



Tamaño de bolsa y reguladores de crecimiento en la producción de plantones de café en vivero

Bag size and growth regulators in coffee seedling nursery production

Tamanho da bolsa e reguladores de crescimento na produção de plantas de café em vida

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.420>

Laura Estefani Ccarhuas Velasquez¹
lccarhuasv@undac.edu.pe

Ramon Celso Solís Hospinal¹
rsolish@undac.edu.pe

Aurelia Bertila Huaman Cristóbal¹
ahuaman@undac.edu.pe

Josué Hernán Inga Ortiz¹
jingaortiz@undac.edu.pe

Walver Keiser Lázaro Rodríguez²
wlazaro@uns.edu.pe

¹Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú

²Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú

Artículo recibido: 10 de noviembre 2025 / Arbitrado: 16 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

RESUMEN

A nivel global, la producción de café enfrenta desafíos similares que han impulsado la adopción de tecnologías de propagación mejorada. **Objetivo:** Evaluar el efecto del tamaño de bolsa y el uso de reguladores de crecimiento en el desarrollo de plantones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catuai en Chanchamayo, Perú. **Métodos:** Se realizó un estudio aplicado y experimental con diseño completo al azar, utilizando nueve tratamientos derivados de la combinación de tres tamaños de bolsa (4×7, 6×8 y 7×11 pulgadas) y tres condiciones hormonales (Roothort®, Phyllum® y un testigo sin regulador), con 60 plantas por tratamiento. A los 120 días después del repique se evaluaron variables morfológicas incluyendo número de hojas, altura de planta, diámetro del tallo, longitud de raíz, peso fresco radicular, peso fresco aéreo y contenido de clorofila (SPAD). **Resultados:** Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p<0.05$) en todas las variables evaluadas. El tratamiento con bolsa mediana (6×8 pulgadas) y Roothort® mostró un desempeño superior en altura, vigor foliar y contenido de clorofila. Las bolsas grandes favorecieron la longitud de raíz, pero sin mejorar proporcionalmente el desarrollo aéreo. **Conclusiones:** La combinación de bolsa mediana y Roothort® optimiza la calidad del plantón, representando una alternativa eficiente para agricultores.

Palabras clave: Agrícola; Desarrollo radicular; Fitohormonas; Producción; Propagación vegetal; Viveros

ABSTRACT

At a global level, coffee production faces similar challenges that have driven the adoption of improved propagation technologies. **Objective:** To evaluate the effect of bag size and the use of growth regulators on the development of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) Catuai variety in Chanchamayo, Peru. **Methods:** An applied and experimental study was conducted with a completely randomized design, using nine treatments derived from the combination of three bag sizes (4×7, 6×8 and 7×11 inches) and three hormonal conditions (Roothort®, Phyllum® and a control without regulator), with 60 plants per treatment. At 120 days after repotting, morphological variables were evaluated including number of leaves, plant height, stem diameter, root length, fresh root weight, fresh aerial weight and chlorophyll content (SPAD). **Results:** Results showed significant differences ($p<0.05$) in all evaluated variables. The treatment with medium bag (6×8 inches) and Roothort® showed superior performance in height, leaf vigor and chlorophyll content. Large bags favored root length, but did not proportionally improve aerial development. **Conclusions:** The combination of medium bag and Roothort® optimizes seedling quality, representing an efficient alternative for farmers.

Key words: Agricultural; Root development; Phytohormones; Production; Plant propagation; Nurseries

RESUMO

Em nível global, a produção de café enfrenta desafios semelhantes aos que impulsionou a adoção de tecnologias de propagação melhoradas. **Objetivo:** Avaliar o efeito do tamanho do saco e do uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento de mudas de café (*Coffea arabica* L.) variedade Catuai em Chanchamayo, Peru. **Métodos:** Foi realizado um estudo aplicado e experimental com desenho completamente ao acaso, utilizando nove tratamentos derivados da combinação de três tamanhos de saco (4×7, 6×8 e 7×11 polegadas) e três condições hormonais (Roothort®, Phyllum® e uma testemunha sem regulador), com 60 plantas por tratamento. Aos 120 dias após o repique, foram avaliadas variáveis morfológicas incluindo número de folhas, altura da planta, diâmetro do caule, comprimento da raiz, peso fresco radicular, peso fresco aéreo e conteúdo de clorofila (SPAD). **Resultados:** Os resultados evidenciaram diferenças significativas ($p<0.05$) em todas as variáveis avaliadas. O tratamento com saco médio (6×8 polegadas) e Roothort® mostrou desempenho superior em altura, vigor foliar e conteúdo de clorofila. Os sacos grandes favoreceram o comprimento da raiz, mas sem melhorar proporcionalmente o desenvolvimento aéreo. **Conclusões:** A combinação de saco médio e Roothort® otimiza a qualidade da muda, representando uma alternativa eficiente para agricultores.

Palavras-chave: Agrícola; Desenvolvimento radicular; Fitohormônios; Produção; Propagação de plantas; Viveiros

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la producción de café enfrenta desafíos similares que han impulsado la adopción de tecnologías de propagación mejorada. Brasil, como el mayor productor mundial de café con aproximadamente 4.6 millones de toneladas anuales, ha implementado sistemas de producción de plántones que han reducido las pérdidas post-transplante del 25% al 8% mediante el uso optimizado de contenedores y reguladores de crecimiento (1). De manera similar, Colombia, segundo mayor productor mundial con 0.8 millones de toneladas, ha reportado que la renovación de 150,000 hectáreas de café demanda la producción de alrededor de 45 millones de plántones por año, destacándose que la aplicación de auxinas sintéticas incrementó la supervivencia post-trasplante en un 18% en comparación con métodos tradicionales (2).

