16 | 4.47 | a |
| T0 | 24.26 | 4.47 | b |

Nota: Las letras compartidas indican que no hay diferencia estadística entre T1 y T2.

Las dosis de 1×10^6 y 5×10^5 UFC·mL⁻¹ mostraron un efecto bioestimulante equivalente (grupo “a”), sin diferencias significativas entre ellas, lo que sugiere un umbral de saturación en la respuesta planta–microorganismo. En contraste, el tratamiento testigo (grupo “b”) presentó un crecimiento significativamente menor (24.26 cm), evidenciando que el sustrato sin inoculación es insuficiente para optimizar la adaptación y desarrollo de *V. odorata*.

Continuando con el análisis de resultados, respecto al referido de clorofila (índice SPAD), se establece que fue significativamente mayor en los tratamientos inoculados ($p < 0,05$), lo que indica una mayor eficiencia fotosintética. Esta respuesta se asocia con una mayor absorción de nutrientes, particularmente nitrógeno, esencial para la síntesis de clorofila. Sandheep et al. (2013) reportaron de manera similar que *Trichoderma* spp. incrementa la eficiencia en la asimilación de nutrientes en la vainilla, conduciendo a un mejor

desempeño fisiológico. El incremento en los valores SPAD observado en este estudio refleja una mejora directa en la actividad metabólica vegetal, lo cual es crucial para el desarrollo y la adaptación en etapas tempranas.

Se verificó el cumplimiento de los supuestos paramétricos (normalidad: $W = 0.94023$; $p = 0.5844$ y homogeneidad: $p = 0.4255$), garantizando la validez del análisis. El ANOVA que se detalla en la tabla 4 evidenció un efecto altamente significativo de la inoculación sobre el índice SPAD ($F = 32.336$; $p = 0.00339$), indicando que la variación se debe principalmente a *T. harzianum* y no al error experimental. Además, el factor repetición no fue significativo ($p = 0.19262$), confirmando condiciones homogéneas en el invernadero.

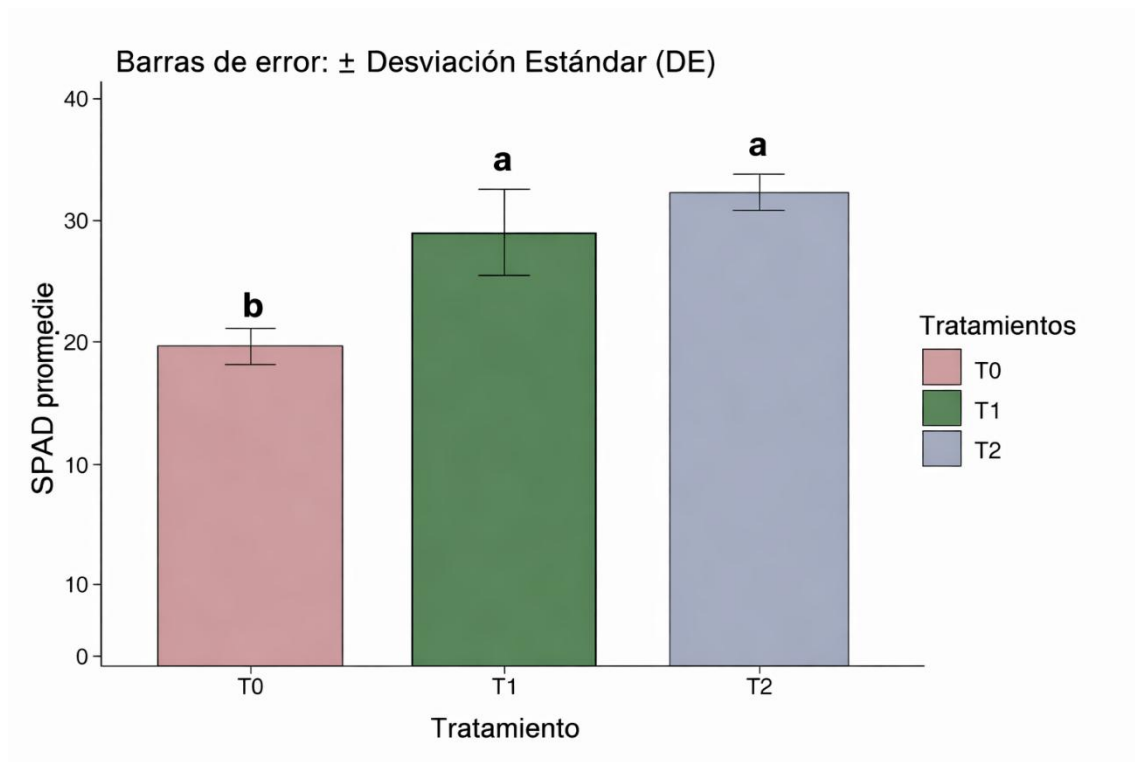
Tabla 4. Tabla del Análisis de Varianza (ANOVA)

