

**Genética vegetal y biodiversidad**

Artículo de investigación científica y tecnológica

## Efecto de sustratos y enraizadores en la propagación vegetativa de *Coffea arabica* var. *típica* en microtúneles

Effect of substrates and rooters on the vegetative propagation of *Coffea arabica* var. *typical* in microtunnels

 Jhordy Janno Solano Vargas <sup>1\*</sup>  Tito Sanchez-Santillan <sup>2</sup>  
 Luis Alberto Arévalo López <sup>2</sup>  Eli Morales Rojas <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.

\*Autor de correspondencia: Tito Sanchez Santillan. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, avenida José A. Quiñones km 2.5, Iquitos, Loreto 784. Perú. [tsanchez@iiap.gob.pe](mailto:tsanchez@iiap.gob.pe)

Recibido: 12 de julio de 2021  
Aprobado: 16 de enero de 2023  
Publicado: 09 de marzo de 2023

Editor temático: Andrés J. Cortes,  
(Corporación Colombiana de  
Investigación Agropecuaria  
[AGROSAVIA]), Antioquia, Colombia.

Para citar este artículo: Solano Vargas, J. J., Sanchez-Santillan, T., Arévalo López, L. A., & Morales Rojas, E. (2023). Efecto de sustratos y enraizadores en la propagación vegetativa de *Coffea arabica* var. *Típica* en microtúneles. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2), e2627. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:2627](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2627)

**Resumen:** El *Coffea arabica* variedad *típica* tiene una alta demanda a nivel mundial por su calidad organoléptica, sin embargo, en los últimos años las plantaciones han sido severamente afectadas por la roya del café (*Hemileia vastatrix*, Berkeley & Broome). La propagación asexual es una alternativa para regenerar plantas de la variedad *típica* con características agronómicas deseables como son porte alto, porcentaje de café supremo entre 63 % y 72 % y excelente calidad en taza. Con la finalidad de propagar vegetativamente a la variedad *típica* por enraizamiento de estaquillas en microtúneles, en este estudio se probaron tres tipos de sustratos y dos enraizadores, además de los tratamientos testigo (sustratos sin enraizador). Las estaquillas se instalaron bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial de 3A × 3B, donde A son los sustratos: tierra agrícola, turba y arena y B son las auxinas: AIB-98 % (ácido indol butírico) 2000 ppm y Root-hor (0,4 ANA (ácido alfa naftalenacético) + 0,1 AIB) a 5000 ppm. Se utilizaron estaquillas basales de 7 cm de tamaño uniformizadas a 5 cm con 25 % de área foliar, colectadas de jardines clonales. Se encontró que tanto el sustrato arena como el sustrato turba, más AIB-98 % (ácido indol butírico) y el testigo (sin enraizador) no generaron mortalidad en las estaquillas. El empleo de turba + AIB-98 % generaron efectos significativos en el enraizamiento y tuvieron efectos independientes para el número y el tamaño de raíces. La auxina AIB-98 % potenció el enraizamiento de las estaquillas de café, sin embargo, las estaquillas tratadas con Root-hor no mostraron un efecto significativo sobre el enraizamiento, a pesar de interacción con los sustratos.

**Palabras clave:** auxina, café, clonación, enraizamiento, genética, hormonas.

**Abstract:** *Coffea arabica* Típica variety is in high demand worldwide for its organoleptic quality; however, in recent years plantations have been severely affected by coffee rust (*Hemileia vastatrix*, Berk and Broome). Asexual propagation is an alternative to regenerate plants of the Típica variety with desirable agronomic characteristics such as high bearing, supreme coffee percentage between 63 % to 72 % and excellent cup quality. In order to vegetatively propagate the Típica variety by rooting cuttings in microtunnels, three types of substrates and two rooting agents were tested in this study, in addition to the control treatments (substrates without rooting agents). The cuttings were installed under a complete randomized design with a 3A x 3B factorial arrangement, where A are the substrates: agricultural soil, peat and sand; B are the auxins: AIB-98 % (indole butyric acid) 2000 ppm and Root-hor (0.4 ANA (alpha naphthaleneacetic acid) + 0.1 AIB) at 5000 ppm. Basal cuttings of 7 cm size uniformized to 5 cm with 25 % leaf area, collected from clonal gardens, were used. It was found that both sand and peat substrates, plus AIB-98 % (indole butyric acid) and the control (without rooting agent) did not generate mortality in the cuttings. The use of peat + AIB-98 % generated significant effects on rooting and had independent effects on the number and size of roots. Auxin AIB-98 % enhanced rooting of coffee cuttings; however, cuttings treated with Root-hor showed a significant effect on rooting, despite the interaction with the substrates.

