

Efecto de la variedad y la altitud de procedencia de la semilla en la emergencia y desarrollo temprano de plántulas de *Coffea arabica* L.

Effect of variety and seed origin altitude on emergence and early seedling development of *Coffea arabica* L.

Carlos David Herrera Ramírez¹ , Guillermo Alexander Jácome Sarchi¹ ,
Freddy Richard Quinde Sari² 

Siembra 13 (2) (2026): e9741
DOI: [10.29166/siembra.v13i2.9741](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i2.9741)

Recibido: 04/03/2026
Revisado: 04/05/2026 / 04/09/2026
Aceptado: 16/09/2026



¹ Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
Carrera Agropecuaria. Facultad de Industrias
Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Avenida
Universitaria y Antisana. 040101. Tulcán,
Carchi. Ecuador.

² Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
Carrera Administración de Empresas. Facultad
de Comercio Internacional, Integración,
Administración y Economía Empresarial.
Avenida Universitaria y Antisana. 040101.
Tulcán, Carchi. Ecuador.

Correspondencia: carlos.herrera@upec.edu.ec

Resumen

El desarrollo temprano de plántulas de café constituye una etapa crítica para el establecimiento exitoso del cultivo, en la cual influyen tanto factores genéticos como ambientales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la variedad y la altitud de origen de la semilla sobre la emergencia y el desarrollo temprano de plántulas de *C. arabica* L. durante las etapas de semillero y vivero. Se evaluaron las variedades Geisha y Caturra rojo, provenientes de dos altitudes de procedencia (1.600 y 1.900 m s.n.m.), bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2 y seis repeticiones por tratamiento, para un total de 24 unidades experimentales. Se analizaron variables de emergencia, longitud de la raíz principal, mortalidad, deformación radicular y altura de planta. Los resultados mostraron que la variedad influyó significativamente en la emergencia, el desarrollo radicular y la altura de planta, destacándose Caturra rojo por presentar mayor porcentaje de emergencia, mayor longitud de raíz y mayor altura de planta. La altitud de origen de la semilla afectó de manera significativa la longitud de la raíz principal, mientras que la interacción variedad $\times$ altitud tuvo un efecto determinante sobre la mortalidad en vivero, registrándose la menor mortalidad en la combinación Caturra rojo $\times$ 1.900 m s.n.m. Estos resultados evidencian la importancia de considerar conjuntamente el genotipo y el ambiente de origen de la semilla para optimizar la producción de plántulas de café vigorosas y con mayor capacidad de establecimiento en vivero.

Palabras clave: calidad de plántulas, crecimiento inicial, desarrollo radicular, procedencia de semilla, vivero.

Abstract

Early development of coffee seedlings constitutes a critical stage for the establishment and successful of the crop, in which both genetic and environmental factors play a key role. The objective of this study was to evaluate the effect of variety and seed origin altitude on the emergence and early development of *C. arabica* L. seedlings during the germination and nursery stages. The Geisha and Red Caturra varieties were evaluated from two altitudes of origin (1,600 and 1,900 m a.s.l.) under a randomized complete block design with a 2×2 factorial arrangement. The variables analyzed included emergence percentage, primary root length, mortality, root deformation, and plant height. The results showed that variety significantly influenced emergence, root development, and plant height, with Red Caturra presenting higher emergence percentage, greater root length, and greater shoot growth. Seed origin altitude significantly affected primary root length, while the variety $\times$ altitude interaction had a

SIEMBRA
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>
ISSN-e: 2477-8850
Periodicidad: semestral
vol. 13, núm 2, 2026
siembra.fag@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia
internacional Creative Commons
Atribución - NoComercial

© Los Autores 2026

determining effect on nursery mortality, with the lowest mortality recorded in the Red Caturra $\times$ 1,900 m a.s.l. combination. These findings highlight the importance of jointly considering genotype and seed origin environment to optimize the production of vigorous coffee seedlings with greater establishment capacity in nursery conditions.

Keywords: initial growth, nursery, root development, seed provenance, seedling quality.

1. Introducción

El café (*C. arabica* L.), frutal perenne perteneciente a la familia Rubiaceae, es originario de las tierras altas de Etiopía, donde se desarrolla de manera óptima en altitudes comprendidas entre 1.350 y 2.000 m s.n.m. (Alulima Cornejo, 2012). Esta especie arbustiva se caracteriza por presentar hojas lisas y brillantes y constituye una de las especies más cultivadas a nivel mundial, debido a su elevada calidad en taza, menor contenido de cafeína y buena adaptación a condiciones de altitud (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2020).

A escala global, en 2023 se cultivaron más de 11 millones de hectáreas de café arábigo, con una producción superior a 9 millones de toneladas, liderada por Brasil y Vietnam (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023). En Ecuador, el cultivo del café representa una actividad de importancia económica y social para miles de productores de acuerdo con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, ese mismo año se sembraron 34.931 ha de café, de las cuales se cosecharon 29.481 ha, con un rendimiento promedio de 0,26 t ha⁻¹ de grano oro. (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023).

La propagación del café se realiza predominantemente por vía sexual mediante semillas, lo que requiere la instalación de germinadores y viveros para la obtención de plántulas aptas para el trasplante definitivo. Este método es ampliamente utilizado en sistemas productivos de *C. arabica* L., ya que permite un establecimiento relativamente uniforme de los cultivos comerciales cuando se emplea semilla de calidad (Acosta-Trinidad et al., 2022; Zhirvi Ordóñez, 2017).

