Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (*vanilla planifolia)* con diferentes tipos de hormonas

In vitro establishment of nodal explants in vanilla (*vanilla planifolia*) with different types of hormones

Yaricza Nallely Quintanilla-Guarochico[1], Alex Vladimir Guanoquiza-Toaquiza[1], Eduardo Fabián Quinatoa-Lozada[1], Kleber Augusto Espinosa-Cunuhay[1]

[1]Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná, Ecuador
yaricza.quintanilla8406@utc.edu.ec
https://orcid.org/0009-0003-2144-9499

alex.guanoquiza2642@utc.edu.ec
https://orcid.org/0009-0003-0110-934X

eduardo.quinatoa1839@utc.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-0552-1871

kleber.espinosa@utc.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-5151-6301

Correspondencia: yaricza.quintanilla8406@utc.edu.ec

Recibido: 19/10/2025
Aceptado: 21/12/2025
Publicado: 22/01/2026

Resumen

La vainilla (*Vanilla planifolia*) fue una orquídea de alto valor económico y amplia demanda en la industria alimentaria. Sin embargo, su propagación convencional presentó limitaciones por la lentitud del método por esquejes, el riesgo de transmisión de patógenos y la baja viabilidad de la germinación sexual. Por lo tanto, el cultivo *in vitro* se consideró una alternativa para producir material vegetal sano y uniforme. **Objetivo:** Se evaluó el establecimiento *in vitro* de explantes nodales de *V. planifolia* mediante diferentes protocolos de desinfección y la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal, debido a su importancia para optimizar la propagación de la especie. **Metodología:** La investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, bajo condiciones controladas, y se desarrollaron dos ensayos con un diseño completamente al azar; en el primero se compararon tres protocolos de desinfección

registrando contaminación fúngica, bacteriana y polifenólica, y en el segundo se midieron longitud del brote, número de brotes por explante, número de hojas por brote y longitud de la raíz, utilizando medio MS suplementado con 6-bencilaminopurina (BAP) sola o combinada con auxinas (ANA y AIA). **Resultados:** Se observaron diferencias estadísticas significativas entre protocolos; el Protocolo B logró 0 % de contaminación fúngica y 10 % de bacteriana, aunque presentó 60 % de oxidación polifenólica, y el medio con 1 mg/L de BAP promovió mayor crecimiento vegetativo que los tratamientos con auxinas. **Conclusiones:** Se determinó que el Protocolo B fue el más eficaz para el control microbiano, aunque generó mayor estrés fisiológico, y que BAP sola favoreció el establecimiento inicial, lo que aportó criterios prácticos para optimizar la micropropagación; futuros estudios podrían ajustar dosis y tiempos de desinfección para reducir la fenolización sin perder eficacia.

Palabras clave: Biotecnología, cultivo de tejidos, micropropagación, vainilla, hormonas.

Abstract

Vanilla (*Vanilla planifolia*) was an orchid of high economic value and widespread demand in the food industry. However, its conventional propagation was limited by the slow cutting method, the risk of pathogen transmission, and the low viability of sexual germination. Therefore, in vitro culture was considered an alternative for producing healthy and uniform plant material. **Objective:** The in vitro establishment of nodal explants of V. planifolia was evaluated using different disinfection protocols and the application of plant growth regulators, due to its importance in optimizing the propagation of the species. **Methodology:** The research was conducted in the Biotechnology Laboratory of the Technical University of Cotopaxi, La Maná campus, under controlled conditions, and two experiments were carried out using a completely randomized design; in the first, three disinfection protocols were compared by recording fungal, bacterial, and polyphenolic contamination, and in the second, shoot length, number of shoots per explant, number of leaves per shoot, and root length were measured using MS medium supplemented with 6-benzylaminopurine (BAP) alone or in combination with auxins (NAA and IAA). **Results:** Statistically significant differences were observed among the protocols; Protocol B achieved 0% fungal contamination and 10% bacterial contamination, although it exhibited 60% polyphenol oxidation, and the medium

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

with 1 mg/L BAP promoted greater vegetative growth than the auxin treatments. **Conclusions:** Protocol B was determined to be the most effective for microbial control, although it induced greater physiological stress, and BAP alone favored initial establishment, providing practical criteria for optimizing micropropagation; future studies could adjust disinfection doses and durations to reduce phenolic browning without compromising efficacy.

Keywords: Biotechnology, tissue culture, micropropagation, vanilla, hormones.