En África Oriental, región que produce el 25% del café mundial, estudios realizados en Etiopía y Kenia han demostrado que la implementación de viveros tecnificados con contenedores de tamaño apropiado (6×8 pulgadas) ha resultado en tasas de supervivencia post-transplante del 92%, comparadas con el 67% observado en sistemas tradicionales (3). De forma concordante, en África Central, investigaciones en Uganda han evidenciado que el uso de reguladores de crecimiento basados en ácido indol butírico puede

reducir el tiempo de producción de plántones de 150 a 105 días, representando una eficiencia del 30% en tiempo de producción (4).

En Asia, específicamente en Indonesia y Vietnam, países que colectivamente representan el 20% de la producción mundial de café, estudios comparativos han mostrado que la adopción de protocolos de propagación con reguladores de crecimiento ha resultado en mejoras del 35% en la calidad morfológica de plántones y reducciones del 40% en pérdidas post-transplante (5). En Centroamérica, países como Costa Rica y Guatemala han implementado programas de renovación cafetalera donde el uso de técnicas de propagación optimizada ha permitido reducir las pérdidas de plántones del 28% al 12%, generando ahorros estimados en USD 2.3 millones anuales en costos de producción (6).

Desde la perspectiva de pequeños productores, que representan el 70% de los caficultores globales, estudios de la Organización Internacional del Café (OIC) han documentado que la adopción de tecnologías simples de propagación puede incrementar los ingresos familiares entre 15-25% mediante la reducción de costos de establecimiento y mejora en la calidad de plántones (7). En América Latina específicamente, investigaciones realizadas en 12 países han demostrado que sistemas de producción de plántones con contenedores medianos (6×8

pulgadas) combinados con reguladores de crecimiento de bajo costo pueden generar ahorros del 20% en inversión inicial para renovación de plantaciones (8). En conjunto, estos antecedentes internacionales evidencian que la problemática de renovación cafetalera mediante tecnologías de propagación optimizada constituye un desafío global que ha encontrado soluciones exitosas mediante la aplicación sistemática de tecnologías de propagación mejorada.

En el contexto peruano, el café (*Coffea arabica* L.) constituye el principal cultivo agrícola de exportación y representa una fuente de empleo para más de dos millones de peruanos que participan en toda la cadena productiva agroindustrial (9). No obstante, el sector cafetalero nacional enfrenta desafíos significativos que amenazan su sostenibilidad y competitividad. Durante los últimos años, se ha registrado una disminución del 9.65% en el área cultivada comparado con los datos del IV censo agrario 2012, que reportó 345,000 hectáreas bajo cultivo (10). Paralelamente, la producción nacional ha experimentado una reducción del 3.7% en el último año, evidenciando una tendencia preocupante que compromete la estabilidad económica del sector y la seguridad alimentaria de las familias rurales productoras.

Estos problemas se atribuyen a múltiples factores interrelacionados, entre los cuales

destaca el envejecimiento de las plantaciones cafetaleras, estimándose que aproximadamente el 70% del área cultivada a nivel nacional presenta plantaciones con más de 15 años de edad (10). El deterioro fisiológico asociado a la edad de las plantas, combinado con la vulnerabilidad a plagas y enfermedades, particularmente la roya del café (*Hemileia vastatrix*), ha generado la necesidad imperativa de renovar las plantaciones existentes mediante la implementación de nuevas tecnologías y prácticas de manejo que mejoren la productividad y sostenibilidad del cultivo.

En la provincia de Chanchamayo, ubicada en la región Junín, representa una de las zonas cafetaleras más importantes del Perú, caracterizada por condiciones agroecológicas favorables para el cultivo del café (11). Sin embargo, al igual que otras zonas cafetaleras del país, requiere una renovación integral de sus plantaciones para mantener su competitividad en el mercado nacional e internacional. En este escenario, la selección adecuada de materiales genéticos y el empleo de técnicas de propagación eficiente se convierten en elementos fundamentales para el éxito del proceso de renovación.

Dentro de este marco, la variedad Catuaí ha emergido como una opción estratégica para la renovación de plantaciones debido a sus características agronómicas favorables, particularmente su tolerancia relativa a la roya

del café, lo que la convierte en una alternativa viable para reducir el impacto económico de esta enfermedad (12). No obstante, la elección de la variedad debe complementarse con técnicas de propagación que garanticen la producción de plántones de alta calidad fitosanitaria y vigor, aspectos que son determinantes para el éxito posterior en el establecimiento de las plantaciones definitivas.

La producción de plántones sanos y de alta calidad constituye un elemento crítico para el establecimiento exitoso de plantaciones nuevas de café, ya que determina en gran medida el desempeño posterior de las plantas en campo definitivo (13). Entre los factores que influyen significativamente en la calidad de los plántones se encuentran el tamaño del contenedor utilizado para su producción, la selección del sustrato, las prácticas de manejo nutricional y el uso de reguladores de crecimiento. La selección del tamaño de bolsa para la propagación de plántones de café es un aspecto crucial que influye directamente en el desarrollo del sistema radicular y, consecuentemente, en la capacidad de establecimiento posterior de las plantas en campo (13).