La calidad genética de la semilla constituye un factor determinante en el desempeño fisiológico temprano de las plántulas, y en este sentido, la variedad y la procedencia de esta influyen sobre procesos como la emergencia, el crecimiento radicular y el desarrollo aéreo, afectando el vigor y la calidad del material vegetal obtenido en vivero (Picon Tafur, 2025). La variabilidad genética entre variedades de café desempeña un papel importante en la respuesta fisiológica durante las primeras etapas de crecimiento. Diferencias genéticas pueden influir en procesos asociados a la germinación, como la velocidad de imbibición, la

actividad enzimática relacionada con la movilización de reservas y la eficiencia metabólica de las plántulas, lo que puede traducirse en respuestas diferenciadas durante la emergencia y el crecimiento inicial de las plantas (Cerdeza Cruz, 2021).

La variedad Geisha es reconocida por su excepcional calidad en taza y tolerancia a determinadas enfermedades por ejemplo resistencia parcial a roya, presentando un desempeño óptimo en zonas ubicadas por encima de los 1.200 m s.n.m. (Silva Rincon et al., 2024). Por su parte, la variedad Caturra rojo, derivada de una mutación natural de Bourbon, se caracteriza por su porte bajo, maduración temprana y alto potencial productivo, características que han favorecido su amplia adopción en sistemas de producción de café (Santacreo Ponce, 2012).

En sistemas agrícolas tropicales de montaña, las condiciones altitudinales influyen sobre la temperatura media, la amplitud térmica diaria, la radiación solar y la duración del periodo de maduración del fruto, variables que pueden modificar la acumulación de reservas y el equilibrio hormonal de la semilla (Flechas-Bejarano y Medina-Rivera, 2021; Guzmán Vidal, 2013). En consecuencia, el ambiente materno en el que se desarrolla el fruto puede generar efectos persistentes sobre el desempeño germinativo y el vigor inicial de las plántulas, fenómeno conocido como “efecto materno ambiental” (Valarezo Rivera et al., 2021). Diversos estudios han demostrado que las condiciones ambientales experimentadas por la planta madre pueden modificar la calidad fisiológica de las semillas y su capacidad de establecimiento durante las primeras fases del desarrollo (Lopes et al., 2025; Paima Flores, 2017).

En *C. arabica* L., el desarrollo radicular constituye un componente fundamental del vigor de la plántula, ya que determina la capacidad de exploración del sustrato, la absorción de agua y nutrientes, y la tolerancia frente a factores bióticos y abióticos presentes en vivero (Guilcapi Pacheco, 2010). Un sistema radicular bien desarrollado reduce el periodo de susceptibilidad a patógenos del suelo asociados al mal del talluelo (*Rhizoctonia solani*) y favorece la supervivencia de las plantas después del trasplante (Membreño Hernández y Téllez Castellón, 2021). Debido a su importancia para el establecimiento inicial del cultivo, diversos factores pueden influir en su desarrollo, entre

ellos la interacción entre el genotipo y el ambiente de formación de la semilla, que puede afectar la arquitectura radicular y la asignación temprana de biomasa entre raíz y parte aérea (Valarezo Rivera et al., 2021).

A pesar de la relevancia de la variedad y de las condiciones ambientales durante la formación de la semilla, existe información limitada acerca de la interacción entre ambos factores sobre la emergencia y el desarrollo temprano de plántulas de café (Gil y Díaz, 2016). Diversos estudios han contribuido a comprender el crecimiento de las plántulas en vivero; sin embargo, la influencia conjunta de la altitud de procedencia de la semilla y la variedad sobre el establecimiento inicial de las plantas ha sido escasamente estudiada (León-Burgos et al., 2022). Esta limitación restringe la identificación de las combinaciones más favorables de variedad y procedencia de semilla para la producción de plántulas de alta calidad.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la altitud de procedencia de la semilla (1.600 y 1.900 m s.n.m.) y de la variedad (Geisha y Caturra rojo) sobre la emergencia y el desarrollo temprano de plántulas de café durante las fases de semillero y vivero.

2. Materiales y Métodos

2.1. Sitio experimental

La investigación se desarrolló en el Centro Experimental Alonso Tadeo [CEAT], perteneciente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi [UPEC], localizado en la cuenca del río Mira, parroquia La Concepción, cantón Mira, provincia del Carchi, al norte del Ecuador. El área experimental se ubicó a una altitud de 1.373 m s.n.m. y presentó una temperatura promedio anual de 26°C.

2.2. Material vegetal

Se utilizaron semillas de café (*C. arabica* L.) pergamino correspondiente a las variedades Geisha y Caturra rojo. El material vegetal fue recolectado de forma simultánea a partir de plantas madre de ocho años, establecidas en dos altitudes de procedencia (1.600 y 1.900 m s.n.m.), con buen desempeño productivo y sanitario.

