Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Artículo

Ultrasonido y control oxidativo en el establecimiento de portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7'

Carlos Josué Peñaloza-Remigio [1]
Gregorio Arellano-Ostoa [1, §]
Eduardo García-Villanueva [1]
Sergio Humberto Chávez-Franco [1]
Alejandro F. Barrientos-Priego [2]
Iván Franco-Gaytán [3]

1 Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56264. (joshuacjm12@gmail.com; egarciav@colpos.mx; sergiocf@colpos.mx).

2 Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (abarrientosp@chapingo.mx).

3 Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdéz núm. 1200, Matamoros, Coahuila, México. CP. 27440. (franco.ivan@inifap.gob.mx).

Autor para correspondencia: arellano@colpos.mx

Resumen

El establecimiento *in vitro* de *Persea americana* está limitado por la contaminación microbiana y oxidación, procesos dependientes del genotipo. Este estudio evaluó la desinfestación y control oxidativo en los portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7' mediante dos experimentos factoriales: uno 2×2 comparando nanopartículas de plata (NPsAg) y protocolo químico secuencial (PQS) y otro 2×4 analizando sistemas antioxidantes con agitación ultrasónica. Un tercer experimento evaluó ápices meristemáticos de ~400 µm. El PQS fue el tratamiento más efectivo para 'Velvick', alcanzando 75% de establecimiento y reduciendo la contaminación fúngica y bacteriana al 20%, mientras que en 'Duke 7' el establecimiento fue de 48% con alta contaminación bacteriana. Las NPsAg fueron menos eficientes en ambos portainjertos. En 'Velvick', el ácido ascórbico (800 mg L^{-1}) y L cisteína (50 mg L^{-1}) redujeron la oxidación de 82% a 20% y promovieron mayor crecimiento, mientras que en 'Duke 7' la oxidación permaneció elevada (61%) sin mejoras en desarrollo. La agitación ultrasónica potenció la acción del PQS. No obstante, más del 90% de los ápices de 400 µm mostraron oscurecimiento total antes de 15 días. En conclusión, 'Velvick' responde mejor a la desinfestación química asistida con ultrasonido y antioxidantes a 800 mg L^{-1} de ácido ascórbico ó 50 mg L^{-1} de L-cisteina, mientras que 'Duke 7' requiere ajustes adicionales.

Palabras clave:

Persea americana, desinfestación química, nanopartículas de plata, ápices meristemáticos, agitación ultrasónica.

License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Introducción

El interés por la propagación del aguacate (*Persea americana* Mill.) ha aumentado debido a la demanda global y alto valor económico y nutricional del cultivo (Esgrina, 2026). Sin embargo, la reproducción sexual genera elevada variabilidad genética, dificultando la obtención de plantas uniformes (Bedoya-Ramírez *et al*., 2023; Martínez-Villagómez *et al*., 2025).

En este contexto, los portainjertos clonales se han convertido en una herramienta fundamental para asegurar identidad genética, mejorar el rendimiento y facilitar el manejo agronómico (Meza-Castillo *et al*., 2018; Castro-Garibay *et al*., 2023), además de adelantar la entrada en producción (Hiti-Bandaralage *et al*., 2018). A pesar de su importancia, la micropropagación de aguacate presenta retos significativos debido a su carácter recalcitrante, como la baja capacidad de rizogénesis y supervivencia en aclimatación (Hiti-Bandaralage *et al*., 2017).

A ello se suma la alta incidencia de contaminación microbiana, en especial cuando el material proviene de campo y contiene endófitos difíciles de eliminar (Turina y Bima, 2017; Alonso-Fernández *et al*., 2019), así como pérdidas derivadas de contaminantes introducidos durante la manipulación (Hernández y González, 2010). Diversas estrategias de desinfestación han sido empleadas para reducir la contaminación microbiana durante el establecimiento *in vitro* de especies leñosas.

Entre las más utilizadas se encuentran los tratamientos con fungicidas, bactericidas, hipoclorito de sodio, etanol y compuestos cúpricos, los cuales permiten disminuir la carga microbiana superficial y endófita presente en los explantes. Sin embargo, la eficiencia de estos métodos depende de la especie, el genotipo y el origen del material vegetal, por lo que frecuentemente es necesario combinar diferentes agentes químicos para incrementar el porcentaje de establecimiento y reducir las pérdidas por contaminación (Leifert y Cassells, 2001; Castro *et al*., 2023).

Otra limitante es la oxidación del explante, generada por la actividad de enzimas como polifenol oxidasa (PPO) y tirosinasas tras el daño al tejido, produciendo quinonas tóxicas que reducen la viabilidad del explante (Amente y Chimdessa, 2021). Este proceso está estrechamente relacionado con la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (García-Cabrera *et al*., 2025).

Para mitigar estos efectos, se han utilizado estrategias como etiolación y antioxidantes (carbón activado, ácido cítrico, ácido ascórbico), destacando este último a 100 mg L^{-1} por su alta eficacia (Dobránszki y Teixeira-da Silva, 2010; Güler *et al*., 2021). Dado que la desinfección convencional puede ser insuficiente, el uso de nanopartículas de plata (NPsAg), representa una alternativa relevante por su actividad biocida y efecto positivo en la morfogénesis (Andújar *et al*., 2020; Pérez-Caselles *et al*., 2023).