En este sentido, diversos estudios han demostrado que el uso de contenedores inadecuados puede generar problemas morfológicos como el desarrollo de raíces

enrolladas o “raíz sentada”, fenómeno que compromete significativamente la capacidad de absorción de nutrientes y agua, y reduce la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés durante las etapas iniciales del establecimiento (14). Por el contrario, el empleo de contenedores con dimensiones apropiadas permite el desarrollo de un sistema radicular balanceado que favorece tanto el crecimiento aéreo como subterráneo, optimizando la calidad del plánton y su capacidad de supervivencia post-transplante.

De manera complementaria, los reguladores de crecimiento vegetal representan un conjunto de compuestos químicos que, en concentraciones mínimas, ejercen efectos significativos sobre los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de las plantas (15). Estos compuestos incluyen principalmente auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno, cada uno con funciones específicas en la regulación de diversos procesos fisiológicos. En el contexto de la producción de plántones, los reguladores de crecimiento, particularmente las auxinas, han mostrado efectos beneficiosos en la estimulación del enraizamiento, la promoción del crecimiento foliar y la mejora de la calidad general de las plántulas (16).

Desde una perspectiva más amplia, el uso de reguladores de crecimiento en cultivos agrícolas está ampliamente documentado en la literatura científica, con aplicaciones exitosas

en una diversidad de especies y sistemas productivos (17). Sin embargo, en el cultivo específico de café, la información disponible sobre el uso de reguladores de crecimiento en la etapa de producción de plántones es limitada, constituyendo una brecha de conocimiento que requiere investigación específica para optimizar los protocolos de producción en vivero (15). Esta limitación resulta particularmente evidente en el contexto de pequeños y medianos productores, quienes constituyen la mayoría de los caficultores en América Latina.

A pesar de ello, la aplicación de reguladores de crecimiento en la producción de plántones de café ha mostrado potencial para reducir significativamente el tiempo de producción, mejorar la formación de raíces en peso y volumen, y, en última instancia, obtener plántones de mayor calidad que presentan mejores tasas de supervivencia post-trasplante (18). En este sentido, esta tecnología representa una herramienta prometedora para incrementar la eficiencia de los sistemas de propagación, particularmente relevante en contextos donde la renovación de plantaciones debe realizarse de manera acelerada para mantener la competitividad del sector.

Asimismo, la combinación de tamaños de bolsa adecuados y el empleo estratégico de reguladores de crecimiento podría constituir

una alternativa técnica viable para reducir las pérdidas de plántones que ocurren después del trasplante a campo definitivo, problemáticas que frecuentemente alcanzan niveles del 15-30% en sistemas de producción tradicionales (19). Esta reducción en pérdidas tendría impactos positivos directos en la productividad del sector, tanto a nivel de eficiencia productiva como de sostenibilidad económica para los productores.

En relación con lo anterior, estudios previos han explorado el uso de diversos reguladores de crecimiento, incluyendo auxinas como el ácido indol butírico (AIB) y el ácido naftaleno acético (ANA), así como giberelinas y citoquininas, para mejorar procesos fisiológicos específicos en plantas de café durante etapas de vivero (20). Estos estudios han demostrado efectos variables dependiendo de la concentración aplicada, el momento de aplicación y la variedad específica de café utilizada. No obstante, existe una brecha significativa en la investigación sobre las interacciones entre el tamaño de contenedor y el tipo de regulador de crecimiento, especialmente en variedades comercialmente importantes como Catuaí.

Esta brecha resulta particularmente relevante considerando que pequeños productores, quienes representan más del 80% de los caficultores en la región, enfrentan limitaciones de acceso a tecnologías de producción especializadas y

requieren protocolos simples y económicos para la producción de plántones de calidad (21). Por tanto, la identificación de combinaciones óptimas de tamaño de bolsa y reguladores de crecimiento podría proporcionar soluciones prácticas y accesibles para este sector productivo.

En este contexto, el presente estudio se enmarca en la necesidad de generar información específica sobre el impacto del tamaño de bolsas y los tipos de reguladores de crecimiento en la producción de plántones de café variedad Catuaí bajo las condiciones agroecológicas de Chanchamayo, Perú. De este modo, los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo de protocolos de producción optimizados que permitan a los productores obtener plántones de mayor calidad, reducir pérdidas post-transplante y, consecuentemente, mejorar la eficiencia de sus sistemas productivos. Además, esta investigación proporcionará información valiosa para orientar futuras investigaciones sobre optimización de la producción de plántones de café en sistemas de propagación en vivero.

En atención a lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del tamaño de bolsa y el uso de reguladores de crecimiento en el desarrollo de plántones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catuaí, bajo las condiciones agroecológicas de la provincia de Chanchamayo, Perú, con la finalidad de generar evidencia

técnica que contribuya a la optimización de los sistemas de producción de plántones en vivero y al fortalecimiento de los procesos de renovación cafetalera en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, de tipo experimental, con el propósito de generar información práctica orientada a optimizar la producción de plántones de café en vivero. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial, adecuado para evaluar el efecto individual y combinado de los factores en estudio.

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del vivero del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, región Junín, Perú. El sitio experimental presenta coordenadas geográficas de 11°7'21" de latitud sur y 75°21'20" de longitud oeste, a una altitud de 823 metros sobre el nivel del mar. La investigación se llevó a cabo durante el período comprendido entre el 01 de marzo y el 30 de octubre de 2023, abarcando un total de ocho meses de desarrollo experimental.