| Tratamiento | Dosis (UFC/mL) | Media SPAD | Desviación Estándar | Grupo (Tukey)* |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| T2 | 5×10^5 | 35.07 | 1.49 | a |
| T1 | 1×10^6 | 31.97 | 3.48 | a |
| T0 | 0 | 23.03 | 1.47 | b |

Nota: Medias con una letra común no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

El efecto de los tratamientos sobre el índice SPAD medio se presenta en la Figura 5, donde se incluyen barras de error correspondientes a la desviación estándar, permitiendo visualizar la variabilidad de los datos entre tratamientos.

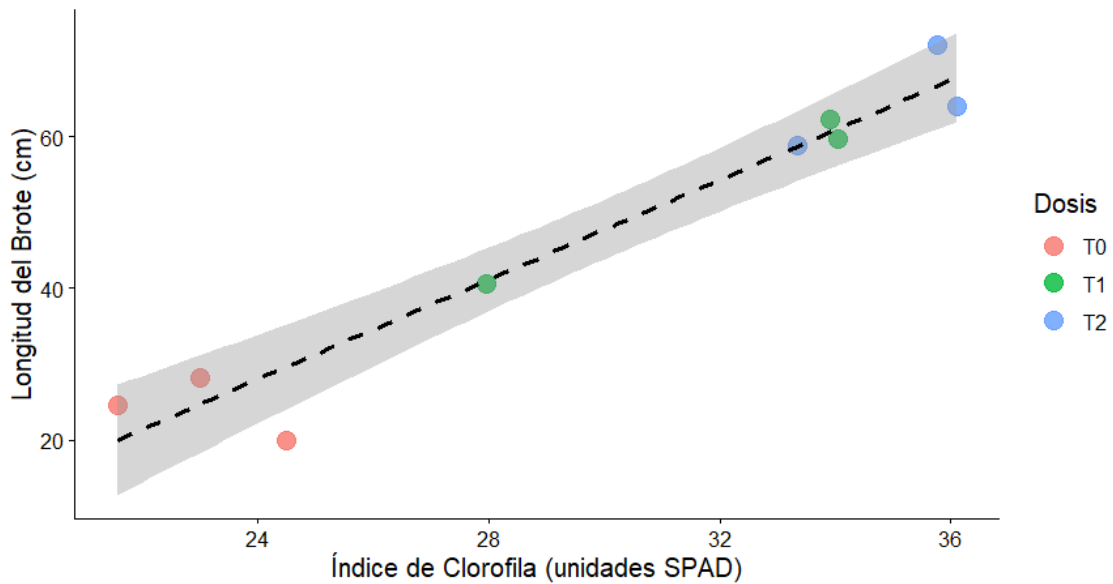
Figura 5. Efecto del tratamiento sobre el índice SPAD.



