

Respuesta morfométrica de *Vanilla Planifolia* a diferentes tipos de fertilización

Morphometric response of *Vanilla planifolia* to different fertilization regimes

Arturo Alonso Armas-Silva¹
Noé Aguilar-Rivera²

Gael Francisco García-Merino³
Aram Ernesto Reyes-Atilano⁴
Marco Vinicio Rodríguez-Deméneghi⁵

Universidad Veracruzana, México

Fecha de recepción: 31-01-2025 Fecha de aceptación: 11-03-2025



Resumen *Vanilla planifolia* es considerada la tercera especie más costosa del mundo. Por su nivel de demanda, uno de los principales problemas que enfrentan los productores es el deterioro de los suelos por el uso intensivo de agroquímicos. Esta investigación evaluó la respuesta morfométrica de *Vanilla planifolia* a cuatro tipos de fertilización en tres tiempos de medición (30, 60 y 90 días). Se utilizó la prueba de comparación de Friedman para analizar el efecto combinado del tiempo y los tratamientos, y la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos en las plantas. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los diferentes puntos temporales y en el tratamiento de Silicio para las variables evaluadas, a excepción del número de brotes. Para determinar en dónde se presentaron las diferencias estadísticas, se realizó la prueba de rangos de Wilcoxon, revelando diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones temporales. Estos resultados indican que el desarrollo morfométrico de las plantas fue mayor en el último punto temporal. Se demostró que el tiempo y los tratamientos aplicados influyeron de manera significativamente positiva en el desarrollo morfométrico de las plantas, proporcionando valiosa información para la toma de decisiones ante situaciones que amenacen la integridad y desarrollo de las plantas de manera sustentable.

Palabras clave: Vainilla; Fertilizantes; Agroquímicos, Crecimiento vegetal.

Abstract *Vanilla planifolia* is considered the third most expensive spice in the world. Due to its high demand, one of the main challenges faced by producers is soil degradation resulting from the intensive use of agrochemicals. This study evaluated the morphometric response of *Vanilla planifolia* to four types of fertilization at three measurement intervals (30, 60, and 90 days). The Friedman test was used to analyze the combined effect of time and treatments, and the Kruskal-Wallis test was applied to assess the effect of treatments on the plants. The results showed significant differences across the different time points and in the Silicon treatment for the variables evaluated, except for the number of shoots. To determine where the statistical differences occurred, the Wilcoxon rank-sum test was performed, revealing statistically significant differences in all temporal comparisons. These results indicate that the morphometric development of the plants was greatest at the final time point. It was demonstrated that both time and the applied treatments had a significantly positive effect on the morphometric development of the plants, providing valuable information for decision-making in situations that may threaten the integrity and sustainable growth of the plants.

Keywords: Vanilla; Fertilizers; Agrochemicals; Plant growth.

1. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, C.P. 94945, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3160-2640>
2. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, C.P. 94945, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>
3. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, C.P. 94945, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8867-1882>
4. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, C.P. 94945, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5224-2767>
5. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, C.P. 94945, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México; Autor de correspondencia, email: marcorodriguez05@uv.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0371-4434>

1. Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) es la tercera especie más costosa del mundo por su dulce aroma y sabor (Rodríguez-Deméneghi *et al.*, 2023), motivo por el cual en julio de 2024 México presentó ventas internacionales con un valor de 167,000 USD. Se cotizó en \$1,000 MXN por kilogramo de vaina verde; el precio de la vaina beneficiada aumenta considerablemente debido al delicado trabajo manual y cuidado de los procesos para obtenerla (Secretaría de Economía, 2024). Por esta razón, esta actividad representa una gran oportunidad de ingreso económico relevante para los productores.

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores es la disminuida variabilidad genética en las poblaciones, situación que minimiza las probabilidades de éxito ante situaciones ambientales adversas cada día más acentuadas, como el estrés abiótico (Soto-Arenas, 1999). Este ha sido una constante con impacto negativo en la vainilla debido a fenómenos naturales derivados del calentamiento global (sequía prolongada y estrés térmico principalmente) y al hecho de que *Vanilla* es un género que se distribuye en zonas tropicales alrededor del mundo (Mino *et al.*, 2008), una de las regiones más sensibles a cualquier cambio climático, lo que impacta de manera directa en la salud poblacional de *Vanilla*.