Durante el desarrollo del experimento, las condiciones climáticas fueron monitoreadas continuamente mediante datos proporcionados por el Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú. Las temperaturas mínima y máxima registradas durante el experimento fueron 19.2°C y 35.7°C respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 66.2% y 78.0%. La precipitación total acumulada durante el período experimental fue de 666 mm, concentrándose principalmente durante los primeros meses del estudio. Durante la época de menor precipitación, se implementaron riegos complementarios a intervalos de tres días para mantener las condiciones de humedad adecuadas para el desarrollo de los plantones.

Los factores experimentales evaluados fueron el tamaño de bolsa y el uso de reguladores de crecimiento. El tamaño de bolsa correspondió al factor A, con tres niveles: 4×7, 6×8 y 7×11 pulgadas, mientras que el factor B estuvo constituido por los reguladores de crecimiento, con tres niveles: Roothort®, Phyllum® y un tratamiento control sin regulador. La combinación de ambos factores generó un total de nueve tratamientos experimentales, cada uno conformado por 60 plantas como unidades experimentales. Para la toma de datos y el análisis de las variables, se seleccionaron 10 plantas por tratamiento como muestra representativa.

El material vegetal utilizado fue semilla de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Catuaí, seleccionada por su importancia comercial y

sus características agronómicas favorables. El proceso de establecimiento experimental incluyó la preparación inicial del almácigo siguiendo protocolos estándar para propagación de café. Posteriormente, las plántulas fueron repicadas a las bolsas según los diferentes tamaños de bolsa establecidos en el diseño experimental.

La aplicación de los reguladores de crecimiento se realizó siguiendo protocolos específicos: la primera aplicación se realizó al momento del repique, mientras que la segunda aplicación se efectuó 20 días después de la primera. Roothort® contiene como principios activos ácido alfa naftaleno acético (ANA) y ácido indol butírico (AIB), aplicados según las dosis recomendadas por el fabricante. Phyllum® contiene una mezcla de auxinas, giberelinas y citoquininas, también aplicada según las especificaciones del fabricante.

En cuanto al sustrato, este se preparó siguiendo una proporción volumétrica de 3:1 de suelo de bosque y estiércol de caprino respectivamente. Esta mezcla fue enriquecida con ocho kilogramos de roca fosfórica y cinco kilogramos de cal agrícola por metro cúbico de sustrato, proporcionando los nutrientes básicos necesarios para el desarrollo de los plantones. Durante el desarrollo experimental no se registraron problemas fitosanitarios significativos que pudieran afectar la validez de los resultados.

Las variables de respuesta evaluadas incluyeron parámetros morfológicos y fisiológicos determinados a los 120 días después del repique. Las variables morfológicas evaluadas fueron: número de hojas por planta, altura de planta medida desde la base hasta el meristemo apical, diámetro del tallo medido a 2 cm del nivel del sustrato, longitud de raíz principal, peso fresco radicular y peso fresco de la parte aérea. Adicionalmente, se evaluó el vigor fisiológico mediante la medición del contenido de clorofila utilizando un medidor portátil de clorofila SPAD "Soil Plant Analysis Development" (Minolta, Japón), que proporciona una lectura instantánea del índice de verdor de las hojas.

Finalmente, los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico InfoStat, aplicando el modelo factorial correspondiente al diseño experimental utilizado. Las diferencias entre tratamientos fueron evaluadas mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Este enfoque estadístico permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos y establecer conclusiones robustas sobre los efectos de los factores evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir del desarrollo experimental se presentan a continuación, organizados en función de las condiciones ambientales registradas durante el período de estudio y del análisis estadístico de las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en los plantones de café. En primer lugar, se describen las condiciones meteorológicas predominantes en el área experimental, las cuales constituyen un marco de referencia para la interpretación de los resultados. Posteriormente, se exponen los efectos del tamaño de bolsa, el uso de reguladores de crecimiento y su interacción sobre el desarrollo de los plantones, sustentados en el análisis de varianza y en la prueba de comparación de medias, con el fin de evidenciar las diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Las condiciones meteorológicas registradas durante el período experimental se presentan en la Figura 1, mostrando las variaciones en temperatura, humedad relativa y precipitación a lo largo del estudio.

