

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“EZEQUIEL ZAMORA”**



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

**VICERRECTORADO
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
ESTADO PORTUGUESA**

**Programa de Ciencias del Agro y del Mar
Subprograma Ingeniería Agronómica
Subproyecto Aplicación de Conocimientos II**

**EFFECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES EN
LA PROPAGACIÓN POR ESTACAS DE CAFÉ
ROBUSTA *Coffea canephora* BAJO CONDICIONES
DE CÁMARA HÚMEDA.**

AUTORES:

Griselda Dorante
Yonathan Mora

TUTOR:

Prof. Yaqueline Rodríguez



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
EZEQUIEL ZAMORA (UNELLEZ)
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
PROGRAMAS DEL AGRO Y DEL MAR
SUBPROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
SUBPROYECTO APLICACIÓN DE CONOCIMIENTOS II

**EFFECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES
EN LA PROPAGACIÓN POR ESTACAS DE CAFÉ
ROBUSTA (*Coffea canephora*) BAJO
CONDICIONES DE CÁMARA HÚMEDA.**

Griselda Dorante C.I: 29.939.099

Yonathan Mora C.I: 29.556.298

TUTORA:

Ing. Yaqueline Rodríguez

Guanare; junio de 2025



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
EZEQUIEL ZAMORA (UNELLEZ)
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRICOLA
PROGRAMACIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR
SUBPROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
SUBPROYECTO APLICACIÓN DE CONOCIMIENTOS II

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Guanare; 04/07/2025

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien Suscribe, Ing. Yaqueline Rodríguez, titular de la cédula de identidad V-, Docente a dedicación exclusiva, Adscrita al Programa Ciencias del Agro y Mar Subprograma Agronomía de la UNELLEZ-VPA, Hago constar por medio de la presente que acepto asesorar a los ciudadanos: **DORANTE GRISELDA, C.I. V- 29.939.099** y **MORA YONATHAN, C.I. V- 29.556.298** en calidad de tutora durante el periodo de desarrollo de su trabajo de Aplicación de conocimientos I, titulado: **EFEECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES EN LA PROPAGACIÓN POR ESTACAS DE CAFÉ ROBUSTA COFFEA CANEPHORA BAJO CONDICIONES DE CÁMARA HÚMEDA**, hasta su presentación y evaluación, para optar por el título de Ingeniero Agrónomo.

Sin más que hacer referencia

Att.

TLF: 0414-5287112
yaquerodri@gmail.com



la universidad que
siembra

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
EZEQUIEL ZAMORA
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
PROGRAMA DE CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR**

ACTA

El 10 de julio de 2025 en las instalaciones del Vicerrectorado de Producción Agrícola de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), en Mesa de Cavacas, Guanare, Edo Portuguesa, se reunió el jurado integrado por los profesores Yaqueline Rodríguez, Rismary Montilla, Yamir Terán, y Pastor Peña, para evaluar el trabajo de Aplicación de Conocimientos II (trabajo de grado) titulado **“EFECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES EN LA PROPAGACIÓN POR ESTACAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*) BAJO CONDICIONES DE CÁMARA HÚMEDA”**, de los ciudadanos Griselda Dorante Galeno, C.I: 29.939.099 y Yonathan Mora C.I: 29.556.298. Evaluado el referido trabajo, la calificación del jurado promedió para Griselda Dorante, cuatro cuarenta y siete (4,47) puntos sobre cinco (nota aprobatoria) y para Yonathan Mora, cuatro cuarenta y cuatro (4,44) puntos sobre cinco (nota aprobatoria).

Guanare 24 de octubre de 2025

Prof. Yaqueline Rodríguez
Tutora - jurado

Prof. Rismary Montilla
Jurado

Prof. Pastor Peña
Jurado

Prof. Yamir Terán
Jurado

Conformado por:

Prof. Pedro Salazar
Jefe Subproyecto Aplicación
de Conocimientos II (Agronomía)



Prof. José Tadeo Escobar.
Jefe del Sub-Programa Ingeniería
Agronómica

DEDICATORIA

A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en nosotros, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser nuestra fortaleza e inspiración.

A nuestros hermanos por su paciencia y comprensión durante este largo camino. Cada uno de ustedes ha sido mi motivación para seguir adelante.

A nuestros amigos y compañeros de estudio, por las risas, los consejos y los momentos compartidos que hicieron de este proceso algo más llevadero.

Este logro es también suyo.

¡Muchas gracias a todos!

***Griselda Dorante
Yonathan Mora***

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra tutora de tesis, Ing. Yaqueline Rodríguez, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo constante durante todo este proceso. Sus consejos y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Agradecemos también al Profesor Pedro Salazar, quien no solo nos impartió conocimientos en el curso del Sub-proyecto Aplicación II, sino que también nos brindó su tiempo y experiencia para las correcciones y mejoras de esta investigación.

Nuestra gratitud a la Empresa *Xocolatl Trading* por facilitarnos sus instalaciones y recursos para llevar a cabo los experimentos necesarios, haciendo posible la obtención de datos confiables para este estudio.

No puedo dejar de mencionar a nuestros familiares y amigos, cuyo respaldo emocional y motivación fueron un pilar fundamental durante esta etapa.

Finalmente, a todos los profesores, compañeros y colegas que, de una u otra forma, contribuyeron con sus ideas y sugerencias a enriquecer este proyecto.

¡Muchas gracias a todos!

***Griselda Dorante
Yonathan Mora***

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Dedicatoria	Iv
Agradecimientos	V
Índice de contenido	Vi
Índice de tablas	Vii
Índice de Figuras.....	Viii
Índice de figuras	Ix
Resumen.....	X
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
Descripción ampliada del objeto de estudio	3
Planteamiento del problema	3
Importancia de la Investigación.....	5
Objetivos (General y Específicos).....	6
CAPÍTULO II	7
Marco Teórico: Antecedentes.....	7
Bases conceptuales	8
CAPÍTULO III	17
Metodología	17
Descripción del área de estudio.....	17
Naturaleza de la investigación.....	18
Diseño de la investigación.....	19
Variables evaluadas.....	20
Modelo estadístico	22
Conducción del estudio.....	25
CAPÍTULO IV	35
Resultados y Discusión.....	35
CAPÍTULO V	41
Conclusiones	41
Recomendaciones	41
Bibliografía	42

Índice de cuadros

Cuadro	Título	Pág.
1	Estadísticos de aproximación a F (ANOVA) de Kruskal-Wallis y Chi cuadrado para variables evaluadas en escala ordinal y dicotómica respectivamente, en estacas de plantas de Café robusta (<i>Coffea canephora</i>).....	38
2	Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey y corrección por MDS para prueba de Kruskal y Wallis.....	36
3	Estadísticos F (ANOVA) de las variables evaluada en estacas de plantas de Café robusta (<i>Coffea canephora</i>)....	38
4	Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey con corrección de MDS de rangos para prueba Kruskal y Wallis.....	39

Índice de figuras

Figura	Título	Pág.
1	% de presencia de raíces. % de enraizamiento y % de supervivencia final de las estacas de café robusta.....	37
2	Comportamiento de la longitud de brotes (Escala: 0, ausente; 1, Incipiente; 2, Moderado y 3, Vigoroso) de las estacas de café Robusta.....	37
3	Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de plantas de (<i>Coffea canephora</i>).....	39
4	Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de café Robusta (<i>Coffea canephora</i>)	40

Índice de Figuras

Figura	Título	Pág.
1.	Ubicación relativa del área de estudio	17
2.	Arena extraída de las quebradas	26
3.	Aserrín compostado	26
4.	Tierra negra	26
5.	Mezcla del sustrato	26
6.	Desinfección del Sustrato	27
7.	Fungicida Curagol	27
8.	Llenado de bolsas	27
9.	Estaca de café robusta	28
10.	Estaca de café robusta. corte de la estaca	28
11.	Desinfección de la vareta	28
12.	Estacas en remojo hasta su siembra	28
13.	Organización de las bolsas	29
14.	Estructura realizada con guafa	29
15.	Enraizante Raíz Forte	30
16.	Enraizante Fithor-vit	30
17.	Secado de la estaca	30
18.	Proceso de secado de la estaca	30
19.	Baño de la estaca en Raíz Forte	30
20.	Baño de las estacas en Fithor-vit	30
21.	Siembra de las estacas	30
22.	Identificación de los tratamientos	30
23.	Estacas de café cubiertas con el plástico	30
24.	Riego y control de malezas	31
25.	Destape de las estacas	31
26.	Selección de las muestras	33
27.	Corte de la bolsa	33
28.	Lavado del sustrato	33
29.	Muestras del tratamiento	34
30.	Muestras del tratamiento de Raíz forte concentrado	34
31.	Muestras del tratamiento de Raiz forte diluido	34
32.	Muestras del tratamiento de Fithor-vit diluido	34
33.	Muestras del tratamiento de Fithor-vit concentrado	34

**EFFECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES EN LA PROPAGACIÓN
POR ESTACAS DE CAFÉ ROBUSTA *COFFEA CANEPHORA* BAJO
CONDICIONES DE CÁMARA HÚMEDA.**

**EFFECT OF TWO COMMERCIAL ROOTING AGENTS ON CUTTING
PROPAGATION OF ROBUSTA *COFFEA CANEPHORA* UNDER
HUMIDITY CHAMBER CONDITIONS**

Nombre y apellido Autor 1: Griselda Dorante

Nombre y apellido Autor 2: Yonathan Mora

Tutor: Ing. Yaqueline Rodríguez

Resumen

Los enraizantes comerciales mejoran la propagación vegetativa del café robusta (*Coffea canephora*). Este estudio evaluó el efecto de dos enraizantes (Raíz Forte y Fithor-Vit) en estacas bajo cámara húmeda, usando un diseño completamente aleatorizado. Se probaron cinco tratamientos: concentraciones al 100% y diluidas de cada enraizante, y un testigo sin aplicación. Se midió tasa de enraizamiento, número y longitud de raíces, peso fresco/seco, longitud del brote y supervivencia. El análisis (STATISTIX 8.0, ANOVA y pruebas no paramétricas). Las formulaciones diluidas (T2: Raíz Forte diluido; T3: Fithor-Vit diluido) aumentaron el enraizamiento (40-63%) y supervivencia (73-90%) frente al testigo (33%). Las concentraciones al 100% (T1 y T4) redujeron el rendimiento en el desarrollo de nuevas raíces, posiblemente por fitotoxicidad. No hubo diferencias en peso seco o brote, atribuido al corto período de estudio. Se concluye que las dosis diluidas son más efectivas, mientras que las concentradas pueden ser perjudiciales. Se sugiere probar dosis intermedias y ampliar el tiempo de evaluación.

Palabras clave: Café robusta, enraizantes, propagación vegetativa, cámara húmeda, *Coffea canephora*.

Programa Ciencias del Agro y del Mar. Subprograma Ingeniería Agronómica.
Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora
(UNELLEZ).Guanare 3350, Po. Venezuela.