Su acción antimicrobiana permite reducir la presencia de bacterias y hongos mediante la alteración de funciones celulares esenciales, contribuyendo a mantener la sanidad de los cultivos *in vitro* sin generar efectos fitotóxicos significativos en los tejidos vegetales. Además, su mecanismo de acción disminuye la probabilidad de que los microorganismos desarrollen resistencia, en comparación con los métodos convencionales basados en antibióticos (Chávez-García *et al*., 2020). Por otra parte, se ha utilizado diferentes productos químicos con actividad fungicida o bactericida para mejorar el establecimiento de los explantes.



DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Entre los compuestos más utilizados se encuentran fungicidas como Captan y Mancozeb, así como bactericidas a base de cobre y antibióticos específicos, los cuales han mostrado distintos niveles de eficacia dependiendo de la especie vegetal y del tipo de contaminante presente (Loyola-Vargas y Ochoa-Alejo, 2012). Asimismo, cuando la contaminación sistémica persiste, el cultivo de meristemos es clave para obtener plantas libres de patógenos y producir material clonal de calidad (Castro-Garibay *et al*., 2023; RamírezMosqueda *et al*., 2025).

Los portainjertos de aguacate 'Velvick' y 'Duke 7' presentan respuestas diferenciales al establecimiento *in vitro*; por lo tanto, la combinación de desinfestación química secuencial, antioxidantes y agitación ultrasónica permitirá obtener mayores porcentajes de establecimiento y menores niveles de contaminación y oxidación fenólica que con el sólo uso de nanopartículas de plata.

Con base en esta problemática, el presente estudio evaluó en los portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7': i) la eficacia de NPsAg frente a la desinfestación química asistida con ultrasonido; ii) diferentes sistemas antioxidantes para reducir la oxidación fenólica; y iii) la viabilidad de establecer meristemos de aproximadamente 400 µm.

Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones de manejo

El estudio se realizó en el laboratorio de biotecnología y estructura de frutales del Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad (PREGEP)-Colegio de Postgraduados (Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México). Se emplearon varetas jóvenes (10-15 cm; 3-4 meses) de los portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7', provenientes de plantas madre injertadas sobre patrón criollo.

El material se mantuvo en termoterapia solar (42 °C) dentro de un invernadero de vidrio una semana antes del establecimiento, se fertilizó con 5% de lombricomposta, riego con solución Steiner + 10% lixiviado y aplicaciones preventivas de Amistar Gold® (Azoxistrobin y Difenoconazo), Tecto 60® (Tiabendazol) y Captan® 50 (N-(triclorometiltio) ciclohex-4-en-1,2- dicarboximida).

Establecimiento *in vitro*

El establecimiento *in vitro* se realizó mediante repeticiones independientes del experimento con el fin de verificar la reproducibilidad de los experimentos 1 y 2. Las varetas de tres meses de crecimiento se deshojaron y lavaron durante 5 min con agua corriente + Axion® (2 ml L^{-1}) + 10% de cloro comercial Cloralex® + 0.1 ml L^{-1} Tween 20, con fricción suave. Se seccionaron en segmentos de 1.5-2 cm con dos yemas de ambos portainjertos (miniestaca); en 'Velvick' se disectaron microápices (400-500 µm).

Los explantes se sembraron en medio Yashuda (Yashuda *et al*., 1985) para 'Velvick' y en Woody Plant Medium (WPM; Lloyd y McCown, 1981) para 'Duke 7'. La utilización de medios diferentes obedeció a la respuesta de los portainjertos durante las etapas preliminares de establecimiento, ya que 'Velvick' mostró mejor comportamiento en el medio Yashuda, mientras que 'Duke 7' respondió favorablemente al WPM, medio ampliamente utilizado en la micropropagación de especies leñosas ambos medios suplementados con 0.5 mg L^{-1} de N6-benciladenina (BA), 0.05 mg L^{-1} ácido naftalenacetico (ANA), 30 g L^{-1} sacarosa, 4.5 g L^{-1} agar, pH 5.7.

Para los microápices se agregó carbón activado (2 g L^{-1}) al medio de cultivo. Los medios se esterilizaron a 120 °C/1.5 atm por 20 min. La incubación fue a 25 ±2 °C, con 16 h luz/8 h oscuridad. E intensidad lumínica de 40.5 µmol m^{-2} s^{-1}.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Preparación de soluciones base (tratamientos de antioxidantes)

Con el fin de mitigar la oxidación fenólica durante todo el proceso experimental, se prepararon las siguientes soluciones. 1) solución control (agua destilada estéril sin antioxidantes); 2) solución A (agua destilada estéril con 800 mg L^{-1} de ácido ascórbico); 3) solución B (agua destilada estéril con 25 mg L^{-1} de L-cisteína (Merck®); y 4) solución C (agua destilada estéril con 50 mg L^{-1} de L-cisteína (Merck®).