Para la obtención de las semillas se seleccionaron frutos considerando únicamente aquellos sanos, de tamaño uniforme y provenientes de ramas del tercio medio de la planta. La cosecha se realizó en estado de maduración de cosecha, correspondiente al estado de cereza roja uniforme, equivalente a los estadios

BBCH 85–88 para café (*Coffea spp.*), según la escala fenológica descrita por Arcila-Pulgarín et al. (2002). Este estado garantiza el desarrollo completo del fruto y la viabilidad fisiológica de las semillas utilizadas en el experimento.

2.3. Fase I. Evaluación de la emergencia y longitud de la raíz principal en el germinador

2.3.1. Establecimiento en el germinador

Las semillas se sembraron en germinadores previamente acondicionados con sarán al 80% de intercepción de radiación solar, lo que garantizó la reducción de la incidencia directa de luz y la conservación de la humedad del sustrato. Se utilizó arena cernida como sustrato, dispuesta en camas de germinación con un espesor aproximado de 20 cm. La siembra se realizó de manera uniforme en surcos de 1 cm de profundidad, con una separación de 5 cm entre hileras y 1 cm entre semillas. Posteriormente, las semillas fueron cubiertas con una capa de arena y se mantuvieron condiciones adecuadas de humedad mediante riegos periódicos, con el fin de favorecer la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas.

2.3.2. Diseño experimental

El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar [DBCA] con arreglo factorial 2×2 . Se utilizó este diseño para controlar la variabilidad ambiental presente en el germinador, asociada a diferencias microclimáticas generadas por la presencia de paredes y otras estructuras físicas que podían afectar la incidencia de luz, temperatura, humedad y circulación de aire.

Los factores evaluados fueron: Factor A, variedad de café (Geisha y Caturra rojo), y Factor B, altitud de procedencia de la semilla (1.600 y 1.900 m s.n.m.). La combinación de ambos factores dio lugar a cuatro tratamientos: T1 (Geisha – 1.600 m s.n.m.), T2 (Geisha – 1.900 m s.n.m.), T3 (Caturra rojo – 1.900 m s.n.m.) y T4 (Caturra rojo – 1.600 m s.n.m.).

Se establecieron seis repeticiones por tratamiento, para un total de 24 unidades experimentales. Cada bloque estuvo conformado por los cuatro tratamientos, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque.

En la fase de germinador, cada unidad experimental correspondió a un área de 0,168 m² y estuvo constituida por 300 semillas, de las cuales 100 semillas conformaron la parcela neta de evaluación.

2.3.3. Variables evaluadas

- **Emergencia de semillas (%):** determinada en el germinador a los 60 días después de la siembra [dds], evaluando 100 semillas por unidad experimental. Este momento de evaluación se seleccionó debido a que, bajo condiciones de germinador, la germinación y emergencia de *C. arabica* L. ocurren de forma gradual y pueden extenderse durante varias semanas. A los 60 días se alcanza una emergencia suficientemente estable que permite estimar con precisión el establecimiento de las plántulas (Cevallos Cantos, 2022).
- **Longitud de la raíz principal (cm):** determinada a los 90 dds, cuando las plántulas alcanzaron el estado de chapola, correspondiente a las primeras etapas de desarrollo vegetativo (BBCH 10–11) según la escala fenológica para café descrita por Arcila-Pulgarín et al. (2002). La medición se realizó desde el cuello de la planta hasta el ápice de la raíz principal, en 25 chapolas por unidad experimental.

2.4. Fase II. Evaluación de mortalidad de plantas, deformidad de raíz principal y altura de planta en vivero

2.4.1. Establecimiento en el vivero

Las plántulas obtenidas en la fase de germinador fueron trasplantadas al vivero manteniendo la identidad de cada unidad experimental. Las plántulas se establecieron en fundas de polietileno de 24 × 13 cm y 1,5 mm de calibre, las cuales contenían un sustrato compuesto por 25% de arena cernida y 75% de suelo negro de montaña. El suelo negro se caracteriza por su alto contenido de materia orgánica, estructura granular, color oscuro y buena capacidad de retención de humedad, mientras que la arena cernida aporta drenaje y aireación al sustrato, permitiendo un desarrollo radicular adecuado de *C. arabica* L. durante la fase inicial de crecimiento.

Durante esta etapa se mantuvieron condiciones homogéneas de manejo, con riego periódico para conservar el sustrato a capacidad de campo y la aplicación de fertilización edáfica a razón de 6 g por planta de fertilizante formulado 15 N–15 P₂O₅–15 K₂O, con el objetivo de asegurar un crecimiento uniforme de las plántulas. El vivero se mantuvo bajo cobertura de sarán con 80% de interceptación de radiación solar durante todo el período experimental, reduciendo la incidencia directa de luz y favoreciendo condiciones microclimáticas estables.

2.4.2. Diseño experimental

El experimento se condujo bajo un diseño DBCA con arreglo factorial 2 × 2. Se utilizó este diseño para controlar la variabilidad ambiental presente en el vivero, asociada a diferencias microclimáticas generadas por la presencia de paredes y otras estructuras físicas que podían afectar la incidencia de luz, temperatura, humedad y circulación de aire.

Los factores evaluados fueron: Factor A, variedad de café (Geisha y Caturra rojo), y Factor B, altitud de procedencia de la semilla (1.600 y 1.900 m s.n.m.). La combinación de ambos factores dio lugar a cuatro tratamientos: T1 (Geisha – 1.600 m s.n.m.), T2 (Geisha – 1.900 m s.n.m.), T3 (Caturra rojo – 1.900 m s.n.m.) y T4 (Caturra rojo – 1.600 m s.n.m.).