Introducción

A nivel mundial, la vainilla es uno de los productos más apreciados por la industria alimentaria [1]. Este aroma se obtiene de los frutos del género *Vanilla* [2] y, dentro de este grupo, *Vanilla planifolia* concentra cerca del 95 % de los frutos comercializados [3]. Esta predominancia la posiciona como la orquídea de mayor importancia económica y como una de las especias más costosas del mercado, superada únicamente por el azafrán [4]. El centro de origen y domesticación de la vainilla se ubica en la selva tropical del sureste de México [5]; sin embargo, actualmente se distribuye en diversas regiones tropicales del mundo. Gracias a la polinización artificial, desarrollada a partir de 1961, su cultivo se ha extendido fuera de México, incluyendo países como Ecuador [6].

La propagación de la vainilla se realiza principalmente mediante esquejes o segmentos de tallo de aproximadamente 80 cm, obtenidos de plantaciones comerciales [7]. No obstante, este método convencional es lento, demanda mano de obra intensiva y supone el riesgo de transmitir enfermedades desde la planta madre hacia las nuevas plantas [8]. Como alternativa, existe la reproducción sexual por semilla; sin embargo, su aplicación es limitada debido a la baja viabilidad germinativa [9]. Además, el proceso de germinación resulta complejo de forma natural, en parte por la impermeabilidad de la testa, que dificulta el ingreso de líquidos y nutrientes esenciales para el desarrollo inicial [10].

Frente a estas dificultades, han surgido estrategias de innovación tecnológica que fortalecen los protocolos de propagación, con el propósito de disponer de material vegetal abundante y con condiciones fitosanitarias adecuadas [11]. En este contexto, el cultivo *in vitro* constituye

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

una herramienta clave de la biotecnología vegetal, ya que aprovecha la totipotencia celular para obtener clones a gran escala y libres de enfermedades [12].

Además del método de multiplicación y del tipo de explante, es fundamental considerar el medio de cultivo utilizado en las fases de establecimiento y multiplicación. En el caso de la vainilla, uno de los medios basales más empleados ha sido el medio MS (Murashige y Skoog), caracterizado por su alta concentración de sales [13]. Para optimizar la respuesta morfogénica, suele suplementarse con reguladores de crecimiento como bencilaminopurina (BA), ácido naftalenacético (ANA), ácido indolacético (AIA) y kinetina (KIN) [14]–[17]. Del mismo modo, se ha reportado el incremento en la tasa de regeneración con la adición de thidiazuron (TDZ) y otros suplementos, como el agua de coco al 100 % [18].

Con base en lo expuesto, el presente trabajo se enfoca en estudiar el establecimiento *in vitro* de explantes nodales de vainilla (*Vanilla planifolia*) bajo diferentes combinaciones de reguladores de crecimiento. Se espera que los resultados aporten evidencia útil para mejorar la disponibilidad de material vegetal y, a mediano plazo, contribuir a cubrir la demanda del mercado, superando las limitaciones asociadas a los métodos tradicionales de propagación de esta especie.

Metodología

Ubicación de la investigación. El presente estudio experimental se desarrolló en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, ubicado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, a una altitud de 216 msnm, en las coordenadas geográficas 0°56'49" S y 79°14'12" W. Las condiciones ambientales del laboratorio durante el período de ensayo estuvieron controladas, con una temperatura de 25 °C, una humedad relativa del 70 % y un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.

Selección y colecta del material vegetal. El material vegetal se adquirió en la zona de La Maná, de donde se extrajeron esquejes de aproximadamente 40 cm de largo, utilizando una tijera desinfectada, y se los llevó al laboratorio para el proceso de establecimiento.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Ensayo 1

Establecimiento aséptico. Una vez recolectados los esquejes en campo, se trasladaron al laboratorio para someterlos a un lavado con abundante agua y jabón, para posteriormente someterlos a un protocolo de desinfección dentro de la cabina de flujo laminar, con el fin de garantizar la asepsia de los explantes, como se indica en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1

Protocolos de desinfección utilizados en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

	Agente desinfectante				
Protocolos	**Fosetil aluminio + gentamicina**	**Alcohol etílico**	**Hipoclorito de sodio**	**Agua oxigenada**	**Agua destilada/estéril**
Protocolo A	(1 g/L) 15 min	96 % (5 min)	5 % (10 min) + 2 gotas de Tween 20	-	3 series por 4 min
Protocolo B	(1 g/L) 15 min	96 % (10 min)	5 % (10 min) + 4 gotas de Tween 20	-	3 series por 4 min
Protocolo C	(1 g/L) 15 min	75 % (15 min)	8 % (5 min) + 8 gotas de Tween 20	5 % (5 min)	3 series por 4 min

Luego del proceso de desinfección, se cortaron explantes de aproximadamente 4 cm con ayuda de un bisturí y pinzas estériles, para luego ser sembrados en los frascos con los medios de cultivo previamente preparados. Todo este trabajo se realizó en condiciones estériles bajo cabina de flujo laminar.

