

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Tesis

Efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de cacao
(*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de invernadero
Yanatile – Cusco

Asesor:

Dr. Alarcón Camacho, Juan

Autor:

Cusiyupanqui Huahuasoncco, Sara

Para optar el Título Profesional: Ingeniero Agrónomo
Abancay - Apurímac – Perú
2025

Acta de sustentación



Universidad
Tecnológica de los Andes
Transformando vidas



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Acta N°: 002

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 29 días del mes de diciembre del 2025, siendo las 10:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0208-2025-UTEA-FI-EPA de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Dr. Huilca Quispe Jhon
Dictaminante:	Dr. Medina Raya Francisco
Replicante :	MSc. Caballero Ramirez Sandra Creceida

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Efecto del ácido indolbútirico en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad de Chuncho en condiciones de invernadero Yanatile - Cusco

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: CUSIYUPANQUI HUAHUASONCCO, Sara

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Agrónomo

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
CUSIYUPANQUI HUAHUASONCCO, Sara	Aprobado

Siendo las 13:12 pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dr. Huilca Quispe Jhon

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Dr. Medina Raya Francisco

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)

Replicante: MSc. Caballero Ramirez Sandra Creceida

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

Se copió, se presentó
conforme al Libro de
Actos de sustentación de
Tesis, consignado en los
folios N° 298.

Ciudad Universitaria Av. Perú N°700, Abancay Central Telefónica 051 (083) 321509
Filial Cusco: Av. Grau 518, Teléfono: (084) 251505
Filial Andahuayles, San Jerónimo, Jr. Coastley N°100 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGCAJ.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con distinción, Art. 18 RGCAJ.

Reporte de similitud




19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Sara Cusiyupanqui Huahuasoncco
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 42736478
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0009-2926-170X
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Alarcón Camacho Juan
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 31032533
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0009-2926-170X
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Agronomía
Línea de investigación	: Agricultura y ambiente
Rango de años en la que se realizó la investigación	: 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 19%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.01.06

Dedicatoria

Sin Dios nada somos en el mundo, y sin él nada podemos hacer, Dios es quien guía mi camino, y a quien le debo mi gratitud.

Con amor y reconocimiento para mis padres, Rafael Cusiyupanqui Camala y Emiliana Huahuasoncco Mamani quienes con sabiduría me dieron buenos consejos para lograr el anhelo de ser profesional.

Para lo más grande de mi vida y el ser que más quiero en el mundo “Dios” es la razón por el que decidí ser profesional.

A mis hermanos: Heriberto, Herminia, Dominga, Moisés y sobrinos quienes con esfuerzo, sacrificio y crítica constructiva han colaborado a que logre mis objetivos de ser profesional.

A mis queridos amigos, compañeros de trabajo de la Institución SENASA CUSCO: Mireya Ardiles Ayala, Enrique Vargas Lima, Pedro, Jose Antonio Sotomayor Pineda, Judit Villa Saire y Pedro Castro León a quienes con gratitud agradezco por el apoyo moral y los consejos de seguir adelante con el fin de lograr ser profesional.

Sara

Agradecimiento

A los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Tecnológica de los Andes, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias en la formación de mi carrera profesional.

Al Dr Juan Alarcón Camacho, por el asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Agrónomo Tropical Elmer Challco Masciotti, por el apoyo en el desarrollo de la investigación en el Campo Experimental de Yanatile.

Al Mg. Franklin Yanqui Díaz por su apoyo y sugerencias en el desarrollo de la investigación.

Sara

Resumen

Este estudio evaluó el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la variedad Chuncho bajo condiciones de invernadero en Yanatile – Cusco. La investigación siguió un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado con arreglo factorial de tres tipos de estacas y cuatro concentraciones de AIB, utilizando un muestreo no probabilístico de 324 estacas distribuida en doce tratamientos con tres repeticiones. Se analizaron el porcentaje y tiempo de enraizamiento, así como el número y longitud de las raíces. El AIB aumentó significativamente el enraizamiento de los esquejes ($p < 0.001$). Los esquejes intermedios tratados con 3000 ppm lograron el mayor porcentaje de enraizamiento (74.67%), seguidos por los esquejes basales con la misma dosis (66.00%). El menor tiempo de enraizamiento se registró en esquejes intermedios con 3000 ppm (65 días), en comparación con los 118 días del grupo control. En cuanto al número de raíces, los esquejes intermedios con 3000 ppm produjeron un promedio de 6.53 raíces, mientras que aquellos sin AIB alcanzaron solo 0.81. Después de 60 días, la mayor longitud de raíz (17.04 cm) se observó en esquejes intermedios con 3000 ppm, mientras que el grupo sin AIB alcanzó 8.93 cm. Estos resultados confirman que el AIB mejora significativamente la propagación vegetativa del cacao Chuncho, recomendándose el uso de 3000 ppm en esquejes intermedios y basales para optimizar el enraizamiento. Se concluye que el AIB es un regulador de crecimiento altamente efectivo bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: enraizamiento, cacao Chuncho, ácido indolbutírico

Abstract

This study evaluated the effect of indolebutyric acid (IBA) on the rooting of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cuttings of the under greenhouse conditions in Yanatile, Cusco. The research followed a completely randomized block design with a factorial arrangement of three types of cuttings and four concentrations of IBA, using a non-probabilistic sampling of 324 cuttings distributed across twelve treatments with three replications. Rooting percentage and time, as well as root number and length, were analyzed. IBA significantly increased rooting of cuttings ($p < 0.001$). Intermediate cuttings with 3000 ppm achieved the highest percentage (74.67%), followed by basal cuttings with the same dose (66.00%). The shortest rooting time was recorded in the intermediate cuttings with 3000 ppm (65 days), compared to 118 days in the control group. In terms of root number, the intermediate cuttings with 3000 ppm produced an average of 6.53 roots, while those without IBA only reached 81. At 60 days, the greatest root length (37.71 mm) was obtained in the intermediate cuttings with 3000 ppm, while in the group without IBA it was 18.26 mm. These results confirm that IBA significantly favors the vegetative propagation of Chuncho cacao, and the use of 3000 ppm in intermediate and basal cuttings is recommended to optimize rooting. It is concluded that IBA is a highly effective growth regulator under controlled forcing chamber conditions.

Keywords: rooting, Chuncho cocoa, indolebutyric acid

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xvi
I. Introducción	19
II. Planteamiento del problema	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.2. Objetivos.....	23
2.2.1. Objetivo general.....	23
2.2.2. Objetivos específicos	23
2.3. Justificación e importancia	23
2.4. Hipótesis	25
2.4.1. Hipótesis general	25
2.4.2. Hipótesis específicos	25
2.5. Variable.....	25
III. Marco teórico	29
3.1. Antecedentes	29
3.2. Bases teóricas	33
3.2.1. El cultivo del cacao	33

3.2.1.1.	Botánica y morfología del cacao.....	33
3.2.1.2.	Aspectos agronómicos del cultivo del cacao	35
3.2.1.3.	Fases fisiológicas de la propagación vegetativa en estacas	38
3.2.1.4.	Fases del proceso de enraizamiento: cuatro fases.....	39
3.2.1.5.	Factores abióticos que acondicionan el enraizamiento de estacas 41	
3.2.1.6.	Factores abióticos que condicionan el enraizamiento de estacas 46	
3.2.1.7.	Establecimiento de la plantación de cacao	49
3.2.1.8.	Labores culturales	50
3.2.1.9.	Fertilización	52
3.2.2.	Propagación vegetativa por estacas	53
3.2.2.1.	Principios fisiológicos	53
3.2.2.2.	Tipos de estacas de cacao	54
3.2.2.3.	Formación de raíces.....	54
3.2.2.4.	Promotores radiculares en la propagación por estacas	55
3.2.2.5.	Sustrato de propagación	55
3.2.2.6.	Material de propagación vegetativa del cacao	56
3.2.2.7.	Hormonas promotoras de la rizogénesis	57
3.2.2.8.	Cacao variedad Chuncho o forastero (cacao nativo del Perú)....	57
3.3.	Definición de términos.....	58
IV.	Metodología.....	61
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	61
4.1.1.	Tipo de investigación	61

4.1.2.	Nivel de investigación	61
4.1.3.	Metodología de la investigación	61
4.2.	Ámbito temporal y espacial	64
4.2.1.	Ámbito temporal.....	64
4.3.	Población y muestra.....	65
4.3.1.	Población.....	65
4.3.2.	Muestra.....	65
4.3.3.	Muestreo.....	66
4.4.	Instrumentos	66
4.5.	Procedimientos	67
4.6.	Análisis de datos.....	71
4.7.	Consideraciones éticas	72
V.	Resultados y discusión	73
5.1.	Resultados.....	73
5.1.1.	Porcentaje de enraizamiento (%).....	73
5.1.2.	Tiempo de enraizamiento (días).....	78
5.1.3.	Número de raíces (und).....	82
5.1.4.	Longitud de raíces (cm)	87
5.2.	Discusión	101
VI.	Conclusiones.....	104
VII.	Recomendaciones.....	106
VIII.	Referencias.....	107

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	28
Tabla 2. Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.....	52
Tabla 3. Arreglo factorial de tratamientos con tres tipos de estacas y cuatro concentraciones de AIB.....	62
Tabla 4. Detalle de los tratamientos y número de repeticiones.....	62
Tabla 5. Detalles y dimensiones del área experimental.....	63
Tabla 6. Porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	73
Tabla 7. Análisis de varianza del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	74
Tabla 8. Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	75
Tabla 9. Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas	76
Tabla 10. Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	76
Tabla 11. Tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	78

Tabla 12. Análisis de varianza del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	79
Tabla 13. Comparación de Tukey del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	80
Tabla 14. Comparación de Tukey del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas	81
Tabla 15. Número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	82
Tabla 16. Análisis de varianza del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	83
Tabla 17. Comparación de Tukey del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	84
Tabla 18. Comparación de Tukey del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas	85
Tabla 19. Comparación de Tukey del número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	85
Tabla 20. Longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	87

Tabla 21. Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	88
Tabla 22. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	89
Tabla 23. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de estacas.....	90
Tabla 24. Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	90
Tabla 25. Longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB).....	91
Tabla 26. Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	93
Tabla 27. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	94
Tabla 28. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas	94
Tabla 29. Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a	

la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	95
Tabla 30. Longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	96
Tabla 31. Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	97
Tabla 32. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	98
Tabla 33. Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas	99
Tabla 34. Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	99

Índice de figuras

Figura 1. Croquis de la unidad experimental	63
Figura 2. Croquis del área experimental	64
Figura 3. Promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	74
Figura 4. Promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)	79
Figura 5. Promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)	83
Figura 6. Promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	88
Figura 7. Promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	92
Figura 8. Promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB).....	97

I. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) considerado como una de las principales especies agrícolas en el ámbito mundial, cuya producción está asociada no solo con la generación de empleo y riqueza, sino también con la sostenibilidad ambiental, especialmente en regiones tropicales como la Amazonía peruana. En particular, la variedad Chuncho, cultivada en las zonas altas de Cusco, se destaca por su calidad y características organolépticas excepcionales, convirtiéndose en un producto clave para la agroindustria peruana.