**Keywords:** auxin, coffee, cloning, genetics, hormone, rooting.



## Introducción

El café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) es uno de los cultivos más importantes en el mundo y en Centroamérica. Este cultivo representa el sustento de 1,9 millones de personas, sin embargo, frente a la crisis mundial generada por *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, surgió como propuesta mejorar la calidad genética y la adaptabilidad de las semillas y las plantaciones (de Melo & Astorga, 2015).

En Perú, el café es uno de los principales productos de exportación, siendo la región Amazonas la cuarta región cafetalera con mayor producción (Torres & Siche, 2016), predominando las variedades *caturra* y *típica* (Vallejos et al., 2019; Chichipe et al., 2021), donde la segunda es considerada un café supremo de entre 63 % y 72 % de pureza y con excelente calidad en taza (Cortina et al., 2013). No obstante, este cultivo también sufrió impactos importantes en la cadena productiva y la rentabilidad económica en la región, siendo afectados en parte por factores fitosanitarios como la roya amarilla y el inadecuado manejo agronómico (baja tecnología y semillas de baja calidad) (Pérez et al., 2016).

Normalmente, esta especie se propaga mediante semilla botánica, pero posee limitaciones considerables debido a la variabilidad genética del cultivo, conllevando a la heterogeneidad de las plantaciones (Inuma et al., 2018); por su parte, Husen (2017) afirma que el cafeto también puede propagarse asexualmente, siendo esta técnica una alternativa altamente ventajosa, ya que se facilita la reproducción de nuevos individuos genéticamente iguales en tiempos reducidos. Empero, para propagar vegetativamente cualquier especie, surgen factores importantes y en algunos casos determinantes durante la fase de enraizamiento, como las auxinas y los medios de propagación (sustratos) (Hartmann et al., 2011). Las auxinas con mayor efectividad y bastante empleadas en la mayoría de las especies vegetales son el ácido indol butírico (AIB) y el ácido naftaleno acético (ANA), ambos promueven la división celular de los tejidos con efectos variables que van a estar en función a la dosis y la especie vegetal tratada (García et al., 2005). Por otra parte, el sustrato facilita la aireación, la retención de humedad, la regulación de la temperatura y el suministro de nutrientes, cuyo efecto genera condiciones favorables para la formación de callos y la emisión radicular en las estacas (Hartmann et al., 2011; Martínez-Gutiérrez et al., 2016).

En investigaciones similares, Vallejos-Torres et al. (2020) e Inuma et al. (2018) reportaron efectos favorables de la auxina AIB con sustrato “arena”, alcanzando un 87 % de enraizamiento de estaquillas en 70 días, ejecutado en zonas con ubicación a 300 m s.n.m. En contraste, Chichipe et al. (2021) alcanzaron un porcentaje de enraizamiento del 52,5 % y el 72,22 % de supervivencia en estaquillas de café en 90 días, tratado con AIB a una concentración de 2000 ppm en altitudes de 800 m s.n.m. Ambos estudios se ejecutaron en un microtúnel, notando una diferencia del 30 % de prendimiento; en ese sentido, la diferencia observada estuvo influenciada por las condiciones climatológicas, ya que la temperatura y la humedad relativa son variables según los pisos altitudinales de la zona de estudio, requiriendo manejos diferenciados en los microtúneles durante la fase de enraizamiento de estaquillas (Badilla-Valverde & Murillo-Gamboa, 2005).