Preparación de medios de cultivo (tratamientos). La preparación de medios de cultivo se realizó principalmente con sales de Murashige y Skoog (MS) a 2,5 g/L y sacarosa a 30 g/L. El pH se estableció en 5,7 en todos los medios de cultivo y se utilizó agar a 8 g/L. En todos los medios se agregaron 2 mL de PPM (Plant Preservative Mixture) [19] para reducir contaminantes bacterianos y fúngicos en los medios de cultivo. Se adicionaron tres tipos de hormonas: 6-bencilaminopurina (BAP), ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolacético (AIA), en concentraciones como se indica en la Tabla 2. Finalmente, los medios de cultivo preparados fueron sometidos a un proceso de autoclavado a 121 °C por 15 minutos.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Tabla 2

Medios de cultivo utilizados en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

Componente	Medio de cultivo - tratamientos		
	MB	**MBN**	**MBI**
M.S	2,5 g/L	2,5 g/L	2,5 g/L
Azúcar	30 g/L	30 g/L	30 g/L
BAP	1 mg/L	1 mg/L	1 mg/L
ANA	-	0,0125 mg/L	
AIA	-		0,0125 mg/L
PPM	2 mL	2 mL	2 mL
pH	5,7	5,7	5,7
Agar	8 g/L	8 g/L	8 g/L

Variables evaluadas en el ensayo 1 (véase Figura 1)

Contaminación fúngica. Se evaluó de forma visual, registrando la presencia de colonias micóticas en el medio de cultivo o sobre los explantes. Los resultados se expresaron como porcentaje de explantes contaminados respecto al total sembrado, cada dos semanas, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de contaminación} = \frac{\text{Número de explantes contaminados}}{\text{Total, de explantes evaluados}} * 100$$

Contaminación bacteriana. Se registró visualmente la aparición de turbidez o colonias bacterianas en el medio de cultivo, cada dos semanas. El nivel de contaminación se calculó como porcentaje de explantes infectados respecto al total sembrado; para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de contaminación} = \frac{\text{Número de explantes contaminados}}{\text{Total, de explantes evaluados}} * 100$$

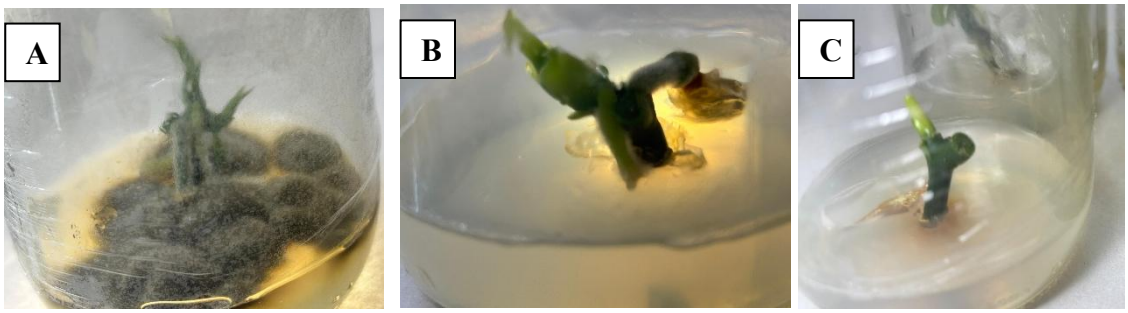
Contaminación polifenólica. Se determinó mediante la observación visual de oxidación en los explantes, cada dos semanas. Se calculó el porcentaje de explantes afectados en relación con el número total sembrado por unidad experimental; se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de contaminación} = \frac{\text{Número de explantes oxidados}}{\text{Total, de explantes evaluados}} * 100$$

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Figura 1

Variables evaluadas en el ensayo 1. (A) contaminación fúngica, (B) contaminación bacteriana, (C) contaminación polifenólica.



Variables evaluadas en el ensayo (véase Figura 2)

Longitud del brote. Se midió desde el punto de inserción del brote en el explante hasta su extremo apical, utilizando una regla milimetrada o calibrador digital. Este dato se registró cada dos semanas.

Número de brotes por explante. Se determinó contando los explantes que desarrollaron al menos un brote cuatro semanas después de la siembra. El resultado se expresó como un porcentaje con respecto al total de explantes establecidos por unidad experimental.