Uno de los principales problemas en la producción de cacao es la propagación eficiente de las plantas, proceso crucial para mantener la calidad e incrementar la cantidad de la cosecha. El enraizamiento de estacas es una técnica frecuentemente empleada para la multiplicación vegetativa de plantas, por ende, depende de muchos factores, tales como las condiciones ambientales y el uso de reguladores de crecimiento.

El ácido indolbutírico (AIB), una fitohormona auxiliar de enraizamiento, ha mostrado ser eficaz en la estimulación en la etapa de enraizamiento de varias especies vegetales. En el contexto del cacao, el uso de AIB podría representar una herramienta clave para mejorar la tasa de enraizamiento de las estacas, especialmente cuando se emplea en condiciones controladas en invernadero, que optimizan el ambiente para el desarrollo radicular.

El presente estudio se enfoca en evaluar el efecto del AIB en relación al enraizamiento de diferentes tipologías de estacas de cacao de la variedad Chuncho, en condiciones de Invernadero como medio controlado. Este enfoque tiene el potencial de optimizar la producción de plántulas de cacao y aportar a la mejora de las prácticas agrícolas sostenibles en la región de Yanatile, Cusco. Al explorar la interacción entre la aplicación de AIB en condiciones de invernadero, se pretende identificar prácticas más eficientes que promuevan la expansión de cultivos de cacao con un enfoque sostenible.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En el ámbito mundial, la demanda de cacao (*Theobroma cacao* L.) viene incrementándose de manera sostenida, debido a que los principales países encargados de la producción de cacao en África Occidental (Ghana y Costa de Marfil) registran rendimientos más bajos debido a la vejez de los cacaotales, las enfermedades y el mal tiempo. Estos países representan el 70% del suministro mundial de cacao, por lo que cualquier interrupción de su producción es crítica para la disponibilidad mundial. Sin embargo, junto con la creciente demanda, los productores enfrentan problemas relacionados con la baja producción, sanidad, rendimientos bajos, manejo inadecuado de plantaciones de cacao añejos, propagación por semilla. En el ámbito de América Latina, el cacao (*Theobroma cacao* L.) es cultivado principalmente en los países de Ecuador, Brasil, Colombia y Perú.

En el año 2024, el Perú alcanzó una producción de 180,000 toneladas, convirtiéndose en una actividad agrícola de gran importancia económica, especialmente para las regiones de ceja de selva y selva, siendo una alternativa en el desarrollo de la agricultura, especialmente en las regiones amazónicas, donde se cultivan variedades como el cacao Chuncho, que destaca por su aroma y sabor único. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada para la propagación de plantas y la escasa disponibilidad de técnicas eficientes de multiplicación vegetativa, limitan la capacidad de expansión del cultivo y afectan la calidad de las cosechas. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI reporta que el país se viene perfilando como uno de los principales exportadores de cacao y sus derivados superaron los 1,000 millones de dólares por primera vez en la historia, actualmente el precio de la bolsa por tonelada de cacao alcanzo 7,765 dólares destacando la variedad chuncho por su adaptabilidad y calidad. Sin embargo, los productores nacionales se enfrentan a retos relacionados con las técnicas de manejo de propagación del cultivo cacao, incluyendo la implementación sistemas de propagación asexual del cacao. La escasa investigación y datos empíricos sobre técnicas de

propagación por estacas, tipos de estacas, y medios de enraizamiento con diferentes dosis, limitando el potencial productivo del cultivo del cacao en Perú.

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye el segundo cultivo agroindustrial más importante del distrito de Yanatile abarcando un área más de 300 hectáreas y se desarrollan en zonas húmedas alrededor de 1,050 metros de altitud y otras condiciones agroclimáticas favorables del lugar, siendo fundamental para la economía local, provincial y regional. Sin embargo, este cultivo representa un desafío para los agricultores locales, especialmente en la obtención de plantas mediante la propagación por estacas y medio de desarrollo. En la actualidad los productores cacaotaleros de la región Cusco vienen obteniendo bajos rendimientos (450 kg/ha), debido al ataque de plagas y enfermedades, plantaciones añejas, manejo inadecuado, propagación tradicional de plantas de cacao (por semilla botánica). Frente a este problema, existe nuevas técnicas de propagación vegetativa vía estacas de cacao chuncho de altos rendimientos, tolerantes a plagas y enfermedades y de fácil manejo técnico, precocidad, rusticidad.

La propagación de cacao por estacas, es una técnica crucial en la producción de mazorcas de cacao en menor tiempo, ya que permite mantener las características fenotípicas y genotípicas deseables de la planta madre clonada. Así mismo, brinda cualidades como: resistencia a plagas y enfermedades, eleva los rendimientos por hectárea, el tamaño pequeño que facilita el manejo y cosecha, mantiene la calidad de las almendras del fruto. Sin embargo, los agricultores locales a menudo reportan baja rendimientos en la producción de cacao, arboles de 8-10 metros de altura, tamaño y peso de semilla inadecuados, bajo número de mazorcas árbol, incidencia de plagas y enfermedades, entre otros; reduciendo el rendimiento del cultivo. Sumado al desconocimiento en la utilización de fitorreguladores de crecimiento, en este caso de fitohormonas sintéticos como el ácido indolbutírico (AIB) y en dosis pertinentes, dificultan en el enraizamiento de estacas de propagación, teniendo menor porcentaje de prendimiento y crecimiento de plantas. Por lo tanto, urge la necesidad de optimizar las técnicas de propagación de cacao en el distrito de Yanatile, utilizando enraizadores como

el AIB en condiciones de invernadero para superar las barreras tecnológicas que limitan la expansión del cultivo.

Con todo lo explicado anteriormente, me ha permitido desarrollar el presente trabajo de investigación, con la finalidad de conocer el efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco, con la finalidad de generar información técnica para los productores cacaoteros para obtener plantones de buena calidad, sanidad y alta productividad, permitiendo un incremento en la producción de granos de cacao, contribuyendo así en la mejora de los ingresos económicos, consecuentemente una mejora de la calidad de vida de los productores de cacao en el distrito de Yanatile, Cusco.

2.1.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico en el porcentaje de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco?
- ¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico en el tiempo de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de invernadero - Yanatile – Cusco?
- ¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico en el número de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de invernadero - Yanatile – Cusco?
- ¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico en la longitud de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero- Yanatile – Cusco?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del ácido indolbutírico en el porcentaje de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico en el tiempo de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico en el número de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- Determinar el efecto del ácido indolbutírico en la longitud de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.

2.3. Justificación e importancia

A nivel científico, esta investigación busca llenar un vacío en el conocimiento sobre las técnicas de propagación del cacao en condiciones controladas, específicamente en el uso del ácido indolbutírico (AIB) para mejorar el proceso de enraizamiento de las estacas de cacao en la variedad Chuncho. Aunque el uso de AIB ha sido estudiado en diversas especies, su aplicación específica al cacao en el contexto de invernadero y las condiciones particulares del distrito de Yanatile es un tema relativamente nuevo. Este estudio tiene el potencial de ampliar el conocimiento sobre cómo optimizar la propagación vegetativa del cacao, un factor crucial para la expansión y sostenibilidad de este cultivo.

La pertinencia de la investigación radica en que aborda una problemática directamente relacionada con las necesidades de los agricultores de cacao del distrito de Yanatile, Cusco, quienes enfrentan dificultades significativas para mejorar la propagación de sus cultivos. A través de esta investigación, se busca proporcionar una solución práctica que permita a los productores obtener un mayor número de plantas de cacao de alta calidad con un menor costo y esfuerzo, lo cual resulta de gran importancia para la expansión de las plantaciones de cacao en la región. Este estudio también contribuirá a que los agricultores de Yanatile tengan acceso a tecnologías más avanzadas, favoreciendo la adopción de prácticas más eficientes y sostenibles.

Desde un enfoque social y económico, la investigación tiene un impacto directo en el bienestar de los agricultores de cacao en Yanatile. La optimización de las técnicas de propagación de cacao puede traducirse en un aumento en la producción, lo que permitiría mejorar los ingresos de los productores, generar empleo en la región y fomentar el desarrollo de comunidades rurales. La mayor disponibilidad de plántulas de cacao de calidad también contribuirá a la competitividad de la región en los mercados nacionales e internacionales, especialmente en un contexto donde el cacao peruano, y en particular la variedad Chuncho, es altamente valorado. De esta manera, la investigación no solo tiene el potencial de mejorar la productividad agrícola, sino también de fortalecer la economía local y regional.

En cuanto al impacto ambiental, la investigación también responde a la necesidad de implementar prácticas agrícolas más sostenibles en la producción de cacao. El uso de técnicas como el AIB y de invernadero no solo mejora la eficiencia del proceso de enraizamiento, sino que también puede contribuir a la conservación de los ecosistemas locales. Al permitir una propagación más controlada y eficiente, se puede evitar la expansión desmedida de las plantaciones de cacao hacia áreas forestales, reduciendo el riesgo de deforestación y promoviendo un uso más racional de la tierra. De esta forma, la investigación tiene el potencial de generar un impacto positivo en la sostenibilidad

ambiental, alineándose con las necesidades de conservación de la biodiversidad en la región.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El efecto del ácido indolbutírico es altamente significativo en el enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.

2.4.2. Hipótesis específicos

- El efecto del ácido indolbutírico es altamente significativo en el porcentaje de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- El efecto del ácido indolbutírico es altamente significativo en el tiempo de enraizamiento de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- El efecto del ácido indolbutírico es altamente significativo en el número de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.
- El efecto del ácido indolbutírico es altamente significativo en la longitud de raíces de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en condiciones de Invernadero - Yanatile – Cusco.

2.5. Variable

A) Variable independiente 1: Ácido Indolbutírico (AIB)

Definición conceptual

El ácido indolbutírico (AIB) es una auxina sintética ampliamente utilizada en la propagación vegetativa para inducir la formación de raíces adventicias en estacas de plantas. Según Hartmann et al. (2011), las auxinas como el AIB estimulan la división y diferenciación celular en el tejido cambial, promoviendo la iniciación de raíces en

segmentos de tallo. En este estudio, se evalúa su efecto en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho, manipulando diferentes concentraciones para determinar su eficacia.

Definición operacional

El ácido indolbutírico se aplicará en tres concentraciones: 1000 ppm, 2000 ppm y 3000 ppm, preparadas disolviendo el compuesto en una solución acuosa con un agente dispersante (alcohol al 50%), siguiendo metodologías estándar (Hartmann et al., 2011). La aplicación se realizó mediante inmersión de la base de las estacas durante 10 segundos. La dimensión evaluada será la dosis de ácido indolbutírico, con los indicadores correspondientes a las concentraciones mencionadas (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm), las cuales se medirán y registrarán para analizar su influencia en el enraizamiento.

B) Variable independiente 2: Tipos de estaca

Definición conceptual

Los tipos de estaca son segmentos de tallo seleccionados para la propagación vegetativa, clasificados según su posición en la planta (terminal, intermedia, base o basal) y su estado fisiológico. De acuerdo con Leakey (2004), la posición de la estaca influye en su potencial de enraizamiento debido a diferencias en el contenido de carbohidratos, actividad hormonal y madurez del tejido. En este estudio, se investigará cómo estas características afectan el enraizamiento de estacas de cacao variedad Chuncho bajo el tratamiento con ácido indolbutírico (AIB).