EFFECTO DE DOS ENRAIZANTES COMERCIALES EN LA PROPAGACIÓN POR ESTACAS DE CAFÉ ROBUSTA COFFEA CANEPHORA BAJO CONDICIONES DE CÁMARA HÚMEDA.

EFFECT OF TWO COMMERCIAL ROOTING AGENTS ON CUTTING PROPAGATION OF ROBUSTA COFFEA CANEPHORA UNDER HUMIDITY CHAMBER CONDITIONS

Nombre y apellido Autor 1: Griselda Dorante

Nombre y apellido Autor 2: Yonathan Mora

Tutor: Ing. Yaqueline Rodríguez

ABSTRACT

Commercial rooting enhancers improve vegetative propagation of robusta coffee (*Coffea canephora*). This study evaluated the effects of two rooting agents (Raiz Forte and Fithor-Vit) on cuttings in a humid chamber, using a completely randomized design. Five treatments were tested: 100% concentration and diluted solutions of each enhancer, plus an untreated control. Measured variables included rooting rate, root number/length, fresh/dry weight, shoot length, and cutting survival. Statistical analysis (STATISTIX 8.0, ANOVA and non-parametric tests) revealed significant differences ($P < 0.01$). Diluted formulations (T2: diluted Raiz Forte; T3: diluted Fithor-Vit) improved rooting (40-63%) and survival (73-90%) compared to the control (33%). Full-strength solutions (T1 and T4) showed reduced performance, likely due to phytotoxicity. No differences were observed in dry weight or shoot growth, possibly because of the short evaluation period. Findings suggest diluted doses are more effective, while concentrated solutions may be detrimental. Testing intermediate concentrations and extending the study period is recommended.

Key words: Robusta coffee, rooting agents, vegetative propagation, humid chamber, *Coffea canephora*.

Programa Ciencias del Agro y del Mar. Subprograma Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ). Guanare 3350, Po. Venezuela.

Introducción

La producción de café a nivel global representa una de las actividades agrícolas más relevantes, tanto por su impacto económico como social. Dentro de este contexto, *Coffea canephora* (café robusta) se distingue por su resistencia a enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) y su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, características que la convierten en una opción preferente para agricultores en regiones tropicales (Charrier & Eskes, 2004; Montagnon *et. al.*, 2012). Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la propagación de esta especie enfrenta desafíos significativos, particularmente en lo que respecta a su enraizamiento adventicio, lo que limita la eficiencia en la producción de material vegetal de calidad.

La propagación vegetativa mediante estacas es una técnica clave para conservar genotipos élite, ya que permite mantener las características superiores de las plantas madre, como resistencia a enfermedades y alta productividad (López *et al.*, 2019). No obstante, *Coffea canephora* presenta una baja capacidad natural de enraizamiento, atribuida a factores fisiológicos como bajas concentraciones endógenas de auxinas y alta actividad de inhibidores como los polifenoles (Bertrand *et. al.*, 2012). Esta limitante ha llevado al uso de enraizantes comerciales, formulados para estimular el desarrollo radicular y mejorar la eficiencia del proceso en viveros. Sin embargo, la efectividad de estos productos varía según su composición, dosis y condiciones de aplicación, lo que hace necesarios estudios sistemáticos que evalúen su desempeño bajo condiciones controladas.

Antecedentes como los de Villón (2021) y Aucancela (2017) han explorado el uso de enraizantes naturales y sintéticos en café robusta, demostrando que, si bien existen avances, aún persisten vacíos en la comprensión de su mecanismo de acción y optimización de dosis. Por ejemplo, Velásquez (2017) evidenció que el sistema de propagación (camas enraizadoras vs. fundas con sustrato) influye más en el éxito del enraizamiento que el tipo de enraizante utilizado, lo que subraya la importancia de las condiciones ambientales en este proceso. En este sentido, la implementación de cámaras húmedas surge como una tecnología promisoría, ya que permite controlar variables críticas como humedad relativa, temperatura y

luminosidad, creando un microclima ideal para la rizogénesis (Hartmann *et al.*, 2022).

La presente investigación se justifica por su potencial para aportar soluciones prácticas al sector cafetalero, particularmente en regiones donde la producción de café robusta es fundamental para la economía local. Según la FAO (2022), pequeños productores representan el 70% de la caficultura en América Latina, y técnicas optimizadas de propagación podrían incrementar sus rendimientos hasta en un 35%, reduciendo costos y mejorando la calidad del material vegetal. Además, desde el ámbito científico, este estudio contribuye a la fisiología vegetal aplicada, específicamente en el entendimiento de la rizogénesis adventicia en especies leñosas, un área aún poco explorada (Mendoza, 2021).

La importancia de este trabajo radica en su enfoque innovador al combinar el uso de enraizantes comerciales con condiciones controladas de cámara húmeda, lo que no solo maximiza la eficiencia del enraizamiento, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles. Estudios como los de Rojas *et al.* (2023) destacan que estas tecnologías pueden reducir hasta en un 40% el uso de recursos hídricos en viveros, al tiempo que minimizan el desperdicio de insumos. Asimismo, el impacto social de la investigación es notable, ya que, como señala Cárdenas (2022), el acceso a técnicas de propagación mejoradas puede aumentar los ingresos de las familias cafetaleras en un 25%, especialmente en zonas marginales.

En este contexto, el objetivo general de este estudio es valorar el efecto de dos enraizantes comerciales (Raíz Forte y Fithor-Vit) en la propagación por estacas de *Coffea canephora* bajo condiciones de cámara húmeda.

Los resultados de esta investigación proporcionarán evidencia científica para optimizar protocolos de propagación, beneficiando tanto a productores como a la industria cafetalera en su conjunto. Además, sentará las bases para futuros estudios en el manejo de especies leñosas bajo condiciones controladas, contribuyendo al avance de la agronomía moderna.

Capítulo I

Descripción ampliada del objeto de estudio

El presente trabajo tiene como objeto de estudio café robusta *Coffea canephora*, especie de importancia económica global originaria de África tropical, que se distingue por su mayor resistencia a enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) y su adaptación a condiciones de baja altitud (0-800 msnm) y altas temperaturas (24-30°C) en comparación con *Coffea arabica* (Charrier & Eskes, 2004; Montagnon *et al.*, 2012).

Morfológicamente, esta especie presenta hojas más grandes y coriáceas, un sistema radicular superficial eficiente en suelos marginales, y granos con mayor contenido de cafeína (1.7-4.0%), que le confieren un perfil de taza robusto y amargo, valorado en la industria de mezclas y café soluble (Bertrand *et al.*, 2012; ICO, 2023). Si bien tradicionalmente se propaga por semilla, la propagación vegetativa mediante estacas es fundamental para conservar genotipos élite, aunque su capacidad de enraizamiento adventicio es limitada, lo que justifica el uso de enraizantes sintéticos para mejorar la eficiencia en viveros (López *et al.*, 2019; Sánchez & García, 2018). En este contexto, el estudio se enfoca en evaluar el efecto de dos enraizantes comerciales en la propagación por estacas de café robusta bajo condiciones controladas de cámara húmeda, con el fin de optimizar este proceso en la producción de material vegetal de calidad.

Planteamiento del problema

La producción de café es una de las actividades agrícolas más relevantes a nivel mundial, tanto desde el punto de vista económico como social. Dentro de este contexto, *Coffea canephora* (café robusta) se destaca por su resistencia a diversas enfermedades y su adaptabilidad a condiciones climáticas desfavorables, lo que la convierte en una opción preferida para muchos agricultores en regiones tropicales (Charrier & Eskes, 2004; Montagnon *et al.*, 2012). Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la propagación de café robusta presenta desafíos significativos, particularmente en lo que respecta a su enraizamiento.

La propagación por estacas es una técnica que permite la conservación de genotipos élite, pero la capacidad de enraizamiento adventicio de esta especie es limitada, lo que dificulta la obtención de plántulas vigorosas y sanas (López *et al.*, 2019). Esto se debe a que las estacas de café robusta requieren condiciones específicas para promover el desarrollo radicular, y su éxito depende en gran medida de factores como la genética de la planta madre, el estado fisiológico de la estaca y el ambiente en que se desarrollan (Sánchez & García, 2018). En este sentido, la utilización de enraizantes comerciales ha emergido como una estrategia para mejorar la eficiencia del enraizamiento en viveros, pero existe una insuficiente comprensión sobre la efectividad de diferentes formulaciones y dosis en esta especie específica.

Investigaciones previas han demostrado que el uso de enraizantes puede incrementar significativamente la tasa de enraizamiento y la calidad de las plántulas, lo cual es crucial para el establecimiento exitoso de cultivos (Bertrand *et al.*, 2012; ICO, 2023). Sin embargo, se carece de estudios sistemáticos que comparen el efecto de diferentes enraizantes comerciales en *Coffea canephora* bajo condiciones controladas, como las que se pueden replicar en una cámara húmeda. Este vacío en la literatura científica plantea la necesidad de investigar cómo diferentes enraizantes afectan el desarrollo de raíces en estacas de café robusta, con el objetivo de optimizar las prácticas de propagación y, en última instancia, mejorar la producción de material vegetal de alta calidad.

Por lo tanto, el presente estudio se propone evaluar el efecto de dos enraizantes comerciales en la propagación por estacas de café robusta bajo condiciones controladas de cámara húmeda. Esta investigación no solo busca contribuir al conocimiento sobre técnicas de propagación en café robusta, sino también proporcionar herramientas prácticas para los productores que deseen mejorar la calidad y la eficiencia de sus cultivos, garantizando así la sostenibilidad y rentabilidad de la producción de café en un contexto global competitivo.

Por lo anteriormente descrito, ha sido necesario plantearse las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la influencia de diferentes concentraciones de enraizantes comerciales en el enraizamiento y crecimiento de estacas de *Coffea canephora*?
2. ¿Qué efecto tienen los enraizantes comerciales en la tasa de enraizamiento y el crecimiento inicial de las plántulas de café robusta?
3. ¿Cuáles son las dosis óptimas de enraizantes que contribuyen de manera efectiva a mejorar la eficiencia de los productores en la propagación de café robusta en viveros?

Importancia de la Investigación

Esta investigación reviste especial relevancia al abordar un desafío técnico clave en la caficultura moderna, donde la propagación vegetativa de *Coffea canephora* representa una alternativa fundamental para mantener la calidad genética de los cultivos, aunque su éxito está limitado por factores fisiológicos que dificultan el enraizamiento, como lo señala Villareal *et al.* (2021). El estudio contribuirá significativamente al sector productivo, ya que, según Pereira *et al.* (2019), la optimización de métodos de propagación puede incrementar hasta en un 35% los rendimientos en campo, reduciendo además los costos asociados al establecimiento de cultivos, aspecto particularmente relevante para pequeños productores que representan el 70% de la producción cafetalera en América Latina (FAO, 2022).