Protocolo con nanopartículas de plata (NPsAg)

Las nanopartículas tienen formas esferoides, diámetros de 35 ±15 nm con una concentración de plata metálica del 1.2% (peso). Se realizó la inmersión de las microestacas en una solución antioxidante (A) más nanopartículas de plata (AgROVIT-CP®) a una concentración de 75 mg L^{-1} + 0.1 ml L^{-1} de Tween 20 en plancha de agitación durante 30 min, posteriormente se realizaron dos enjuagues con la solución (A) estéril.

Protocolo químico secuencial (PQS)

El PQS se aplicó en ambos portainjertos dentro de una campana de flujo laminar, utilizando la solución antioxidante A y agitador ultrasónico Baku BK9050 (50 W). El procedimiento constó de tres etapas: etapa 1) inmersión de los explantes en la solución A + System Cu® (gluconato de cobre al 5.5%) 1 ml L^{-1} + 0.1 ml L^{-1} de Tween 20 durante 15 min, seguida de dos enjuagues con solución A. Etapa 2) inmersión durante 15 min en la solución base según tratamiento, suplementada con Captan (2 g L^{-1}) + Mancozeb® (2 g L^{-1}, Manzeb® 80 WP) + 0.1 ml L^{-1} Tween 20 y posteriormente dos enjuagues con solución A. Etapa 3) (desinfestación superficial) inmersión rápida en etanol al 70 % + Tween 20 durante 1 min, seguida de un lavado final con dos enjuagues de la solución A.

Variables evaluadas

Se registró la contaminación fúngica y bacteriana a los 27 días después del establecimiento (DDE). La oxidación del explante se determinó mediante una escala visual: grado 0 = sin oxidación; grado 1 = oxidación menor al 25%; grado 2 = oxidación entre 25 y 50%, grado 3 = oxidación superior al 50% del explante. El establecimiento se definió por oxidación menor a grado 3 y más de 50% de tejido verde del explante.

Diseño experimental y tratamientos para mini estacas

El estudio comprendió tres experimentos dirigidos a evaluar la eficiencia de protocolos de desinfestación, el efecto de antioxidantes y la viabilidad del establecimiento de ápices en los portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7'.

Experimento 1. Desinfestación en miniestacas

Se evaluó la efectividad de dos protocolos de desinfestación mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2, empleando 60 repeticiones por tratamiento y por portainjerto (total = 240 unidades experimentales). Cada explante correspondió a una unidad experimental. Factor A (portainjerto): 'Velvick' y 'Duke 7'. Factor B (protocolo de desinfestación): T1 = nanopartículas de plata (NPsAg, 75 mg L^{-1}); T2= protocolo químico secuencial (PQS) (system cu® + fungicidas + etanol).

Experimento 2. Eficiencia de antioxidantes

Se evaluó la respuesta de los explantes a dos antioxidantes a diferente concentración con un arreglo factorial 4×2, con 60 repeticiones por tratamiento y por portainjerto, para un total de 480 unidades experimentales. Factor A (genotipo): 'Velvick' y 'Duke 7', factor B (tratamientos): T0 = control (agua destilada estéril); T1 = 800 mg L^{-1} ácido ascórbico; T2 = 25 mg L^{-1} L-cisteína; T3 = 50 mg L^{-1} L-cisteína.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Los experimentos fueron repetidos para verificar la reproducibilidad de los resultados, por lo que los datos presentados corresponden a los valores promedio de las repeticiones realizadas.

Experimento 3. Establecimiento de microápices (~400 µm)

Los microápices fueron evaluados durante los primeros 27 días de cultivo. Debido a la elevada incidencia de oxidación y mortalidad observada antes de los 15 días, los resultados se presentan de forma descriptiva a partir de la evaluación final. Se establecieron 120 microápices de yemas axilares (60 por genotipo) disectados con ayuda de un estereoscopio dentro de una campana de flujo laminar y desinfestados mediante el PQS suplementado con L-cisteína 50 mg L^{-1}.

Debido a que el 100% de los explantes presentó oxidación severa (grado 3), los datos se analizaron de manera descriptiva. Las diferencias en contaminación bacteriana y fúngica entre genotipos se evaluaron mediante prueba t tras transformación arcoseno.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron en R, verificando normalidad (Shapiro–Wilk) y homocedasticidad (Levene). Las variables porcentuales se transformaron mediante

$$y = \text{arcoseno}\sqrt{\frac{x}{100}}$$

Se aplicaron Anova (2×2 y 2×4) y prueba de Tukey para la separación de medias ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Eficiencia de protocolos de desinfestación

El análisis estadístico mostró interacción significativa entre genotipo y protocolo de desinfestación ($p \leq 0.05$), lo que evidenció respuestas contrastantes entre 'Velvick' y 'Duke 7' durante el establecimiento *in vitro* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de los protocolos de desinfestación en 'Velvick' y 'Duke 7' a los 27 después del establecimiento (DDE).