Se establecieron seis repeticiones por tratamiento, para un total de 24 unidades experimentales. Cada bloque estuvo conformado por los cuatro tratamientos, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque. En la fase de vivero, las plántulas provenientes del germinador fueron trasplantadas manteniendo la misma estructura experimental, y cada unidad experimental estuvo constituida por 196 plantas, de las cuales 100 conformaron la parcela neta.

2.4.3. Variables evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables:

- **Mortalidad de plantas (%):** evaluada durante la fase de vivero a los 60 días después del trasplante (ddt), relacionando el número de plántulas vivas con las plantas muertas, en la parcela neta de cada unidad experimental.
- **Deformidad de la raíz principal (%):** determinada a los 90 ddt, mediante la identificación de curvaturas o abultamientos en la raíz principal (Figura 1), evaluando 50 plantas por unidad experimental.
- **Altura de planta (cm):** medida en el vivero utilizando un flexómetro, desde el cuello de la planta hasta el ápice, a los 60 y 120 ddt, en 25 plantas correspondientes a la parcela neta de cada unidad experimental. Las evaluaciones se realizaron en estos momentos debido a que representan etapas clave del crecimiento vegetativo temprano de las plántulas de café. La medición a los 60 días permitió cuantificar la respuesta inicial al trasplante y el establecimiento en vivero, mientras que la evaluación a los 120 días permitió determinar el crecimiento acumulado y la expresión más estable del vigor vegetativo (León-Burgos et al., 2022).

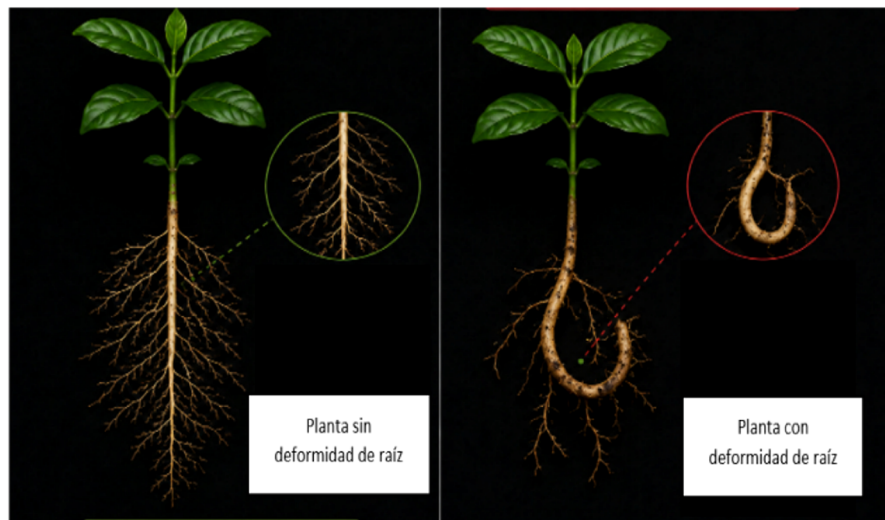


Figura 1.- Comparación del sistema radical de plántulas de *C. arabica* L. con raíz sana y con deformación.

Figure 1.- Comparison of the root systems of *C. arabica* L. seedlings with healthy and deformed roots.

2.5. Análisis estadístico

De manera preliminar se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene), luego los datos obtenidos en las fases del germinador y vivero fueron analizados por separado mediante análisis de varianza [ANOVA] para un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2 . Los factores evaluados fueron la variedad de café y la altitud de procedencia de la semilla. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey. Adicionalmente, se calcularon la media y el coeficiente de variación para cada variable evaluada. El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

3. Resultados y Discusión

3.1. Influencia de la variedad y de la altitud de procedencia de la semilla sobre la emergencia y la longitud de la raíz principal en el germinador

En la Tabla 1 se presenta los resultados del ANOVA para las variables evaluadas y se observaron diferencias estadísticamente significativas al 1% asociadas al factor variedad en la emergencia de semillas y longitud de raíz. Mientras que para altitud de origen de la semilla se presenta una diferencia estadística significativa al 5% en la variable Longitud de raíz. El

promedio experimental de emergencia de la semilla fue del 80,11% y la longitud de raíz 9,53 cm, el coeficiente de variación que registró el experimento fue de 13,79 y 3,3% respectivamente

En la Tabla 2 se muestra la prueba de Tukey, y la variedad Caturra rojo registró un porcentaje de emergencia del 87,17 %, superior al 73,05 % observado en Geisha. Para la longitud de raíz también se observa comportamientos estadísticos diferentes la variedad Caturra rojo posee una longitud de raíz de 9,76 cm sobre la variedad geisha que registra 9,30 cm de longitud. De la misma manera en el caso del factor altitud de procedencia de la semilla aquellas provenientes de los 1.900 m s.n.m. registraron una longitud de raíz de 9,68 cm valor superior al registrado por las semillas provenientes de los 1.600 m s.n.m. que alcanzaron un valor de 9,37 cm.