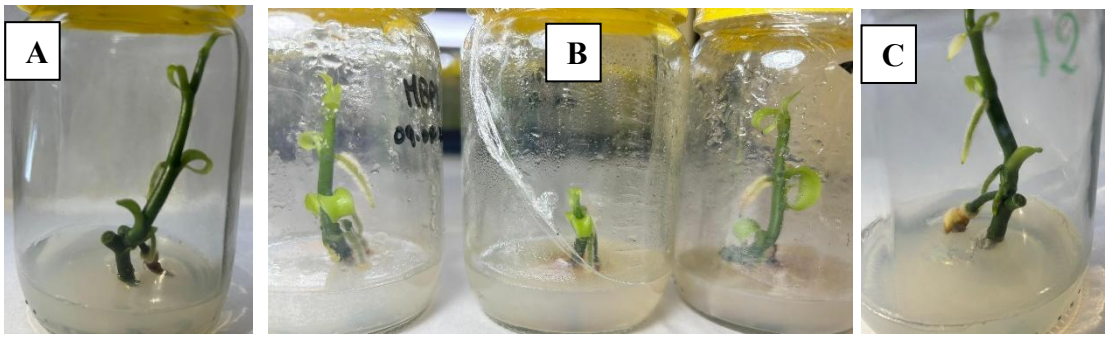
Número de hojas por brote. Se contó el número total de hojas desarrolladas por cada brote viable en cada unidad experimental, cada dos semanas.

Longitud de la raíz. Se midió la longitud de las raíces emitidas por cada explante utilizando instrumentos de medición precisa. Se registraron los valores promedio por unidad experimental cada dos semanas.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Figura 2

Variables evaluadas en el ensayo 2. (A) Longitud del brote, (B) número de brotes y hojas por explante (C) longitud de la raíz



Diseño experimental y análisis estadístico. Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) en los dos ensayos, con 3 tratamientos y 10 repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales en cada ensayo. Se utilizó el análisis estadístico ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, mediante el uso del software Infostat.

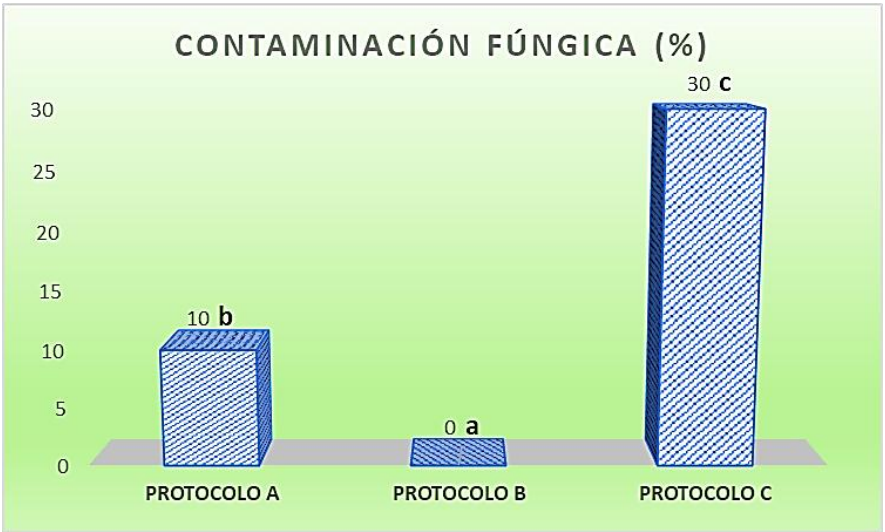
Resultados

Contaminación fúngica. En la Figura 3 se muestra la presencia de contaminantes fúngicos en los tratamientos, en los que se puede evidenciar que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio, mostrando 0 % de contaminación en el Protocolo B, lo que indica una desinfección óptima atribuida a la combinación adecuada de fungicida, alcohol etílico al 96 % con mayor tiempo de exposición, hipoclorito de sodio al 5 % y una mayor cantidad de Tween 20.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Figura 3

Contaminación fúngica reportada en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas