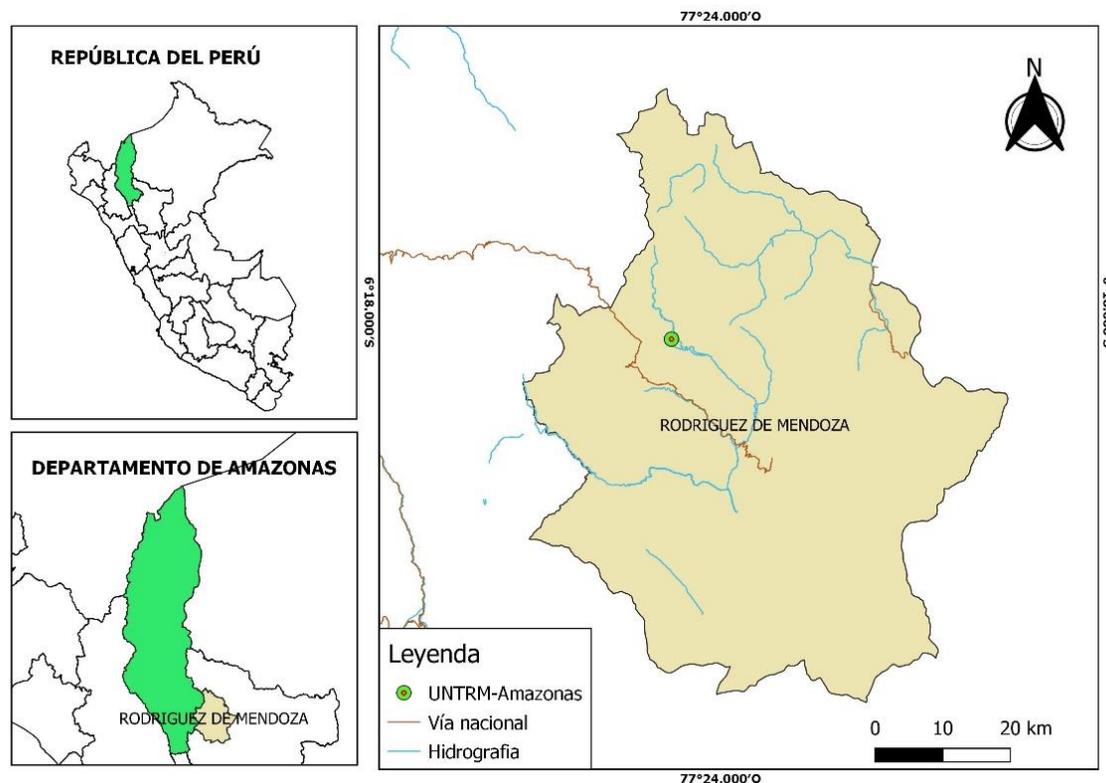
Sin duda, propagar vegetativamente el cafeto aún sigue siendo materia de estudio, puesto que trabajos anteriores han reportado bajos porcentajes de prendimiento, por lo que el objetivo principal de la investigación fue evaluar el efecto de sustratos y enraizadores en la propagación

vegetativa de *Coffea arabica* var. *típica* en microtúneles. Así, se esperó como indicador un sustrato y una auxina altamente efectiva para optimizar el prendimiento de estaquillas de café *típica* en una zona de ceja de selva.

## Materiales y métodos

### Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la estación experimental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), en el distrito de Huambo, Perú, con coordenadas  $06^{\circ} 20' 10''$  S,  $77^{\circ} 27' 58''$  O, a una altitud de 1630 m s.n.m.



**Figura 1.** Ubicación geopolítica del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

### Colecta y preparación del sustrato

En el estudio se utilizaron tres tipos de sustrato: tierra agrícola, arena y turba, colectados en el distrito de Huambo. Los sustratos fueron esterilizados en autoclave a  $121^{\circ}\text{C}$  con presión de 15 libras por dos horas, repitiendo el proceso por tres días consecutivos y con la finalidad de tener inocuidad en el sustrato. Los sustratos esterilizados fueron llenados en concordancia con los

tratamientos establecidos, en bolsas de polietileno de 564,87 cm<sup>3</sup> (10,16 cm × 17,70 cm), los mismos que fueron ubicados en el microtúnel.

### **Colecta de estaquillas**

El material fue colectado de plantas en jardines clonales, obtenidos mediante la reproducción asexual de plantas matrices procedentes de campo, seleccionados con una edad de 7 años, buenas características fenotípicas, fitosanitarias y productivas. La selección de estaquillas fue determinada por el grado de lignificación de los tallos y su uniformidad y, en el laboratorio, las estaquillas fueron cortadas y uniformizadas a 5 cm de longitud, se realizaron cortes del tallo basal en bisel a 45 °, dejando dos hojas con 25 % de área foliar para prevenir la deshidratación en la fase de enraizado de las estaquillas.

### **Preparación y aplicación de auxinas**

Se emplearon dos hormonas promotoras de enraizamiento, para ello se seleccionaron a AIB-98 % con presentación en polvo y Root-hor líquido (0,4 ANA + 0,1 AIB); el primero es una hormona muy empleada en café y otras especies, sin embargo, el costo es relativamente elevado en comparación con el segundo que es más asequible. AIB-98 % (polvo) fue diluido en alcohol isopropílico a 96 ° y a una concentración de 2 g/L (Vallejos-Torres et al., 2020), por su parte Root-hor fue diluido en agua a una concentración de 5 ml/L; así, las estaquillas previamente pasaron por una desinfección con fungicida a base de propineb (3 g/L de agua) y luego estas se sumergieron en AIB-98 % por tres segundos y en Root-hor por 30 segundos, posteriormente, se dejó en reposo (20 minutos) para permitir la absorción de las hormonas y la volatilización del excedente.