Por ello, el uso de bioestimulantes en los cultivos ha sido una alternativa accesible para los productores, permitiendo mitigar el estrés en las plantas y evitando grandes inversiones en equipo e infraestructura especializada (Zulfiqar *et al.*, 2024). Esto se suma al hecho de que las prácticas de cultivos intensivos

han deteriorado los suelos en los que se desarrollan las plantas (Iqbal *et al.*, 2020).

La baja disponibilidad de nutrientes en los suelos deriva en una baja tasa de generación de estructuras morfológicas como brotes, raíces, hojas, etc., ya que estas estructuras actúan como defensa que aminora el estrés a través de los organelos presentes (Mahmood *et al.*, 2023). Por lo tanto, es importante el desarrollo de investigaciones que proporcionen información útil para los tomadores de decisiones en la producción de vainilla y faciliten la producción de plantas de *Vanilla* a pesar de las condiciones adversas.

Se propone al Silicio como un bioestimulante y facilitador de nutrientes en las plantas (Zargar *et al.*, 2019). La lombricomposta, por su parte, mejora las propiedades físicas del suelo al prevenir su compactación y enriquecerlo con micro y macronutrientes (Vuković *et al.*, 2021). Aunque los fertilizantes químicos suelen ofrecer respuestas rápidas y favorables, también conllevan efectos adversos como la desmineralización y salinización del suelo (Ma *et al.*, 2021). En contraste, los fertilizantes orgánicos (lombricomposta), como los evaluados en este estudio, pueden ofrecer beneficios sostenibles a largo plazo (Chakraborty & Akhtar, 2021).

En la búsqueda de alternativas sostenibles que minimicen el impacto negativo tanto en los cultivos de vainilla como en la salud del suelo, el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento de vainilla a través de estructuras morfológicas en respuesta a diferentes tipos de fertilizantes: químico, orgánico y bioestimulante (Silicio).

2. Materiales y Métodos

Se usaron plantas de *Vanilla planifolia* (Jacqs. ex Andrews) de 5–10 cm de longitud. Se colocaron individualmente en bolsas de polietileno negras (13 x 15 x 15 cm) con una mezcla de sustrato de peat moss y agrolita 1:1 (v/v). El experimento se llevó a cabo en un invernadero con malla sombra de 50%, localizado en el municipio de Fortín, estado de Veracruz, México, durante los meses de mayo, junio y julio de 2024. La temperatura promedio máxima fue de 25.5 °C y la mínima de 16 °C.

Se evaluó el efecto morfométrico de diferentes fuentes nutricionales: Silicio (ácido ortosilícico SILEX® de Arvensis), fertilización química (NPK) y lombricomposta (Tabla 1); estos tratamientos fueron acompañados de un grupo control (riego con agua). Las dosis utilizadas fueron las recomendadas según el producto. Se realizó un análisis de suelos (Tabla 2) previo al estudio para asegurar que se encontraran en condiciones ideales para la aplicación de los fertilizantes, así como garantizar que las plantas pudieran asimilarlos.

Las plantas fueron regadas cada dos días con 60 ml de agua destilada, y la aplicación de la fuente nutricional se realizó una vez por semana por bolsa. Las variables evaluadas fueron: altura, número de brotes y número de hojas nuevas. Las mediciones se realizaron en tres momentos: 30, 60 y 90 días después de la primera aplicación de los tratamientos. El experimento siguió un diseño completamente al azar y se realizó por duplicado, con 14 plantas por tratamiento y 4 tratamientos.