Definición operacional

Las estacas se recolectarán de plantas sanas de cacao variedad Chuncho y se clasificarán en: terminal (segmentos de 20 cm del ápice), intermedia (segmentos de 20 cm de la zona media) y basal (segmentos de 20 cm cercanos a la planta madre). La dimensión evaluada será la propagación vegetativa, con los indicadores correspondientes a los tipos de estaca (terminal, intermedia, basal). Cada tipo se tratará con las concentraciones de AIB, y su efecto se medirá según los indicadores de la variable dependiente, siguiendo técnicas de propagación descritas por Leakey (2004).

C) Variable dependiente:

Definición conceptual

El enraizamiento de estacas de cacao es el proceso mediante el cual los segmentos de tallo desarrollan raíces adventicias, permitiendo su establecimiento como plantas independientes. Hartmann et al. (2011), describen este proceso como dependiente de factores hormonales (como auxinas), condiciones ambientales y las características fisiológicas de las estacas. En esta investigación, se evalúa el enraizamiento como respuesta al AIB y al tipo de estaca, considerando el desarrollo radical como un indicador clave de éxito en la propagación vegetativa del cacao.

Definición operacional

El enraizamiento se medirá en estacas de cacao variedad Chuncho tratadas con AIB (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm) y clasificadas por tipo (terminal, intermedia, basal), en un invernadero con condiciones controladas (humedad 80-90%, temperatura 25-28°C). La dimensión evaluada será el desarrollo de raíces, cuantificado mediante:

- Porcentaje de enraizamiento: Proporción de estacas con raíces visibles, calculada como $(\text{número de estacas enraizadas} / \text{total de estacas}) \times 100$, evaluada tras 30-60 días (Hartmann et al., 2011).
- Longitud de raíces: Longitud promedio de raíces primarias (en cm), medida con una regla o calibrador desde la base hasta el extremo.
- Tiempo de enraizamiento: Días hasta la aparición de raíces en el 50% de las estacas por tratamiento, registrado mediante monitoreo cada 3-5 días (Leakey, 2004).

D) Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Índices
V. I.			
Ácido indolbutírico	Dosis de ácido indolbutírico	<ul style="list-style-type: none"> • 1000 ppm • 2000 ppm • 3000 ppm 	ppm ppm ppm
Tipos de estaca	Propagación vegetativa	<ul style="list-style-type: none"> • Terminal • Intermedia • Basal 	Nominal Nominal Nominal
V. D.			
Enraizamiento de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	Desarrollo de raíces	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de enraizamiento • Tiempo de enraizamiento • Número de raíces • Longitud de raíces 	% días und cm

Nota. Elaboración propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Crespo (2021) desarrolló una investigación en el Recinto Zhucay, provincia del Cañar (Ecuador), titulada "Evaluación del efecto de tres hormonas naturales en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en el recinto Zhucay, en la provincia del Cañar". El estudio abordó la problemática de los costos en insumos sintéticos, comparando la eficacia de fito-estimulantes orgánicos (agua de lenteja, agua de coco y extracto de sábila) bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Los hallazgos estadísticos revelaron que las medias obtenidas por los tratamientos orgánicos no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en parámetros morfológicos claves como la cantidad de brotes, la altura de planta y la longitud radicular. Esta investigación es relevante porque establece un límite técnico para los enraizadores caseros: aunque son ecológicos, no lograron superar los umbrales necesarios para una propagación comercial intensiva en la zona de Zhucay, sugiriendo que para maximizar la eficiencia se requiere el uso de auxinas sintéticas concentradas.

Desde una perspectiva económica y técnica, Flores (2019) llevó a cabo el estudio "Evaluación de enraizadores en estacas de cacao con tres cortes de hoja tolerantes a la monilia en la Estación Experimental de Sapecho - Alto Beni (Bolivia). La investigación profundizó en la interacción entre el tipo de corte foliar y el regulador de crecimiento en el clon III-13. Los resultados determinaron que la técnica de corte de media hoja, combinada con Ácido Naftalenacético (ANA) en polvo, fue el tratamiento superior, alcanzando un 62% de prendimiento. El análisis de rentabilidad fue contundente: el ANA generó una relación beneficio-costos positiva con una ganancia neta de 2.62 Bs por unidad invertida, optimizando tanto la longitud de raíz como la biomasa aérea. En contraste, el tratamiento con Ácido Indolbutírico (AIB/IBA) (aunque fisiológicamente efectivo en la emisión de hojas) resultó menos eficiente económicamente (1.80 Bs de ganancia) y mostró una menor capacidad para elongar las raíces en comparación con el ANA bajo las condiciones climáticas de Alto Beni.

Por su parte, analizando la respuesta a dosis específicas de auxinas, Campoverde (2017) ejecutó la investigación titulada "Efectos de dos hormonas enraizantes sobre estacas de cacao de la variedad CCN 51" en la zona de Matilde Esther, provincia del Guayas (Ecuador). Este estudio se centró en calibrar la concentración óptima para la variedad CCN-51. Se concluyó que la aplicación de Ácido Indolbutírico (IBA) a una concentración de 800 mg/L tuvo una influencia estadística altamente significativa, logrando el mejor desempeño con un 80% de estacas prendidas. Más allá de la supervivencia, la calidad del sistema radicular fue superior en este tratamiento, registrando un volumen de raíces de 2.77 cc y una longitud promedio de 13.08 cm, superando drásticamente a las dosis bajas (400 mg/L) que apenas alcanzaron 6.42 cm. Estos datos validan la hipótesis de que las dosis crecientes de IBA (hasta cierto umbral) son determinantes para garantizar un sistema radicular robusto capaz de soportar el trasplante a campo definitivo.

Villa (2015) realizó el estudio "Efectos de dos hormonas enraizantes sobre plantas clonales de cacao variedad CCN 51 a nivel de vivero en la zona de la Troncal, provincia del Cañar" (Ecuador). La investigación tuvo como objetivo demostrar la indispensabilidad de la inducción hormonal exógena frente a la propagación natural. Los resultados evidenciaron que, sin estímulo hormonal, la tasa de éxito es inviable para fines productivos. Al utilizar el enraizante comercial Hormonagro, se logró un prendimiento del 41% a los 60 días, con una longitud radicular media de 8.79 cm a los 70 días. Aunque estos valores de prendimiento son inferiores a los reportados en estudios posteriores (como el 74.67% o el 80% de otras investigaciones), el trabajo de Villa es crucial pues documenta las métricas basales de crecimiento en vivero y confirma que el factor limitante en la fase de aclimatación es la capacidad de la estaca para generar raíces adventicias rápidamente, proceso que debe ser asistido químicamente.

En Bolívar (Ecuador), Illanes (2015) llevó a cabo la investigación "Propagación vegetativa en plántulas de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) con diferentes concentraciones de hormonas en el Cantón Las Naves provincia Bolívar". El estudio se diseñó para validar la respuesta fisiológica del material vegetal frente a estímulos

hormonales exógenos bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis estadístico (ANDEVA) fue concluyente: se determinó una alta significancia estadística tanto para los tratamientos como para las repeticiones. Esto implica que, en las condiciones edafoclimáticas del Cantón Las Naves, la aplicación de hormonas no es opcional, sino un factor determinante que altera significativamente la tasa de éxito en la propagación, validando la necesidad de ajustar las dosis para maximizar la producción de plántulas del clon CCN-51.

Por otro lado, Cajamarca (2017) desarrolló la tesis "Determinación de la eficiencia de hormonas en la propagación por ramillas de cacao Tipo Nacional" en la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias (Machala, Ecuador). La investigación evaluó la respuesta de enraizamiento a los 45 días. Los resultados mostraron una clara superioridad del tratamiento T3 (basado en auxinas comerciales en polvo para especies leñosas), logrando un 58% de enraizamiento. Este valor contrasta drásticamente con el T2 (14%) y el T1 (10%), evidenciando una brecha de eficiencia superior al 40% entre tratamientos. El autor argumenta que el éxito del T3 confirma que los reguladores en polvo a Basal de auxinas son esenciales para superar la latencia y promover la supervivencia en especies leñosas como el cacao Nacional, que tradicionalmente presenta mayores dificultades de enraizamiento que el CCN-51.

En la selva central en Perú, Gamboa (2015) investigó el "Comportamiento en vivero de cuatro clones de cacao sobre diferentes patrones en Satipo", abordando la compatibilidad genética y el vigor híbrido. El estudio evaluó la interacción injerto-patrón utilizando germoplasma local (VRAE). Los hallazgos fueron excepcionales: se reportó un rango de prendimiento entre el 75% y el 100%. Específicamente, las combinaciones de los clones VRAE-99 y VRAE-15 injertados sobre el patrón UF-221 alcanzaron el 100% de éxito. Estos resultados demuestran una alta afinidad histológica y fisiológica entre estos genotipos, sugiriendo que para la zona de Satipo (y potencialmente zonas análogas como el VRAE o La Convención), el uso de patrones vigorosos como el UF-221 garantiza la máxima eficiencia en la producción de plantones injertados.

Rosas (2019) desarrolló en Perú la tesis "Influencia de las fases lunares y tipos de injerto en el prendimiento y crecimiento del cultivo de cacao clon ICS-95". La investigación concluyó que existe una correlación significativa entre la fenología del injerto y el ciclo lunar. Se determinó que la técnica de injerto de púa central, realizada durante las fases de cuarto creciente a luna llena, maximiza las variables agronómicas. Durante estas fases, el mayor flujo de savia y turgencia celular favoreció el prendimiento, el volumen radicular, el diámetro del injerto y la cantidad de hojas. Este antecedente es crucial para establecer cronogramas de actividades en vivero, recomendando sincronizar las labores de propagación asexual con los periodos de mayor actividad fisiológica de la planta para optimizar el desarrollo del clon ICS-95.

En la región del VRAE, específicamente en el Centro Poblado de Valle Esmeralda, Guizado (2015) desarrolló la tesis "Enraizamiento de estaca basal de los clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), ICS-95, CCN-51, ICS-1, CMP-15 y porcelana; utilizando Ácido Indol Butírico (AIB) en el Centro Poblado de Valle Esmeralda, Río Ene". El estudio se centró en comparar el potencial rizogénico de clones comerciales frente a variedades tradicionales. Los resultados fueron contundentes al demostrar la superioridad del clon CCN-51 sobre los cultivares Porcelana, Criollo, CMP-15, ICS-1 e ICS-95. Las características morfológicas del CCN-51 destacaron significativamente, alcanzando el mayor número de raíces (5.93 unidades), una longitud radicular superior (13.05 cm), mayor biomasa radicular (13.64 g) y un desarrollo vegetativo aéreo vigoroso con 14.27 hojas y brotes de 18.13 cm. Este antecedente sugiere que el componente genético es una variable crítica, donde clones mejorados como el CCN-51 poseen una respuesta fisiológica más agresiva al AIB en comparación con los cacaos nativos o finos de aroma.