Transcurrido este periodo de tiempo, las estaquillas se introdujeron 1,5 cm en las bolsas con los sustratos de tierra agrícola, arena y turba, haciendo presión en la base de las estaquillas para evitar la formación de cámaras de aire. La distribución de las estaquillas estuvo en función al diseño y los tratamientos establecidos previamente.

### **Diseño experimental**

Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño completo al azar con arreglo factorial 3A × 3B, resultando en nueve tratamientos, tres repeticiones y diez estaquillas por unidad experimental (tabla 1). Las unidades experimentales fueron distribuidas en el microtúnel (1,20 m × 3,90 m × 0,90 m de ancho, largo y altura, respectivamente) que contenía un sistema de riego automatizado y un 80 % de sombra.

**Tabla 1.** Distribución de tratamientos en estaquillas de café

Tratamiento	Factor A: sustrato	Factor B: auxina	Combinación
T1	Tierra agrícola (a1)	Sin auxina (b0)	a1b0
T2	Tierra agrícola (a1)	AIB-98 % (b1)	a1b1
T3	Tierra agrícola (a1)	Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB) (b2)	a1b2
T4	Arena (a2)	Sin auxina (b0)	a2b0
T5	Arena (a2)	AIB-98 % (b1)	a2b1
T6	Arena (a2)	Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB) (b2)	a2b3
T7	Turba (a3)	Sin auxina (b0)	a3b0
T8	Turba (a3)	AIB-98 % (b1)	a3b1
T9	Turba (a3)	Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB) (b2)	a3b2

Notas aclaratorias: ANA: ácido naftaleno acético; AIB: ácido indol butírico.

Fuente: Elaboración propia

## Variables evaluadas

### *Sobrevivencia*

Se contabilizó el número de estacas vivas por cada tratamiento y luego estos datos se convirtieron a porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sobrevivencia} = \frac{\text{Número de esquejes vivas por UE}}{\text{Número total de esquejes por UE}} \times 100$$

### *Enraizamiento*

Se contabilizó el número de estacas con raíces mayores a 0,5 cm (Inuma et al., 2018) y luego se transformó a porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Enraizamiento} = \frac{\text{Número de esquejes enraizadas por UE}}{\text{Número total de esquejes por UE}} \times 100$$

### *Número de raíces*

Se contabilizaron raíces con tamaños mayores a 0,5 cm, por cada estaquilla.

### *Longitud de raíz.*

Las raíces fueron medidas con un vernier digital en mm, considerando el tamaño mínimo de 0,5 cm.