Tratamiento	Genotipo	Hongos (%)	Bacterias (%)	Establecimiento (%)
T1 (NPsAg)	Velvick	28.33 a	36.67 b	55 b
T2 (PQS)	Velvick	20 a	20 c	75 a
T1 (NPsAg)	Duke 7	33.33 a	45 a	45 c
T2 (PQS)	Duke 7	30 a	43.33 a	48.33 c

Las letras diferentes dentro de las columnas por portainjerto indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$); N= 60 explantes por tratamiento y portainjerto.

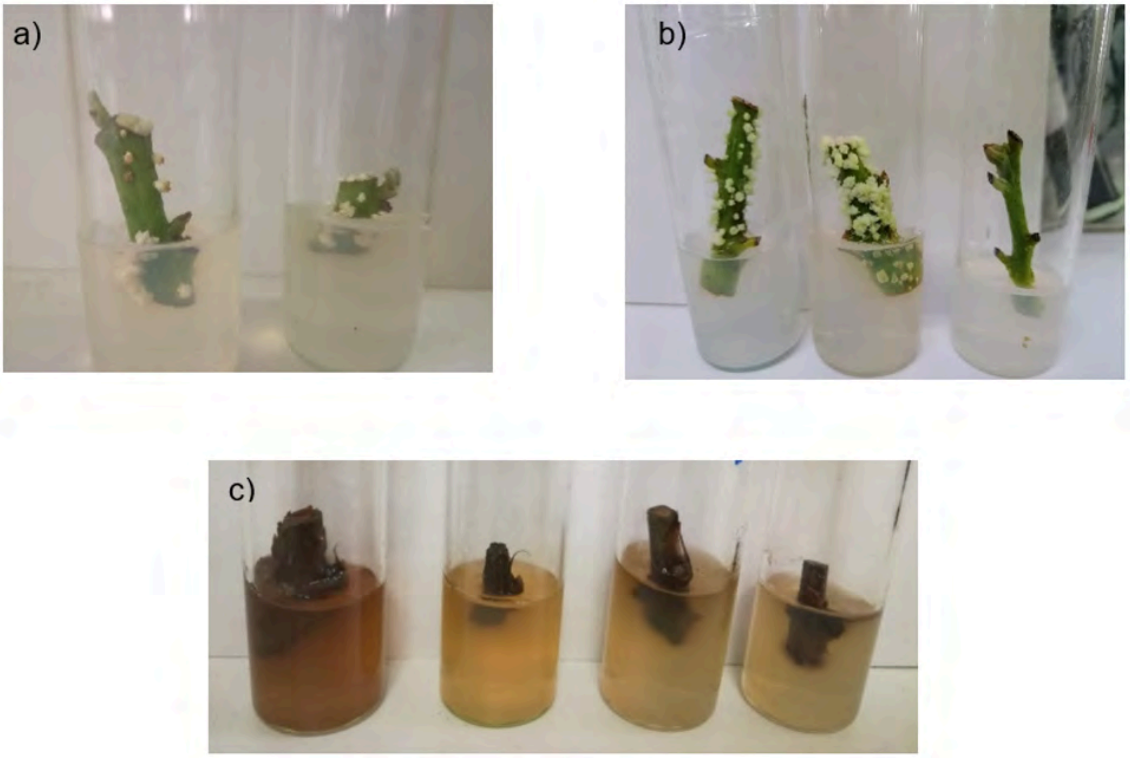
En 'Velvick', el protocolo químico secuencial (PQS) registró mayor eficiencia, con 75% de establecimiento y reducción simultánea de la contaminación fúngica y bacteriana hasta 20%. En contraste, el tratamiento con nanopartículas de plata (NPsAg, T1) alcanzó solo 55% de establecimiento, reflejando menor efectividad.

En 'Duke 7', la eficiencia fue inferior en ambos protocolos, con máximo de 48% en PQS e incidencia bacteriana superior a 40%, sin diferencias estadísticas entre tratamientos, se observó que la aparición de contaminación bacteriana 25 días después del establecimiento lo que sugiere la presencia de endófitos persistentes difíciles de eliminar mediante desinfestación superficial.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Este comportamiento más heterogéneo coincide con el mayor grado de recalcitrancia y sensibilidad de los genotipos de raza mexicana (Figura 1), fenómeno ampliamente reportado en aguacate (Harahap *et al*., 2025; SánchezHernández *et al*., 2025).

Figura 1. Tratamientos de desinfestación durante el establecimiento *in vitro* de microestacas. a) 'Velvick'; b) 'Duke 7' a los 27 DDE con PQS y microestacas; y c) 'Duke 7' con oxidación completa y presencia bacteriana con NPAg.



La superioridad del PQS en 'Velvick' podría atribuirse a la sinergia entre fungicidas, bactericidas y etanol, junto con la acción física del ultrasonido, que incrementa la penetración de los agentes biocidas al romper biofilms superficiales, tal como se ha descrito en olivo y otras especies leñosas (Turina y Bima, 2017), en *Xanthosoma sagittifolium* donde se realizó hipoclorito de sodio al 3 y 2% más 15 min de lavado ultrasónico se obtuvo el 77.8% de establecimiento (Vilchez *et al*., 2011).