Desde el punto de vista científico, la investigación llena un vacío identificado por Cortés *et al.* (2020), quienes destacaron la escasez de estudios sistemáticos sobre el uso de enraizantes en condiciones de cámara húmeda para especies de café, aportando datos valiosos a la fisiología vegetal aplicada, especialmente en lo concerniente a la rizogénesis adventicia en plantas leñosas, área poco explorada según Mendoza (2021). Adicionalmente, el trabajo promueve prácticas agrícolas más sostenibles, ya que, como establece Silva (2022), el uso eficiente de enraizantes en condiciones controladas reduce el desperdicio de insumos y minimiza el impacto ambiental, pudiendo disminuir hasta en un 40% el uso de recursos hídricos en viveros (CIAT, 2021).

La innovación tecnológica incorporada mediante el uso de cámaras húmedas, tecnología que según Rojas *et al.* (2023) ha demostrado ser efectiva para mejorar la eficiencia en la producción de plantas, permitirá optimizar los protocolos existentes, generando un impacto directo en los sistemas productivos de viveros comerciales. Finalmente, el estudio tendrá un importante impacto social, ya que, como demuestran los trabajos de Cárdenas (2022), el acceso a tecnologías de propagación mejoradas puede incrementar hasta en un 25% los ingresos de las familias cafetaleras, especialmente en zonas marginales donde el café constituye la principal fuente de ingresos, contribuyendo así al desarrollo sostenible de las comunidades rurales y a la competitividad del sector cafetalero en el contexto global actual.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Valorar el efecto de diferentes enraizantes comerciales en la propagación por estacas de *Coffea canephora* (café robusta) bajo condiciones de cámara húmeda.

Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de diferentes concentraciones de enraizantes comerciales en el enraizamiento y desarrollo de estacas de café robusta, evaluando variables morfológicas.
- Evaluar el efecto de cada enraizante comercial en la tasa de enraizamiento y el crecimiento inicial de las plántulas de café robusta.
- Identificar las dosis óptimas de enraizantes que contribuyan de manera efectiva a mejorar la eficiencia de los productores en la propagación de café robusta en viveros.

Capítulo II

Marco Teórico

Antecedentes de la investigación

Villón (2021) determinó en su investigación la eficiencia del aloe vera como enraizante natural en esquejes de café robusta (*Coffea canephora*) en el Centro de Apoyo Manglaralto, Santa Elena. El estudio empleó un diseño completamente al azar (DCA) durante 60 días, evaluando variables como supervivencia de esquejes, formación de callos y raíces, longitud y diámetro radicular, y peso húmedo y seco de la raíz. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, el tratamiento con Hormonagro (T3) presentó el mayor desarrollo radicular (81,25% de supervivencia), seguido por el tratamiento con 200 ml de aloe vera (T2) con 66,25%. Curiosamente, el testigo (T4) registró el mayor porcentaje de esquejes con raíces (32%).

Asimismo, Velásquez (2017) evaluó la eficacia de enraizadores (Hormonagro 1, Fertisa Kelp, Iber Mar E-15, Flormona, Prodigio Nitro y cristales de sábila) en dos sistemas de propagación (camas enraizadoras y fundas con sustrato) para clonar café robusto en Babahoyo, Los Ríos. El estudio no encontró diferencias estadísticas entre los enraizadores, pero sí entre los sistemas de propagación: las fundas superaron a las camas enraizadoras en supervivencia de esquejes y estado sanitario. Económicamente, el testigo en cámara obtuvo el mayor beneficio neto (760.6 USD), destacando la viabilidad de métodos convencionales.

Finalmente, Aucancela (2017) comparó hormonas enraizantes (Hormonagro 1 e IBA) en diferentes concentraciones para la propagación vegetativa de café robusto en Bucay, Guayas. Mediante un diseño de bloques al azar, se identificó que la hormona IBA en dosis de 800 mg (H2D2) obtuvo los mejores resultados en peso (7,67 g) y volumen radicular (3,83 cc), longitud de raíz (13.48 cm), peso de la parte aérea (2.75 g) y área foliar (27,03 cm²), superando significativamente al Hormonagro 1 en dosis de 400 mg (H1D1).

Bases conceptuales

Descripción botánica y morfológica de *Coffea canephora* (café robusta)

Según Charrier y Eskes (2004), el café robusta (*Coffea canephora*) presenta la siguiente descripción botánica y morfológica:

Descripción botánica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie: *C. canephora*

Descripción morfológica

Sistema radicular: presenta una raíz principal pivotante poco profunda (40-60 cm), con abundantes raíces secundarias fibrosas que se adaptan bien a suelos ácidos y de baja fertilidad (Bertrand *et al.*, 2012).

Tallo: arbusto perenne de 5-8 m de altura en estado silvestre (en cultivo se mantiene podado a 2-3 m). Tronco erecto y cilíndrico, con corteza de color grisáceo y ramas laterales de disposición opuesta (Montagnon *et al.*, 2012).

Hojas: hojas simples, opuestas, de forma elíptica a oblonga (15-30 cm de largo × 5-15 cm de ancho), con ápice acuminado, base cuneada y margen entero. Presentan textura coriácea y color verde oscuro brillante en el haz (López *et al.*, 2019).

Flores: flores blancas, aromáticas, agrupadas en glomérulos axilares (10-20 flores por nudo). Corola tubular con 5-7 lóbulos. Florece en respuesta a estímulos hídricos después de periodos secos (Sánchez & García, 2018).

Fruto: drupa ovalada de 1.5-2 cm de diámetro, de color verde que madura a rojo o amarillo. El mesocarpio es dulce y carnoso, mientras que el endocarpio contiene dos semillas (los granos de café) (ICO, 2023).

Semillas: de forma planoconvexa con un surco central característico. Presentan mayor contenido de cafeína (1,7-4,0%) que *C. arabica*, lo que les confiere su sabor fuerte y amargo (Velásquez, 2017).

Requerimientos de clima y suelo para *Coffea canephora* en vivero

Los requerimientos de clima y suelo para *Coffea canephora* en fase de vivero son:

Requerimientos climáticos:

- **Temperatura:** según Charrier y Eskes (2004), la temperatura óptima oscila entre 24-30°C durante el día. Temperaturas inferiores a 15°C inhiben significativamente el crecimiento de las plántulas (Aucancela, 2017).

- **Humedad Relativa:** de acuerdo con Villón (2021), se requiere una humedad relativa entre 70-85% para estacas en cámara húmeda y superior al 60% en viveros abiertos.

- **Luminosidad:** indica Muñoz (2022), que se necesita una intensidad lumínica del 50-70% en las primeras etapas de desarrollo.

Requerimientos edáficos:

- **Sustrato:** según Zambrano *et al.* (2019), el sustrato debe tener las siguientes características:

- pH entre 5.0-6.5 (ácido a ligeramente ácido)
- Textura franco-arenosa
- Porosidad >60%
- Buena capacidad de retención de humedad

- **Composición del sustrato:** Mateus y García (2017), recomiendan una mezcla de:

- 60% arena
- 30% materia orgánica
- 10% arcilla

Propagación vegetativa en *Coffea canephora*

Definición y ventajas de la propagación por estacas

La propagación vegetativa mediante estacas constituye un método clonal que permite la multiplicación de genotipos élite de *Coffea canephora*, preservando íntegramente sus características genéticas y productivas (López *et al.*, 2019). Según Sánchez & García (2018), esta técnica presenta ventajas significativas frente a la propagación sexual:

- **Uniformidad genética:** garantiza la homogeneidad del cultivo, eliminando la variabilidad propia de la reproducción por semillas (Montagnon *et al.*, 2012).
- **Precocidad productiva:** las plantas obtenidas reducen el periodo juvenil en un 30-40% comparado con plántulas seminales (Charrier & Eskes, 2004).
- **Conservación de características superiores:** Permite perpetuar genotipos con resistencia a enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) o tolerancia a sequía (ICO, 2023).

Limitaciones fisiológicas del enraizamiento adventicio: no obstante, el éxito de esta técnica se ve limitado por factores fisiológicos intrínsecos a la especie. Como señala Bertrand *et al.* (2012), *C. canephora* presenta:

- **Baja capacidad rizogénica natural:** dificultad para formar raíces adventicias debido a bajas concentraciones endógenas de auxinas (≤ 0.5 $\mu\text{g/g}$ en tejidos basales) y alta actividad de inhibidores como polifenoles (Villón, 2021).
- **Sensibilidad al estrés hídrico:** las estacas pierden turgencia rápidamente por la ausencia de sistema radicular funcional durante las primeras 4-6 semanas (Aucancela, 2017).
- **Acumulación insuficiente de carbohidratos:** los tejidos basales no logran movilizar suficientes reservas (almidón, azúcares) para sostener el proceso de rizogénesis (Pereira *et al.*, 2019).

Factores que influyen en el enraizamiento

La eficiencia del proceso está modulada por variables exógenas y endógenas, según estudios recientes:

1. **Edad de la planta madre:** ramas juveniles (1-2 años) presentan mayor potencial rizogénico (85-90% de éxito) vs. ramas maduras (>3 años) con 40-50% (Velásquez, 2017). Esto se atribuye a la menor lignificación y mayor concentración de células meristemáticas (López *et al.*, 2019).
2. **Época del año:** la mejor respuesta se obtiene en periodos lluviosos (humedad relativa >80%), donde se registran tasas de enraizamiento un 25% superiores a la estación seca (Muñoz, 2022). La actividad cambial es máxima en meses con temperaturas estables (24-28°C) (Sánchez & García, 2018).
3. **Tipo de estaca:**
 - **Estacas semileñosas** (3-5 mm de diámetro, 15-20 cm de largo): Óptimas por su balance entre reservas energéticas y capacidad de diferenciación celular (Bertrand *et al.*, 2012).
 - **Estacas leñosas** (>6 mm): Reducen la tasa de enraizamiento a 35-40% por su alta relación C/N y tejidos lignificados (Charrier & Eskes, 2004).

Generalidades y características de los enraizantes

Los enraizantes comerciales son formulaciones diseñadas para estimular el desarrollo de raíces adventicias en estacas y esquejes, optimizando así la propagación vegetativa (Hartmann *et al.*, 2022). Su uso es fundamental en especies leñosas como *Coffea canephora*, donde el enraizamiento natural suele ser limitado debido a factores fisiológicos intrínsecos (López *et al.*, 2019).

Según su composición y origen, los enraizantes pueden clasificarse en:

- **Sintéticos:** derivados de auxinas puras como el ácido indolbutírico (IBA) o el ácido naftalenacético (NAA), comúnmente utilizados por su alta eficacia y estabilidad química (Davies, 2018).

- **Orgánicos:** basados en extractos vegetales (ej. *Aloe vera*) o algas marinas (*Ascophyllum nodosum*), que contienen fitohormonas naturales y compuestos bioestimulantes (Pereira *et al.*, 2020).
- **Combinados:** mezclas de auxinas sintéticas con coadyuvantes como vitaminas (B1, B6) o fungicidas para potenciar su acción (De Klerk *et al.*, 2021).