La inoculación con *T. harzianum* evidenció una mejora significativa en el desempeño fisiológico de *V. odorata*, reflejada en un mayor contenido de clorofila y, por ende, en una mayor eficiencia fotosintética. Este efecto se asocia con la solubilización de nutrientes y la regulación hormonal, lo que contribuye a retrasar la senescencia y mantener un adecuado estado nutricional de la planta. En este contexto, el análisis integrador de variables permitió confirmar que el vigor vegetativo observado está directamente relacionado con la optimización del estatus fotosintético.

Como se muestra en la Figura 6, el análisis evidenció una correlación positiva significativa entre el índice SPAD y la longitud del brote, indicando que un mayor contenido de clorofila se traduce en un incremento proporcional del crecimiento longitudinal, lo que permite identificar el tratamiento más eficiente en términos de respuesta biológica.

Figura 6. Análisis de correlación y regresión lineal entre el estado fotosintético (SPAD) y el desarrollo longitudinal de *V. odorata*.



Nota: Análisis de correlación y regresión lineal entre el estado fotosintético (SPAD) y el desarrollo longitudinal de *V. odorata*, incluyendo el intervalo de confianza del modelo ajustado.

Biológicamente, esta correlación demuestra que la cepa presente en el Orquideario de la PUCE-I no solo actúa como un promotor de crecimiento, sino como un estabilizador metabólico. Los tratamientos T1 y T2 lograron niveles de clorofila superiores a las 30 unidades SPAD, proporcionando la energía necesaria para duplicar la tasa de crecimiento frente al testigo.

El tercer objetivo específico, relacionado con la evaluación de la respuesta vegetal para fines de propagación potencial, también fue alcanzado. El vigor mejorado, expresado mediante el incremento en la elongación del brote y el desarrollo foliar, indica que las plantas inoculadas son más aptas como fuente de explantes de alta calidad para la micropropagación. Esto es particularmente relevante dado que el material vegetal de baja calidad ha sido identificado como un factor limitante en los sistemas de propagación de vainilla. Warner et al. (2023) enfatizan que una aclimatación inadecuada reduce la viabilidad de los explantes, mientras que los resultados de este estudio demuestran que el uso de *T. harzianum* puede mitigar esta limitación al mejorar el estado fisiológico de las plantas.

Aunque ambos tratamientos inoculados fueron estadísticamente similares según la prueba de Tukey, la concentración menor (5×10^5 UFC·mL⁻¹) mostró una tendencia consistente hacia un mejor desempeño. Esto sugiere que concentraciones más altas de

inóculo no necesariamente generan mayores beneficios y pueden inducir competencia microbiana en la rizósfera. Franco & Mosquera (2023) destacan la importancia de optimizar las dosis de inóculo para maximizar la eficiencia simbiótica y evitar interacciones negativas.

Tabla 5. Síntesis comparativa de variables morfofisiológicas para la selección de la dosis óptima.

| Tratamiento | Dosis (UFC.mL ⁻¹) | Shoot Length (cm) | SPAD Index | Statistical Group (Tukey)* | Valoración Técnica |
|-------------|----------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|
| T0 | 0 | 24.26 | 23.03 | B | Deficitaria |
| T1 | 1x10 ⁶ | 54.16 | 31.97 | A | Óptima |
| T2 | 5x10 ⁵ | 64.97 | 35.07 | A | Sobresaturada |

Nota: Letras idénticas dentro de la columna de grupo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$).

En general, los resultados confirman que la inoculación con *Trichoderma harzianum*, previamente identificado mediante análisis molecular, mejora significativamente el crecimiento y el desempeño fisiológico de *Vanilla odorata* en condiciones de invernadero. Además, el cumplimiento de los tres objetivos específicos demuestra la efectividad de este enfoque biotecnológico, respaldando su aplicación como una estrategia sostenible para mejorar el vigor vegetal, la calidad de los explantes y facilitar el establecimiento de sistemas de cultivo de vainilla en entornos no nativos.