Por su parte Király y Dobránszki (2025) también señalan que la ultrasonicación puede mejorar la eficiencia de la micropropagación y modular la respuesta fisiológica de los tejidos como en los entrenudos de uva y la parte media de la lámina foliar de manzano.

La menor eficacia de las NPsAg frente a contaminantes internos se atribuye probablemente al grosor de la pared celular del patógeno (Huaman *et al*., 2025) o a efectos fitotóxicos subletales; por ejemplo, en olivo, 100 mg L^{-1} durante 60 minutos eliminaron el 100% de la contaminación, pero causaron la muerte de la mayoría de los explantes por toxicidad (Jan *et al*., 2026).

Eficiencia de los antioxidantes

El análisis factorial mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las soluciones antioxidantes evaluadas (Cuadro 2). En 'Velvick', el ácido ascórbico (800mgL^{-1}) y L-cisteína (50mgL^{-1}) redujeron la oxidación fenólica, pasando de 82% en el control a valores menos del 20%, lo que además favoreció el crecimiento de brotes hasta 0.32mm.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Cuadro 2. Efectos antioxidantes sobre la oxidación y longitud de los brotes de los portainjertos Velvick y Duke 7, bajo el protocolo químico secuencial (PQS).

Portainjerto tratamiento	'Velvick'		'Duke 7'	
	Oxidación (%)	Longitud brote (mm)	Oxidación (%)	Longitud brote (mm)
T0 (Control)	82.3 ±2.8 c	0.07 ±0.04 c	77.9 ±2.9 b	0.1 ±0.05 a
T1 (AA 800)	17.5 ±2.7 a	0.32 ±0.04 a	63.3 ±3.6 a	0.12 ±0.05 a
T2 (L-cis 25)	64.5 ±4.2 b	0.21 ±0.08 b	61.3 ±3.2 a	0.21 ±0.07 a
T3 (L-cis 50)	18.8 ±2.1 a	0.25 ±0.05 a	77.8 ±2.2 b	0.18 ±0.06 a

Las letras diferentes dentro de las columnas por portainjerto indican diferencias significativas (Tukey, p≤ 0.05); ± error estándar; N= 60 explantes por tratamiento y portainjerto.

Esta respuesta coincide con lo referido por Güler *et al*. (2021), quienes destacan la eficacia de los agentes reductores como ácido ascórbico más ácido cítrico a una concentración de 100 y 40 mg L^{-1} neutralizaron fenoles y quinonas. También estos resultados son similares a los reportados por Restrepo-Osorio *et al*. (2018); García-Cabrera *et al*. (2025), quienes confirman que la oxidación fenólica de los tejidos constituye uno de los principales obstáculos para el establecimiento *in vitro* del aguacate.

En 'Duke 7', aunque la L-cisteína (50 mg L^{-1}) redujo la oxidación 17 % respecto al testigo, esto no se tradujo en mayor crecimiento, manteniéndose valores < 0.21 mm. Asimismo, el control presentó > 75% de oxidación, similar a la dosis baja de L-cisteína (25 mg L^{-1}).

Estas diferencias sugieren que la capacidad antioxidante endógena y la dinámica de fenoles son fuertemente dependientes del portainjerto, como 'Duke 7' que mostró una mayor tendencia a la oxidación que 'Velvick', coincidiendo con reportes previos que identifican a 'Duke 7' es uno de los portainjertos más susceptibles a la oxidación durante el establecimiento *in vitro*.

En contraste, materiales como 'Velvick', 'Lula' y algunos genotipos criollos presentan menores niveles de oxidación (García-Cabrera *et al*. 2025; Restrepo-Osorio *et al*., 2026). La elevada sensibilidad del aguacate al estrés oxidativo, atribuida al alto contenido fenólico, continúa siendo una de las principales barreras para su establecimiento *in vitro*.

En especies leñosas recalcitrantes, el control del pardeamiento suele lograrse con dosis bajas de antioxidantes; sin embargo, en aguacate se requieren estrategias combinadas, incluyendo etiolación reportada en aguacate Hass (Restrepo-Osorio *et al*., 2026), ya que esta reduce la síntesis de clorofila y la actividad fotosintética, lo que disminuye la generación de ROS (López-Galé *et al*., 2024).

Por otro lado, enzimas implicadas en la eliminación de ROS y los antioxidantes de bajo peso molecular, como el ácido ascórbico y el tocoferol, han mejorado su actividad tras las vibraciones ultrasónicas a los tejidos (Dobránszki *et al*., 2017; Pesti-Asbóth *et al*., 2022).