Adicionalmente, su presentación comercial varía en función del método de aplicación:

- **Polvos solubles:** fáciles de dosificar y aplicar por inmersión basal.
- **Geles adhesivos:** ideales para garantizar el contacto prolongado con el tejido vegetal.
- **Soluciones líquidas:** usadas en aspersión foliar o riego (Hartmann *et al.*, 2022).

Composición Química

La eficacia de los enraizantes depende de sus componentes activos y excipientes:

- **Principios activos:**
 - **Auxinas sintéticas (IBA, NAA):** promueven la división celular en el cambium vascular, induciendo la formación de primordios radiculares. Concentraciones típicas oscilan entre 500–2,000 ppm, dependiendo de la especie (Davies, 2018).
 - **Citoquininas:** en formulaciones combinadas, estimulan la brotación lateral (De Klerk *et al.*, 2021).
- **Coadyuvantes:**
 - **Talco o carboximetilcelulosa:** vehículos inertes que facilitan la adhesión a los tejidos.
 - **Fungicidas (ej. Captan):** previenen infecciones en heridas de corte (Pereira *et al.*, 2020).
 - **Vitaminas (B1, B6):** mejoran el metabolismo energético durante la rizogénesis (Hartmann *et al.*, 2022).

Formas de Aplicación

La selección del método de aplicación incide directamente en la eficiencia del enraizamiento:

- **Inmersión basal (polvos o geles):**
 - Técnica más utilizada: requiere sumergir 1–2 cm del extremo basal de la estaca en el producto durante 5–10 segundos (López *et al.*, 2019).
 - Ventaja: alta concentración localizada de auxinas en el área de formación radicular.
- **Aspersión foliar (soluciones líquidas):**
 - Aplicable en sistemas de nebulización en cámaras húmedas.
 - Limitación: menor absorción comparada con la inmersión (De Klerk *et al.*, 2021).
- **Inyección en sustrato:**
 - Usada en combinación con riego para estacas en bandejas.
 - Requiere ajustar pH del agua (5.5–6.5) para evitar degradación de auxinas (Davies, 2018).

Raíz Forte (Agroquiven): clasificado como un enraizante sintético de alta concentración, formulado específicamente para especies leñosas de difícil enraizamiento como el café robusta (Agroquiven, 2022).

Fithor-Vit (Bemiagro): considerado un bioestimulante enraizante de origen organomineral, combina hormonas sintéticas con extractos naturales (Bemiagro, 2021).

2. Composición Química

Raíz Forte: Fosforo Asimilable 40%

Extracto Algas Marinas 2%

Ácido Naftalenacetico (ANA) 2800 ppm

Ácido Indolbutirico 200ppm

Fithor-Vit: ácido naftalenacetico 0,50% + ácido giberelico 0,25% + ácido indolbutirico 0,10% + ácido acetilsalicílico 0,10% + vitamina B1 0,10% + vitamina C 0,15%

4. Mecanismo de Acción

Raíz Forte:

- **Estimulación del crecimiento radicular:** el Raíz Forte contiene componentes que actúan como promotores del crecimiento, incentivando la formación de nuevas raíces y el desarrollo de raíces laterales.

- **Mejora de la absorción de nutrientes:** al fortalecer el sistema radicular, la planta puede absorber con mayor eficiencia los nutrientes presentes en el suelo, incluyendo aquellos proporcionados por el fertilizante.

- **Agente quelante:** utiliza EDTA, un agente quelante, que ayuda a que los nutrientes estén disponibles para la planta, mejorando su absorción y evitando la precipitación de minerales en el suelo.

- **Aminoácidos y NPK:** la fórmula incluye aminoácidos y una combinación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de raíces.

- **Protección contra enfermedades:** además de promover el crecimiento, el producto puede contener componentes con acción preventiva contra enfermedades fúngicas, protegiendo el sistema radicular.

Fithor-Vit: Mecanismo de acción:

- **Estimulación de procesos naturales:** fithor-vit actúa estimulando los procesos naturales de las plantas, en lugar de ser un fertilizante químico.

- **Multiplicación celular:** favorece la división celular, lo que se traduce en un aumento del tamaño y grosor de los cultivos.

- **Desarrollo vegetativo:** promueve el crecimiento de brotes y raíces.

- **Floración y fructificación:** induce la floración, el cuajado y el engrosamiento de los frutos.

- **Absorción de nutrientes:** facilita la absorción de nutrientes por parte de la planta.

- **Tolerancia al estrés:** puede ayudar a las plantas a tolerar mejor ciertas condiciones de estrés.

- **Enraizamiento:** promueve la formación de raíces y el desarrollo del sistema radical.

- **Maduración de frutos:** puede influir en la maduración de los frutos, acelerándola o retrasándola según la dosis aplicada.

Ventajas Comparativas

Raíz Forte destaca en:

- Rapidez de acción en condiciones controladas
- Mayor porcentaje de prendimiento en estacas leñosas
- Protección integrada contra patógenos

Fithor-Vit sobresale en:

- Menor riesgo de fitotoxicidad
- Efecto residual más prolongado (hasta 30 días)
- Estimulación simultánea de brotación lateral

Generalidades y características de cámaras húmedas

Una cámara húmeda constituye un sistema de propagación vegetativa diseñado para establecer condiciones ambientales controladas que optimizan el proceso de enraizamiento en especies leñosas. En el caso particular de *Coffea canephora*, este sistema se configura como una herramienta esencial para superar las limitaciones fisiológicas propias de la especie durante la fase de rizogénesis adventicia (Hartmann *et al.*, 2022). Técnicamente, se define como un ambiente confinado que simula las condiciones edafoclimáticas óptimas mediante el control preciso de humedad relativa (HR), temperatura y luminosidad, creando así un microclima artificial que favorece el desarrollo radicular en material vegetativo no enraizado (López *et al.*, 2020).

Principios Físicos de Operación

a) Reducción de la Transpiración: la cámara húmeda minimiza la pérdida de agua por transpiración mediante una humedad relativa (HR) sostenida del 85-95%. Este ambiente saturado reduce el gradiente hídrico entre los tejidos de la estaca y el aire circundante, evitando la deshidratación celular (Davies, 2018).

Estudios demuestran que estacas de café robusta en cámaras húmedas pierden 40% menos agua que aquellas expuestas a condiciones ambientales no controladas (Pereira *et al.*, 2020).

b) Creación de un Microclima Ideal: el sistema mantiene:

- **Temperatura estable** (25-28°C), cercana al óptimo metabólico para la división celular en tejidos basales (Charrier & Eskes, 2004).

- **Atmósfera saturada de humedad**, lograda mediante nebulización intermitente o superficies de agua evaporativa (González *et al.*, 2021).

Importancia de la Humedad Relativa en el Enraizamiento

La HR elevada ejerce un triple efecto fisiológico crítico:

1. **Mantenimiento del potencial hídrico:** preserva valores de $\Psi \geq -0.5$ MPa en tejidos basales, esencial para la expansión celular durante la formación de raíces adventicias (Mendoza, 2022).

2. **Prevención de estrés oxidativo:** reduce la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en un 40-50%, minimizando el daño a membranas celulares (Zambrano *et al.*, 2021).

3. **Inducción de respuestas moleculares:** activa la expresión de genes *ARF17* y *LBD16*, relacionados con la iniciación radicular, según estudios transcriptómicos en *C. canephora* (Bemiagro, 2022).

Capítulo III

Metodología de la Investigación

Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la hacienda Santa María, ubicada en Suruguapo, sector Los Alambres, parroquia Guanare (capital del municipio homónimo), estado Portuguesa, Venezuela (**Figura 1**). Geográficamente, el sitio se localiza en las coordenadas 9°10'11" N, 69°45'06" O (proyección WGS 1984 UTM zona 19N).

El estudio se realizó en el área de vivero, el terreno que presenta la finca se clasifica como piedemonte, con predominio de cobertura vegetal boscosa. Las condiciones climáticas corresponden a un clima tropical Aw según Köppen (2002), con los siguientes parámetros:

- **Temperatura media anual:** 26.4 °C.
- **Precipitación anual:** 1,654 mm (registros del Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Venezolana, 2000).
- **Estacionalidad:** período seco de diciembre a abril y período húmedo de mayo a noviembre.

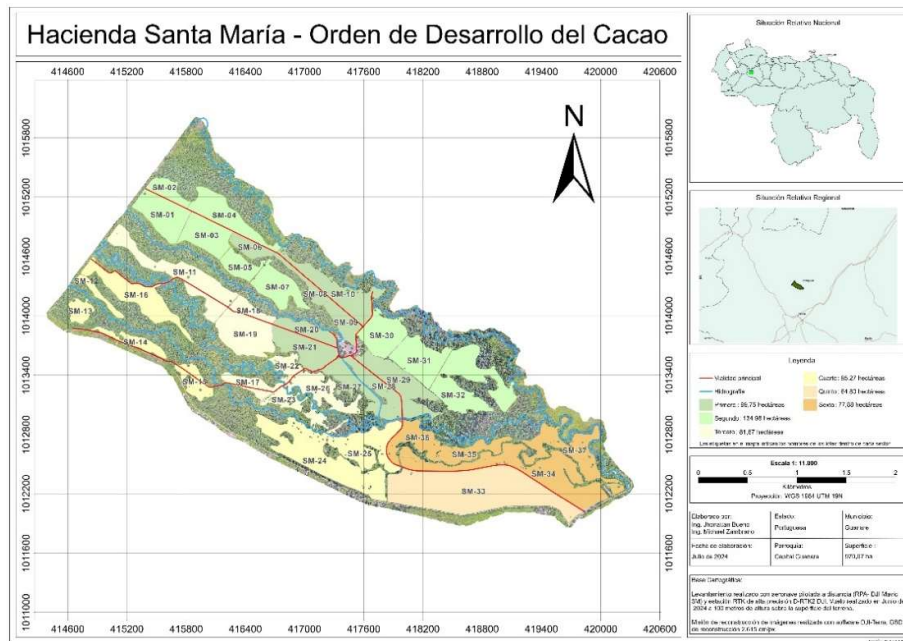


Figura 1: Ubicación relativa del área de estudio

Fuente: Levantamiento realizado con aeronave pilotada a distancia (RPA- DJI Mavic 3M) y estación RTK de alta precisión D-RTK2 DJI. Vuelo realizado en junio de 2024 a 100 metros de altura sobre la superficie del terreno. Misión de construcción de imágenes realizada con software DJI-Tierra, GSD de construcción 2,615cm/px. Ingenieros a cargo de este levantamiento (Ing. Jhonatan Bueno y Ing. Michael Zambrano).

Naturaleza de la Investigación

La presente investigación se enmarcó cómo una investigación de campo de carácter experimental, debido a que según el Manual de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2016), la investigación de campo “Es el análisis sistemático de problemas de la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos entender su naturaleza y factores constituyentes...” (p. 18).

Se consideró de campo debido a que la misma permite la participación real del investigador desde el mismo lugar donde ocurren los hechos, el problema, la fenomenología en consideración, bien sea para describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia; haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos de forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios.