Bajo criterios de eficiencia técnica y económica, el tratamiento T2 (5×10^5 UFC·mL⁻¹) se identifica como la dosis óptima para el establecimiento de *V. odorata* en invernadero. Aunque este tratamiento presentó los valores más altos, la prueba de Tukey indicó que no existen diferencias significativas respecto a T1, evidenciando que ambas dosis alcanzan un umbral efectivo de colonización en la rizosfera. Desde el punto de vista estadístico, esto confirma que el incremento adicional de inóculo no genera una mejora proporcional en la respuesta vegetal. En términos funcionales, esta dosis permite acelerar la aclimatación, mantener la estabilidad fisiológica (reflejada en niveles adecuados de clorofila) y optimizar recursos, logrando un incremento del 123% en el crecimiento longitudinal respecto al manejo convencional, con una menor carga de inóculo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la hipótesis propuesta, demostrando que la inoculación con *Trichoderma harzianum* mejora significativamente el desarrollo morfofisiológico de *Vanilla odorata* en condiciones de invernadero. La identificación molecular del aislado fúngico garantizó la confiabilidad del tratamiento aplicado y validó su uso como agente bioestimulante.

La aplicación del inóculo resultó en incrementos estadísticamente significativos en la elongación del brote y el contenido de clorofila en comparación con el control, confirmando un efecto positivo sobre el vigor vegetal y la eficiencia fotosintética. Entre los tratamientos evaluados, la concentración de 5×10^5 UFC·mL⁻¹ mostró la respuesta más consistente y eficiente en la promoción del crecimiento vegetal.

La mejora en el desempeño vegetativo indica que las plantas inoculadas presentan mejores condiciones fisiológicas para su uso como material de propagación, contribuyendo a explantes de mayor calidad. Estos hallazgos confirman que el uso de *Trichoderma harzianum* es una estrategia efectiva para potenciar el desarrollo temprano y la adaptación de *Vanilla odorata* en condiciones controladas.

Agradecimientos

Los autores reconocen los recursos bibliográficos proporcionados por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra por facilitar el acceso a bases de datos científicas esenciales para esta revisión. No se recibió financiamiento externo para este trabajo.

Referencias

- Franco, M., y Mosquera, S. 2023. Evaluación de la incidencia fitopatogénica en *Vanilla* spp. bajo condiciones de estrés. *Agronomía Mesoamericana* 34(2):145–156. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.XXXXX>
- Gamboa, M.A. 2014. Hongos endofíticos asociados a especies de *Vanilla* y su rol ecológico. *Revista Colombiana de Biotecnología* 16(1):45–53.
- Herrera, J., López, R., y Castillo, P. 2022. Efecto de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento vegetal y la absorción de nutrientes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22(3):2105–2115. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00852-3>
- Kubicek, C.P., y Harman, G.E. (eds.) 2003. *Trichoderma* y *Gliocladium*. Volumen 1: Biología básica, taxonomía y genética. Taylor & Francis, Londres, Reino Unido.
- Martínez, L., Gómez, D., y Rojas, H. 2021. Factores ambientales que influyen en el crecimiento y regeneración de *Vanilla* spp. *Scientia Horticulturae* 285:110178. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110178>
- Ordoñez, N., García, L., y Torres, M. 2012. Relaciones simbióticas entre orquídeas y hongos endofíticos. *Acta Biológica Colombiana* 17(3):567–576.
- Romero, J. 2022. Adaptación ecológica y distribución de *Vanilla odorata* en regiones tropicales. *Revista Forestal Latinoamericana* 37(1):25–34.
- Sandheep, A.R., Singh, V., y Thomas, J. 2013. Influencia de *Trichoderma* spp. en la absorción de nutrientes y el crecimiento de la vainilla. *Journal of Plantation Crops* 41(2):215–220.
- Warner, J., Smith, L., y Brown, K. 2023. Desafíos de aclimatación en sistemas de cultivo de vainilla. *Plants* 12(4):789. <https://doi.org/10.3390/plants12040789>