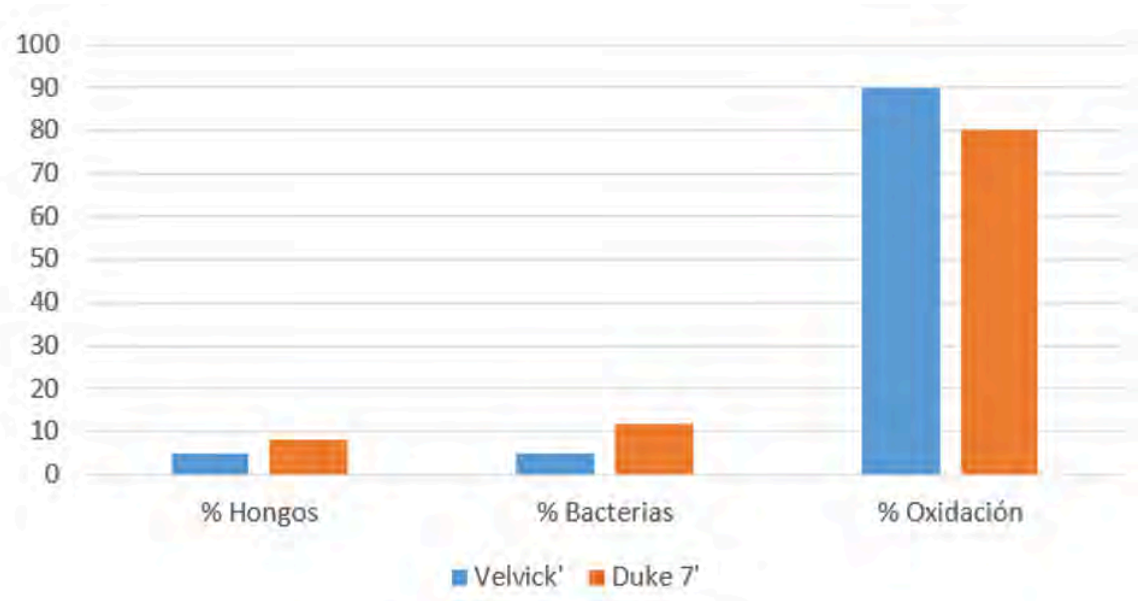
Establecimiento de microápices

En los microápices con 400µm de tamaño no se encontraron diferencias significativas entre portainjertos para contaminación bacteriana o fúngica ($p \geq 0.05$) (Figura 2), aunque 'Duke7' presentó valores ligeramente mayores (8.33% fúngica; 11.67% bacteriana). Sin embargo, la oxidación severa fue absoluta, con cerca del 90% de oscurecimiento total (grado 3) antes de los 15 días en ambos portainjertos, lo que produjo un establecimiento nulo.



DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Figura 2. Efecto del protocolo quimico secuencial en el establecimiento de microápices (≈ 400 µm) de los portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7'.



La elevada incidencia de oscurecimiento observada en los microápices sugiere una alta susceptibilidad al estrés oxidativo durante el establecimiento *in vitro*. Estudios previos en portainjertos de aguacate han reportado que la actividad de enzimas antioxidantes, como la peroxidasa (POD), participa en la neutralización de especies reactivas de oxígeno (ROS) y puede influir en la supervivencia de los explantes bajo condiciones de cultivo *in vitro* (García-Cabrera *et al*., 2025).

Sin embargo, la actividad antioxidante en los microápices de 'Velvick' y 'Duke 7' no fue evaluada en el presente estudio, por lo que los mecanismos fisiológicos asociados al oscurecimiento requieren investigación adicional.

Si bien el cultivo de meristemos es la herramienta más efectiva para eliminar patógenos sistémicos, su aplicación en aguacate requiere estrategias complementarias, tales como etiolación previa (Restrepo-Osorio *et al*., 2018; García-Cabrera *et al*., 2025), suplementación cálcica (Hiti-Bandaralage *et al*., 2017), atmósferas reducidas o el uso de antioxidantes de liberación lenta (Teixeira-Da Silva *et al*., 2020), debido a la alta propensión a la oxidación.

Conclusiones

La eficiencia en el establecimiento *in vitro* de los portainjertos de aguacate estuvo determinada por la interacción entre la contaminación microbiana, la oxidación del explante y la respuesta específica de cada portainjerto. El protocolo químico secuencial asistido por ultrasonido permitió alcanzar el mayor establecimiento en 'Velvick', mientras que 'Duke 7' presentó limitaciones asociadas a una mayor contaminación bacteriana y oxidación.

El ácido ascórbico (800 mg L^{-1}) y la L-cisteína (50 mg L^{-1}) redujeron significativamente la oxidación en el portainjerto 'Velvick' pero tuvieron un efecto limitado en 'Duke 7'. Bajo las condiciones de este estudio, el establecimiento de microápices de aproximadamente 400 µm fue nulo debido a la elevada oxidación del tejido.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Agradecimientos

El primer autor, agradece a SECIHTI por la beca de doctorado durante la realización de este proyecto.

Bibliografía

1 Alonso-Fernández, M. A.; Beltrán-Olaya, A. B.; Gelvez-Delgado, J. y Martínez-Villarraga, J. P. 2019. Evaluación de dos protocolos de desinfección para establecimientos *in vitro* de portainjertos de aguacate (*Persea americana*) var. Criollo. II Simposio Nacional de Investigación en Ciencias Pecuarias y Agroempresariales del Magdalena Medio. 34-49 pp.