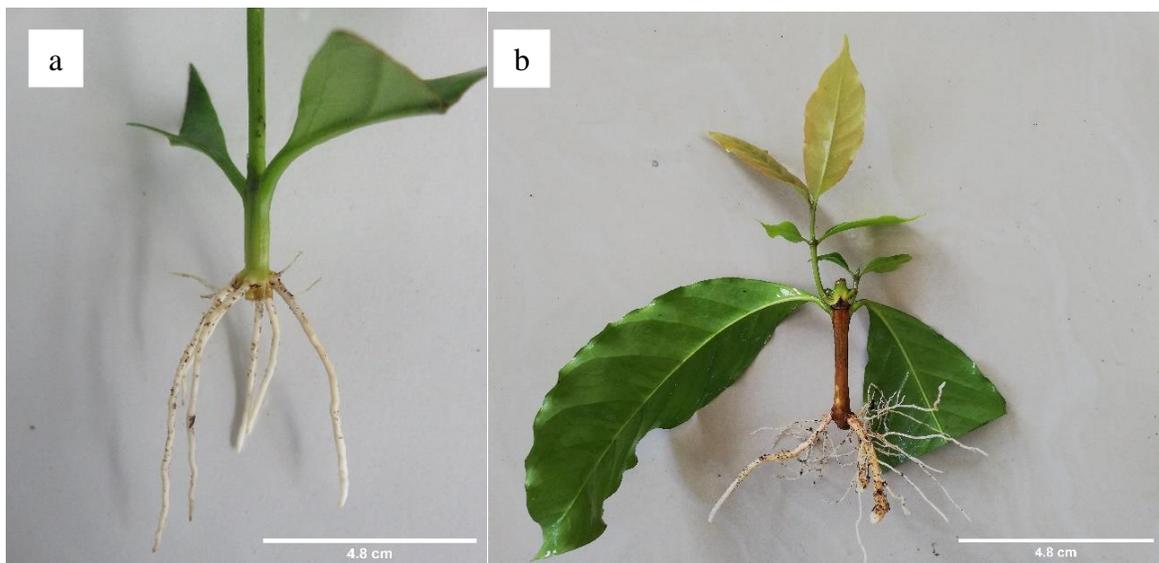
## Análisis estadístico de los datos

El estudio fue transversal y tuvo una duración de 60 días, donde la evaluación de variables se realizó al final de la investigación. La sobrevivencia y el enraizamiento fueron procesados mediante el análisis no paramétrico con el test de Friedman, puesto que no presentaron normalidad y homogeneidad en sus varianzas. Por su parte, el número y el tamaño de raíces fueron analizados mediante el análisis de varianza (Anova) y las medias fueron comparadas con el test post hoc de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) y el procesamiento de los datos se realizó con el *software* estadístico InfoStat, versión 2019.

## Resultados

Las estaquillas de café enraizaron en todos los tratamientos probados en el estudio, sin embargo, en turba + AIB-98 %, seguidos por la turba sin enraizador, así como la tierra agrícola y la arena + AIB se obtuvo el mayor porcentaje de enraizamiento (tabla 2). Las estacas sembradas en los tratamientos compuestos por arena y turba sin enraizador, arena y turba con AIB-98 % y arena con ANA + AIB mostraron el mayor porcentaje de sobrevivencia (tabla 2).

El sustrato turba con AIB-98 % de manera independiente tuvo un incremento significativo en el número y el tamaño de raíces en las estaquillas de café (tabla 4).



**Figura 2.** Enraizamiento de estaquillas de café en turba y AIB-98 %, donde: a) estaquilla de café a 45 días y b) estaquilla de café a 60 días

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Prueba no paramétrica de Friedman para la sobrevivencia y el enraizamiento de estaquillas de café bajo los efectos de sustratos y enraizadores.

Tratamiento	Sobrevivencia (%)		Enraizamiento (%)	
	<i>p-valor</i>	Wilcoxon	<i>p-valor</i>	Wilcoxon
T1		95,8 <sup>bc</sup>		79,2 <sup>bcd</sup>
T2		95,8 <sup>bc</sup>		87,5 <sup>cdef</sup>
T3		79,2 <sup>a</sup>		50,0 <sup>a</sup>
T4		100,0 <sup>c</sup>		79,2 <sup>abc</sup>
T5	0,009**	100,0 <sup>c</sup>	0,002**	87,5 <sup>cdef</sup>
T6		100,0 <sup>c</sup>		54,2 <sup>ab</sup>
T7		100,0 <sup>c</sup>		87,5 <sup>cdef</sup>
T8		100,0 <sup>c</sup>		100,0 <sup>f</sup>
T9		91,7 <sup>ab</sup>		79,2 <sup>bcde</sup>

Notas aclaratorias: \**p-valor* < 0,05: significativo; \*\* *p-valor* < 0,01: altamente significativo. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Wilcoxon 5 %).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Valor de probabilidad para el número y el tamaño de raíz de estaquillas de café influenciadas por tipos de sustrato y enraizadores, a 60 días después de la instalación.

Fuente de variación	Respuesta rizogénica ( <i>p-valor</i> )	
	Número de raíces (unidades)	Tamaño de raíces (cm)
Sustratos	0,000 **	0,000 **
Enraizadores	0,000 **	0,000 **
Interacción A × B	0,110	0,315

Notas aclaratorias: \**p-valor* < 0,05: significativo; \*\* *p-valor* < 0,01: altamente significativo.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para el número y el tamaño de raíz de estaquillas de café influenciadas por tipo de sustrato y enraizadores

Factores		Número de raíces (unidades)	Tamaño de raíz (cm)
Sustratos	Tierra agrícola	2,5 <sup>c</sup>	3,6 <sup>b</sup>
	Arena	3,6 <sup>b</sup>	3,9 <sup>b</sup>
	Turba	4,8 <sup>a</sup>	4,8 <sup>a</sup>
	Testigo	4,2 <sup>b</sup>	4,3 <sup>a</sup>
Enraizadores	AIB-98 %	5,2 <sup>a</sup>	4,7 <sup>a</sup>
	Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB)	1,7 <sup>c</sup>	3,3 <sup>b</sup>

Notas aclaratorias: ANA: ácido naftaleno acético; AIB: ácido indol butírico. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey 5 %).