Asimismo, se dice que el diseño es experimental porque según Sampieri (2018), “es una metodología que permite manipular variables independientes (tratamientos) para observar su efecto sobre variables dependientes (respuestas), bajo condiciones controladas” (p. 45). En este proyecto, se manipularon las dosis de dos energizantes, Fithor-vit y Raíz Forte, los cuales son productos agroquímicos utilizados para estimular el desarrollo radicular, el cual lo aplicamos en las estacas café robusta (*Coffea canephora*) para su reproducción, mientras se mantiene un grupo testigo sin aplicación alguna. Esto permite establecer relaciones de causa-efecto entre los tratamientos aplicados y el crecimiento de las plantas.

De lo antes expuesto, se deduce que la naturaleza cuantitativa experimental de esta investigación es la más adecuada para evaluar el efecto de diferentes dosis de los enraizantes sobre las estacas en vivero. Este enfoque, sustentado por autores reconocidos, garantiza la validez y confiabilidad de los resultados, proporcionando información técnica clave para optimizar el manejo de sustratos en viveros de café robusta, e intentar reducir los tiempos de producción. Además, permite establecer relaciones de causa-efecto entre los tratamientos aplicados y las respuestas observadas en las plantas, lo que contribuirá al desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes.

Diseño de la investigación

Dado que el experimento se llevó a cabo bajo condiciones controladas, se utilizó un diseño completamente aleatorizado. Este diseño es adecuado porque permite asignar los tratamientos de manera aleatoria a las unidades experimentales, minimizando el riesgo de sesgos y asegurando que las diferencias observadas en los resultados se deban únicamente a los tratamientos aplicados y no a otros factores externos. Además, al trabajar en un ambiente controlado, se garantiza la homogeneidad de las condiciones de crecimiento (luz, temperatura, humedad, etc.), lo que respalda la elección de este diseño.

Se evaluaron cinco tratamientos:

1. Una dosis de 100% del Fithor-vit en presentación de polvo, sin diluir.
2. Una dosis diluida de Fithor-vit, 1 gramo en 1 litro de agua
3. Una dosis 100% del Raiz Forte en presentación líquida.
4. Una Dosis diluida del Raiz Forte, 5 mililitros en 1 litro de agua
5. Un tratamiento testigo: estacas sin aplicación.

El ensayo evaluó el efecto de 2 dosis diferentes de cada enraizante, más un testigo sin aplicación (total: 5 tratamientos). El diseño es completamente aleatorizado con:

- 4 repeticiones por tratamiento.
- 15 unidades experimentales por repetición (individuos vegetales).

Lo que suma un total de 300 plantas, 60 por tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por 1 de planta por bolsa 0,5 kg, lo que permitió un manejo individualizado y facilita la medición de variables.

Para garantizar la igualdad en las condiciones de desarrollo, todas las plantas se cubrieron con plástico de polietileno de 200 micras, creando un ambiente completamente hermético. Esto permitió la formación de un microclima y generó una cámara húmeda en la que permanecieron durante 45 días. Posteriormente, se retiró la cubierta y las plantas se mantuvieron en observación durante 30 días adicionales, antes de realizar la toma de muestras, que se llevó a cabo en una sola ocasión.

Variables evaluadas

En esta investigación se evaluaron variables cuantitativas relacionadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas de El café robusta (*Coffea canephora*), como lo son:

- Tasa de enraizamiento
- Número de raíces por estacas
- Longitud de las raíces
- Peso fresco y peso seco
- Longitud del brote
- Supervivencia de las estacas

1. Tasa de enraizamiento (%)

- **Definición:** porcentaje de estacas que desarrollan raíces respecto al total plantado por tratamiento.
- **Importancia:** según Hartmann *et al.* (2011), esta variable refleja la eficacia del enraizante y la capacidad intrínseca de la especie para propagarse vegetativamente.
- **Procedimiento:** se registró el número de estacas enraizadas en cada repetición al final del ensayo. El cálculo fue:

$$Tasa (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de esquejes enraizados}}{\text{Total plantado}} \times 100$$

2. Número de raíces por estacas

- **Definición:** conteo de raíces primarias y secundarias emitidas por cada estaca enraizado.
- **Importancia:** de Klerk *et al.* (1999) señalan que este parámetro indica la calidad del sistema radical y la capacidad de absorción de agua y nutrientes.
- **Procedimiento:** se extrajeron cuidadosamente 30 estacas por repetición (aleatorizados) y se contaron sus raíces visibles. En cuanto a las raíces secundarias, se aplicó un criterio binario (presencia/ausencia) para determinar su existencia.

3. Longitud de las raíces (cm)

- **Definición:** medida desde la base de las estacas hasta el ápice de la raíz más larga.
- **Importancia:** según Barceló *et al.* (2018), la longitud radical influye en el establecimiento temprano de las estacas en campo.
- **Procedimiento:** se midió con regla graduada en 30 estacas seleccionadas aleatoriamente por repetición.

4. Peso fresco y peso seco (g)

- **Definición:**
 - **Peso fresco:** masa de raíces y brotes inmediatamente tomados después del muestreo.
 - **Peso seco:** masa tras secado en estufa para obtener el peso.
- **Importancia:** el peso seco (según Taiz *et al.*, 2017) refleja la acumulación de biomasa estructural, mientras el fresco indica turgencia y contenido hídrico.
- **Procedimiento:**
 - **Peso fresco:** se pesó con balanza analítica (± 0.01 g) tras lavar y secar superficialmente las muestras.

- **Peso seco:** se secó en estufa a 70°C, durante 48 horas y se pesó nuevamente.

5. Longitud del brote (cm)

- **Definición:** distancia desde la base de las estacas hasta el ápice del brote principal.
- **Importancia:** indicador de vigor post-enraizamiento (Pinto *et al.*, 2020), vinculado a la fotosíntesis y adaptación al estrés.
- **Procedimiento:** medición al momento del muestreo con regla milimetrada en todas las estacas seleccionadas.

7. Supervivencia de estacas (%)

- **Definición:** porcentaje de estacas vivas al final del ensayo. (los que lograron sobrevivir a todo el proceso, antes de la toma de muestras).
- **Importancia:** según Negreros *et al.* (2021), refleja la eficiencia global del protocolo de enraizamiento.
- **Procedimiento:** Conteo de todas las estacas con tejidos verdes y turgencia.
Cálculo:

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{N^\circ \text{ de esquejes vivos}}{\text{Total plantado}} \times 100$$

Modelo estadístico

Los datos recopilados de las mediciones, fueron procesados, con el software estadístico STATISTIX ver. 8.0 mediante las siguientes técnicas.

1. Análisis de la varianza para modelo de clasificación simple (DCA), aplicado a las variables cuantitativas.

Modelo lineal aditivo

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

X_{ij}: representa una observación cualquiera de las variables medidas

μ : efecto de la media general

τ_j : efecto de tratamiento (Concentración de los productos)

ϵ_{ij} : error experimental

2. Pruebas de Shapiro y Wilk y de Bartlett para verificar el cumplimiento de los supuestos del análisis de la varianza.
3. Prueba de Kruskal y Wallis para corregir significancia del ANOVA, cuando no se cumplieron los supuestos y para la evaluación de la variable longitud de brotes (Escala de 0 a 4)
4. Prueba de Chi-cuadrado (χ^2) para la variable presencia de raíz (Escala dicotómica)
5. Prueba MDS de rangos para clasificar las tendencias centrales entre tratamientos con prueba de Kruskal y Wallis.

Análisis estadístico

Si el ANOVA indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos, se realizarán pruebas de comparación de medias para identificar cuál tratamiento es más efectivo.

Las pruebas de comparación de medias se utilizan cuando el ANOVA indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Estas pruebas permiten identificar qué pares de tratamientos difieren entre sí. Las pruebas a utilizar son:

Shapiro-Wilk (1965): Prueba no paramétrica que evalúa si una muestra proviene de una distribución normal. Calcula un estadístico (W) comparando los valores observados con los esperados bajo normalidad. Valores de W cercanos a 1 indican normalidad (Shapiro & Wilk, 1965).

Prueba de Bartlett (1937): Contrasta la homogeneidad de varianzas entre grupos (supuesto de homocedasticidad para ANOVA). Se basa en una distribución chi-cuadrado (χ^2), donde un valor $p < 0.05$ sugiere heterogeneidad (Bartlett, 1937).

Prueba de Kruskal-Wallis (1952): se trata de un Método no paramétrico (ANOVA por rangos) para comparar tres o más grupos independientes cuando no se cumplen los supuestos de normalidad o homocedasticidad. Extiende la prueba U de Mann-Whitney usando rangos en lugar de medias. El estadístico H (aproximación a χ^2) determina si hay diferencias significativas (Kruskal & Wallis, 1952). Es útil para variables ordinales (ej. escala 0–4 en longitud de brotes) o datos no normales.

Conducción del estudio

El ensayo experimental se estableció el 6 de abril de 2025, con el objetivo de evaluar la eficacia de dos enraizantes comerciales (RaizForte y Fithor-Vit) en la propagación vegetativa de *Coffea canephora*. El estudio se basó en protocolos estandarizados por CENICAFÉ (2019) y Snoeck *et al.* (2020), considerando factores críticos como la preparación del sustrato, selección de estacas, condiciones de enraizamiento y manejo agronómico.

Preparación del Sustrato

El sustrato se formuló siguiendo los requerimientos edáficos para el enraizamiento de estacas de café, garantizando un equilibrio óptimo entre retención de humedad, drenaje, aireación y disponibilidad de nutrientes (CENICAFÉ, 2019).

Composición del Sustrato Base

Se preparó una mezcla homogénea con los siguientes componentes:

- 50% tierra negra tamizada (textura franco-arcillosa, desinfectada y libre de patógenos).
- 30% arena de río lavada (granulometría: 0.5–2 mm para evitar compactación).
- 20% materia orgánica descompuesta (aserrín compostado).

Nota: Se utilizó aserrín compostado como material filtrante y retenedor de humedad, en una proporción de 1 carretilla (45 L) por cada 2 carretillas de tierra negra y 1 carretilla de arena.

Obtención y Preparación de Componentes

1. **Tierra negra:** Recolectada de la zona experimental, se tamizó para eliminar impurezas. (Figura 4)
2. **Aserrín compostado:** Proveniente de residuos de fabricación de estantillos en la misma finca (Figura 3)
3. **Arena:** extraída de quebradas adyacentes, lavada para eliminar sedimentos finos.



Figura 2. Arena extraída de las quebradas



Figura 3. Aserrín compostado



Figura 4. Tierra negra



Figura 5. Mezcla del sustrato

Desinfección del Sustrato

Para prevenir infecciones fúngicas, se aplicó Curagol (fungicida a base de mancozeb + cymoxanil) en una dosis de 50g al llenado de 300 bolsas de polietileno (capacidad: 0,5 kg de sustrato cada una).



Figura 6. Desinfección del sustrato



Figura 7. Fungicida Curagol



Figura 8. Llenado de bolsas

Selección y Preparación de Estacas

La calidad de las estacas determinó el éxito del enraizamiento adventicio. Se siguieron los criterios técnicos de CENICAFÉ (2021) y Hartmann & Kester (2018).