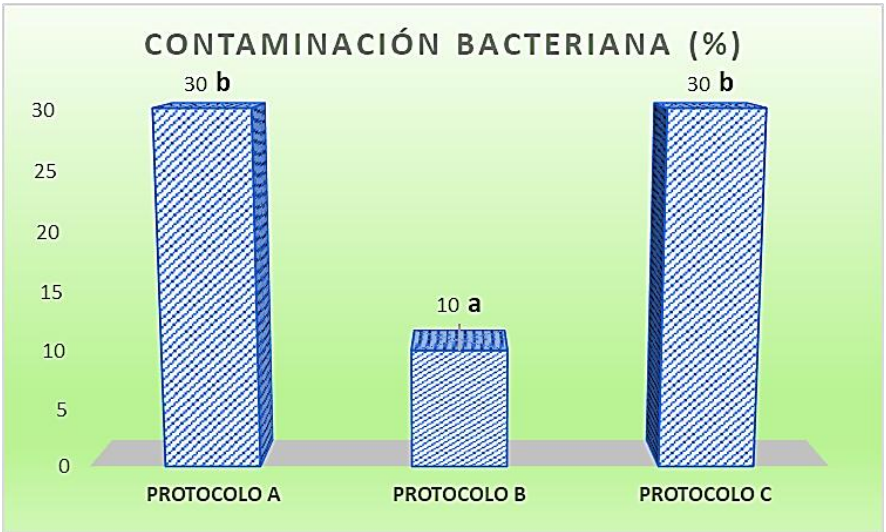
En contraste, el Protocolo C mostró el mayor porcentaje de contaminación (30 %), lo que demuestra que la reducción del alcohol y la sustitución por el uso de agua oxigenada disminuyeron significativamente la capacidad de control fúngico. Nuestros resultados corroboran los hallazgos de Castillo y sus colaboradores en 2020 [20], quienes reportan que el uso de hipoclorito de sodio combinado con alcohol etílico y surfactante (Tween 20) reduce significativamente la contaminación fúngica en vainilla *in vitro*.

Contaminación bacteriana. En cuanto a la contaminación bacteriana, se puede observar en la Figura 4 que el Protocolo B presentó el menor porcentaje de contaminación bacteriana (10 %), atribuido al alcohol etílico al 96 % e hipoclorito de sodio al 5 %, lo cual favorece un control más eficaz de bacterias superficiales y endófitas. Por el contrario, los Protocolos A y C registraron niveles de contaminación más altos (30 %), lo que sugiere que el menor tiempo de exposición al alcohol en el Protocolo A y la reducción de la concentración de alcohol en el Protocolo C limitaron el control bacteriano.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Figura 4

Contaminación bacteriana reportada en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas



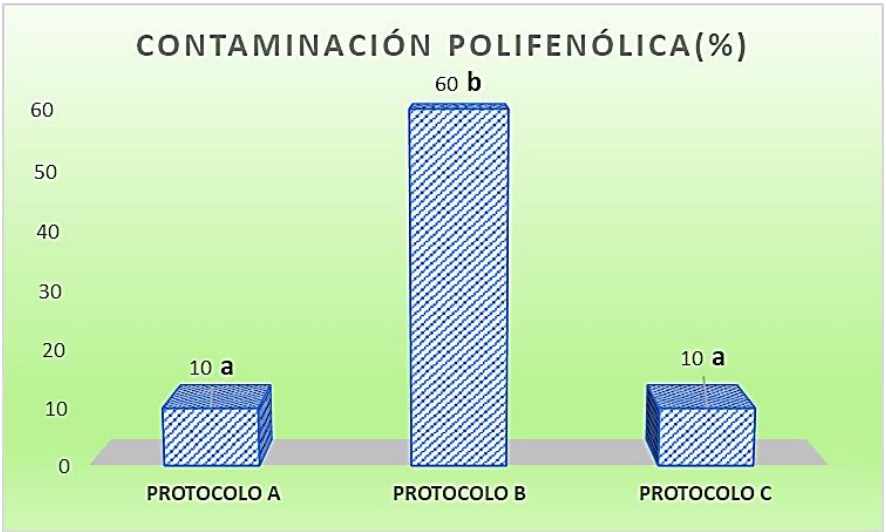
Esto concuerda con lo observado por George en 2008 [21], quien señala que la contaminación bacteriana en cultivos *in vitro* suele ser más difícil de controlar que la fúngica, debido a la presencia de bacterias endófitas, y que una combinación adecuada de alcohol e hipoclorito de sodio reduce significativamente la incidencia bacteriana.