En el contexto específico de la región Cusco, Huilca (2019) realizó la investigación "Multiplicación vegetativa por ejes plagiotrópicos en dos cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector de Tiobamba - La Convención". El objetivo fue evaluar el comportamiento de la variedad nativa Chunchu frente al clon CCN-51 bajo la influencia de enraizadores y tres tipos de sustratos. Al analizar el parámetro de desarrollo foliar,

fundamental para la actividad fotosintética de la plántula, se observó una ligera superioridad estadística del cultivar CCN-51, que reportó una media de 13.78 hojas, en comparación con el cultivar Chuncho, que alcanzó un promedio de 13.33 hojas. Aunque la diferencia es numérica, el estudio demuestra que la variedad Chuncho posee una capacidad de respuesta vegetativa altamente competitiva y viable para la propagación masiva en la zona de La Convención, acercándose a los estándares de los clones comerciales.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. El cultivo del cacao

El cacao es un cultivo típico de zonas tropicales, cuyo desarrollo óptimo ocurre entre los 10° de latitud norte y sur del ecuador. Se cultiva ampliamente en África, Asia, Oceanía y América, principalmente para obtener sus semillas (también llamadas almendras), que sirven como materia prima en la elaboración de chocolates, mantecas y otros derivados empleados por las industrias alimentaria y cosmética (Arvelo et al., 2017 y Gamboa, 2015). Esta especie se originó en las tierras bajas de los bosques húmedos del norte de Sudamérica y Centroamérica, regiones caracterizadas por un clima cálido y lluvioso durante todo el año (Hardy, 1960, mencionado por Gamboa, 2015).

En cuanto a los requerimientos térmicos, el cacao prospera en rangos de temperatura entre 23 °C y 32 °C, siendo 25 °C el valor ideal. Los extremos térmicos, por su parte, condicionan los límites altitudinales y latitudinales donde es viable su cultivo (Paredes, 2003).

3.2.1.1. Botánica y morfología del cacao

La especie *Theobroma cacao*, presenta una amplia diversidad de formas y poblaciones, notablemente heterogéneas. Actualmente, su caracterización (tanto de formas silvestres como de cultivares) se basa no solo en rasgos morfológicos (como la morfología floral), sino también en atributos agronómicos (por ejemplo, resistencia a patógenos, forma del fruto y tamaño del grano) y en marcadores moleculares, entre ellos isoenzimas y otros indicadores genéticos (Arvelo et al., 2017).

Se trata de un árbol o arbusto semi-caducifolio que puede alcanzar hasta 12 m de altura, aunque habitualmente mide entre 4 y 8 m. Su tallo es liso o ligeramente pubescente en ramas jóvenes, con corteza oscura, de tonalidad grisácea a café. Las ramas jóvenes presentan pubescencia café. Las hojas, simples y alternas, son coriáceas o algo cactáceas, enteras o levemente onduladas en los bordes, con forma angostamente ovada a obovado-elíptica y ligera asimetría; miden entre 17 y 48 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, y pueden ser glabras o débilmente pubescentes en ambas caras (Arvelo et al., 2017).

Así mismo, indica que las inflorescencias son caulifloras y cimosas. Sus flores, hermafroditas, pentámeras y actinomorfas, miden entre 10 y 20 mm de diámetro y se sostienen sobre pedúnculos de 1 a 3 cm. Los sépalos (de color verde, blanco o rosa pálido), miden 5–8 mm de largo por 1,5–2 mm de ancho, son angostamente lanceolados, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos, ligeramente más largos (6–9 mm), son libres, amarillentos, con dos o tres nervaduras violáceas en su cara interna; su base es redondeada o bruscamente estrechada, y presentan ápice curvado y apiculado. Posee diez estambres lineales: cinco fértiles (2,5–3 mm), ubicados frente a los pétalos, y cinco estaminodios estériles (6,5–7,5 mm), de color violeta; todos están parcialmente soldados en la base, formando un tubo estaminal. El ovario, pentámero y ligeramente pentagonal, mide 2–3 mm, con forma anguloso-ovada y dos filas de óvulos (entre 6 y 12 por fila).

El fruto es una baya grande y altamente variable en forma (desde esférica hasta fusiforme), lisa al tacto, que en madurez adquiere tonalidades púrpuras o amarillas; mide entre 10 y 20 cm de longitud, hasta 7 cm de diámetro y pesa de 200 a 1000 g (Dostert et al., 2011).

Tradicionalmente, las formas de cacao se agrupan en tres categorías genéticas: Criollo, Forastero y Trinitario. El grupo Forastero exhibe alta diversidad genética, mientras que Criollo es más homogéneo desde el punto de vista genético. Por su parte, Trinitario corresponde a híbridos derivados del cruce entre Criollo y Forastero (Arvelo et al., 2017).

El cacao es una especie vegetal cuya clasificación taxonómica según Batista (2009) es la siguiente:

División : Espermatofita

Clase : Angiosperma

Sub – clase : Dicotiledónea.

Orden : Malvales.

Sub Orden : Malvinas.

Familia : Sterculiaceae.

Tribu : Bitneria

Género : Theobroma.

Especie : *T. cacao*.

3.2.1.2. Aspectos agronómicos del cultivo del cacao

a) Propagación del cacao

El sustrato o medio donde se colocan los esquejes para enraizar es fundamental. Los propagadores (estructuras diseñadas para minimizar la desecación de los esquejes) deben garantizar un ambiente húmedo y estable. Funcionalmente, se asemejan a almácigos o invernaderos, ya que crean condiciones ambientales óptimas tanto para la germinación y establecimiento de plántulas como para el enraizamiento de estacas (Paredes 2003).

Según Pinedo (2019), la propagación vegetativa es uno de los métodos más empleados en la práctica agrícola, con alto impacto económico, dada su versatilidad y múltiples aplicaciones.

A continuación, se describen los principales métodos de propagación del cacao:

1. Propagación sexual: Se basa en la siembra de semillas botánicas (Paredes, 2003).

Dado que el material genético proviene de dos progenitores, la descendencia es heterogénea. Su principal ventaja radica en su sencillez operativa: no requiere técnicas especializadas como la injertación, lo que reduce costos. Además, las plántulas suelen exhibir vigor híbrido notable (Arvelo et al., 2017).

2. Propagación asexual mediante estacas: Consiste en separar segmentos de la planta madre que contengan tejidos meristemáticos (nudos y entrenudos), capaces

de regenerar una nueva planta genéticamente idéntica (Barceló et al., 2001, citado en Osuna et al., 2017). En especies de hoja perenne, las estacas suelen conservar algunas hojas en su ápice. Las de madera tierna (provenientes de brotes primaverales) enraízan con facilidad, pero exigen condiciones controladas: calor en la base del sustrato y nebulización constante para mantener alta humedad relativa (Osuna et al., 2017).

3. Propagación vegetativa (clonal): Permite generar poblaciones con genotipos idénticos, lo que conduce a una alta uniformidad fenotípica (en tamaño, época de floración, maduración, etc), facilitando la estandarización productiva (Hartmann et al., 2011). Esta modalidad permite escalar rápidamente material genético de alto valor, aprovechando tanto los efectos aditivos como no aditivos de la varianza genética para formar lotes homogéneos y productivos. No obstante, su principal desafío es la vulnerabilidad a plagas, patógenos (especialmente virus) y acumulación de mutaciones somáticas, fuentes principales de deterioro clonal (Zobel & Talbert, 1988). Desde el ámbito investigativo, ofrece ventajas para evaluar el potencial genético y estudiar interacciones genotipo–ambiente (Hartmann et al., 2011).

4. Propagación mediante estacas: Según Rojas et al. (2004), implica cortar segmentos vegetativos (tallos, raíces y hojas) y colocarlos en un medio enraizador para inducir la formación de raíces y brotes, hasta lograr una planta independiente y, en la mayoría de los casos, genéticamente idéntica a la progenitora (Hartmann et al., 2011). Se clasifican en tres tipos según su origen: estacas de raíz, de tallo y de hoja, siendo las de tallo las más utilizadas a nivel mundial especialmente en árboles forestales, arbustos ornamentales (caducifolios y perennifolios), cultivos frutales y florales. Así mismo, es posible obtener estacas de tallo basal, intermedia y terminal (Hartmann et al., 2011).

Factores como la posición en la rama, grado de lignificación, reservas nutricionales, tipo y propiedades del sustrato, genotipo, estado fisiológico de la planta madre y

condiciones ambientales influyen en el éxito del enraizamiento. Estos resultados pueden optimizarse mediante tratamientos previos con reguladores de crecimiento (Batista, 2009).

Las variables clave para evaluar el enraizamiento, en orden de importancia son:

- El porcentaje de estacas enraizadas (principal indicador de eficiencia);
- El número de raíces por estaca;
- La velocidad de emergencia y desarrollo radicular.
- Idealmente, cada estaca debería generar al menos tres raíces bien ramificadas y distribuidas uniformemente alrededor del tallo (Leahey, 2004).

Existen diversas estrategias para mejorar el enraizamiento de estacas, entre ellas, el uso de enraizadores, control ambiental y selección de material vegetal adecuado.

- Químicamente por la aplicación de auxinas, reguladores de crecimiento, cofactores de enraizamiento y fungicidas.
- Físicamente regulando la longitud de estaca, su área foliar, el corte de la Basal.
- Ambientalmente manipulando el contenido de humedad y la humedad relativa, la luz, la temperatura y el medio de enraizamiento (Leahey, 2004).

Las estacas pueden clasificarse en varias categorías:

- Según la naturaleza del órgano separado (rama, brote, raíz, hoja, etc.).
- Según su estado (lignificado o herbáceo), una limitante para la utilización de estacas enraizadas ha sido su dependencia de la edad; los árboles jóvenes suelen enraizar con una rapidez mayor, pero es casi imposible enraizar los mismos árboles cuando están maduros.
- Según la época en que se realice la operación (invierno, primavera, otoño o verano).
- Según los diversos tratamientos que puedan darse a la estaca.

Según Hartmann y Kester (1996) mencionado por Hartmann et al. (2011), a las estacas se les clasifica de acuerdo con la parte de la planta de que proceden como sigue:

- De madera dura
- De madera semidura
- De madera suave
- Herbáceas
- Estacas de hoja
- Estacas de hoja con yema
- Estacas de raíz

Según Mesen y Viquez (2003), clasifican a las estacas según el objetivo de la plantación:

- Primero para el establecimiento de huertos clonales con la utilización de material fisiológicamente adulto, ya sea yema o espigas de la copa para injertación, estacas de la copa para enraizamiento, acodos de la copa, estacas leñosas o estación
- segundo, la utilización de material fisiológicamente juvenil, el cual dará origen a un árbol de crecimiento normal similar al de una plántula de semilla conocidos como estacas juveniles, suculentas o estaquillas no lignificadas; el material juvenil se origina de rebrotes de tocones, de rebrotes o brotes basales de árboles en pie o de plántulas jóvenes, entre otros.

3.2.1.3. Fases fisiológicas de la propagación vegetativa en estacas

Según Botti (1999), el proceso de formación y desarrollo de raíces adventicias en estacas se divide en cuatro fases secuenciales:

- Inducción y diferenciación: activación de células meristemáticas y comienzo de divisiones celulares.
- Proliferación: multiplicación celular que da lugar a primordios radicales aún indeterminados.
- Organización: reordenamiento de esos grupos celulares en primordios estructurados (alrededor de 1500 células por primordio).