1. Selección de Varetas Madres

- **Planta donante:** árboles sanos (2–5 años), sin síntomas de plagas o enfermedades.
- **Tipo de rama:** varetas semi-lignificadas (color verde-café, crecimiento reciente en últimos 6 meses).
- **Estado fisiológico:** entrenudos cortos (2–3 cm), preferiblemente ramas laterales.

Procedimiento:

- **Inspección visual:** descartaron varetas con daños mecánicos, clorosis o presencia de insectos.
- **Hora de corte:** realizado entre 1:00–3:00 p.m. para reducir estrés hídrico.

2. Corte y Acondicionamiento

- **Herramientas:** tijeras de podar desinfectadas con alcohol al 70%.
- **Dimensiones de estacas:**
 - Longitud: 6–10 cm (1 nudo para brote y entrenudo inferior enterrado).
 - Corte superior: biselado a 45° (3 cm arriba del nudo).
 - Corte inferior: biselado inverso (3 cm debajo del nudo).
- **Manejo de hojas:** se conservó 20% del área foliar (hojas pequeñas recortadas).



Figura 9. Estaca de café robusta



Figura 10. Estaca de café robusta. corte de la estaca

3. Desinfección y Conservación

- **Remojo en solución fungicida:** estacas **sumergidas en Curagol (20 min).**
- **Conservación temporal:** mantenidas en agua limpia y sombra hasta su siembra.



Figura 11. Desinfección de la vareta



Figura 12. Estacas en remojo hasta su siembra

Establecimiento del Ensayo

Preparación del Área

Se construyó una estructura arqueada con guafa y alambre para sostener el plástico de polietileno (200 micras), posteriormente se desinfecto con fungicida curagol el área donde se iban a organizar las bolsas.

- Las bolsas se organizaron en bloques, identificando cada tratamiento con tablas.



Figura 13. Organización de las bolsas



14. Estructura realizada con gafa

Aplicación de Enraizantes

Posteriormente se retiraron las estacas del agua y se secaron suavemente con un paño absorbente.

1. RaizForte (líquido):

- Base de estacas sumergida 2 cm en solución durante 5 segundos).
- Exceso escurrido antes de plantar.

2. Fithor-Vit (polvo granulado):

- Estacas tocaron ligeramente el polvo antes de sembrarse.



Figura 15. Enraizante Raíz Forte



Figura 16. Enraizante Fithor-vit



Figura 17. Secado de la estaca



Figura 18. Proceso de secado de la estaca



Figura 19. Baño de la estaca en Raíz Forte



Figura 20. Baño de las estacas en Fithor-vit



Figura 21. Siembra de las estacas
Labores Agronómicas



Figura 22. Identificación de los tratamientos



Figura 23. Estacas de café cubiertas con el plástico

1. **Riego inicial:** con regadera de boquilla perforada para humedecer sustrato.
2. **Monitoreo de humedad:** a los 20 días, se retiró brevemente el plástico para evaluar humedad y aplicar riego adicional si era necesario.
3. **Control de malezas:** realizado durante las revisiones.



Figura 24. Riego y control de malezas

Destape y Aclimatación

- El plástico se retiró el 15 de mayo de 2025 (tras 45 días).
- Se aplicó fungicida preventivo 30 días después del destape.



Figura 25. Destape de las estacas

Toma de datos

La evaluación de los resultados experimentales se llevó a cabo 37 días después de haber iniciado los tratamientos en las estacas de café. La recolección de datos se ejecutó siguiendo un protocolo estandarizado para garantizar la rigurosidad y comparabilidad de los resultados.

1. Selección de Muestras: en cada uno de los grupos de tratamiento, se seleccionaron 30 plantas mediante un muestreo completamente al azar. Esta

selección aleatoria asegura que la muestra sea representativa de la población total de cada tratamiento, minimizando el sesgo en la recolección de datos.

2. Preparación de la Muestra para Evaluación: cada planta seleccionada, contenida en su respectiva bolsa de vivero, fue procesada individualmente. Se realizó una incisión y posterior retiro de la bolsa para exponer el cepellón (sustrato y raíces).

3. Limpieza del Sistema Radicular: con el fin de no causar daños mecánicos a las raíces, como fracturas o pérdidas, se evitó la extracción manual del sustrato. En su lugar, se aplicó un chorro de agua a baja presión con una manguera. Este método permitió lavar y desprender el sustrato de manera cuidadosa, dejando el sistema radicular completamente visible y limpio para su posterior análisis.

4. Medición de Variables: una vez preparadas las muestras, se procedió a la medición cuantitativa y cualitativa de las variables a evaluar, conforme a los objetivos del estudio. Cada variable fue registrada sistemáticamente para su posterior análisis estadístico.

Para la evaluación de la efectividad de los tratamientos aplicados, se procedió a la cuantificación y análisis de las siguientes variables fisiológicas y morfológicas en las estacas:

- **Tasa de Enraizamiento:** se determinó mediante el recuento del número de estacas que desarrollaron raíces adventicias por cada tratamiento, expresado como un porcentaje del total de estacas evaluadas.
- **Número de Raíces por Estaca:** se cuantificó el número total de raíces formadas en cada estaca enraizada.
- **Longitud de las Raíces:** se midió la longitud de la raíz más larga en cada estaca, utilizando un instrumento de precisión (regla milimetrada).

- **Peso Fresco:** se registró el peso de las estacas inmediatamente después de su extracción del medio de cultivo, utilizando una balanza analítica.
- **Peso Seco:** las estacas fueron sometidas a un proceso de secado en estufa a una temperatura constante de 60°C durante 48 horas, posterior a lo cual se registró su peso.
- **Longitud del Brote:** se estableció un sistema de clasificación para la longitud del brote, utilizando los siguientes criterios:
 - **0:** Ausencia de brote.
 - **1:** Brotación incipiente (longitud de 0 a 1 cm).
 - **2:** Brotación moderada (longitud de 2 a 3 cm).
 - **3:** Brotación vigorosa (longitud superior a 3 cm).
- **Raíces Secundarias:** se adoptó un criterio binario para la presencia de raíces secundarias:
 - **0:** ausencia de raíces secundarias.
 - **1:** presencia de raíces secundarias.
- **Supervivencia de las Estacas:** se cuantificó el número de estacas que permanecieron viables al finalizar el periodo experimental para cada uno de los tratamientos.



Figura 26. Selección de las muestras



Figura 27. Corte de la bolsa



Figura 28. Lavado del sustrato



Figura 29. Muestras del tratamiento



Figura 30. Muestras del tratamiento de Raíz forte concentrado



Figura 31. Muestras del tratamiento de Raíz forte diluido



Figura 32. Muestras del tratamiento de Fithor-vit diluido



Figura 33. Muestras del tratamiento de Fithor-vit concentrado

Capítulo IV

Resultados y Discusión

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software STATISTIX ver. 8.0, aplicando pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis y Chi-cuadrado, así como ANOVA con correcciones para variables que no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados, presentados en 4 tablas y 4 Figuras, (**Tabla 1**): Estadísticos de aproximación a F (ANOVA) de Kruskal-Wallis y Chi cuadrado para variables evaluadas en escala ordinal y dicotómica respectivamente, en estacas de plantas de Café robusta (*Coffea canephora*). **Figura 1**: % de presencia de raíces. % de enraizamiento y % de sobrevivencia final de las estacas de café robusta. **Tabla 2**: Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey y corrección por MDS para prueba de Kruskal y Wallis. **Figura 2**: Comportamiento de la longitud de brotes (Escala: 0, ausente; 1, Incipiente; 2, Moderado y 3, Vigoroso) de las estacas de café Robusta. **Tabla 3**: Estadísticos F (ANOVA) de las variables evaluada en estacas de plantas de Café robusta (*Coffea canephora*). **Figura 3**: Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de plantas de (*Coffea canephora*). **Tabla 4**: Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey con corrección de MDS de rangos para prueba Kruskal y Wallis). **Figura 4**: Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de café Robusta (*Coffea canephora*) Evidenciaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos en parámetros como longitud de brotes, presencia de raíces, enraizamiento y supervivencia de estacas de café robusta (*Coffea canephora*).

Se destacó el efecto positivo de los productos diluidos (T2 y T3) en la formación de raíces y supervivencia, mientras que las concentraciones al 100% (T1 y T4) mostraron efectos negativos. Estos hallazgos se respaldan con pruebas de comparación de medias (Tukey y MDS de rangos), cuyos detalles se visualizan en las tablas y Figuras correspondientes. (Tabla 2), (Figura 2).

Los resultados de la aproximación no paramétrica de Kruskal y Wallis al ANOVA (tabla 1), indicó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre

tratamientos en la longitud de brotes, mientras que la prueba de chi-cuadrado indicó diferencias significativas ($P < 0,01$) en la presencia de raíces de los tratamientos

Tabla 1. Estadísticos de aproximación a F (ANOVA) de Kruskal-Wallis y Chi cuadrado para variables evaluadas en escala ordinal y dicotómica respectivamente, en estacas de plantas de Café robusta (*Coffea canephora*)

Fuente de variación	Longitud de brotes (cm)	Presencia raíces	Enraizamiento (%)	Sobrevivencia (%)
Tratamiento	30,80 ** (1)	11,52 ** (2)	No aplica	No aplica

Nota: ns; Sin diferencias significativas ($P > 0,05$), **; Diferencias altamente significativas ($P < 0,01$)

Nota (1): aproximación a F de Kruskal y Wallis; (2); Prueba de Chi cuadrado (χ^2) por escala binaria.

Al respecto, la prueba de comparación de medias MDS de Rangos (tabla 2), indicó que los tratamientos T0 al T3 presentan longitudes similares y superiores al tratamiento T4 (Fithor-vit100%), el cual presentó algún efecto negativo en el crecimiento de raíces. En cuanto a la presencia de raíces, se observó presencia similar de los tratamientos, con la excepción de los dos productos al 100% con menor emergencia de raíces, evidenciando efectos negativos para la emergencia, y confirmando la apreciación anterior (Figuras 1 y 2).

Tabla 2. Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey y corrección por MDS para prueba de Kruskal y Wallis.

TRATAMIENTO	Longitud (mediana) de brotes (cm)	Presencia raíces (% de estacas)	Enraizamiento (%)	Sobrevivencia (%)
T0 (Testigo)	2 a	27 a	33,3	33,3
T1 (Raíz Forte 100%)	1 a	10 b	26,7	46,7
T2 (Raíz Forte diluido)	1 a	20 ab	40,0	90,0
T3 (Fithor-vit diluido)	2 a	27 a	63,3	73,3
T4 (Fithor-vit 100%)	0 b	17 b	0,0	3,33

Nota: Letras distintas en una columna indica promedios diferentes estadísticamente, con a como promedio superior.

La representación gráfica del enraizamiento y la sobrevivencia de estacas (Figura 1), muestra claramente un mayor enraizamiento y sobrevivencia con T2 y T3, representados por ambos enraizadores diluidos. Estos resultados, evidencian que, aunque no se observa una tendencia clara en el crecimiento de los brotes con los productos, sin lugar a dudas promovió en su forma diluida, el enraizamiento y la sobrevivencia de las estacas de café robusta.