El mayor porcentaje de emergencia de Caturra rojo en comparación con Geisha puede atribuirse a diferencias genéticas asociadas al vigor y la estabilidad fisiológica de la semilla. Caturra rojo, al ser una mutación natural de Bourbon, se caracteriza por una mayor uniformidad genética y una adaptación histórica a una amplia gama de condiciones productivas, lo que se traduce en semillas con mayor vigor y capacidad germinativa (Gutiérrez Baque, 2023). En contraste, la variedad Geisha presenta generalmente una germinación más lenta y heterogénea, particularmente en condiciones de vivero, lo que puede afectar los porcentajes de emergencia (Mallitasig Cajas et al., 2024; Wintgens, 2004).

Diversos estudios han señalado que la emergencia de plántulas en *C. arabica* L. está estrechamente rela-

Tabla 1. Análisis de varianza para emergencia y longitud de raíz en plántulas de *C. arabica* L., evaluadas en el germinador.
Table 1. Analysis of variance for emergence and root length in *C. arabica* L. seedlings evaluated in the germination chamber.

	Emergencia semilla (%)		Longitud raíz (cm)	
	60 dds		90 dds	
	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p
Variedad	9,799	0,0068**	12,584	0,0029**
Altitud de origen de la semilla	0,468	0,5045	5,839	0,0288*
Variedad x Altitud de origen de la semilla	0,189	0,6698	0,720	0,4096
Promedio	80,11		9,53	
CV (%)	13,79		3,3	

Tabla 2. Prueba de Tuckey para emergencia y longitud de raíz en plántulas de *C. arabica* L. evaluadas en el germinador.
Table 2. Tukey’s test for emergence and root length in *C. arabica* L. seedlings evaluated in the germinator.

Variables evaluadas	Emergencia (%)*	Longitud raíz (cm)*
	60 dds	90 dds
Factor: Variedad		
Caturra rojo	87,17 a	9,76 a
Geisha	73,05 b	9,30 b
Factor: Altitud de origen de la semilla		
1.900 m s.n.m.	-	9,68 a
1.600 m s.n.m.	-	9,37 b

* Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).
* Means with the same letter do not differ significantly from each other, according to Tukey’s test ($p \leq 0.05$).

cionada con el vigor de la semilla, la velocidad de imbibición y la eficiencia en la movilización de reservas durante las primeras etapas del desarrollo, factores que suelen ser más favorables en variedades de porte bajo y maduración temprana como Caturra rojo (Silva et al., 2020). En este contexto, la mayor emergencia observada en Caturra rojo sugiere una respuesta fisiológica más favorable durante la germinación, lo que podría contribuir a un establecimiento más uniforme de las plántulas en vivero.

Los resultados evidencian diferencias significativas en la longitud de la raíz principal tanto entre variedades como en altitudes de origen de la semilla, lo que confirma que el desarrollo radicular temprano en *C. arabica* L. está condicionado por factores genéticos y ambientales (Villafuerte Soledispa, 2023). La mayor longitud de raíz observada en la variedad Caturra rojo en comparación con Geisha sugiere un mayor vigor fisiológico durante las etapas iniciales del crecimiento, atributo que ha sido reportado en estudios como un componente clave para la producción de plántulas uniformes y de alta calidad en vivero (Alixandre et al., 2021). En este sentido, diferencias en la calidad

fisiológica de la semilla a nivel de variedad pueden reflejarse directamente en la elongación de la raíz principal, influyendo en la capacidad de exploración del sustrato y en la absorción temprana de agua y nutrientes (Vidal-Tejeda, 2023).

Por otro lado, la influencia significativa de la altitud de origen de la semilla sobre la longitud de la raíz principal concuerda con estudios que han demostrado que las condiciones ambientales asociadas a mayores altitudes, particularmente las temperaturas más bajas, prolongan el período de maduración del fruto y modifican características fisiológicas y bioquímicas del grano de café (Joët et al., 2010; Soares Ferreira et al., 2022). Asimismo, la calidad fisiológica de las semillas de café puede estar influenciada tanto por el material genético como por las condiciones ambientales durante su formación (Alixandre et al., 2021). En este contexto, la mayor longitud radicular observada en semillas procedentes de 1.900 m s.n.m. sugiere que la procedencia altitudinal puede influir en el crecimiento inicial de las plántulas. En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que tanto la variedad como la altitud de origen de la semilla influyen en el desarrollo

radicular temprano de las plántulas, aspectos que deben considerarse en la producción de material vegetal de calidad para vivero.

3.2. Influencia de la variedad y de la altitud de procedencia de la semilla sobre la mortalidad, la deformidad de la raíz principal y la altura de plántulas en vivero.

El análisis de varianza para la altura de planta a los 60 y 120 ddt mostró diferencias estadísticas significativas al 1% para el factor variedad, y al 5% para la altitud de procedencia de la semilla a los 60 ddt ($p = 0,047$) aunque este efecto debe interpretarse con cautela ya que el valor se acerca al límite estadístico superior (0,05). La deformación de la raíz no muestra diferencias estadísticas significativas en ninguna fuente de variación, y analizando la mortalidad solo en la interacción Variedad x Altitud de origen de la semilla hay diferencias estadísticas al 1%. (Tabla 3)

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey (Tabla 4) indicó que la combinación Caturra rojo $\times$ 1900 m s.n.m. presentó el menor porcentaje de mortalidad (8,94 %), diferenciándose significativamente de Geisha $\times$ 1900 m s.n.m. (10,17 %), mientras que las combinaciones Caturra rojo $\times$ 1600 m s.n.m. y Geisha $\times$ 1600 m s.n.m. mostraron valores intermedios (9,45%), sin diferencias estadísticas con los demás tratamientos. Este comportamiento sugiere que la respuesta de las plántulas durante el establecimiento en vivero dependió de la interacción entre el genotipo y la procedencia altitudinal de la semilla, más que del efecto independiente de cada factor. (Bewley et al., 2013; Wibowo et al., 2023).