- Emergencia y conexión: crecimiento, diferenciación final y salida de las raíces a través de la ruptura de tejidos superficiales, acompañada de la integración vascular con el sistema conductor de la estaca.

Los tejidos del tallo con mayor capacidad para generar primordios radicales son: epidermis, parénquima cortical, parénquima medular (radial), cambium vascular y parénquima del floema.

Las raíces adventicias suelen originarse en células próximas al floema, dentro de un tejido calloso que se forma tras la desdiferenciación y proliferación de células parenquimáticas cercanas a la herida, especialmente en plantas herbáceas (Sisaro & Hagiwara, 2016).

En especies leñosas, el callo puede derivarse principalmente del cambium, aunque también de la corteza o médula. Con el tiempo, algunas células del callo inician procesos de organogénesis: aparecen meristemos caulinares o radicales, y se establecen conexiones con los haces vasculares. Es importante señalar que, en la mayoría de las plantas, la formación del callo y la de raíces son procesos independientes; su coincidencia en el tiempo responde únicamente a que ambos dependen de factores internos y ambientales similares (Hartmann et al, 2011).

En estacas de especies leñosas perennes, los primordios suelen surgir de células vivas del parénquima de la xilema joven, aunque también pueden originarse en radios vasculares, cambium, floema, lenticelas o médula (Hartmann et al., 2011). Finalmente, Gutiérrez (1997) enfatiza que la rizogénesis depende de una red compleja de factores endógenos (hormonales, nutricionales, fisiológicos), cuya interacción modula el metabolismo, induce la desdiferenciación celular y promueve el crecimiento de nuevas estructuras radicales.

3.2.1.4. Fases del proceso de enraizamiento: cuatro fases

El desarrollo de raíces adventicias en estacas implica una secuencia bien definida de eventos celulares y moleculares:

- Diferenciación de células próximas al anillo vascular, particularmente en parénquima asociado al xilema y floema inmaduros o secundarios.
- Formación de células iniciales en nuevas zonas meristemáticas.
- Organización en primordios radicales.
- Crecimiento y emergencia, donde la iniciación radicular depende fuertemente de factores genéticos y del estado fisiológico de la planta madre, mientras que la elongación de las raíces es más sensible a condiciones ambientales (Gutiérrez, 2003).

Una rizogénesis exitosa requiere, además de auxinas, la presencia de cofactores endógenos, sustancias naturales con actividad catalítica y reguladora del metabolismo, que actúan en sinergia con las fitohormonas como coenzimas, pero que por sí solas no inducen desarrollo (Costas, 2006).

Entre los compuestos que regulan el crecimiento vegetal (hormonas naturales (etileno, giberelinas, citoquininas, auxinas, ácido abscísico) y reguladores sintéticos), las auxinas son las más influyentes en la formación de raíces (Hartmann et al., 2011).

La teoría de la rizocalina (Bouillene) propone que un fenol no específico (probablemente un dihidroxifenol) actúa como cofactor en el enraizamiento. Este compuesto se sintetiza en hojas y yemas, se transporta hacia la Basal de la estaca y, al interactuar con una enzima local (posifenoloxidasas) y un factor no identificado presente en bajas concentraciones, forma el complejo rizocalina, que estimula la rizogénesis (Hartmann et al., 2011).

La presencia de hojas y yemas en las estacas potencia marcadamente la formación de raíces, probablemente debido a su capacidad para producir y exportar auxinas. Su efecto promotor es más intenso justo debajo de estos órganos, en línea con el transporte polar basipétalo (de ápice a Basal) característico de estas hormonas (Hartmann et al., 2011).

Las auxinas se biosintetizan principalmente en hojas jóvenes y meristemas apicales a partir de triptófano. A diferencia de azúcares y otros solutos (que se movilizan vía floema),

su transporte ocurre célula a célula, a través de parénquima, con velocidad lenta (~1 cm/h) y dirección polar: basipétala en tallos (hacia la base) y acropétala en raíces (hacia el ápice) (García, 1996).

Aunque bajas concentraciones de auxinas favorecen la elongación radicular (pues los meristemas ya reciben suficiente hormona desde la parte aérea), la formación de raíces adventicias exige niveles superiores en la zona de enraizamiento, variables según la especie y la edad fisiológica del material (Garate, 2010).

A nivel celular, las auxinas promueven la elongación mediante dos mecanismos clave:

- Aumentan la plasticidad de la pared celular, y
- Facilitan la deposición y reorientación de microfibrillas de celulosa (de una disposición inicial transversal al eje de crecimiento a una casi paralela), lo que permite el estiramiento y alargamiento celular. Además, participan en otros procesos como el crecimiento del tallo, la dominancia apical, la abscisión y la activación del cambium (Garate, 2010).

3.2.1.5. Factores abióticos que condicionan el enraizamiento de estacas

Entre los factores ambientales y fisiológicos que influyen en el enraizamiento de estacas son:

Efecto de la luz

La intensidad (irradiancia), duración (fotoperiodo) y calidad espectral de la luz afectan directamente la tasa fotosintética, condicionando la disponibilidad de carbohidratos y auxinas necesarios para la rizogénesis. Estos requerimientos varían según la especie (Hidalgo, s.f.). La exposición directa al sol debe evitarse, ya que puede quemar tejidos tiernos (Reyes, 2015).

Un exceso de radiación reduce el potencial osmótico por acumulación de solutos, incrementa la transpiración (al elevar la presión de vapor déficit en la hoja) y acelera la pérdida de agua, inhibiendo el enraizamiento. Por el contrario, niveles subóptimos limitan la producción de fotoasimilados y el transporte de auxinas a la Basal de la estaca.

Concentraciones elevadas de carbohidratos, fotodegradación de auxinas, desbalance hídrico y alteraciones en la relación entre promotores e inhibidores del crecimiento también pueden ocurrir por irradiación excesiva (Hartmann et al., 2011).

La luz es esencial como fuente de energía para la fotosíntesis, proceso clave en la rizogénesis. Sus efectos pueden manifestarse tanto en la planta madre (al influir en la calidad del material vegetal) como en las estacas durante el enraizamiento. Fotoperiodos largos o iluminación continua favorecen el enraizamiento en varias especies. Braudeau (1981) sugiere condiciones óptimas bajo sombra que transmita ~25 % de la luz total, con solo 10–12 % incidiendo directamente sobre las ramas. Para garantizar viabilidad, la tasa fotosintética debe superar ligeramente la respiración; de lo contrario, la deficiencia de carbohidratos conduce a la muerte de las estacas.

Efecto de la temperatura ambiental

Temperaturas elevadas estimulan prematuramente el brotamiento apical, aumentan la transpiración y la respiración (agotando reservas), y pueden causar necrosis foliar. Por el contrario, temperaturas bajas reducen la fotosíntesis y ralentizan el metabolismo, prolongando el tiempo de enraizamiento o impidiéndolo. El uso de sombra ayuda a regular tanto la temperatura del aire como la del sustrato (Leakey, 2004).

El rango óptimo varía por especie: Botti (1999) propone 20–27 °C diurnos y ~15 °C nocturnos; Hartmann y Kester (1996) mencionado por Hartmann et al. (2011) recomiendan 21–27 °C. Para muchas especies, mantener el sustrato a 25–28 °C durante los primeros 15–20 días (luego reducirlo a 18–20 °C) mejora significativamente el porcentaje y calidad del enraizamiento. Incluso, otros autores sugieren una temperatura entre 27–29 °C como límite superior para la temperatura del aire, sin exceder 30 °C.

Efecto del medio de enraizamiento

La aireación es el factor más crítico del sustrato (García, 1996). Una relación adecuada aire/agua asegura oxígeno en la zona basal, necesario para la respiración celular y la formación radicular. Sustratos saturados favorecen pudriciones; en cambio, la excesiva porosidad o baja humedad inducen callo sin desarrollo radicular (DEVIDA, 2022).

La granulometría influye: en perlita, partículas más gruesas mejoran el enraizamiento por mayor aireación; perlita fina retiene más agua y reduce la difusión de O₂ (Avanzato & Cherubine, 1993). En *Cryptomeria japonica*, el número de raíces disminuye con el aumento del contenido volumétrico de agua, confirmando que el exceso hídrico limita la oxigenación.

El tipo de sustrato también determina la arquitectura radicular: en arena pura se generan raíces largas, gruesas y quebradizas; en mezclas (arena/musgo, perlita/musgo) predominan raíces finas, ramificadas y flexibles más aptas para el trasplante (Hartmann et al., 2011). Aunque la morfología radicular está genéticamente determinada, factores edáficos como humedad, oxígeno, CO₂, textura y presencia de reguladores de crecimiento la modulan (Salisbury, 1991; Fitter, 1996 mencionado por Henríquez, 2004).

Un buen sustrato debe:

- Sujetar las estacas.
- Retener humedad sin encharcamiento.
- Permitir intercambio gaseoso (alta porosidad y drenaje).
- Tener baja densidad aparente
- Debe contener poca materia orgánica y estar libre de patógenos (Cedeño, 2015; Mita & Grundy, 2017).

En el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), se han usado con éxito grava fina, arena, aserrín descompuesto o mezclas (Mesén y Viquez, 1998). Sin embargo, se advierte que en sistemas de subirrigación no se deben agregar fertilizantes al sustrato, ya que la rizogénesis es un proceso hormonal interno, no nutricional, y los nutrientes pueden favorecer el crecimiento de algas o musgos.

Efecto de la humedad relativa

Las estacas (especialmente herbáceas o con hojas) son altamente sensibles a la desecación, pues carecen de raíces funcionales y sus vasos están parcialmente obstruidos por mucílagos y compuestos oxidados en la superficie de corte. La pérdida de agua es una

causa principal de mortalidad antes del enraizamiento, ya que la división celular requiere turgencia.

Para minimizar la evapotranspiración, la humedad relativa debe mantenerse alta (70–80 % como mínimo; idealmente ~100 % al inicio), usando coberturas plásticas, nebulización intermitente o combinaciones (Mita & Grundy, 2017). El déficit hídrico provoca cierre estomático, reduciendo la fijación de CO₂ y, por ende, la producción de carbohidratos. Además, incrementa el ácido abscísico (ABA), un inhibidor conocido de la rizogénesis (Hartmann et al., 2011).

Efecto de los reguladores de crecimiento

Los reguladores sintéticos (no hormonas, sino fitoreguladores) imitan funciones de las fitohormonas naturales (Barceló, 1992 citado en Fanego, 2006). Las auxinas son las más eficaces para inducir raíces adventicias, ya que:

- Estimulan la división y elongación celular.
- Promueven la formación de primordios radicales.
- Facilitan el transporte de carbohidratos y cofactores a la Basal de la estaca (Fanego, 2006).

Su transporte es polar: basípeto en tallos (ápice → Basal) y acrópeto en raíces (Basal → ápice), mediado por gradientes electroquímicos y la membrana plasmática no por el floema (García, 1996).