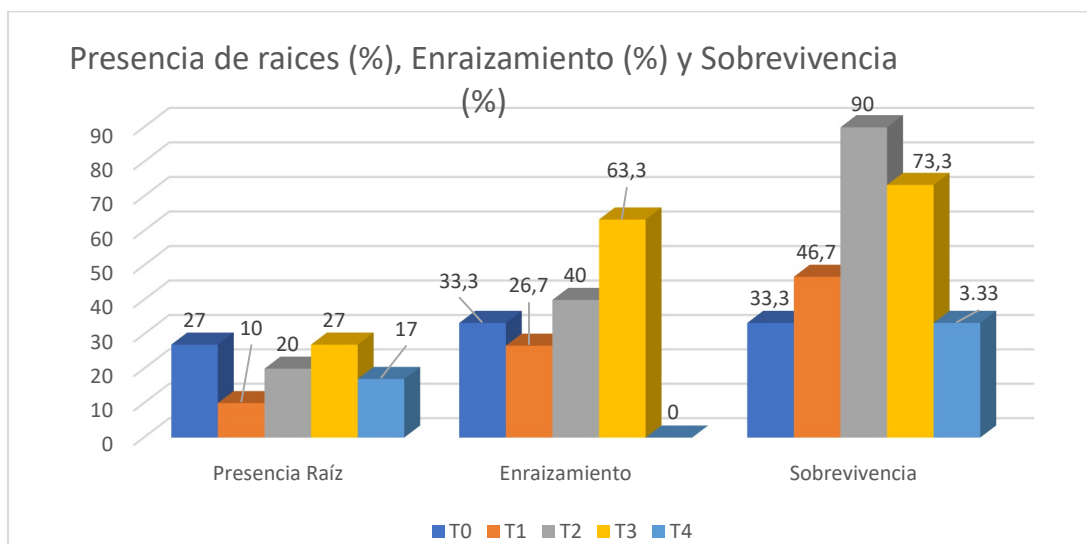


Figura 1. % de presencia de raíces. % de enraizamiento y % de supervivencia final de las estacas de café robusta.

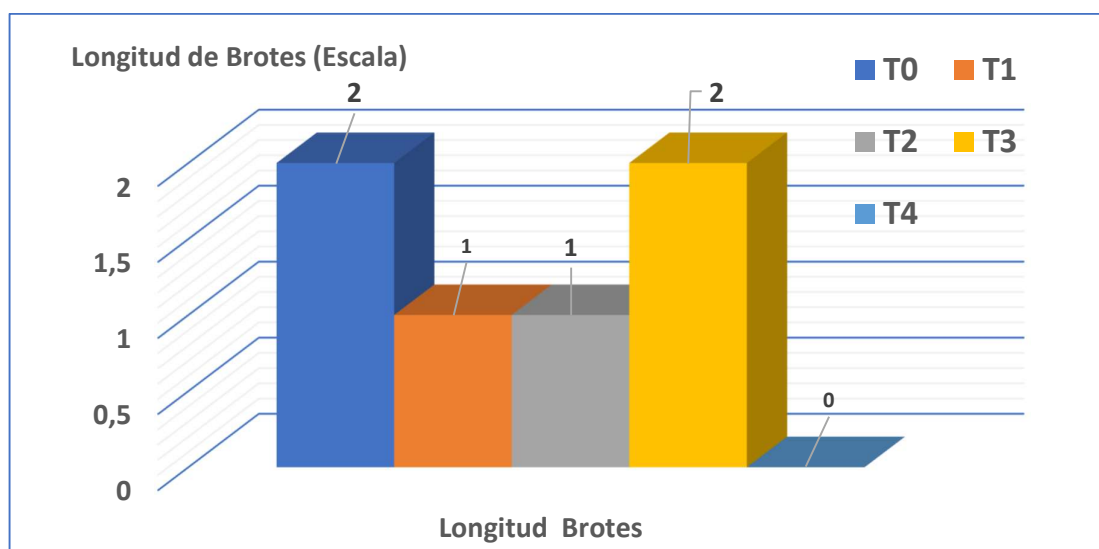


Figura 2. Comportamiento de la longitud de brotes (Escala: 0, ausente; 1, Incipiente; 2, Moderado y 3, Vigoroso) de las estacas de café Robusta

Para evaluar el efecto de los tratamientos en el número y longitud de raíces, así como en los pesos fresco y seco de las estacas, se aplicó un ANOVA de clasificación simple, previa verificación de los supuestos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk (normalidad) y Bartlett (homogeneidad de varianzas). Dado que se detectaron violaciones significativas ($P < 0.01$) en la homogeneidad de varianzas, lo que generó coeficientes de variación (CV) elevados ($>25\%$), se realizó una

corrección mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para garantizar la robustez de los resultados.

Los análisis revelaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos en todas las variables evaluadas. La prueba de Tukey ajustada con MDS de rangos mostró que los tratamientos T2 (Raíz Forte diluido) y T3 (Fithor-vit diluido) presentaron los mayores valores en longitud y número de raíces, mientras que en peso seco no se observaron diferencias significativas, excepto en T4 (Fithor-vit 100%), que registró los menores promedios (Figuras 3 y 4). Estos resultados confirman que las formulaciones diluidas favorecieron significativamente el desarrollo radicular, aunque no se detectó un efecto claro en la brotación, posiblemente debido al corto período de evaluación.

Estos hallazgos coinciden parcialmente con lo reportado por Villón (2021), quien observó que, aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, el uso de bioestimulantes como Hormonagro (T3) promovió un mayor desarrollo radicular (81,25% de supervivencia), seguido por aloe vera (T2) con 66,25%. Sin embargo, en contraste con este estudio, el testigo en la investigación de Villón registró un mayor porcentaje de enraizamiento (32%), lo que sugiere que la respuesta a los tratamientos puede variar según las condiciones experimentales y las especies evaluadas.

Cuadro 3. Estadísticos F (ANOVA) de las variables evaluada en estacas de plantas de Café robusta (*Coffea canephora*)

Fuente de variación	Número de raíces	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco estaca (gr)	Peso Seco estaca (gr)
Tratamiento	9,56 **	9,24 **	8,33 **	9,40 **
CV%	184,7(1)	188.0(1)	41,4 (1)	50,6 (1)

Nota: ns; Sin diferencias significativas ($P > 0,05$), **, Diferencias altamente significativas ($P < 0,01$)

Nota:(1): aproximación a F de Kruskal y Wallis. La alta diferencia significativa la podemos atribuir a las diferentes presentaciones de los productos ζ , ya que no están bajo las mismas condiciones (Fithor-vit en presentación granulada como polvo mojable y Raizforte en una directa presentación liquita).

Cuadro 4. Promedios de tratamiento y significancia con prueba de Tukey con corrección de MDS de rangos para prueba Kruskal y Wallis

TRATAMIENTO	Número de raíces	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco estaca (gr)	Peso Seco estaca (gr)
T0 (Testigo)	1,1 abc	1,0 ab	3,9 ab	1,4 a
T1 (Raíz Forte 100%)	0,5 bc	0,7 ab	3,8 ab	1,3 a
T2 (Raíz Forte diluido)	1,3 ab	1,4 a	4,2 a	1,3 a
T3 (Fithor-vit diluido)	1,7 a	1,2 a	4,2 a	1,4 a
T4 (Fithor-vit 100%)	0,0 c	0,0 b	2,6 b	0,7 b

Nota: Letras distintas en una columna indica promedios diferentes estadísticamente, con a como promedio superior

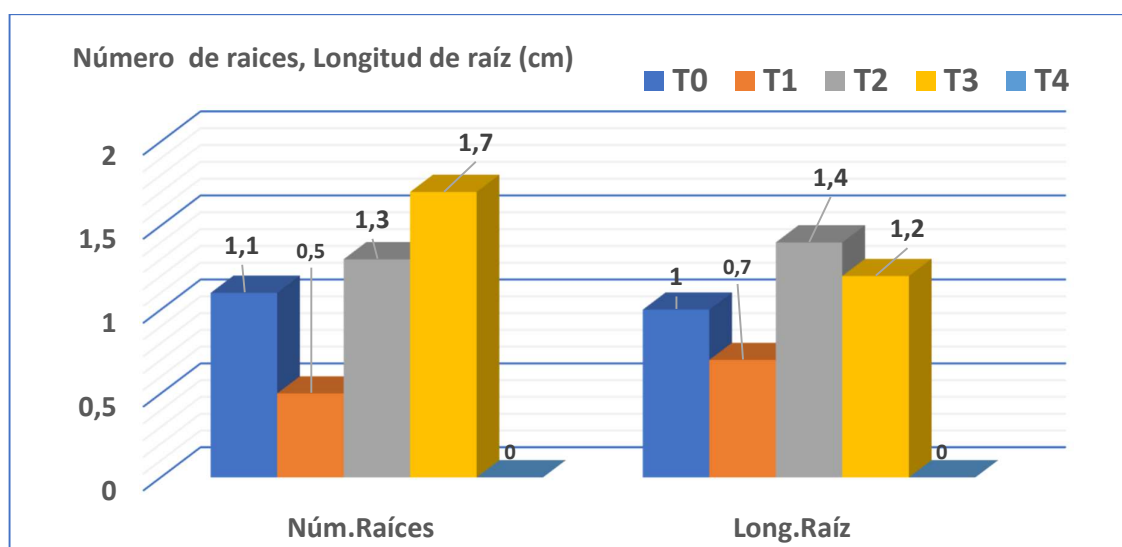


Figura 3. Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de plantas de (*Coffea canephora*)

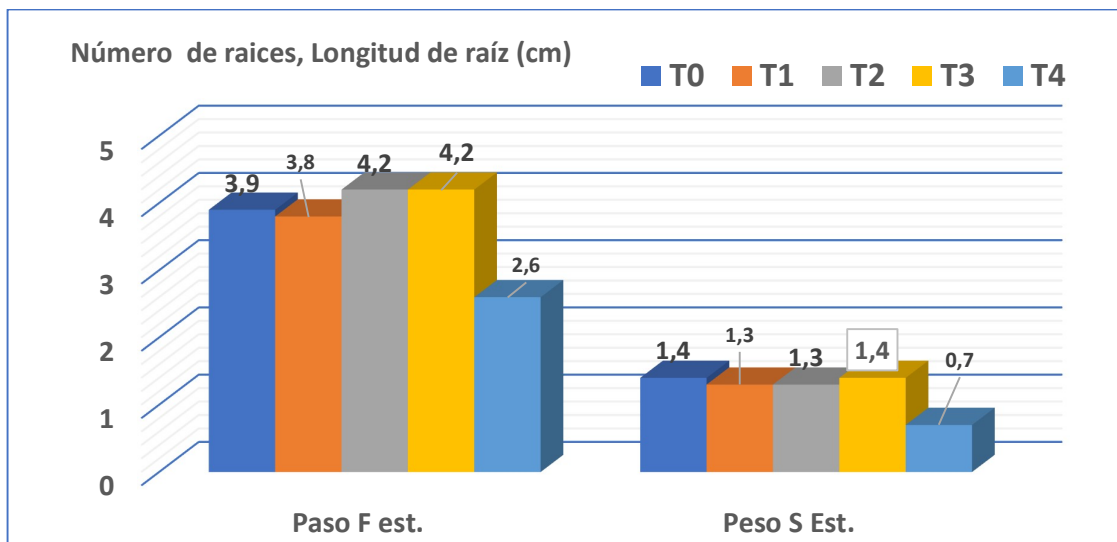


Figura 4. Comportamiento del número de raíces y longitud de la más larga (cm), en estacas de café Robusta (*Coffea canephora*)

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- ✓ Los resultados confirmaron efectos importantes de ambos productos en forma diluidas, ya que promovieron la formación temprana de raíces, mayor enraizamiento (40-63%) y sobrevivencia de estacas (73 y 90%) en comparación con 33% del testigo en ambos parámetros.
- ✓ se observaron efectos más consistentes en el número y longitud de las raíces con los tratamientos que incluyeron los productos diluidos.
- ✓ No se observaron diferencias consistentes en la formación de brotes y su peso fresco y seco, probablemente debido al corto tiempo disponible para las evaluaciones de estos parámetros.
- ✓ Se observó un efecto negativo de los productos sin diluir en casi todos los parámetros observados, por posible toxicidad de la alta concentración.