Los datos fueron analizados con la prueba de Friedman para medidas repetidas con tres

factores de tiempo (30, 60 y 90 días), seguida de comparaciones post-hoc con la prueba de Wilcoxon para determinar entre cuáles grupos temporales existen diferencias significativas. Por otro lado, para determinar el efecto de los tratamientos en cada punto temporal se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, seguida de la prueba Mann-Whitney para identificar las diferencias entre grupos. En ambos análisis se estableció la significancia estadística de $p < 0.05$. Los análisis se realizaron utilizando el software SPSS IBM Statistics (versión 25) para Windows.

3. Resultados y Discusión

La prueba de Friedman indicó la existencia de diferencias significativas ($\chi^2(2) = 38.199$, $p < 0.001$) en la variable altura de las plantas en los tres puntos temporales (30, 60 y 90 días), mientras que el análisis de rangos de Wilcoxon indicó que hubo un crecimiento significativo de las plantas entre los diferentes tiempos evaluados (Tabla 3). Estos resultados muestran que la altura de las plantas aumentó significativamente con el transcurso del tiempo. Esta respuesta puede atribuirse a la presencia de auxinas y citoquininas (encargadas de la proliferación celular y crecimiento de brotes) (Azcón-Bieto & Talón, 2003; Taiz *et al.*, 2014; Chakraborty & Akhtar, 2021) en los fertilizantes aplicados.

En cuanto a la variable número de hojas, los tres pares de comparaciones indican la presencia de diferencias significativas. Esto sugiere que la cantidad de estas estructuras vegetales aumentó de manera significativa entre los diferentes puntos temporales. La generación de hojas nuevas requiere una gran

disponibilidad de recursos. En esta investigación se observa que la planta no desvió los recursos presentes únicamente al crecimiento, como ocurriría en situaciones de estrés. Por lo tanto, los fertilizantes evaluados representan una alternativa para la generación de hojas, y el Silicio estimula el desarrollo de hojas incluso bajo condiciones de estrés (Al-Mayahi, 2016; Rosas Baca *et al.*, 2021).

Sin embargo, la tendencia ascendente en la generación de estructuras nuevas, no se mantuvo en la variable “número de brotes”. Si bien, existe diferencia significativa entre los días 30 y 60, y 30 y 90, no se observó diferencia significativa entre los días 60 y 90. El hecho de que la respuesta no haya seguido el patrón de las variables antes mencionadas, puede deberse a que la etapa de desarrollo fenológico requiere considerar más tiempo para poder determinar la presencia de diferencias significativas entre los puntos temporales o incluso a características genéticas (Sánchez *et al.*, 2019). Por lo que una evaluación más espaciada podría ofrecer una respuesta diferente en las plantas. Por último, la variable “diámetro del tallo” mostró diferencias significativas entre los tres tiempos evaluados. Lo cual sugiere que la variable evaluada aumentó en talla de manera significativa a lo largo del experimento.

Los hallazgos de esta investigación reflejan que, a pesar de los tratamientos, el desarrollo de estructuras morfológicas se mantuvo constante. Existen investigaciones en donde reportan que las plantas bajo condiciones de estrés priorizan el crecimiento del tallo y raíces, sobre la generación de hojas nuevas, a diferencia de nuestro estudio, a pesar de la ausencia de estrés, la planta priorizó la ge-

neración de estructuras nuevas de la misma manera que crecimiento del tallo (Mangena, 2013; Osakabe *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2018).

Los análisis de datos en esta investigación revelaron una tendencia general de aumento en la producción de los parámetros morfométricos evaluados bajo los tratamientos. Esto puede indicar que el manejo con los tratamientos es benéfico para el aumento de estas estructuras bajo condiciones controladas. Sin embargo, es importante señalar que la ausencia de diferencias significativas para la variable “número de brotes” sugiere la necesidad de realizar investigaciones que profundicen en esta respuesta, así como ampliar el tiempo de evaluación para poder obtener un panorama más amplio.