La respuesta auxínica sigue una curva bifásica: estimulación a bajas concentraciones e inhibición a altas, mediada por la síntesis de etileno. El objetivo del tratamiento es aumentar el porcentaje, velocidad y calidad del sistema radical (Hartmann et al., 2011). Los métodos de aplicación más comunes son:

- Polvo (mezcla con talco neutro).
- Inmersión rápida en soluciones concentradas (5–10 s).
- Remojo prolongado en soluciones diluidas.
- Aplicación precisa con micro-jeringas (uso experimental) (DEVIDA, 2022).

La inmersión rápida es ventajosa: evita manipulación repetida, reduce variabilidad y es menos sensible a condiciones ambientales (Hartmann et al., 2011). Se recomienda usar solventes como alcohol al 50 % (evaporado antes de la siembra) para evitar daño tisular; la concentración y tiempo de exposición deben ajustarse según especie y grado de lignificación (Blazich, 1988).

AIB (ácido indolbutírico) es la auxina sintética más empleada:

- Más estable que el AIA (ácido indolacético natural).
- Resistente a degradación lumínica y microbiana.
- Insoluble en agua → persistencia en el sitio de aplicación.
- Amplia ventana de seguridad (no tóxica en rangos usuales).

El AIB también inhibe temporalmente el brotamiento apical, redirigiendo asimilados hacia la Basal y evitando competencia con el desarrollo radicular. En *Cordia alliodora*, aumentar la dosis de 0 a 1,6 % elevó el enraizamiento de 10 % a 70 % y acortó el tiempo de emergencia de 8 a 3 semanas (Leakey, 2004; Mesen y Viquez, 2003).

Las concentraciones óptimas de AIB pueden variar:

- 0,2 %: eficaz en *Alnus acuminata*, *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Eucalyptus deglupta*, *Bombacopsis quinata*.
- 0,2–0,4 %: óptimo para *Platymiscium pinnatum* (según sustrato).
- 0,8–1,6 %: requerido por *Terminalia oblonga*, *Cordia alliodora*, *Hyeromina alchorneoides*.
- 0,05–0,4 %: rango efectivo en *Albizia guachapele*.
- Sin auxinas: *Vochysia guatemalensis* mostró mayor enraizamiento espontáneo, aunque el número de raíces aumentó con AIB (0,2 % ofreció mejor equilibrio calidad/cantidad).
- La aplicación exógena corrige desbalances hormonales (ej. alta citocinina/auxina) y supera limitaciones endógenas, como la rápida

degradación del AIA algo que no ocurre con AIB ni ANA (ácido naftalenacético).

3.2.1.6. Factores abióticos que condicionan el enraizamiento de estacas

Edad de la planta madre

Las estacas derivadas de plantas jóvenes o de zonas juveniles (como brotes basales o tras podas rejuvenecedoras) exhiben mayor capacidad rizogénica. Estrategias como podas severas, injertos o aplicaciones de giberelinas pueden prolongar o restablecer la fase juvenil, mejorando el enraizamiento. Con la edad, es posible que se acumulen compuestos inhibidores (como ciertos fenoles) o se reduzca la disponibilidad de cofactores promotores del enraizamiento.

Posición de la estaca en la planta madre

La ubicación del material en la planta es crítica. Las diferencias en el enraizamiento entre sectores se atribuyen a la distribución heterogénea de hormonas, reservas nutricionales y grado de diferenciación tisular. Las estacas apicales suelen enraizar mejor por:

- Mayor concentración de sustancias promotoras (auxinas, cofactores).
- Menor diferenciación celular y mayor proporción de tejidos meristemáticos.

No obstante, en algunas especies, las estacas de ramas laterales superan a las terminales en porcentaje de prendimiento (aunque pueden presentar topófisis: fenómeno por el cual la estaca perpetúa el hábito de crecimiento de su origen, ortotrópico (vertical, si proviene del tallo) o plagiotrópico (horizontal, si proviene de rama lateral)), lo que puede comprometer la arquitectura deseada en la planta clonal (Hartmann et al., 2011).

Superficie foliar de la estaca

La presencia de hojas es fundamental: actúan como fuente de fotoasimilados, auxinas y cofactores transportados basípetalmente hacia la Basal. Sin embargo, también incrementan la transpiración, generando estrés hídrico. El equilibrio óptimo depende del contexto ambiental y fisiológico:

- Estacas sin hojas (especialmente juveniles) no logran enraizar (Braudeau, 1981).
- La pérdida foliar durante el proceso conduce al fracaso, incluso si ya han iniciado raíces.
- Recortar las hojas (generalmente a 1/3–1/2 de su área) permite mantener la fotosíntesis sin exceder la capacidad de retención hídrica.
- Un potencial hídrico elevado en las hojas favorece la actividad auxínica y reduce la generación de peróxido de hidrógeno (tóxico) durante la fotosíntesis (Leahey, 2004).

Sistemas de propagación

Para considerar como un sistema de propagación eficiente debe:

- Minimizar la pérdida de agua (alta humedad relativa, baja evaporación).
- Garantizar aireación del sustrato.
- Mantener temperaturas óptimas en la zona radicular.
- Proveer luz suficiente para la fotosíntesis (Jinks, 1995).

La nebulización intermitente reduce la temperatura foliar y el gradiente de presión de vapor, permitiendo disminuir el sombreado sin comprometer la turgencia (Kaulard, 2018). Los propagadores de subirrigación y nebulización logran humedades superiores al 90 % y estabilizan las condiciones térmicas (20–25 °C aire; 18–30 °C sustrato), ideales para especies tropicales (Leahey, 2004).

Propagador de subirrigación

Sistema de baja tecnología que no requiere electricidad ni red de agua (Leahey, 2004). Consta de:

- Un marco (madera o metal) impermeabilizado con plástico;
- Capas filtrantes: piedras gruesas (6–10 cm), piedras finas (6 cm), grava;
- 5 cm superiores con sustrato (arena, aserrín, etc.).
- 20 cm basales con agua, que asciende por capilaridad.

- Tubo de observación (ej. bambú) y compartimentos internos para ensayos múltiples.
- Tapa hermética para mantener la humedad y el agua debe renovarse cada 6 meses.

Antecedentes y avances en la propagación por estacas en cacao

Los primeros ensayos datan de Pike (Trinidad, 1930) revisitados por Evans (1951), quien estableció las condiciones clave para el éxito. En Brasil, la producción de plantones por estacas comenzó en los años 50, pero fue desplazada por la propagación sexual tras la introducción de híbridos biconales. La epidemia de escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) desde 1989 revitalizó la propagación clonal, especialmente en Bahía. En 1999, el Instituto Biofábrica de Cacao (IBC) adoptó protocolos adaptados de la industria forestal (ej. *Eucalyptus*), logrando escalabilidad.

Resultados experimentales y aplicaciones prácticas

- Mestanza (1981): Cycocel y Ferban (1000–4000 ppm, 30–90 min) no favorecieron el enraizamiento en Tingo María.
- Evans (1951): estacas semileñosas terminales en abanico respondieron mejor a AIB (4000–6000 ppm).
- Leal & Hernández (1994): bajo nebulización y 50 % de sombra, en sustrato (arena:cáscara:aserrín = 1:1:2), el clon Ocumare 77 alcanzó máximo enraizamiento con 6000 ppm de AIB.
- Sena-Gómez et al. (1998): estacas plagiotrópicas semileñosas con AIB (4000–8000 mg kg⁻¹) lograron >70 % de enraizamiento en CEPEC 42, TSH 516 y TSH 565, pero <55 % en TSH 1188.
- En la Biofábrica de Ilhéus (Brasil): se procesan >15 000 estacas/día con AIB a 6000 mg kg⁻¹, en cámara de nebulización intermitente, 50 % de luz y sustrato (Plantmax:fibra de coco = 1:1). Estudios posteriores confirmaron que, aunque algunos clones (CEPEC 42, TSH 516, TSH 1188) enraizan sin AIB, su aplicación mejora significativamente: porcentaje de supervivencia y enraizamiento, número de raíces primarias, y biomasa aérea y radicular.

- Paredes & Canals et al. (2003, República Dominicana): estacas apicales jóvenes (4–5 hojas, recortadas a ¼), con corte en bisel, desinfección en benomil y AIA en polvo al 0.4 %, dieron 36.7 % de enraizamiento en sustrato suelo:aserrín (1:1) bajo sombra al 75 % y cobertura plástica removida a los 63 días.
- Lama (2006, Tingo María): en sustrato arena:tierra (1:1), el clon ICS-95 superó a CCN-51 (55.56 % vs. 33.3 %) con AIB a 3000 mg kg⁻¹; el humus de lombriz no mejoró significativamente los resultados. En la UNAS (Tingo María), con CCN-51: El sustrato tierra: arena: núcleo de arena (2:1 + capa) favoreció la longitud radicular. AIB a 6000 ppm optimizó el número de estacas enraizadas. En general, las dosis de 3000, 6000 y 9000 ppm superaron estadísticamente al testigo sin auxina (Mendoza, 2007).
- En otro ensayo (mayo–septiembre), con CCN-51 y AIB: Estacas colocadas en la mañana (temperatura baja) alcanzaron 52 % de enraizamiento en sustrato arena:tierra (1:1).
- Las instaladas al mediodía (mayor estrés térmico/hídrico) solo lograron 22.4 %.

3.2.1.7. Establecimiento de la plantación de cacao

Preparación del suelo

Los suelos de color oscuro a negruzco suelen ser los más aptos para el cultivo de cacao, ya que indican menor grado de lixiviación y mayor contenido de materia orgánica. Además, deben presentar un subsuelo poco compactado, que permita la penetración profunda de la raíz pivotante, y una profundidad efectiva suficiente (>1 m). El pH óptimo oscila entre 6,0 y 6,5, condición en la que se obtienen rendimientos satisfactorios. No obstante, el cacao tolera rangos extremos (pH 4,5 a 8,5), aunque en estos casos la productividad disminuye notablemente. En suelos con acidez o alcalinidad pronunciada, se recomienda la aplicación de enmiendas (cal agrícola en suelos ácidos; yeso o materia orgánica en alcalinos) para corregir las limitaciones químicas (Paredes, 2003).

La preparación del terreno debe realizarse en la época seca: las malezas se eliminan manualmente al menos 20 días antes de la siembra, lo que permite descomponer

residuos vegetales y enriquecer el suelo con materia orgánica. En zonas con encharcamientos frecuentes, es indispensable construir drenajes superficiales o subterráneos, dado que el cacao es altamente sensible al exceso de humedad radicular (Arias, 2012). Previo a la plantación, se debe establecer una sombra temporal (por ejemplo, plátano o *Inga* spp.), y simultáneamente instalar la sombra permanente (especies maderables, frutales o fijadoras de nitrógeno con valor comercial y ecológico), garantizando así un microclima adecuado desde el establecimiento del cultivo.

Plantación

La densidad de siembra depende de la fertilidad edáfica, la topografía y el porte del material vegetal. El espaciamiento más común es 3 m × 3 m (1 111 plantas/ha) (Predes, 2013). No obstante, se emplean otras configuraciones:

- Baja densidad: hasta 3,5 m × 3,5 m (816 plantas/ha)
- Alta densidad convencional: hasta 3 m × 2 m (1 666 plantas/ha).
- Sistema de surcos mellizos: calles de 3 m separando bandas de 1 m de ancho, con 1,5 m entre plantas dentro de la banda, logrando 3 333 plantas/ha manejadas con tecnificación avanzada (riego, poda, fertilización de precisión).