Contaminación polifenólica. En la Figura 5 se puede observar que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio. Se observó que el Protocolo B presentó el más alto porcentaje de oxidación polifenólica (60 %), lo que indica que, aunque fue efectivo en el control microbiano, generó un mayor estrés fisiológico en los tejidos vegetales, favoreciendo la liberación y oxidación de compuestos fenólicos. Por el contrario, los Protocolos A y C mostraron los valores más bajos de contaminación polifenólica (10 %), lo cual coincide con Shahzad y sus colaboradores en 2007 [22], quienes describen que las especies tropicales, como la vainilla, son particularmente susceptibles a la fenolización durante el establecimiento *in vitro*, especialmente cuando los tejidos son sometidos a estrés químico.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Figura 5

Contaminación polifenólica reportada en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas



Longitud del brote. En el análisis estadístico de la longitud del brote en *Vanilla planifolia* se puede evidenciar que existen diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento MB, el cual tenía 1 mg/L de BAP, y los otros dos tratamientos (Tabla 3), alcanzando una media de 6,42 cm, lo que demuestra que la presencia exclusiva de esta citoquinina optimiza la elongación caulinar durante la fase de establecimiento. En contraste, la combinación con auxinas en los tratamientos MBN (ANA) y MBI (AIA) resultó en una disminución drástica del crecimiento longitudinal, con promedios de 2,47 cm y 2,06 cm, respectivamente. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Ordóñez en 2012 [23], quien sostiene que la bencilaminopurina (BAP) es la citoquinina más eficiente para la inducción y elongación de brotes en *Vanilla planifolia*, favoreciendo la elongación vegetativa al evitar un desbalance hormonal.

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

Tabla 3

Longitud del brote evaluada en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

Longitud de brote (cm)		
Tratamiento	**Media (cm)**	**Rango**
MB	6,42	a
MBN	2,47	b
MBI	2,06	b
E.E	2,4229	
CV	42,65	

Número de brotes por explante. En cuanto a la variable número de brotes por explante, la Tabla 4 indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, con medias que oscilan entre 0,8 y 1,0. Esta homogeneidad sugiere que, bajo las condiciones de este ensayo, la adición de auxinas como ANA y AIA no ejerce un efecto sinérgico con el BAP para incrementar la tasa de multiplicación. De acuerdo con Ramírez e Iglesias en 2016 [24], esta especie presenta una fuerte dominancia apical en etapas iniciales de establecimiento, lo que explica que las citoquininas activen la yema preexistente.

Tabla 4

Número de brotes por explante evaluado en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

N. brotes por explante		
Tratamiento	**Media**	**Rango**
MB	0,8	a
MBN	0,9	a
MBI	1,0	a
E. E	0,137	
CV	41,13	

Número de hojas por brote. En la Tabla 5 se puede observar que existen diferencias estadísticas significativas en la variable número de hojas por brote para el tratamiento MB, el cual muestra un número de hojas mayor (2,8) en relación con los tratamientos en los que se combina con auxinas, MBN (ANA) y MBI (AIA), con promedios de 1,5 y 0,8, respectivamente. Esto demuestra que la adición de estas auxinas no altera el ritmo de diferenciación foliar inducido por el BAP en la fase de establecimiento. De acuerdo con Ramírez e Iglesias en 2016 [24], esto se debe a que el desarrollo de hojas en los primeros

Revista Ingenio Global
ISSN: 3028-8800
Enero - junio, 2026
Vol. 5 - No. 1
DOI: https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.439

estadios *in vitro* depende más del vigor del explante original que de las hormonas que se adicionen.

Tabla 5

Número de hojas por brote evaluado en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

N. hojas por brote		
Tratamiento	**Media**	**Rango**
MB	2,8	a
MBN	1,5	b
MBI	0,8	b
E. E	0,4111	
CV	37,72	

Longitud de la raíz. El análisis de la Tabla 6 revela que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, mostrando que el tratamiento MB (1 mg/L BAP) es el más efectivo para la variable longitud de la raíz, alcanzando una media de 5,15 cm, frente a los medios suplementados con auxinas como el ANA (3,56 cm) y el AIA (1,37 cm). Esto indica que la presencia de estas auxinas redujo el crecimiento longitudinal de las raíces. Según Ordóñez *et al.* (2012) [23], el desarrollo de un sistema radicular vigoroso en etapas iniciales está fuertemente ligado a la energía metabólica del brote principal, por lo que el mayor vigor del tratamiento MB permitió una mejor rizogénesis espontánea.

Tabla 6

Longitud de la raíz evaluada en el establecimiento in vitro de explantes nodales en vainilla (Vanilla planifolia) con diferentes tipos de hormonas

Longitud de la raíz		
Tratamiento	**Media**	**Rango**
MB	5,15	a
MBN	3,56	b
MBI	1,37	c
E. E	0,7454	
CV	25,7	

Conclusiones

El Protocolo B, en el que se combinan fungicida, alcohol etílico al 96 %, hipoclorito de sodio al 5 % y una mayor concentración de Tween 20, optimiza el control microbiano al presentar 0 % de contaminación fúngica y el menor porcentaje de contaminación bacteriana (10 %).