Fuente: Elaboración propia

## Discusión

Este estudio mostró que el número y el tamaño de raíces de las estaquillas de la variedad *típica* difirió significativamente con la combinación de sustratos y enraizadores probados (tabla 3), es así como el mayor porcentaje de enraizamiento de estaquillas se presentó en el sustrato de turba con AIB (100 %) (tabla 2 y figura 2) y este mismo sustrato también favoreció el incremento del número y el tamaño de las raíces (4,8 cm) (tabla 4). De forma similar, la sobrevivencia de las estaquillas fue del 100 % en los sustratos de turba y arena con y sin AIB, y en arena con ANA y AIB (tabla 2), mientras que la tierra agrícola con ANA + AIB se presentó la menor supervivencia (79,2 %) (tabla 2). Estos resultados no concuerdan con los reportados por Cuevas-Cruz et al. (2015), mencionando que los sustratos puros (turba, perlita y vermiculita) no mostraron efectos favorables en la sobrevivencia y el enraizamiento de estacas, por el contrario, fue necesario combinarlos para alcanzar altos índices de enraizamiento; en contraste, en la investigación, las estaquillas en arena pura lograron una sobrevivencia del 100 %, pero el enraizamiento (79,2 %) no superó al sustrato turba junto con AIB. Al respecto, Thuring et al. (2010) mencionan que la arena, a pesar sus propiedades, no siempre genera efectos positivos en las estaquillas, pero sí al combinarse con otros sustratos, ya que ayuda a una adecuada circulación de aire y buen drenaje (Cachique et al., 2011). Contradictoriamente, Vallejos-Torres et al. (2020) reportan que este sustrato es ideal para propagar estaquillas de café de la variedad *caturra*.

Por su parte, el sustrato turba presentó una mayor sobrevivencia y enraizamiento de las estaquillas de la variedad *típica*; es así que muchos investigadores afirman que este sustrato posee una buena retención de humedad y porosidad, factores indispensables en el enraizamiento (Hartmann et al., 2011) y corroborado por Sánchez Santillán et al. (2020), quienes lograron enraizar exitosamente estaquillas de *Cinchona*, perteneciente a la familia Rubiaceae.

Las estaquillas en sustrato de tierra agrícola presentaron una sobrevivencia del 95,8 % y un enraizamiento del 79,2 % (tabla 2). No obstante, la pudrición de los tallos fue similar a la reportada por Mesén (1998), esto podría deberse a una de las propiedades físicas de este sustrato (estructura laminar fina) que dificulta la penetración del agua y la circulación de aire (Castrillón et al., 2008), por lo que Hartmann et al. (2011) sugieren mezclar sustratos que presentan baja y alta porosidad, logrando un sustrato capaz de brindar condiciones favorables para el enraizamiento de las estaquillas (Martínez-Gutiérrez et al., 2016; Rivera-Rodríguez et al., 2016).

Entre las auxinas aplicadas, las estacas tratadas con AIB-98 % mostraron los mayores valores en el enraizamiento en el sustrato turba (100 %) (tabla 2), al igual que un mayor número promedio de raíces (5,2) y tamaño de raíces (4,7 cm) (tabla 4). En contraste, el enraizador Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB) redujo el enraizamiento en los tres sustratos probados, así como el número (1,7) y el tamaño de las raíces (3,3 cm) (tabla 4). Estos resultados demuestran que la propagación vegetativa de las estacas de la variedad *típica* es favorecida por AIB, lo cual podría deberse a que las mezclas de auxinas inhiben el desarrollo y el crecimiento de la raíz y, en consecuencia, afectan la sobrevivencia de las estacas (Montaño et al., 2017; Hartmann et al., 2011; Mesén, 1998).

Los datos obtenidos corroboran la efectividad de la auxina AIB-98 % en la propagación vegetativa del café (tabla 2) en altitudes por encima de los 1600 m s.n.m., superando los datos encontrados por Chichipe et al. (2021), donde alcanzaron un enraizamiento del 52,5 % y una supervivencia del 72,22 % y a los reportados por Vallejos-Torres et al. (2020) e Inuma et al. (2018), donde estos lograron un 87 % y un 88 %, respectivamente, para café *caturra*, sugiriendo que el enraizamiento puede deberse a la variedad estudiada (Cordeiro et al., 2016). Además, el tiempo de enraizado fue otro factor favorable, puesto que las estaquillas generaron raíces en 60 días (figura 2) y en los otros reportes tardan en promedio 90 días (Chichipe et al., 2021), propagados en altitudes que oscilan desde los 300 a los 800 m s.n.m. Así, AIB es una auxina ampliamente estudiada, con efectos favorables gracias a su buena estabilidad y baja toxicidad, en relación con ANA y el ácido indol acético (AIA), (Castrillón et al., 2008), mientras que Root-hor es una hormona comercial, ampliamente utilizada para estimular el enraizamiento, variando su efectividad según la especie estudiada (Lima et al., 2018).