Durante la fase de vivero se observaron, en las plántulas muertas, síntomas compatibles con el mal

del talluelo tanto en la parte aérea como en el sistema radicular. Esta sintomatología es consistente con la descrita para enfermedades causadas por patógenos del suelo asociados al mal del talluelo, entre ellos *Rhizoctonia solani* (Membreño Hernández y Téllez Castellón, 2021). Sin embargo, en el presente estudio no se realizó la identificación del agente causal. Los síntomas se presentaron principalmente en etapas tempranas del desarrollo, provocando el colapso del sistema radicular y la posterior muerte de las plántulas (World Coffee Research, 2021), el porcentaje de mortalidad registrado en el experimento no superó el 10,17%.

En cuanto a la altura de planta a los 60 ddt, la variedad Caturra rojo presentó una mayor altura promedio (18,14 cm) que Geisha (16,70 cm). Asimismo, las plántulas provenientes de semillas recolectadas a 1.900 m s.n.m. alcanzaron una mayor altura (17,67 cm) que aquellas procedentes de 1.600 m s.n.m. (17,17 cm), lo que coincide con los efectos significativos detectados para ambos factores en el análisis de varianza.

El comportamiento de la altura de planta a los 60 ddt asociadas al factor variedad indican que el crecimiento vegetativo del café en vivero estuvo condicionado por las características genéticas de cada cultivar. En este sentido, Caturra rojo presentó una mayor altura promedio (18,14 cm) en comparación con Geisha (16,70 cm) a los 60 ddt. Este comportamiento puede estar relacionado con el mayor desarrollo radicular temprano observado en Caturra rojo, lo que habría favorecido una mayor absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, una mayor altura de planta durante la etapa inicial de establecimiento. De manera consistente, a los 120 ddt la altura de planta continuó mostrando diferencias significativas atribuibles al factor

Tabla 3. Análisis de varianza para deformación de raíz, altura de planta y mortalidad en plántulas de *C. arabica* L. evaluadas en el vivero.

Table 3. Analysis of variance for root deformation, plant height, and mortality in *C. arabica* L. seedlings evaluated in the nursery.

Fuente de Variación	Variable dependiente							
	Deformación raíz (%)		Altura 60 ddt (cm)		Altura 120 ddt (cm)		Mortalidad (%)	
	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p
Variedad	0,000	1,00	40,941	<0,0001**	0,270	<0,0001**	0,270	0,6107
Altitud de origen de la semilla	0,000	1,00	5,015	0,047*	9,344	0,0551	9,344	0,0899
Variedad x Altitud de origen de la semilla	0,882	0,362	0,050	0,826	9,344	0,7479	9,344	0,0079**
Promedio	0,89		17,42		29,94		9,50	
CV (%)	0,31		3,16		3,11		5,17	

Tabla 4. Prueba de Tuckey para deformación de raíz, altura de planta y mortalidad en plántulas de *C. arabica* L. evaluadas en el vivero.

Table 4. Tukey’s test for root deformation, plant height, and seedling mortality in *C. arabica* L. evaluated in the nursery.

Variables evaluadas	Mortalidad* (%)	Altura 60 ddt* (cm)	Altura 120 ddt * (cm)
Factor: Variedad			
Caturra rojo	-	18,14 a	31,22 a
Geisha	-	16,70 b	28,65 b
Factor: Altitud de origen de la semilla			
1.900 m s.n.m.	-	17,67 a	-
1.600 m s.n.m.	-	17,17 b	-
Interacción			
Caturra rojo * 1.600 msnm	9,45 ab	-	-
Geisha * 1.600 m s.n.m.	9,45 ab	-	-
Geisha * 1.900 m s.n.m.	10,17 a	-	-
Caturra rojo * 1.900 m s.n.m.	8,94 b	-	-

* Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

* Means with the same letter do not differ significantly from each other, according to Tukey’s test ($p \leq 0.05$).

variedad (Caturra rojo: 31,22 cm; Geisha: 28,65 cm), lo que sugiere que las características genéticas propias de cada cultivar mantienen su influencia sobre la altura de planta conforme avanza el desarrollo de las plántulas, una vez superada la fase inicial de establecimiento en vivero.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia de la procedencia de la semilla en el desarrollo temprano de las plántulas de *C. arabica* L., la mayor longitud radicular observada en semillas provenientes de 1.900 m s.n.m. sugiere que condiciones altitudinales más elevadas podrían favorecer una maduración más lenta del fruto y una acumulación más equilibrada de reservas, mejorando la eficiencia metabólica durante la germinación. De acuerdo con Bewley et al. (2013), la calidad fisiológica de la semilla está estrechamente relacionada con la movilización eficiente de reservas durante la germinación, lo que repercute directamente en el vigor inicial. Asimismo, estudios en café arábigo han señalado que diferencias en la calidad seminal influyen significativamente en el crecimiento radicular temprano y en la uniformidad del establecimiento (Alixandre et al., 2021; Vidal-Tejeda, 2023). Desde una perspectiva ecofisiológica, un mayor desarrollo radicular incrementa la capacidad de absorción de agua y nutrientes y reduce la vulnerabilidad frente a fluctuaciones en la humedad del sustrato, favoreciendo el establecimiento inicial en vivero (Wibowo et al., 2023).