No obstante, este mismo protocolo indujo una alta oxidación polifenólica (60 %), lo que sugiere que, si bien es eficaz para la desinfección, genera estrés fisiológico en los tejidos.

En cuanto al desarrollo morfológico, el medio MB, suplementado únicamente con 1 mg/L de BAP, promovió un buen desempeño en las variables longitud de brote, número de hojas y longitud de raíz, evidenciando que la adición de auxinas (ANA y AIA) durante la fase de establecimiento no favorece el crecimiento inicial ni aumenta el número de brotes por explante.

Agradecimiento

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, y al proyecto generativo de la carrera de Agronomía "Aplicación de técnicas de biotecnología en la propagación *in vitro*, aclimatación y evaluación en campo de banano, tabaco, vainilla, arándano, orquídea y tomate".

Bibliografía

[1]. M. C. Pastelín Solano, "Evaluación del establecimiento y desarrollo durante la micropropagación y conservación *in vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews)", tesis doctoral, Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana, 2018. [En línea]. Disponible en: https://cdigital.uv.mx/items/2ee069d3-9931-487d-9552-a5da1cf1d21f. Accedido: 19-nov-2025.

[2]. V. M. Salazar-Rojas, B. E. Herrera-Cabrera, A. Delgado-Alvarado, M. Soto-Hernández, F. Castillo-González y M. Cobos-Peralta, "Chemotypical variation in *Vanilla planifolia* Jack. (Orchidaceae) from the Puebla–Veracruz Totonacapan region", *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 59, no. 5, pp. 875–887, jun. 2012, doi: 10.1007/s10722-011-9729-y.

[3]. J. B. Azofeifa-Bolaños, A. Paniagua-Vásquez y J. A. García-García, "Importance and conservation challenges of *Vanilla* spp. (Orchidaceae) in Costa Rica", *Agron.*

Mesoam., vol. 25, no. 1, pp. 189–202, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.sidalc.net/search/Record/oai:portal.ucr.ac.cr:article14220/Description. Accedido: 19-nov-2025.

[4]. A. W. Tazon, F. Awwad, F. Meddeb-Mouelhi y I. Desgagné-Penix, "Biotechnological Advances in Vanillin Production: From Natural Vanilla to Metabolic Engineering Platforms", *BioChem*, vol. 4, no. 4, pp. 323–349, 2024, doi: 10.3390/biochem4040017.

[5]. J. J. Bello-Bello, G. G. García-García y L. Iglesias-Andreu, "Conservación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) bajo condiciones de lento crecimiento *in vitro*", *Rev. Fitotec. Mex.*, vol. 38, no. 2, pp. 165–171, 2015.

[6]. FAOSTAT, "Producción y comercio de vainilla: país por producto". [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. Accedido: 19-nov-2025.

[7]. A. Santillán-Fernández, M. Trejo Cabrera, A. Martínez Sánchez, L. Martínez Ángel, N. Vásquez Bautista y S. L. Mejía, "Potencial productivo de *Vanilla planifolia* Jacks en el Totonacapan, México, mediante técnicas geográficas", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, vol. 10, no. 4, pp. 789–802, 2019, doi: 10.29312/remexca.v10i4.1810.

[8]. P. Giridhar y G. A. Ravishankar, "Efficient micropropagation of *Vanilla planifolia* Andr. under the influence of thidiazuron, zeatin and coconut milk", *Indian J. Biotechnol.*, vol. 3, pp. 113–118, 2004. [En línea]. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20043028621. Accedido: 20-nov-2025.

[9]. A. H. Chambers, "Vanilla (*Vanilla* spp.) Breeding", en *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*, J. M. Al-Khayri, S. M. Jain y D. V. Johnson, Eds. Cham, Suiza: Springer, 2019, pp. 707–734, doi: 10.1007/978-3-030-23265-8_18.

[10]. C.-H. Yeh, K.-Y. Chen y Y.-I. Lee, "Asymbiotic germination of *Vanilla planifolia* in relation to the timing of seed collection and seed pretreatments", *Bot. Stud.*, vol. 62, no. 1, p. 6, may 2021, doi: 10.1186/s40529-021-00311-y.

[11]. Q. C. Wang, B. Panis, F. Engelmann, M. Lambardi y J. P. T. Valkonen, "Cryotherapy of shoot tips: a technique for pathogen eradication to produce healthy planting materials and prepare healthy plant genetic resources for cryopreservation", *Ann. Appl. Biol.*, vol. 154, no. 3, pp. 351–363, jun. 2009, doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00308.x.