3.2.1.8. Labores culturales

Manejo del suelo

Las malezas compiten directamente con el cacao por recursos esenciales: agua, nutrientes, luz y CO₂, además de servir como reservorios de plagas y patógenos en particular áfidos, vectores de virosis. Su impacto es más severo durante el establecimiento y la fase juvenil del cultivo. El control mecánico es el más recomendado: se puede realizar con herramientas manuales (azadón, machete, guadaña) o equipos ligeros (motocultivador, arado de precisión), evitando labores profundas que dañen el sistema radicular superficial del cacao. Como alternativa, se admite el uso de herbicidas selectivos, siempre aplicados con precisión para evitar contacto con el follaje o el tallo de las plantas (Arias, 2012).

Riego

La gestión sostenible del agua requiere conservar las zonas de recarga hídrica: las

cumbres y laderas altas actúan como esponjas naturales, regulando el flujo de manantiales y manteniendo la disponibilidad hídrica a lo largo del año (Eco Asháninka, 2015). En zonas como Picota y Chazuta (San Martín), el riego complementario (combinado con manejo técnico integral) ha permitido obtener granos de alta calidad, utilizados en la elaboración de chocolates finos (Costas, 2006).

Manejo de poda

- Poda de formación: se realiza en los primeros años para definir una estructura equilibrada, seleccionando 3–5 ramas principales bien distribuidas, que favorezcan la acumulación de producción en la copa baja y accesible.
- Poda de producción: inicia a partir del tercer año y busca mantener la arquitectura del árbol, optimizar la penetración de luz y la ventilación del follaje. Incluye: eliminación de chupones, ramas muertas o mal orientadas, y aclareo del 30 % de la copa (retirando ramas sombreadas o superpuestas), sin abrir claros entre árboles, práctica errónea que reduce la eficiencia del uso de la luz y aumenta el estrés hídrico (Eco Asháninka, 2015).
- Poda sanitaria: debe ejecutarse en cada cosecha y consiste en la remoción de ramas defectuosas, secas, enfermas, cruzadas, torcidas, débiles o aglomeradas, así como de frutos dañados o infectados, los cuales deben recolectarse y destruirse (quema o entierro profundo) para reducir inóculo (Arvelo et al., 2017).

Sanidad

El control integrado de plagas y enfermedades se basa en prácticas culturales preventivas y medidas complementarias:

- Monitoreo sistemático de la plantación.
- Uso de trampas (feromónicas o de luz) para captura de insectos adultos.
- Minimización de heridas durante labores agronómicas
- Aplicación de biocontroladores (ej. *Beauveria bassiana* contra *Monilinia* o *Sahlbergella*).

- Uso racional y dirigido de insecticidas, evitando aplicaciones durante picos de floración para proteger polinizadores.
- Conservación de plantas hospederas de enemigos naturales (ej. bancos de flores).
- Eliminación inmediata de brotes infestados por ácaros (corte y quema)
- Destrucción de nidos de hormigas cortadoras und otros insectos sociales (Eco Asháninka, 2015).

3.2.1.9. Fertilización

Es recomendable que se realice la fertilización de los cacaotales de acuerdo al análisis de suelos efectuados en las fincas y con ello establecer un plan de nutrición adecuado, a continuación, en la tabla 2, se presentan los niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.

Tabla 2

Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.

Parámetro	Rango fertilidad relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH (En agua 1:25)	7,6 - 6,5	6,4-5,1	< 5
Materia orgánica (Combustión húmeda)	> 6,1	6	< 3
Nitrógeno total (Kjeldahl)	> 0,41	0,4 - 0,16	0,2
Relación C/N	9,5 - 10,4	15,5 - 10,5	<15,6 <9,4
Fósforo ppm (Mehlich)	> 16	15-16	< 5
Fósforo P/ml (Olsen modificado)	> 21	20 – 12	< 12
Fósforo "disponible" P2O5 ppm (Trog)	> 120	119 – 21	< 20
Potasio intercambiable meq/100 gr (Ac de amonio)	> 0,41	0,4 - 0,16	< 0,15
Potasio extraíble meq/100 ml (Olsen modificado)	> 0,41	0,4 - 0,21	< 0,20
Azufre S-SO ₄ /ml (Fosfato monocálc 500 ppm P)	> 21	20 – 13	< 12
Calcio intercambiable meq/100 g (Ac amonio 1N)	> 18,1	18,1 - 4,1	< 4
Calcio extraíble meq/100 ml (KCl 1N)	> 4,1	2 – 4	< 2
Magnesio intercambiable meq/100 g (Ac amonio)	> 4,5	4,4 - 0,9	< 0,8
Magnesio extraíble meq/100 ml (KCl 1N)	> 2,1	2 - 0,8	< 0,8
CIC meq/100 g (Acetato de amonio 1N)	> 30,1	30 - 12,1	< 12
Saturación de aluminio % (Cloruro de potasio 1N)	> 0,1	11 – 25	< 26
Aluminio meq/100 ml (Cloruro de potasio 1N)	> 0,3	0,31 - 1,5	< 1,51

Nota. Arvelo (2017).

b) Cosecha y pos cosecha

La cosecha debe centrarse en frutos maduros, descartándose posteriormente los sobremaduros y los enfermos durante la selección poscosecha. Los frutos maduros presentan la cantidad óptima de mucílago y un contenido de sólidos solubles (°Brix) adecuado para una fermentación eficiente. En contraste, los frutos pintones (inmaduros) poseen mucílago insuficiente, menor peso y desarrollo incompleto del grano; mientras que los sobremaduros exhiben mucílago deshidratado, insípido y, con frecuencia, con el embrión ya germinado (Eco Asháninka, 2015).

Los frutos deben recolectarse tan pronto alcancen la madurez fisiológica, evitando su permanencia en el árbol. La frecuencia de cosecha varía según la estacionalidad:

- Cada dos semanas durante la cosecha menor.
- Cada semana en los períodos de máxima producción.

Adicionalmente, se recomienda realizar un recorrido semanal por la plantación para identificar y eliminar frutos y chireles afectados por enfermedades, utilizando un gancho exclusivo para este fin, evitando la contaminación cruzada con herramientas de cosecha. Es crítico evitar la cosecha de frutos sobremaduros, ya que son más susceptibles a infecciones secundarias y presentan alto riesgo de germinación interna del grano. Asimismo, se debe manipular el fruto con cuidado: no se deben herir las vainas con el machete, pues las lesiones favorecen la entrada de hongos (especialmente *Aspergillus* spp.) y la producción de ocratoxina A, una micotoxina peligrosa para la salud. Para minimizar su acumulación, los frutos dañados no deben almacenarse más de 24 horas antes del procesamiento (Arvelo et al., 2017).

3.2.2. Propagación vegetativa por estacas

3.2.2.1. Principios fisiológicos

La dediferenciación celular es un proceso previo a la formación del callo, en el cual células especializadas pierden su identidad funcional y adquieren un estado indeterminado, recuperando características meristemáticas. Una vez formado el callo, sus células pueden reingresar en procesos de diferenciación, dando lugar mediante organogénesis indirecta a

estructuras como raíces o brotes, o bien a través de embriogénesis somática indirecta a embriones somáticos capaces de desarrollarse en plantas completas. Este tejido calloso constituye, por tanto, una fuente abundante de células totipotentes, con alta capacidad regenerativa (Cedeño, 2015).

3.2.2.2. Tipos de estacas de cacao

Las estacas se clasifican en tres tipos según su origen de su procedencia: estacas de raíz, de tallo y de hoja, siendo las de tallo las más utilizadas a nivel mundial especialmente en árboles forestales, arbustos ornamentales (caducifolios y perennifolios), cultivos frutales y florales (Hartmann et al., 2011).

Cabe mencionar que, para la obtención de estacas de tallo, se requiere de ramas o ramillas denominado varas o varetas yemeras, los mismos que deben contar de 2 a 3 hojas, siendo cortadas a un tercio medio de la superficie foliar en el extremo apical de la hoja para reducir el estrés y garantizar la viabilidad (Paredes, 2003).

Por otro lado, se puede utilizar estacas provenientes de varias posiciones a lo largo del brote, sin embargo, la parte del entrenudo apical es susceptible a sufrir un marchitamiento por ser demasiado succulento, asimismo los entrenudos basales muy lignificados muestran mayor dificultad para la iniciación de las raíces. Generalmente a los brotes en toda su longitud se les clasifica como basal, media y apical (Mesen, 1998; mencionado por Guizado, 2015).

Estas estructuras de propagación, es posible realizar una analogía a la clasificación según la parte de procedencia. La parte basal correspondería a la madera dura, mientras que la parte intermedia correspondería la madera semidura y la parte suave a la madera suave (Hartmann y Kester, 1996) mencionado por Hartmann et al., 2011). A partir de ello, es posible diferenciar las estacas basales por el color marrón oscuro y cercano a la planta madre, seguido por la intermedia de color marrón verdoso y la estaca terminal de color verde.

3.2.2.3. Formación de raíces

El enraizamiento de estacas transcurre en cuatro fases secuenciales (Botti, 1999)

- Inducción y desdiferenciación: activación y reprogramación de células somáticas hacia un estado meristemático, iniciando la división celular.
- Proliferación: multiplicación celular que genera primordios radicales aún indeterminados.
- Organización: reagrupamiento y diferenciación de las células (~1500 por primordio) en estructuras definidas como primordios radiculares.
- Emergencia y conexión vascular: crecimiento, diferenciación final y salida de las raíces mediante la ruptura de tejidos superficiales, acompañada de la integración funcional con los haces vasculares de la estaca.

3.2.2.4. Promotores radiculares en la propagación por estacas

El objetivo de aplicar reguladores de crecimiento del tipo auxina a esquejes o estacas es: incrementar el porcentaje de prendimiento, reducir el tiempo de iniciación radicular, elevar el número y mejorar la calidad (longitud, ramificación, vitalidad) del sistema radical, y lograr una mayor uniformidad en el enraizamiento entre las unidades vegetativas.

En el mercado, estos productos se comercializan en dos presentaciones:

- Baja concentración (~1 % de ingrediente activo), listos para usar.
- Alta concentración (~95 % de ingrediente activo), destinados a dilución previa (Hartmann et al. 2011).

Entre los compuestos sintéticos más eficaces para inducir raíces adventicias destacan el ácido indolbutírico (AIB o IBA) y el ácido naftalenacético (ANA o NAA), por su amplio margen de seguridad (baja fitotoxicidad aun en dosis elevadas), estabilidad frente a la degradación lumínica y microbiana, y demostrada eficacia en una amplia gama de especies vegetales (Osuna et al., 2016).

3.2.2.5. Sustrato de propagación

La elección del sustrato óptimo para el enraizamiento depende de múltiples factores: especie vegetal, tipo de estaca (herbácea, semileñosa o leñosa), época del año, sistema de propagación empleado, así como la disponibilidad local y el costo de los materiales. En

todo caso, debe ser libre de patógenos, económico y cumplir funciones físicas y sanitarias clave (Costas, 2006).