Es importante destacar que la variedad influyó prin-

cipalmente en la emergencia y el crecimiento inicial de las plántulas, mientras que la altitud de procedencia de la semilla incidió en el desarrollo radicular y la supervivencia durante la fase de vivero. Estos hallazgos evidencian que la calidad fisiológica de la semilla constituye un factor estratégico para la producción de plántulas uniformes y vigorosas, particularmente en sistemas cafetaleros de montaña, donde pequeñas diferencias en el establecimiento inicial pueden influir en la homogeneidad y eficiencia del vivero.

4. Conclusión

El desempeño temprano de las plántulas de *C. arabica* L. estuvo influenciado por la variedad y la altitud de origen de la semilla. Además, la interacción entre ambos factores afectó significativamente la mortalidad de las plántulas durante la fase de vivero. La variedad Caturra rojo presentó mayor porcentaje de emergencia, mayor desarrollo radicular y mayor altura de planta durante las etapas de semillero y vivero, lo que evidencia un mayor vigor inicial en comparación con Geisha. Por su parte, la altitud de procedencia influyó principalmente en la longitud de la raíz principal, sugiriendo que el ambiente de formación de la semilla puede modificar su calidad fisiológica. La menor mortalidad observada en la combinación Caturra rojo $\times$ 1.900 m s.n.m. resalta la importancia de considerar conjuntamente el genotipo y el origen

altitudinal en la selección de material de siembra. En términos prácticos, estos resultados aportan criterios técnicos para optimizar la producción de plántulas vi-

gorosas y uniformes en viveros cafetaleros de zonas andinas, contribuyendo a mejorar el establecimiento inicial del cultivo.

Contribuciones de los autores

- Carlos David Herrera Ramírez: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
- Guillermo Alexander Jácome Sarchi: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, redacción – borrador original.
- Freddy Richard Quinde Sari: conceptualización, metodología, administración del proyecto:

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron ChatGPT 5.2 con el fin de mejorar la redacción, en un 15%, y para elaborar la Figura 1. Tras utilizar esta herramienta/servicio/software, los autores revisaron y editaron el contenido, para evitar sesgos, errores o fabricación de referencias, y asume toda la responsabilidad por el contenido del artículo publicado.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Acosta-Trinidad, L., Soplin-Villacorta, H., y Chura-Chuquija, J. (2022). Remoción del endocarpio en la emergencia, vigor y fenología pre-trasplante de plántulas de semillas de nueve genotipos de café, en Oxapampa. *Anales Científicos*, 83(1), 67–77. <https://doi.org/10.21704/ac.v83i1.1885>
- Alixandre, F. T., Lopes, J. C., Ferreira, A., Alexandre, R. S., de Lima, P. A. M., Guarçoni, R. C., Kroling, C. A., Dias, R. da S., Favarrato, L. F., Alixandre, R. D., y Fornazier, M. J. (2021). Physiological quality of seeds from traditional and new recommended groups of Arabic coffee cultivars to highland regions. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(7), 114–120. <https://doi.org/10.22161/ijaers.87.13>
- Alulima Cornejo, M. V. (2012). *Alternativas agroecológicas para el manejo del café (Coffea arabica)*. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3251>
- Arcila-Pulgarín, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., y Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). *Annals of Applied Biology*, 141(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Bewley, J. D., Black, M., Halmer, P., y Bradford, K. J. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Cerda Cruz, K. L. (2021). *Modelos de germinación, crecimiento y parámetros de calidad de Schizolobium parahybum (Vell) en vivero bajo diferentes sustratos orgánicos*. Universidad Estatal Amazónica. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/1045>
- Cevallos Cantos, J. J. (2022). *Evaluación del crecimiento de plántulas de Coffea arabica L. Acawa en condiciones de vivero con diferentes sustratos y bioestimulantes*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3683>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2020). InfoStat (Versión 2020). Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Flechas-Bejarano, N., y Medina-Rivera, R. (2021). Efecto del almacenamiento en la viabilidad, germinación y vigor de semillas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72206. <https://doi.org/10.38141/10778/72206>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2023). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Gil, A. I., y Díaz, L. J. (2016). Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 125–136. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4461>
- Guilcapi Pacheco, E. D. (2010). *Efecto de Trichoderma harzianum y Trichoderma viride, en la producción de plantas de café (Coffea arabica) variedad caturra a nivel de vivero*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/334>
- Gutiérrez Baque, J. J. (2023). *Aptitud combinatoria general y específica de parentales de café en las cruces de Catimor CIFC x Borbón Amarillo y Catimor CIFC x Caturra Roja en vivero*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5760>
- Guzmán Vidal, F. F. (2013). *Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la cuenca alta del*