[12]. A. Shahzad *et al*., "Historical Perspective and Basic Principles of Plant Tissue Culture", en *Plant Biotechnology: Principles and Applications*, M. Z. Abdin, U. Kiran, Kamaluddin y A. Ali, Eds. Singapore: Springer, 2017, pp. 1–36, doi: 10.1007/978-981-10-2961-5_1.

[13]. T. Murashige y F. Skoog, "A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures", *Physiol. Plant.*, vol. 15, no. 3, pp. 473–497, 1962, doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x. [En línea]. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00319317&AN=15754114. Accedido: 20-nov-2025.

[14]. C. Gopi, T. M. Vatsala y P. Ponmurugan, "In vitro multiple shoot proliferation and plant regeneration of *Vanilla planifolia* Andr.—A commercial spicy orchid", *J. Plant Biotechnol.*, vol. 8, no. 1, pp. 37–41, 2006.

[15]. R. Chitra, R. Arulmozhiyan, M. Jawaharlal y E. Vadivel, "Micropropagation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews)", *J. Plantation Crops*, vol. 35, no. 2, pp. 111–113, 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20073261583. Accedido: 20-nov-2025.

[16]. Z. Abebe, A. Mengesha, A. Teressa y W. Tefera, "Efficient in vitro multiplication protocol for *Vanilla planifolia* using nodal explants in Ethiopia", *Afr. J. Biotechnol.*,

vol. 8, no. 24, pp. 6817–6821, 2009. [En línea]. Disponible en: https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/68674/0. Accedido: 20-nov-2025.

[17]. S. Gantait, N. Mandal y S. Bhattacharyya, "Mass multiplication of *Vanilla planifolia* with pure genetic identity confirmed by ISSR", *Int. J. Plant Dev. Biol.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–23, 2009. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/92196311/IJPDB_3118-23o.pdf. Accedido: 20-nov-2025.

[18]. B. C. Tan, C. F. Chin y P. Alderson, "Optimisation of plantlet regeneration from leaf and nodal derived callus of *Vanilla planifolia* Andrews", *Plant Cell Tissue Organ Cult. (PCTOC)*, vol. 105, no. 3, pp. 457–463, jun. 2011, doi: 10.1007/s11240-010-9866-6.

[19]. P. Digonzelli, L. Díaz y S. Carrizo de Bellone, "Uso de PPM (Plant Preservative Mixture) para controlar contaminantes bacterianos en la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar", *Rev. Fac. Agron.*, vol. 22, no. 1, pp. 23–33, 2005.

[20]. J. B. Azofeifa-Bolaños, "Efecto de la desinfección de segmentos nodales sobre el rendimiento morfogenético de vitroplantas de *Vanilla planifolia* Andrews", *Agron. Mesoam.*, vol. 30, no. 1, pp. 33–49, 2019, doi: 10.15517/am.v30i1.32360.

[21]. E. F. George, M. A. Hall y G.-J. De Klerk, Eds., *Plant Propagation by Tissue Culture*, 3.ª ed., vol. 1: *The Background*. Dordrecht, Países Bajos: Springer, 2008, pp. 65–175.

[22]. A. Shahzad, M. Faisal y M. Anis, "Micropropagation through excised root culture of *Clitoria ternatea* and comparison between *in vitro*–regenerated plants and seedlings", *Ann. Appl. Biol.*, vol. 150, no. 3, pp. 341–349, jun. 2007, doi: 10.1111/j.1744-7348.2007.00132.x.

[23]. N. F. Ordóñez, J. Tupac Otero y M. C. Díez, "Hongos endófitos de orquídeas y su efecto sobre el crecimiento en *Vanilla planifolia* Andrews", *Acta Agron.*, vol. 61, no. 3, pp. 282–290, 2012.

[24]. M. A. Ramírez-Mosqueda y L. G. Iglesias-Andreu, "Indirect organogenesis and assessment of somaclonal variation in plantlets of *Vanilla planifolia* Jacks", *Plant Cell Tissue Organ Cult. (PCTOC)*, vol. 123, no. 3, pp. 657–664, dic. 2015, doi: 10.1007/s11240-015-0868-2.

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar. La investigación fue financiada por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y los autores.

Copyright (2026) © Yaricza Nallely Quintanilla-Guarochico, Alex Vladimir Guanoquiza-Toaquiza, Eduardo Fabián Quinatoa-Lozada, Kleber Augusto Espinosa-Cunuhay

Este texto está protegido bajo una licencia
Creative Commons de Atribución Internacional 4.0