Recomendaciones

- ✓ Incluir dosis intermedias: *Vacío identificado*: Solo se evaluaron concentraciones 0% vs. 100%. Probar 50% y 75% para identificar umbral de fitotoxicidad.
- ✓ Extensión del período evaluativo: Extender a 90-120 días para capturar desarrollo completo.
- ✓ Control positivo: Incluir tratamiento con auxina sintética (AIB 2000 ppm) como referencia técnica estandarizada (protocolos CENICAFÉ).
- ✓ Validación agronómica: Evaluar supervivencia post-trasplante y rendimiento en campo a 12 meses.
- ✓ Interacción genotipo-ambiente: Repetir ensayo con 3 variedades de *C. canephora* (ej. Robusta, Conilon) en diferentes épocas climáticas.
- ✓ Validación económica: Realizar análisis costo-beneficio de enraizantes considerando dosis óptimas y supervivencia.

Referencias Bibliográficas

- Agroquiven. (2022). *Ficha técnica: Raiz Forte – Enraizante sintético para especies leñosas*.
- Aucancela, D. (2017). *Propagación vegetativa de café robusta (Coffea canephora) utilizando dos hormonas enraizantes en diferentes concentraciones en el cantón Bucay* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/262ed5c0-b376-4800-a6ea-6786793565f3>
- Bartlett, M.S. (1937). "Properties of sufficiency and statistical tests". *Proc. Royal Soc. A*.
- Bemiagro. (2021). *Ficha técnica: Fithor-Vit – Bioestimulante enraizante*.
- Bemiagro. (2022). *Estudios transcriptómicos en Coffea canephora: Expresión génica durante la rizogénesis*. Informe Técnico.
- Bertrand, B., Eskes, A., & Charrier, A. (2012). *Fisiología del café robusta*. Editorial
- Bertrand, B., Montagnon, C., & Georget, F. (2012). Mejoramiento genético del café: desafíos y perspectivas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *35*(1), 1-10.

- Cárdenas, M. L. (2022). Impacto socioeconómico de las tecnologías agrícolas en pequeños productores de café. *Revista de Desarrollo Rural*, *15*(2), 45-62.
- Cárdenas, L. (2022). Impacto socioeconómico de las tecnologías de propagación en la caficultura latinoamericana. *Revista de Desarrollo Rural*, *17*(2): 89-104.
- CENICAFÉ. (2019). *Manual técnico para la propagación vegetativa de café robusta*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- CENICAFÉ. (2019). *Protocolos para la propagación vegetativa del café*.
- CENICAFÉ. (2021). *Protocolos para selección y manejo de material vegetal en viveros de café*. Pág. 21
- Charrier, A., & Eskes, A. B. (2004). *El cultivo del cafeto*. Mundi-Prensa.
- Charrier, A., & Eskes, A. B. (2004). Botany and Genetics of Coffee. En R. J. Clarke & O. G. Vitzthum (Eds.), *Coffee: Recent Developments* (pp. 25-50). Blackwell Science.
- CIAT. (2021). *Tecnologías para la optimización de recursos en viveros cafetaleros*. Informe Técnico No. 45.
- CIAT. (2021). *Uso eficiente de recursos en viveros de café: Guía práctica*.
- Cortés, J., Martínez, R., & Díaz, P. (2020). Avances en la propagación vegetativa de especies tropicales. *Agronomía Tropical*, *50*(3), 112-130.
- Davies, P. J. (2018). *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* (3ra ed.). Springer.
- Davies, P. J. (2018). *Plant hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology* (3ra ed.). Springer.
- De Klerk, G. J., Guan, H., & Huisman, P. (2021). Rooting of cuttings: The role of auxin and other factors. *Scientia Horticulturae*, *277*, 109794.
- De Klerk, G. J., van der Krieken, W., & de Jong, J. C. (1999). The formation of adventitious roots: New concepts, new possibilities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *35*(3), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s11627-999-0076-z>
- FAO. (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Automatización agrícola y el futuro del trabajo*.
- FAO. (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: FAO.

- González, R., López, M., & Fernández, J. (2021). Tecnología de nebulización en sistemas de propagación vegetativa. *Revista de Ingeniería Agrícola*, *15*(2), 45-62.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2022). *Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices* (9na ed.). Pearson.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2018). *Plant propagation: Principles and practices* (9na ed.). Pearson Education.
- ICO. (2023). *Informe anual del mercado del café*. <https://www.ico.org>
- ICO. (2023). *Coffee Development Report 2023: Sustainability and Market Trends*.
- ICO. (2023). *Manual técnico del café robusta*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- ICO. (2023). *Protocolos para propagación clonal de café robusta*. Federación Nacional de Cafeteros.
- Kruskal, W.H. & Wallis, W.A. (1952). "Use of ranks in one-criterion variance analysis". *JASA*.
- López, J., Rueda, A., & Castillo, M. (2019). *Propagación de plantas tropicales: técnicas y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, J., Sánchez, M., & García, A. (2019). Advances in the vegetative propagation of *Coffea canephora*: Challenges and opportunities. *Journal of Horticultural Science*, *94*(3), 321-335.
- López, J., Sánchez, M., & García, R. (2019). *Propagación clonal en café*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Mendoza, G. (2021). Fisiología del enraizamiento en plantas leñosas tropicales. *Boletín de Investigaciones Agropecuarias*, *36*(1), 23-41.
- Mendoza, H. (2021). Fisiología del enraizamiento adventicio en especies leñosas: Mecanismos y aplicaciones. *Plant Physiology Reports*, *26*(4), 511-525.
- Mendoza, L. (2022). Fisiología del estrés hídrico en especies leñosas tropicales. Universidad Nacional Agraria.
- Montagnon, C., Leroy, T., & Eskes, A. B. (2012). *Amélioration génétique des caféiers: Résistance aux maladies et aux ravageurs*. *Cahiers Agricultures*, *21*(2-3), 143-153.
- Montagnon, C., Marraccini, P., & Bertrand, B. (2012). *Coffea canephora*: una revisión sobre su agronomía y resiliencia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *29*(1), 67-82.

- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9na ed.). Wiley.
- Pereira, R., Carvalho, S., & Mendes, A. (2019). Rooting efficiency in coffee cuttings: The role of auxins and environmental factors. *Plant Growth Regulation*, *87*(1), 45-58.
- Pereira, A., Fernández, J., & López, M. (2019). Economía de la producción de café: un enfoque técnico. *Revista de Economía Agraria*, *22*(4), 78-95.
- Pereira, G., Cortés, A., & Mendoza, F. (2019). Nutrición mineral del café. Universidad Central de Venezuela.
- Rojas, C., Silva, M., & Cortés, A. (2023). Humidity chambers in plant propagation: Technological advances and practical applications. *Horticultural Technology*, *33*(1), 12-25.
- Rojas, C., Vargas, H., & Castro, E. (2023). Innovaciones tecnológicas en viveros comerciales. *Revista de Fruticultura*, *44*(1), 67-84.
- Sánchez, P., & García, E. (2018). Uso de reguladores de crecimiento en la propagación de café. *Agrociencia*, *52*(3), 321-335.
- Sánchez, L., & García, P. (2018). Propagation techniques for *Coffea canephora*: A review. *Agronomy Journal*, *110*(4), 1567-1582.
- Sánchez, J., & García, M. (2018). Uso de enraizantes en la propagación vegetativa de especies agrícolas. *Revista de Fitopatología*, *50*(2), 87-95.
- Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965). "An analysis of variance test for normality". *Biometrika*.
- Silva, R. (2022). Agricultura sostenible en el trópico. *Revista de Ciencias Ambientales*, *56*(3), 102-118.
- Snoeck, D., Bertrand, B., & Villain, L. (2020). *Coffee Propagation Techniques: A Field Manual for Growers*. CIRAD.
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., & Bastide, P. (2020). *Coffee propagation techniques: From seeds to cuttings*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant Physiology and Development* (6ta ed.). Sinauer Associates.
- UPEL. (2016). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales* (5ta ed.).

- Velásquez, J. (2017). *Evaluación de enraizadores comerciales en la propagación clonal de café robusto en Babahoyo, Los Ríos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo].
- Velásquez, V. (2017). *Eficacia de enraizadores bajo dos sistemas de propagación para la clonación de genotipos de alta productividad de café robusta (Coffea canephora)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio UTB. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3299>
- Villareal, F., Ortiz, D., & Morales, S. (2021). Desafíos en la propagación de *Coffea canephora*. *Cenicafé*, *72*(2), 89-107.
- Villón, A. (2021). *Evaluación de dosis de aloe vera como enraizante natural en esquejes de café robusta (Coffea canephora) en el centro de apoyo Manglaralto* [Tesis de grado, UPSE]. Repositorio UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6370>
- Villón, M. (2021). Eficiencia del aloe vera como enraizante natural en esquejes de café robusta (*Coffea canephora*) [Tesis de grado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Zambrano, R., Mateus, D., & García, E. (2017). Substrate composition and its impact on the rooting of coffee cuttings. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(8), 987-1001.
- Zambrano, Y., Martínez, K., & Torres, F. (2021). Estrés oxidativo en plantas: Mecanismos de respuesta y adaptación. Sociedad Latinoamericana de Fisiología Vegetal.

Referencias institucionales y técnicas

- DJI. (2024). Manual del usuario: Sistema D-RTK2 para drones agrícolas. Documentación técnica.
- Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Venezolana. (2000). *Datos climáticos históricos de la región de Guanare, estado Portuguesa*. Archivo técnico no publicado.