Los resultados son alentadores, puesto que se incrementaron los porcentajes de enraizamiento y se redujo el tiempo de la regeneración de plántulas de la variedad *típica*, a pesar de la diferencia de altitudes con estudios anteriores.

## Conclusiones

Las estaquillas en sustratos de arena y turba mostraron superioridad en la sobrevivencia, sin embargo, para el enraizamiento, el número y el tamaño de raíces, sobresalió la turba. Las estaquillas respondieron positivamente a AIB-98 % (2 g/L), generando un alto enraizado. Por su parte, las estaquillas tratadas con Root-hor (0,4 ANA + 0,1 AIB) (5 ml/L) presentaron una alta mortalidad, sugiriendo que esta hormona es perjudicial para esta especie en la dosis empleada. La propagación vegetativa es una alternativa promisoría para mejorar las plantaciones de café especiales en la región de Amazonas, la buena factibilidad técnica en cuanto a los sustratos y las auxinas, así como la capacidad de transferencia del estudio, serán útiles para los pequeños y los medianos productores que buscan alcanzar la rentabilidad económica de su cultivo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (PNICP) - Innovate Perú por financiar el presente trabajo de investigación y agradecen también al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, por el apoyo con materiales e insumos.

## Contribución de los autores

Jhordy Janno Solano Vargas: registro de información en campo, construcción de bases de datos, análisis de información y elaboración de manuscrito; Tito Sanchez-Santillan: registro de información en campo, construcción de bases de datos, análisis de información y elaboración de manuscrito; Luis Alberto Arévalo López: análisis de información y elaboración de manuscrito; Eli Morales Rojas: análisis de información y elaboración de manuscrito.

## Implicaciones éticas

La información presentada en el presente artículo cumplió con el protocolo de manejo de datos de terceros. La participación fue voluntaria y se obtuvo el consentimiento de los colaboradores.

## Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

## Financiación

Este estudio fue financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (PNICP) - Innovate Perú a través del proyecto “Aplicación de Técnicas Innovadoras en la Propagación Clonal e Inoculación Micorrízica de Plantas Matrices de Café (*Coffea arabica* L.) con Alta Productividad en la Región Amazonas”, para realizar estudios de pregrado del primer autor.

## Descargos de responsabilidad

Los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

## Referencias

- Badilla-Valverde, Y., & Murillo-Gamboa, O. (2005). Enraizamiento de estacas de especies forestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(6), 59. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/538>
- Cachique, D., Rodríguez-Del Castillo, Á. M., Henry, R. S., Vallejos, G., & Solis, R. (2011). Propagación vegetativa del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 20(1-2), 95-100. <https://doi.org/10.24841/fa.v20i1-2.348>
- Castrillón, J. C., Carvajal, E., Ligarreto, G., & Magnitskiy, S. (2008). The effect of auxins on rooting of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale Swartz*) cuttings in different substrates. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 16-22. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652008000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000100003)
- Chichipe, J., Camacho, A., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Vásquez, H. V., & Silva Valqui, G. (2021). Clonal Propagation of *Coffea arabica* with Indole Butyric Acid and Acclimatization Conditions in Amazonas, Peru. *International Journal of Agronomy*, 2021, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/8590590>
- Cordeiro, I. M., Lameira, O. A., Oliveira, F. D., & Wendling, I. (2016). Enraizamiento de estacas juveniles de *Bertholletia excelsa* con diferentes concentraciones de ácido Indol-Butírico. *Agrociencia*, 50(2), 227-238. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000200227](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000200227)
- Cortina, H. A., Acuña, J. R., Moncada, M., Herrera, J. C., & Molina, D. M. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. *Cenicafé*, 1, 169-202. [https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/4333/1/cenbook-0026\\_09.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/4333/1/cenbook-0026_09.pdf)
- Cuevas-Cruz, J. C., Jiménez-Casas, M., Jasso-Mata, J., Pérez-Rodríguez, P., López-Uptón, J., & Villegas-Monter, Á. (2015). Propagación asexual de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. Et Cham. *Revista Chapingo*, 21(1), 81-95. <https://doi.org/doi:10.5154/r.rchscfa.2014.08.033>