2 Amente, G. and Chimdessa, E. 2021. Control of browning in plant tissue culture: a review. Journal of Scientific Agriculture. 5:67-71. https://doi.org/10.25081/jsa.2021.v5.7266.

3 Bedoya-Ramírez, S. I.; Saavedra-Porras, S.; Loaiza-Ruíz, R. A.; Barrera-Sánchez, C. F., and Córdoba-Gaona, O. J. 2023. Physiological and morphological characterization of avocado creole (*Persea americana* Mill.) accessions for elite rootstocks. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 17(2):e15830. https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15830.

4 Castro-Garibay, S. L.; Villegas-Monter, A.; Hernández-Nava, G. A.; Mendoza-Ramos, C.; Martínez-Villagómez, M.; Reyes Quiroz, C. and Aranda-Ocampo, S. 2023. Alternatives products in the *in vitro* disinfestation in rootstock explants duke-7 and identification of endophyte microorganisms. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 27(1):1-12. https://doi.org/10.56369/tsaes.5005.

5 Chávez-García, J. A.; Andrade-Rodríguez, Ma.; Bello-Bello, J. J.; Rueda-Barrientos, Ma. C.; Guillén-Sánchez, D. and Sainz-Aispuro, M. J. 2020. Nanopartículas de plata en el establecimiento *in vitro* de ápices de gladiolo. Revista Fitotecnia Mexicana. 43(4-A):557. https://www.revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/834/794.

6 Dobránszki, J.; Asbóth, G.; Homoki, D.; Bíró-Molnár, P.; Teixeira-Da Silva, J. A. and Remenyik, J. 2017. Ultrasonication of *in vitro* potato single node explants: activation and recovery of antioxidant defence system and growth responses. Plant Physiology and Biochemistry. 121:153-160. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.10.022.

7 Esgrina, F. O.; Tan, R. J.; Baldo, N. B.; Dargantes, S. M. T.; Amper, C. D.; Marin, M. M.; Abello, Ma. J. M; Pedroso, M. L. and Alagos. A. L. C. 2026. Microclonal success of avocado using different scions and clonal rootstock varieties. Asia-Pacific Journal of Science and Technology. 31(1):1-9. https://doi.org/10.14456/APST.2026.14.

8 García-Cabrera, F.; Castro, M.; Cautin, R.; Estay, C.; Guzmán, L.; Marchant, M. J. and Guerra, F. 2025. Optimizing *in vitro* establishment protocols for 'merensky 2' avocado rootstock (*Persea americana* Mill.). Horticulturae. 11(8):900. https://doi.org/10.3390/horticulturae11080900.

9 Güler, G.; Gübbük, H. and Arslan, M. A. 2021. The effect of antioxidants on micropropagation of avocado by nodal segments. Horticultural studies. 38(1):50-55. https://doi.org/10.16882/hortis.900936.

10 Harahap, A. M.; Agustini, K.; Nuralih, N.; Ningsih, S.; Widyastuti, Y. and Bahtiar, A. 2025. LC-HRMS profiling and *in vitro* total phenolics, total flavonoids, antioxidant and cytotoxicity evaluation on MCF7 breast cancer cell lines of the extracts and fractions of *aerva sanguinolenta* from Java, Indonesia. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 15(06):265-276. https://doi.org/10.7324/JAPS.2025.227288.

11 Hernández, Y. y González, M. E. 2010. Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento *in vitro* de frutales perennes. Cultivos Tropicales. 31(4):58-69. https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218885008.pdf.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

12 Hiti-Bandaralage, J. C. A.; Hayward, A.; O'Brien, C.; Beveridge, C. and Mitter, N. 2018. Acclimatization of micropropagated mature avocado. Acta Horticulturae. 1224:13-20. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1224.3.

13 Hiti-Bandaralage, J. C. A.; Hayward, A. and Mitter, N. 2017. Micropropagation of avocado (*Persea Americana* Mill.). American Journal of Plant Sciences. 8(11):2898-2921. https://doi.org/10.4236/ajps.2017.811197.

14 Huaman, J. J. P., Zavaleta-Espejo, G. G. y Bejarano-Navarrete, E. M. 2025. Mecanismos antibacterianos de nanopartículas de plata obtenidas por síntesis química: una revisión. Arnaldoa. 31(1):171-185. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.311.31109.

15 Jan, S.; Jan, N.; Singh, S.; Shah, M. A. and Bhat, I. A. 2026. Nanotechnology in plant tissue culture: a review. Horticultural Plant Journal. 12(2):237-256. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2025.02.019.

16 Király, A.; Farkas, D. and Dobránszki, J. 2025. Ultrasound in plant life and its application perspectives in horticulture and agriculture. Horticulturae. 11(3):1-28. https://doi.org/10.3390/horticulturae11030318.

17 Lloyd, G. and McCown, B. 1981. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. Combined Proceedings-International Plant Propagator's Society. 30:421-427. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19830315515.