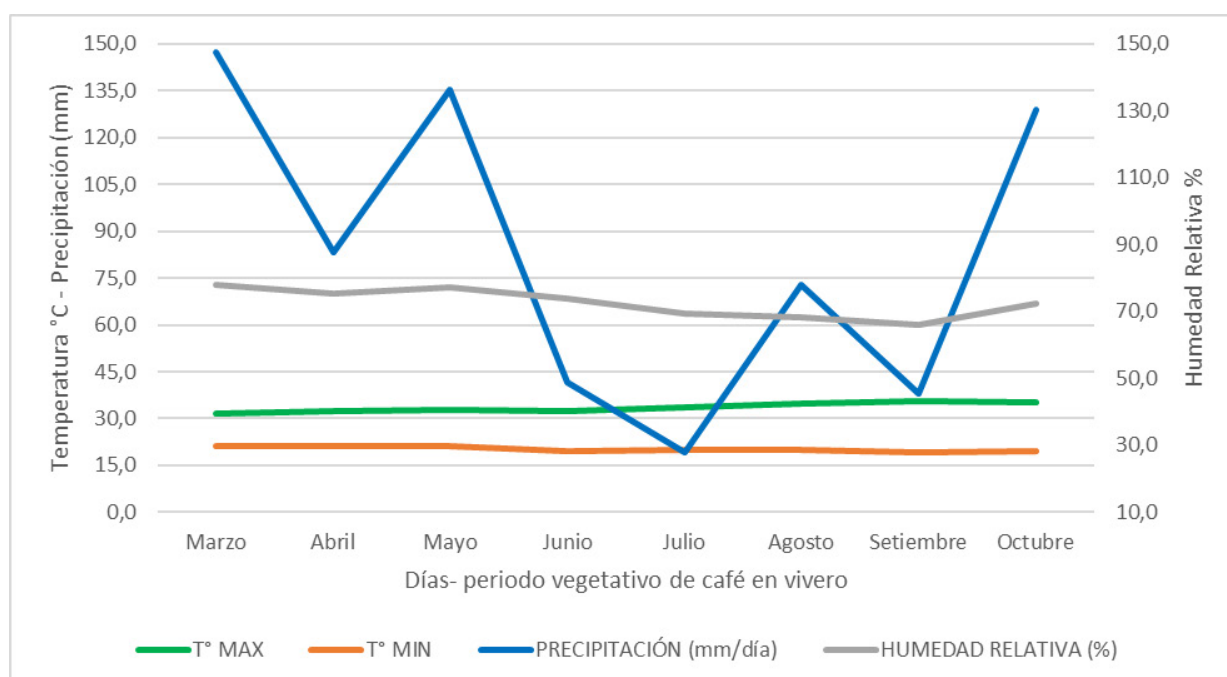


Figura 1. Datos meteorológicos de San Ramón Chanchamayo de marzo a octubre 2023.

Según se muestra en la Figura 1, las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de plantones de café, con temperaturas dentro del rango óptimo para la especie y niveles de humedad que garantizan el desarrollo adecuado tanto del sistema radicular como del desarrollo aéreo de las plantas.

Los resultados del análisis de varianza se presentan en la Tabla 1, evidenciando diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en todas las

variables evaluadas. Los valores F obtenidos confirman un efecto significativo tanto del tamaño de bolsa como del uso de reguladores de crecimiento sobre el desarrollo morfológico y fisiológico de los plantones de café. Los coeficientes de variación obtenidos fueron bajos y aceptables en todas las variables evaluadas (rango: 7.49% - 14.23%), lo que respalda la homogeneidad y confiabilidad estadística de los datos experimentales obtenidos.

Tabla 1. Resumen de análisis de varianza para los parámetros evaluados.

Fuente de variación	Número de hojas/planta	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco radicular (g)	Peso fresco aéreo (g)	Vigor SPAD
Valores F	8.93	15.72	12.94	22.14	9.87	7.53	6.68
Promedio general	9.78	20.36	2.71	20.24	3.36	6.97	51.15
CV (%)	10.06	14.23	11.22	13.49	8.98	10.74	7.49

La Tabla 2 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el efecto de la interacción entre tamaño de bolsa y reguladores de crecimiento en los parámetros evaluados. Los resultados muestran que el tratamiento T8 (bolsa grande con Roothort®) y el tratamiento T7 (bolsa grande sin regulador) presentaron los valores más altos en número de hojas por planta (10.60 y

10.40 respectivamente), sugiriendo que un mayor volumen de sustrato, independientemente del uso de reguladores, favorece la emisión foliar. Este comportamiento podría estar relacionado con la mayor disponibilidad de nutrientes y espacio para el desarrollo radicular, facilitando una mayor actividad fotosintética.

Tabla 2. Prueba de Tukey para el efecto de tamaño de bolsa y reguladores de crecimiento.

Fuente de variación	Número de hojas/planta	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco radicular (g)	Peso fresco aéreo (g)	Vigor SPAD
T1 A1 4×7 B1 Control	9.00 bc	17.78 bc	2.33 de	16.80 cd	2.47 bc	6.52 ab	48.14 cd
T2 A1 4×7 B2 Roothort	8.40 c	16.48 cd	2.39 cde	14.90 de	0.83 c	2.98 b	47.29 d
T3 A1 4×7 B3 Phyllum	8.40 c	13.51 d	2.15 e	10.40 e	0.58 c	2.50 b	48.47 bcd
T4 A2 6×8 B1 Control	10.40 ab	22.98 a	3.00 ab	20.90 bc	6.00 a	9.95 a	54.84 a
T5 A2 6×8 B2 Roothort	10.40 ab	23.95 a	2.93 ab	21.26 bc	4.45 ab	8.99 a	55.01 a
T6 A2 6×8 B3 Phyllum	10.60 a	22.43 a	2.69 bcd	19.10 bcd	3.87 ab	7.97 a	53.75 ab
T7 A3 7×11 B1 Control	10.40 ab	21.39 ab	2.92 ab	27.60 a	4.92 ab	8.77 a	53.42 abc
T8 A3 7×11 B2 Roothort	10.60 a	23.76 a	3.17 a	27.20 a	4.34 ab	8.39 a	50.99 abcd
T9 A3 7×11 B3 Phyllum	9.80 abc	20.96 ab	2.82 abc	24.40 ab	2.79 bc	6.72 ab	48.52 bcd

Respecto a la altura de planta a los 120 días, el tratamiento T5 (bolsa mediana con Roothort®) mostró el crecimiento más alto significativamente (23.95 cm), lo que resalta la eficiencia del regulador enraizante en combinación con un volumen de sustrato mediano. Esta combinación permitió una elongación eficiente del tallo, posiblemente debido a la acción conjunta de las auxinas presentes en Roothort® (AIB y ANA), las cuales promueven la expansión celular en tejidos meristemáticos.