- rio Sisa – provincia de Lamas y El Dorado, región San Martín. Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1075>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2020). *Guía práctica de caficultura*. <https://hdl.handle.net/11324/13191>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2023*. https://anda.inec.gob.ec/anda5/index.php/catalog/1037/variable/F21/V1177?name=ct_codcultiv2_int
- Joët, T., Salmona, J., Laffargue, A., Descroix, F., y Dussert, S. (2010). Use of the growing environment as a source of variation to identify the quantitative trait transcripts and modules of co-expressed genes that determine chlorogenic acid accumulation. *Plant, Cell & Environment*, 33(7), 1220–1233. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02141.x>
- León-Burgos, A. F., Ramírez, C., Rendón Sáenz, J. R., Imbach-Quinchua, L. C., Unigarro-Muñoz, C. A., y Balaguera-Lopez, H. E. (2022). Fitting growth curves of coffee plants in the nursery stage of growth: A functional approach. *Agronomía Colombiana*, 40(3), 344–353. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n3.101333>
- Lopes, E. C. S., dos Santos, M. S., Allaman, I. B., Dalmolin, Á. C., Sousa-Santos, C., Cerqueira, A. F., Mello, D. L. N., y Mielke, M. S. (2025). Growth and biomass-allocation responses of arabica coffee young plants subjected to the interactive effects of root deformation and light availability. *Acta Physiologiae Plantarum*, 47(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03749-2>
- Mallitasig Cajas, J. S., Macías Campuzano, K. W., Luna Muriello, R. A., Chuquitarco Esmeralda, V. A., y Cedeño Aristegui, M. J. (2024). Respuesta morfométrica de seis variedades de café (*Coffea arabica* L.) durante las épocas lluviosa y seca. *Revista ESPAMCIENCIA*, 15(e), 33–38. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15iE.518
- Membreño Hernández, L. N., y Téllez Castellón, P. Y. (2021). *Distribución espacial y temporal del mal de talluelo (Rhizoctonia solani) y pudrición blanca (Sclerotium rolfsii) en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) en el Campus Agropecuario de la UNAN-León, en el ciclo agrícola 2010*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/1941>
- Paima Flores, J. K. (2017). *Influencia de tres pisos altitudinales en las características físicas y sensoriales del café (Coffea arabica L.) variedad Catimor en los distritos de Lamas y Alonso de Alvarado Roque*. Universidad Nacional de San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3236>
- Picon Tafur, E. C. (2025). *Influencia del lugar de procedencia en la germinación y características morfo-estructurales de semilla botánica de Tithonia diversifolia*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/4646>
- Santacreo Ponce, R. (2012). *Mejoramiento genético de café*. Instituto Hondureño del Café [IHCAFE]. <https://ihcafe.hn/mejoramiento-genetico/>
- Silva, L. O. E., Schmidt, R., Valani, G. P., Ferreira, A., Ribeiro-Barros, A. I., y Partelli, F. L. (2020). Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. *Agronomy*, 10(9), 1394. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091394>
- Silva Rincon, C. I., Alarcón Gutiérrez, E., García Pérez, J. A., Sánchez-Velásquez, L. R., y Iglesias Andreu, L. G. (2024). La variedad de café Geisha y su estatus en el mundo y en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7), e3403. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3403>
- Soares Ferreira, D., Eduardo da Silva Oliveira, M., Rodrigues Ribeiro, W., Altoé Filete, C., Toledo Castanheira, D., Cesar Pereira Rocha, B., Polonini Moreli, A., Catarina da Silva Oliveira, E., Carvalho Guarçoni, R., Partelli, F. L., y Louzada Pereira, L. (2022). Association of Altitude and Solar Radiation to Understand Coffee Quality. *Agronomy*, 12(8), 1885. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081885>
- Valarezo Rivera, N. Y., Quevedo Guerrero, J. N., Ajila Gia, L. G., García Batista, R. M., y Chabla Carrillo, J. E. (2021). Evaluación del porcentaje de germinación de cinco cultivos de café (*Coffea arabica* L.) empleando cuatro tratamientos en vivero. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 69–76. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/446>
- Vidal-Tejeda, C. A. (2023). Atributos físicos y fisiológicos de las semillas de café (*Coffea arabica* L.). *Siembra*, 10(2), e4523. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.4523>
- Villafuerte Soledispa, D. E. (2023). *Comportamiento morfológico de dos genotipos de café arábigo (Coffea arabica L.) en etapa semillero, a la aplicación de dos sustratos con dos enraizadores*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5802>
- Wibowo, A., Aprillia Wijaya, S., y Suharjono. (2023). Germination and early seedling growth of three Arabica coffee varieties at four seed soaking water temperatures. *Pelita Perkebunan*, 39(1), 1–10. <https://doi.org/10.22302/iccir.jur.pelitaperkebunan.v39i1.540>
- Wintgens, J. N. (2004). *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>
- World Coffee Research. (2021). *Guía de buenas prácticas en el manejo de vivero de café*. <https://worldcoffeeresearch.org/es/download/296c6e39-092b-43ce-b18c-5a3fc76ccfc2>
- Zhirvi Ordóñez, C. M. (2017). Evaluación de dos (2) especies nativas y una comercial de *Trichoderma* sp. como agente de control de los hongos que ocasionan el damping off (*Rhizoctonia* spp.) en semilleros de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbón. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26240>