Por otro lado, para determinar el efecto de los tratamientos en la respuesta vegetal se compararon en cada punto temporal (30, 60 y 90 días). La comparación de resultados en las variables durante la primera evaluación (30 días) no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, es decir, la respuesta de las plantas fue homogénea. Sin embargo, en la comparación realizada durante el segundo punto temporal (día 60) se presentaron diferencias entre los tratamientos en cada variable evaluada (tabla 4). En los tres casos se encuentra que el Silicio presentó valores significativamente diferentes al tratamiento control, sin embargo, en la variable “Número de Brotes” el tratamiento control fue el que obtuvo un valor más bajo. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Corrêa *et al.*, (2020), quienes indican que la presencia de Silicio estimuló a las plantas de *Gerbera jamesonii* a generar una mayor

cantidad de hojas y brotes, así como crecimiento del tallo. Esta respuesta pudiera atribuirse a que el Silicio fortalece las paredes celulares, facilitando el crecimiento vertical de las plantas. Así mismo, las hojas pueden desarrollarse de mejor manera y en mayor cantidad, lo cual incrementaría la capacidad fotosintética permitiendo generar más energía para el crecimiento y desarrollo de brotes nuevos. Por último, en la evaluación del día 90 el tratamiento de Silicio presentó valores significativamente diferentes en comparación con los demás, tanto para la variable “Altura (cm)” como para “Número de Hojas”. El comportamiento de la planta ante la presencia de Silicio puede explicarse a través de fenómenos fisiológicos (Yavaş & Ünay, 2017) como se ha reportado en diferentes cultivos como *Aechmea blanchetiana* (Martins *et al.*, 2019), *Saccharum officinarum* (Verma *et al.*, 2021), *Cucumis sativus* (Gou *et al.*, 2020), entre otros. Entre los beneficios del Silicio que se reportan se encuentra que es un agente que favorece la resistencia al estrés biótico o abiótico mejorando la tasa fotosintética, toma

de nutrientes y el intercambio gaseoso, procesos que están involucrados en la generación de energía a través de diversos procesos.

4. Conclusiones

En este estudio se evidencia que los diferentes fertilizantes aplicados a las plantas de *Vanilla planifolia*, tienen un impacto significativo en el desarrollo de estructuras morfométricas. Esta afirmación se respalda en las diferencias significativas estadísticamente entre los tiempos y tratamientos evaluados. Estos resultados obtenidos proporcionan un punto de partida sólido para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas para el crecimiento y desarrollo de estructuras morfométricas de *Vanilla planifolia*. Se sugieren estudios futuros que profundicen sobre la respuesta morfométrica a diferentes niveles de organización para poder atribuir las respuestas de manera más certera.

5. Referencias

- Al-Mayahi, A. M. W. (2016). Effect of Silicon (Si) Application on *Phoenix dactylifera* L. Growth under Drought Stress Induced by Polyethylene Glycol (PEG) in Vitro. *American Journal of Plant Sciences*, 07(13), 1711–1728. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.713161>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2003). *Fundamentos de fisiología vegetal*. In McGrawHill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chakraborty, T. & Akhtar, N. (2021). Biofertilizers: Prospects and Challenges for Future. In M. I. A. Inamuddin, B. Rajender, & M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers* (pp. 575–590). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119724995.ch20>