El diámetro del tallo fue mayor en el tratamiento T8 (bolsa grande con Roothort®) con 3.17 mm, indicando que, aunque el tamaño grande de bolsa no favoreció tanto el crecimiento en altura, sí contribuyó a un mayor grosor del tallo, variable que se asocia directamente con la resistencia estructural y el vigor general de las plántulas. La longitud de raíz más alta se obtuvo en el tratamiento T7 (bolsa grande sin regulador) con 27.60 cm, lo cual refleja que el espacio físico adicional en las bolsas grandes permite una

mayor exploración del sustrato por parte del sistema radicular. Sin embargo, este crecimiento radicular no se tradujo en un desarrollo aéreo proporcionalmente mayor, lo que sugiere un posible desbalance fisiológico entre el sistema radicular y la parte aérea de la planta.

En relación con el peso fresco radicular, el tratamiento T4 (bolsa mediana sin regulador) presentó los valores más altos (6.00 g), lo cual es particularmente interesante, ya que indica que un volumen de sustrato adecuado, incluso sin la aplicación de reguladores de crecimiento, puede favorecer significativamente la acumulación de biomasa subterránea. Este mismo tratamiento (T4) también logró el mayor peso fresco aéreo (9.95 g), evidenciando un balance

fisiológico adecuado entre el desarrollo radicular y el crecimiento de la parte aérea, aspecto deseable en la etapa de vivero que contribuye directamente a la calidad general del plantón.

Finalmente, el contenido de clorofila medido mediante valor SPAD, que constituye un indicador del vigor fisiológico de la planta, fue más alto en el tratamiento T5 (bolsa mediana con Roothort®) con 55.01 SPAD, reforzando el papel del regulador hormonal en la estimulación del metabolismo fotosintético y la síntesis de pigmentos fotosintéticos. Este resultado coincide con el patrón observado en la altura de planta, consolidando a este tratamiento como el más eficiente en términos de crecimiento integral del plantón.



Figura 2. Desarrollo foliar y radicular con diferentes reguladores de crecimiento y tamaño de bolsa.

En la Figura 2, se visualiza el desarrollo aéreo y radicular por efecto del tamaño de bolsa y los reguladores de crecimiento evaluados. La evidencia visual confirma que las bolsas de tamaño mediano en combinación con el regulador Roothort® presentaron los mejores resultados en términos de desarrollo integral del plánton, evidenciado por un balance adecuado entre el crecimiento aéreo y el desarrollo radicular.

Discusión

Los resultados del presente estudio demuestran de manera consistente que tanto el tamaño de bolsa como el tipo de regulador de crecimiento influyen significativamente en la calidad morfológica y fisiológica de los plántones de café (*Coffea arabica* L.), particularmente en variables críticas como la altura, el peso radicular y el vigor foliar medido mediante contenido de clorofila. El tratamiento T5 (bolsa 6×8 pulgadas + Roothort®) sobresalió significativamente en vigor, contenido de clorofila y altura, patrón que podría explicarse por la acción sinérgica del ácido indol butírico (AIB) y el ácido naftaleno acético (ANA), compuestos ampliamente reconocidos por su capacidad para estimular la elongación celular y promover la formación adventicia de raíces (20,21).

Estos resultados concuerdan parcialmente con los reportados por Marques Cavalcanti Filho,

quienes encontraron que auxinas aplicadas en viveros de café favorecen significativamente la arquitectura radicular y mejoran la eficiencia en la absorción de nutrientes, aspectos que se reflejan directamente en el crecimiento aéreo y la calidad general de los plántones (20). De manera complementaria, en el presente estudio se evidenció que el tamaño de bolsa constituye un factor determinante en el equilibrio entre el desarrollo aéreo y radicular, observándose que las bolsas medianas (6×8 pulgadas) promovieron un crecimiento más balanceado. Este resultado coincide con lo señalado por Cordón, quien advierte que el uso de bolsas pequeñas puede inducir el enrollamiento de raíces y comprometer seriamente el éxito del trasplante en campo definitivo (13).

El comportamiento observado en las bolsas grandes (7×11 pulgadas) merece un análisis particular. Si bien este tamaño de contenedor favoreció el desarrollo de raíces significativamente más largas, no se registró una mejora proporcional en el crecimiento aéreo de los plántones. Este fenómeno indica la existencia de un desbalance en la asignación de recursos entre el sistema radicular y la parte aérea, lo que contrasta con la suposición inicial de que un mayor volumen de sustrato favorecería de manera homogénea el crecimiento integral de la planta.

En contraste, aunque Phyllum® contiene una mezcla compleja de giberelinas, auxinas y citoquininas, no superó significativamente a Roothort® en la mayoría de las variables evaluadas. Esta diferencia en el rendimiento podría deberse a varios factores, incluyendo la sensibilidad específica del café a determinadas hormonas, una posible sobredosificación, o la competencia entre las diferentes fitohormonas presentes en la formulación (22). En este sentido, Borjas-Ventura et al., señalan que las interacciones hormonales pueden ser antagonicas en etapas tempranas de desarrollo, especialmente cuando se aplican múltiples reguladores simultáneamente (15).