18 López-Galé, Y. D.; Fernando-Martínez, M.; Palacios-Joya, L. P.; Murcia-Riaño, N. and García-Dávila, M. A. 2024. Uniformity in shoot development in avocado grafts and its importance in establishing levels of indirect resistance to *Phytophthora cinnamomi*. Revista Mexicana de Fitopatología. Mexican Journal of Phytopathology. 42(3):1-18. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2311-1.

19 Loyola-Vargas, V. M. y Ochoa-Alejo, N. 2012. Introducción al cultivo de células vegetales: El futuro que nos espera. Plant Cell Culture Protocols. Métodos en biología molecular. 877:1-8. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-818-4-1.

20 Martínez-Villagómez, M.; Barrientos-Priego, A. F.; Mascorro-Gallardo, J. O.; Iturriaga, G. and Espíndola-Barquera, M. de la. C. 2025. E#ect of auxins on the rooting of the avocado rootstock 'Duke 7'. Advances in Horticultural Science. 3(29):175-189. https://doi.org/10.36253/ahsc-16747

21 Meza-Castillo, E.; Barrientos-Priego, A. F.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Reyes-Alemán, J. C.; Borys, M. W. y Espíndola-Barquera, M. de la C. 2018. Caracterización morfológica e histológica de ápices de raíz de portainjertos de aguacate y su resistencia a factores adversos en el suelo. Bioagro. 30(2):107-116.

22 Pérez-Caselles, C.; Burgos, L.; Sánchez-Balibrea, I.; Egea, J. A.; Faize, L.; Martín-Valmaseda, M.; Bogdanchikova, N.; Pestryakov, A. and Alburquerque, N. 2023. The effect of silver nanoparticle addition on micropropagation of apricot cultivars (*Prunus armeniaca* L.) in semisolid and liquid media. Plants. 12(7):1547. https://doi.org/10.3390/plants12071547.

23 Pesti-Asbóth, G.; Molnár-Bíróné, P.; Forgács, I.; Remenyik, J. and Dobránszki, J. 2022. Ultrasonication affects the melatonin and auxin levels and the antioxidant system in potato *in vitro*. Frontiers in Plant Science. 13:979141. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.979141.

24 Ramírez-Mosqueda, M. A.; Cadena-Zamudio, J. D.; Aguirre-Noyola, J. L.; Cruz-Gutiérrez, E. J. y Medina-Armenta, A. 2025. Cultivo *in vitro*: el futuro de la propagación vegetal y sus desafíos en México. Conexión Aura: Ciencia y Cultura. 22-24 pp.

25 Restrepo-Osorio, C.; Gil-Correal, A.; Saavedra-Porras, S.; Cárdenas-Ortiz, L.; Chamorro-Gutiérrez, L. and Villanueva-Mejía, D. 2026. An efficient protocol for clonal propagation of avocado (*Persea americana* Mill.) rootstocks via etiolation-enhanced micropropagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 164(3):1-16. https://doi.org/10.1007/s11240-026-03386-2.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

26 Sánchez-Hernández, D.; Larsen, J. and Reverchon, F. 2025. Diversity of culturable endophytic fungi associated with avocado orchards under organic and conventional management. Microbiology. 466(82):1-12. https://doi.org/10.1101/2025.01.31.635834.

27 Teixeira-Da Silva, J. A.; Nezami-Alanagh, E.; Barreal, M. E.; Kher, M. M.; Wicaksono, A.; Gulyás, A.; Hidvégi, N.; Magyar-Tábori, K.; Mendler-Drienyovszki, N.; Márton, L.; Landín, M.; Gallego, P. P.; Driver, J. A. and Dobránszki, J. 2020. Shoot tip necrosis of *in vitro* plant cultures: a reappraisal of possible causes and solutions. Planta. 252(3):1-35. https://doi.org/10.1007/s00425-020-03449-4.

28 Turina, C. A. y Bima, P. 2017. Establecimiento *in vitro* de cuatro variedades de olivo cultivadas a campo (*Olea europea* L.). Agriscientia. 34(2):59-68. https://doi.org/10.31047/1668.298x.v34.n2.19041.

29 Vilchez, J.; Albany, N.; Martínez, L., Molina, M.; Alvarez, C. and Leal, E. 2011. Establecimiento *in vitro* de ocumo blanco (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 28(Supl. 1):434-444.

30 Yashuda, T.; Fujii, Y. and Yamaguchi, T. 1985. Embryogenic callus induction from *Coffea arabica* leaf explants by benzyladenine. Plant and Cell Physiology. 26(3):595-597. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076946.



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4197

Ultrasonido y control oxidativo en el establecimiento de portainjertos 'Velvick' y 'Duke 7'

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 August 2026
Date accepted: 01 October 2026
Publication date: 07 November 2026
Publication date: 2026
Volume: 17
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e4197
DOI: 10.29312/remexca.v17i7.4197

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Persea americana
desinfestación química
nanopartículas de plata
ápices meristemáticos
agitación ultrasónica

Counts

Figures: 2
Tables: 2
Equations: 1
References: 30