- Gou, T.; Yang, L.; Hu, W.; Chen, X.; Zhu, Y.; Guo, J. & Gong, H. (2020). Silicon improves the growth of cucumber under excess nitrate stress by enhancing nitrogen assimilation and chlorophyll synthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.031>
- Iqbal, S.; Riaz, U.; Murtaza, G.; Jamil, M.; Ahmed, M.; Hussain, A. & Abbas, Z. (2020). Chemical Fertilizers, Formulation, and Their Influence on Soil Health. *Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health*, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_1
- Kumar, V.; Khare, T.; Shaikh, S. & Wani, S. H. (2018). Compatible Solutes and Abiotic Stress Tolerance in Plants. In A. Ramakrishna & G. S. Singh (Eds.), *Metabolic Adaptations in Plants During Abiotic Stress* (pp. 213–220). Taylor & Francis.
- Ma, H.; Pu, S.; Li, P. *et al.*, 2021. Towards to understanding the preliminary loss and absorption of nitrogen and phosphorus under different treatments in cotton drip irrigation in northwest Xinjiang. *PLoS One* 16 (7), e0249730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249730>
- Maleki, M.; Fatehi, F. & Ghorbanpour, M. (2023). PGPR reduces the adverse effects of abiotic stresses by modulating morphological and biochemical properties in plants. *In Plant Stress Mitigators* (pp. 201–208). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89871-3.00026-4>
- Mangena, P. (2013). Water stress: Morphological and anatomical changes in soybean (*Glycine max* L.) plants. *IntechOpen, i(tourism)*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Martins, J. P. R.; Rodrigues, L. C. de A.; Silva, T. dos S.; Santos, E. R.; Falqueto, A. R. & Gontijo, A. B. P. L. (2019). Sources and concentrations of silicon modulate the physiological and anatomical responses of *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) during in vitro culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 137(2), 397–410. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01579-6>
- Minoo, D.; Jayakumar, N. V.; Veena, S. S.; Vimala, J.; Basha, A.; Saji, K. V.; Babu, K. N. & Peter, K. V. (2008). Genetic variations and interrelationships in *Vanilla planifolia* and few related species as expressed by RAPD polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55, 459–470. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9252-3>
- Osakabe, Y.; Osakabe, K.; Shinozaki, K. & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5(MAR), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Rodríguez-Deméneghi, M. V.; Aguilar-Rivera, N.; Gheno-Heredia, Y. A. & Armas-Silva, A. A. (2023). Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 93–109. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.009>

- Rosas Baca, A.; Rodríguez Cabrera, R.; García Muñoz, S. A.; Piña Ramírez, F. J. & Arwell Nathan, L. C. (2021). Nutrición de *Vanilla planifolia* A. post estrés abiótico. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(1), 142–152. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i1.347>
- Sanchez, S. T.; Monsalve, G. D.; Oliva, M. & Arévalo, L. L. A. (2019). Influencia del estado fenológico y nutrición de plantas matrices de café (*Coffea arabica* L.) en la producción de brotes, Rodríguez de Mendoza, Amazonas. *Revista de Investigaciones Agroproducción Sustentable*, 3(1), 74–82. <https://doi.org/10.25127/aps.20191.4852>
- Secretaría, de Economía. (2024). Data México. *Vainilla*. [https://www.economia.gob.mx/data-mexico/es/profile/product/vainilla#:~:text=Mercado gl obal&text=](https://www.economia.gob.mx/data-mexico/es/profile/product/vainilla#:~:text=Mercado%20global&text=)
- Soto-Arenas, M. A. (1999). Inform final del proyecto J101. *Filogeografía y recursos genéticos de las Vainillas de Mexico*. 1–106.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M. & Murphy, A. (2014). Plant physiology and development. In L. Taiz (Ed.), *Principles Of Organization In Organisms* (Sixth edit). Sinauer Associates. <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429961106/chapters/10.4324/9780429492556-8>
- Verma, K. K.; Song, X. P.; Zeng, Y.; Guo, D. J.; Singh, M.; Rajput, V. D.; Malviya, M. K.; Wei, K. J.; Sharma, A.; Li, D. P.; Chen, G. L. & Li, Y. R. (2021). Foliar application of silicon boosts growth, photosynthetic leaf gas exchange, antioxidative response and resistance to limited water irrigation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 166(June), 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.032>
- Vukovi, A.; Velki, M., & E, S. (2021). Vermicomposting — Facts, Benefits and Knowledge Gaps. *Agronomy*, 11(1952), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy11101952>
- Yavaş, İ. & Ünay, A. (2017). The Role of Silicon under Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2). <https://doi.org/10.19159/tutad.300023>
- Zargar, S. M.; Mahajan, R.; Bhat, J. A.; Nazir, M. & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech*, 9, 73. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z>
- Zulfiqar, F.; Moosa, A.; Ali, H. M.; Bermejo, N. F. & Munné-Bosch, S. (2024). Biostimulants: A sufficiently effective tool for sustainable agriculture in the era of climate change? *Plant Physiology and Biochemistry*, 211(June), 108699. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108699>