Los resultados asociados con las bolsas grandes (7×11 pulgadas) que generaron raíces más largas, pero con menor eficiencia de biomasa aérea son consistentes con los hallazgos de Sembiring et al., quienes observaron que en café el exceso de volumen puede fomentar un desarrollo desbalanceado entre órganos, especialmente cuando no existe una demanda proporcional de la parte aérea (23). Este comportamiento puede explicarse por mecanismos fisiológicos en los que el mayor espacio disponible favorece la expansión radicular, sin que ello se traduzca necesariamente en un incremento equivalente del crecimiento aéreo.

Adicionalmente, estudios recientes como el de Ibrahim et al., han demostrado que un sustrato equilibrado junto con un tamaño de bolsa adecuado mejora no solo el crecimiento físico del plantón, sino también su contenido interno de nutrientes, lo cual impacta directamente en el vigor medido mediante valores SPAD (19). En ese sentido, el mayor contenido de clorofila observado en T5 (55.01 SPAD) refuerza esta relación fisiológica entre la calidad del sustrato, el tamaño del contenedor y la eficiencia fotosintética.

Desde una perspectiva productiva, resulta relevante destacar que el uso de enraizantes, especialmente aquellos basados en AIB y ANA como Roothort®, puede reducir el tiempo de producción de plantones hasta en un 25%, lo que representa una ventaja significativa para viveros comerciales en términos de eficiencia operativa y reducción de costos de producción (18). Esta reducción en el tiempo de producción tiene implicaciones económicas importantes para los productores, ya que les permite acelerar el proceso de renovación de plantaciones y reducir los costos asociados al mantenimiento de plantones en vivero.

A pesar de los hallazgos obtenidos, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, la investigación se desarrolló únicamente en condiciones de vivero

en Chanchamayo, lo que limita la extrapolación directa de los resultados a otras regiones con diferentes condiciones agroecológicas o climáticas. Asimismo, la evaluación se centró en una sola variedad de café (Catuaí), por lo que los efectos observados del tamaño de bolsa y los reguladores de crecimiento podrían variar en otras variedades comerciales. Además, las variables fisiológicas se midieron a los 120 días después del repique, lo que proporciona información sobre el desarrollo inicial de los plántones, pero no permite evaluar la supervivencia ni el desempeño a largo plazo en campo definitivo. Finalmente, aunque se controlaron las condiciones de manejo y nutrición, factores externos no medidos, como variaciones microclimáticas locales o diferencias individuales en semillas, podrían haber influido parcialmente en la respuesta de los plántones. Estas limitaciones sugieren que futuros estudios deberían incluir múltiples regiones, variedades y períodos de seguimiento más prolongados para validar y ampliar los resultados obtenidos.

En conjunto, los hallazgos del presente trabajo sugieren de manera consistente que el uso de bolsas medianas (6×8 pulgadas) combinado con reguladores enraizantes como Roothort® optimiza significativamente la calidad de plántones de café, contribuyendo a una mayor eficiencia productiva y menor mortalidad post-transplante. Esta estrategia puede ser fácilmente replicable en

zonas cafetaleras similares a Chanchamayo, donde la renovación de cafetales representa tanto una prioridad técnica como económica para mantener la competitividad del sector productivo.

CONCLUSIONES

El presente estudio confirmó que tanto el tamaño de bolsa como el uso de reguladores de crecimiento tienen un impacto determinante en la calidad de los plántones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catuaí bajo las condiciones agroecológicas de Chanchamayo, Perú. En particular, la combinación de bolsas medianas (6×8 pulgadas) con el regulador Roothort® favoreció un desarrollo equilibrado entre el crecimiento aéreo y radicular, promoviendo plántones con mayor vigor fisiológico y potencial de supervivencia post-transplante, mientras que las bolsas grandes potenciaron selectivamente el crecimiento radicular sin reflejarse proporcionalmente en la biomasa aérea.

En función de estos hallazgos, se recomienda a los viveros cafetaleros, el uso de bolsas medianas (6×8 pulgadas) y el regulador Roothort® en viveros cafetaleros para obtener plántones de mejor calidad morfológica y fisiológica, así como para reducir significativamente las pérdidas post-transplante que constituyen una limitante importante en la renovación de plantaciones de café.

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar la respuesta de otras variedades comerciales de café a diferentes tamaños de contenedor y tipos de reguladores, así como analizar el desempeño de los plántones a mediano y largo plazo en campo definitivo. Adicionalmente, estudios que integren la interacción entre nutrición, condiciones ambientales y manejo de reguladores permitirían desarrollar protocolos más completos y adaptables a distintos contextos agroecológicos.