- de Melo Virginio, E., & Astorga, C. (2015). *Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores*. Costa Rica: Catie. [https://www.researchgate.net/publication/301625261\\_Prevencion\\_y\\_control\\_de\\_la\\_roya\\_del\\_cafe-Manual\\_de\\_buenas\\_practicas\\_para\\_tecnicos\\_y\\_facilitadores](https://www.researchgate.net/publication/301625261_Prevencion_y_control_de_la_roya_del_cafe-Manual_de_buenas_practicas_para_tecnicos_y_facilitadores)
- García, R. R., Hernández, J. J., Alcalá, V. M., & Monter, Á. V. (2005). Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de Gmelina arborea Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(4), 319-326. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.4.319>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., & Geneve, R. L. (2011). *Hartmann & Kester's plant propagation principles and practices* (8 ed.). Estados Unidos: Prentice Hall. [https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/davies/pdf%20stuff/ph%20final%20galley/FrontMatter%20-FrontA01\\_DAVI4493\\_08\\_SE\\_FM.pdf](https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/davies/pdf%20stuff/ph%20final%20galley/FrontMatter%20-FrontA01_DAVI4493_08_SE_FM.pdf)
- Husen, U. (2017). Clonal Propagation of Dalbergia sissoo Roxb. by Softwood Nodal Cuttings: Effects of Genotypes, Application of IBA and Position of Cuttings on Shoots. *Silvae Genetica*, 53(1-6), 50-55. <https://doi.org/10.1515/sg-2004-0009>
- Inuma, L. L., Montejo, D. A., Torres, G. V., López, L. A., Ochoa, C. B., Vásquez, E. C., & Vásquez, E. R. (2018). Edad del material vegetativo y su efecto en el enraizamiento de brotes de café (Coffea arabica) variedad Caturra. *Investigación Valdiviana*, 12(4), 215-222. <https://doi.org/10.33554/riv.12.4.157>
- Lima, S. M., Ventura, R. E., & Chipani, T. H. (2018). Efecto de tres enraizadores y dos tipos de sustratos en estacas de rosa (Rosa sp.) del patrón natal brier en condiciones de vivero en el Instituto de Educación Eural (IER) San Salvador, Calca-Cusco. *Revista Ciencia y Tecnología - para el Desarrollo - UJCM*, 4(7), 22-28. <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/98>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Morales, I., Aquino-Bolaños, T., Escamirosa-Tinoco, C., & Hernández-Tolentino, M. (2016). Substrate volume and nursery times for earliness and yield of greenhouse tomato. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(12), 897-902. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-09-1282>
- Mesén, F. (1998). *Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales*. Costa Rica: Bib. Orton IICA/Catie. <https://books.google.es/books?id=L9IOAQAAIAAJ>
- Montaño, M. E., Serrano, J. A., Guamán, V. H., Patiño, J. M., Zaruma, D. G., Arévalo, M. Y., & Ortega, C. V. (2017). Multiplicación sexual y asexual de Cinchona officinalis L., con fines de conservación de la especie. *Tzhoecoen*, 9(1), 81-93. <https://doi.org/10.26495/rtzh179.121509>
- Pérez-Fernández, Y., Santiago, M. V., Escamilla-Robledo, E., Cruz-León, A., Rosas-Brugada, M., & de Jesús Ruiz-Espinoza, F. (2016). Propuestas para la preservación de la vida en los cafetales en el municipio de Teocelo, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 57, 7-16. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749288007.pdf>
- Rivera-Rodríguez, M. O., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., Villegas-Monter, Á., & Jiménez-Casas, M. (2016). Enraizamiento de estacas de Pinus patula. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 385-392. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.4.385-392>
- Sánchez Santillán, T., Silva Valqui, G., Chichipe Puscan, A. K., Trigos Pinedo, M., Bobadilla Rivera, L. G., & Jiménez Yoplac, G. Y. (2020). Influencia de sustratos y concentraciones de ácido indol butírico en la propagación vegetativa de Cinchona officinalis L.(quina) en Amazonas, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 241-251. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692020000200241](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000200241)

- Thuring, C. E., Berghage, R. D., & Beattie, D. J. (2010). Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *HortTechnology*, 20(2), 395-401. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.395>
- Torres, E., & Siche, R. (2016). Sostenibilidad ambiental de dos sistemas de producción de café en Perú: orgánico y convencional. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(3), 51-65. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1401/1416>
- Vallejos, G., Arévalo, L., Iliquin, I., & Solis, R. (2019). Respuesta en campo de clones de café a la inoculación con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en la región Amazonas, Perú. *Información Tecnológica*, 30(6), 73-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600073>
- Vallejos-Torres, G., Arévalo, L. A., Ríos, O., Cerna, A., & Marín, C. (2020). Propagation of rust-tolerant *Coffea arabica* L. plants by sprout rooting in microtunnels. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 933-940. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00180-7>