AGRADECIMIENTOS. Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por proporcionar las instalaciones del vivero experimental, y a la Universidad Nacional Daniel A. Carrión por el apoyo financiero brindado para la realización de este estudio. Se agradece también al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú por proporcionar los datos meteorológicos utilizados en el análisis.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Silva A, Pereira P, Santos J, Oliveira A, Silva C. Production and quality of coffee seedlings using different container sizes and growth regulators in Brazilian nursery systems. *Coffee Sci.* 2022;17(2):156-168. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/CoffeeScience/article/view/1452>
2. Ramírez-Arango Y, Restrepo-Serna L, García-Duque F. Evaluación de reguladores de crecimiento en la producción de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en Colombia. *Rev Cafet.* 2021;39(1):45-58. <https://www.revistas.coffee.org/index.php/revista/article/view/456>
3. Bekele K, Taye M, Tesfaye S. Optimizing nursery techniques for arabica coffee seedlings: Container size and growth regulator effects in Ethiopian highlands. *J Coffee Res.* 2020;28(3):78-92. <https://www.jcoffeeresearch.com/articles/volume28/optimizing-nursery-techniques>
4. Mugisha J, Nabirye G, Naluyima P. Application of indole butyric acid in coffee nursery production: Impact on seedling quality and transplanting success in Uganda. *Afr J Agric Res.* 2019;14(18):892-901. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/0B4E7A965123>
5. Nguyen T, Tran V, Pham L. Comparative study of propagation techniques for robusta coffee seedlings in Vietnam and Indonesia. *Asian J Agric Res.* 2023;15(2):112-125. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/0F3B1A965457>
6. Solís-Durán F, Rodríguez-Márquez C, Morales-García L. Impacto económico de tecnologías de propagación de café en programas de renovación centroamericanos. *Econ Cafet Cent Am.* 2022;8(1):23-41. <https://revista.sica.org/index.php/eca/article/view/342>
7. International Coffee Organization (ICO). Smallholder coffee production: Global trends and technological adoption. London: ICO; 2021. <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/annual-review-extract-12121e.pdf>
8. Organización Internacional del Café (OIC). Tecnologías de propagación para pequeños productores de café en América Latina: Análisis comparativo regional. Londres: OIC; 2023. <https://www.ico.org/documents/cy2022-23/annual-review-121122e.pdf>
9. López M. El café es fuente de empleo para dos millones de peruanos en toda la cadena agroproductiva. *Agraria.pe* [Internet]. 2020. <https://agraria.pe/noticias/el-cafe-es-fuente-de-empleo-para-2-millones-de-peruanos-en-t-22663>
10. Agraria.pe. Producción peruana de café alcanzó las 239 200 toneladas en 2023. *Agraria.pe.* 2023. <https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-cafe-alcanzo-las-239-200-toneladas-en-38283>
11. Montañez A, Arias J, Ayala W, Carrera R, Dávila J, Campos J, et al. Manual del cultivo de café en el VRAEM. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); 2022. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/f5c910d1-9a4b-408c-b28c-418c0d53a6a2>

- 12.** MINAGRI. Plan Nacional contra la Roya Amarilla del Café (Resolución Ministerial N° 293-2013-MINAGRI). Lima: Ministerio de Agricultura y Riego; 2013. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/resolucionesministeriales/2013/agosto/plan-roya_rm293-2013-minagri.pdf
- 13.** Córdón L. Monitoreo de la calidad de almácigo de café Región III -2018. Chimaltenango y El Progreso (GT): Asociación Nacional del Café (Anacafé); 2019. <https://www.anacafe.org/uploads/file/66e0fea973d443f68b3db3e6ae2d435a/Boletin-CEDICAFE-RIII-06-2019.pdf>
- 14.** González E. Guía técnica para la elaboración de plantones de café. Guatemala: Centro de Investigaciones en Café (Cedicafé), Asociación Nacional del Café (Anacafé); 2022. <https://www.anacafe.org/uploads/file/1dfff91b522447728bdcb386e646d47a/Guia-elaboracion-viveros.pdf>
- 15.** Borjas-Ventura R, Julca-Otiniano A, Alvarado-Huamán L. Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *J Selva Andina Biosph.* 2020;8(2):150-164. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592020000200007&lng=es
- 16.** De la Cruz N. Enraizantes en la instalación de plantas de café *Coffea arabica* L. var. Catimor en campo definitivo, en Satipo-Perú [tesis]. Huancayo (PE): Universidad Nacional del Centro del Perú; 2021. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8120/T010_44276566_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 17.** Alcantara-Cortes J, Acero J, Alcántara J, Sánchez R. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Rev Colomb Cienc Hortic.* 2019;17(32):109-129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en
- 18.** Díaz A, Carrillo A, Suárez C. Efecto de bioproductos sobre el desarrollo de posturas de café en vivero. *Rev Mex Cienc Agríc.* 2023;14(4):495-505. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342023000400495&script=sci_arttext
- 19.** Ibrahim M, Kufa T, Belachew K. Effect of pot sizes and coffee cultivars on emergence and subsequent seedling growth of coffee (*Coffea arabica* L.), South Western Ethiopia. *J Nat Sci Res.* 2015;5(7):1-10. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/21492>
- 20.** Marques Cavalcanti Filho PFM, Corona Baitelle D, de Jesus Freitas S, da Silva W, dos Santos P, Rodrigues W, et al. Effect of Growth Regulators in Production and Rooting of *Coffea arabica* L. Minicuttings. *Am J Plant Sci.* 2018;9:628-636. doi: 10.4236/ajps.2018.94049
- 21.** Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. *Plant Physiology and Development.* 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates; 2015.
- 22.** Coelho V, Rosa K, Paiva P, Moreira É, Carvalho M. Fertigation and growth regulator on coffee seedling production in tubes. *Pesqui Agropecu Trop.* 2018;48(4):350-357. <https://www.scielo.br/j/pat/a/6dnrT3ncXwnLdcw4KktBFJG/?lang=en>
- 23.** Sembiring L, Damanik R, Hanum C. Growth of arabica coffee seeds (*Coffea arabica* L.) Sigarar Utang variety as a response of treatment of various growth regulators and types of shade. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2023;1241(1):012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1241/1/012031/meta>