Un medio adecuado requiere buena limpieza, drenaje eficiente y ausencia de compuestos fitotóxicos. La arena fina o la grava fina son opciones frecuentes; no obstante, cuando su capacidad de retención hídrica es insuficiente, se pueden enriquecer con materiales como turba, vermiculita o fibra de coco, que mejoran la disponibilidad de agua sin comprometer la aireación (Reyes, 2015).

Además de favorecer el desarrollo radicular, un sustrato bien diseñado contribuye a la sostenibilidad ambiental: reduce el riesgo de contaminación del subsuelo y acuíferos, y permite el reciclaje del agua drenada en sistemas de riego cerrados, optimizando su uso (Reyes, 2015).

3.2.2.6. Material de propagación vegetativa del cacao

La propagación de materiales genéticamente mejorados se lleva a cabo mediante dos vías:

- Propagación sexual, mediante semilla (generando descendencia heterogénea).
- Propagación asexual (clonal), que permite obtener individuos genéticamente idénticos al progenitor seleccionado, preservando caracteres deseables como la precocidad, uniformidad fenotípica y estabilidad productiva (Arvelo et al., 2017).

Los métodos clonales más empleados en cacao son el injerto, el acodo y el enraizamiento de estacas, todos orientados a reproducir fielmente el genotipo de plantas superiores (Hidalgo, s.f.).

El éxito del enraizamiento de estacas depende de múltiples factores interrelacionados:

- Posición de la estaca en la rama (apical, media o basal).
- Grado de lignificación del tejido.
- Contenido de reservas nutricionales.

- Propiedades físicas y químicas del sustrato.
- Genotipo del material vegetal.
- Estado fisiológico de la planta madre.
- Condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad).

Estos factores pueden optimizarse mediante tratamientos previos con reguladores de crecimiento, especialmente auxinas, que incrementan la tasa, velocidad y calidad del enraizamiento (Hartmann et al., 1985, citado en Costas, 2006).

En un estudio comparativo, Reyes (2014, p. 86) evaluó estacas terminales frente a estacas subterminales y observó que las terminales presentaron mayor porcentaje de enraizamiento, mientras que las subterminales generaron mayor número de raíces por estaca, evidenciando un compromiso entre eficiencia de prendimiento y desarrollo radicular.

3.2.2.7. Hormonas promotoras de la rizogénesis

El enraizamiento de estacas se facilita notablemente mediante la aplicación de reguladores de crecimiento, siendo el ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indolbutírico (AIB) los compuestos más empleados para acelerar y mejorar este proceso (Reyes, 2015). El AIB (ácido 4-(indol-3-il) butírico) es una auxina natural (aunque también se usa en forma sintética), clasificada como regulador de crecimiento de amplio espectro. Su principal función es inducir y estimular la formación de raíces adventicias, incrementando tanto la tasa de prendimiento como la calidad del sistema radicular (EcuRed, 2019).

3.2.2.8. Cacao variedad Chuncho o forastero (cacao nativo del Perú).

El cacao Chuncho se cultiva principalmente en los valles de La Convención, en la región de Cusco. Se trata de un material nativo, domesticado ancestralmente por la comunidad Matsigenka (antes de la llegada de los españoles), si bien las extensiones más significativas fueron establecidas hace más de un siglo. En la actualidad, es reconocido como uno de los cacaos finos de aroma más destacados del mundo por sus cualidades organolépticas (notas florales, frutales y acidez equilibrada) y su producción está liderada por pequeños agricultores organizados en cooperativas, que preservan prácticas tradicionales y sostenibles (M & O Consulting S.A.C., 2008).

3.3. Definición de términos

1. **Ácido indolbutírico (AIB).** Según Mansilla (2004), el AIB es una auxina sintética análoga al AIA, considerada la más efectiva y utilizada para promover el enraizamiento en la mayoría de las especies. Aunque su actividad auxínica general es baja, posee una excelente capacidad rizógena. Es ideal para uso extensivo por su baja toxicidad en un amplio rango de concentraciones y su eficacia en numerosas especies (Hartmann et al., 2011). Weaver (1976) añade que es fotoestable, se degrada lentamente y permanece en el sitio de aplicación. Para especies forestales, las dosis efectivas suelen oscilar entre 0.2% y 0.3%, aunque esto puede variar. Es el enraizante más usado globalmente y se comercializa como un polvo blanco en concentraciones desde 100 ppm hasta 1000 ppm.
2. **Medios de enraizamiento.** La elección de un sustrato adecuado depende de factores como la especie, el tipo de estaca, la estación y el costo. Un buen medio debe ser poroso para un drenaje y aireación óptimos, tener alta capacidad de retención de humedad, ser estable y estar libre de patógenos, condición que se puede lograr mediante desinfección (Hartmann et al, 2011).
3. **Propagación vegetativa por estacas.** Esta técnica consiste en separar segmentos de brotes, ramas o raíces de una planta madre y colocarlos en un ambiente controlado para inducir la formación de raíces y brotes, obteniendo así una nueva planta (Rojas et al., 2004). El objetivo es producir estacas enraizadas de alta calidad, que se trasplanten con éxito, sean uniformes y constituyen la base para plantas de buen desarrollo (López y Carazo, 2005).
4. **Cacao variedad chuncho.** *Theobroma cacao* L. variedad Chuncho se propagó tradicionalmente por semilla sin selección agronómica, lo que resultó en una gran diversidad genética en las parcelas. Estos árboles son robustos, alcanzan alturas de 10 a 15 metros, tienen múltiples ejes verticales y no han sido sometidos a podas de formación. Sus hojas son anchas, lanceoladas, de color verde oscuro y con brotes nuevos rojizos.

5. **Control de temperatura de invernadero.** Reyes (2015), considera óptima una temperatura entre 24-30°C y una humedad $\geq 90\%$ con renovación de aire durante 20 días. En cambio, Sotes (2010) recomienda comenzar con 30-32°C durante 5 días y luego bajar a 24-26°C por 18 días, o bien, iniciar a 30°C y reducir 2°C cada 3 días hasta estabilizarse en 20°C por 25-45 días (López y Carazo, 2005).
6. **Esqueje de cacao.** Es un fragmento de tallo, rama u otra parte de la planta que se corta y se induce a enraizar para generar una nueva planta genéticamente idéntica a la madre, permitiendo clonar características deseables. (Paredes, 2013).
7. **Proceso de enraizamiento.** Etapa fundamental en la propagación donde un esqueje o estaca desarrolla su propio sistema radicular para convertirse en una planta independiente y viable. (Paredes, 2013).
8. **Polipropagador o invernadero.** Es una estructura (de madera, metal y hormigón) cubierta con plástico transparente. En su interior, capas de piedra y grava se saturan de agua, y sobre ellas se coloca el sustrato para el enraizamiento (Leakey, 2004)
9. **Métodos de aplicación de Ácido Indolbutírico.** Existen dos métodos principales: la inmersión prolongada (24-48 horas) en soluciones diluidas, y la inmersión rápida (3-10 segundos) en soluciones concentradas. La elección depende del estado fisiológico de la planta y la concentración (Mesen y Viquez, 2003).
10. **Ácido Indolbutírico (AIB).** Es una auxina sintética similar al ácido indolacético, ampliamente reconocida como el promotor de enraizamiento más efectivo. Su ventaja radica en que es estable a la luz, resistente a microorganismos y, al ser insoluble en agua, persiste más tiempo en el sitio de aplicación (Mesen, 1998 mencionado por Mesen y Viquez, 2003).
11. **Auxinas.** Fueron las primeras hormonas vegetales descubiertas y regulan procesos como el crecimiento del tallo, la formación de raíces, la inhibición de yemas laterales, la caída de hojas y frutos, y la actividad del cambium (Hartmann et al., 2011).

- 12. Hormonas para el enraizamiento de estacas.** Debido a la alta sensibilidad específica y varietal, estas sustancias deben manejarse con cuidado, siguiendo las instrucciones al pie de la letra y realizando ensayos previos para determinar la dosis y el compuesto más adecuados (Arvelo et al, 2017).
- 13. Medios de enraizamiento.** Un sustrato ideal debe tener una porosidad que permita un buen drenaje y aireación, alta capacidad de retención de humedad, estable y sanitariamente limpio, pudiendo lograrse mediante desinfección (Arvelo et al, 2017).
- 14. Longitud y diámetro de las estacas.** Las dimensiones óptimas varían según la especie. La longitud, determinada por los entrenudos, influye en el porcentaje de enraizamiento. Aunque las estacas apicales suelen ser más largas y enraizar bien, si todas se cortan a la misma longitud, las basales pueden mostrar mejor rendimiento (Leakey, 2004).
- 15. Topofisis.** Este fenómeno influye significativamente en el desarrollo radicular. Frecuentemente, las porciones media y basal de una rama enraízan mejor. Asimismo, los brotes laterales suelen enraizar con más facilidad que los terminales (Hartmann et al., 2011).
- 16. El callo.** Es una masa de células parenquimáticas que se forma como defensa en el corte de una estaca. Hartmann et al., (1995) aclaran que una abundante formación de callo no garantiza el enraizamiento, ya que las raíces surgen de los radios vasculares de la estaca y no del propio callo.
- 17. Estaca.** Es un fragmento de planta, con yemas y hojas, que se separa y se induce a formar raíces y brotes mediante tratamientos químicos, mecánicos o ambientales (Batista, 2009).
- 18. Clon de cacao.** Es un grupo de plantas genéticamente uniformes obtenidas mediante propagación vegetativa de un individuo. Sin embargo, un clon no garantiza un fenotipo idéntico en todas las plantas, ya que su apariencia y rendimiento dependen de la interacción entre su genotipo y el ambiente (Paredes, 2003).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación correspondiente a este estudio es experimental, dado que implica la manipulación deliberada de la variable independiente, en este caso concentraciones de ácido indolbutírico (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm y testigo sin aplicación de AIB) y tipos de estaca (terminal, intermedia, basal) para evaluar su efecto sobre el enraizamiento de estacas de cacao, observando los resultados en condiciones de invernadero. Según Hernández et al. (2014), define que este tipo de investigación se basa en la manipulación de variables. Sin embargo, podría tener un enfoque cuantitativo, cualitativo o mixto (cuali-cuantitativo). Este enfoque se caracteriza por la intervención activa en las variables, lo que se refleja los datos de los tratamientos y la medición de indicadores como porcentaje de enraizamiento, longitud de raíces y tiempo de desarrollo radical.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que pretende explicar la relación de causa – efecto, en este caso, buscando comprender cómo influye las dosis del Ácido indolbutírico (AIB) y en diferente tipo de estaca en el desarrollo de raíces bajo condiciones específicas. Según Hernández et al., (2014) definen que este nivel de investigación, como aquel que analiza la relación de causas y consecuencias (causa y efecto), lo cual se alinea con el propósito de explicar las diferencias de los tratamientos y la influencia sobre las variables estudiadas. En este caso, el efecto sobre los indicadores de enraizamiento entre tratamientos y tipos de estaca, estableciendo relaciones causales, como el impacto de las dosis de AIB en estacas basales, intermedias y terminales.

4.1.3. Metodología de la investigación

i. Asignación de tratamientos

En la siguiente tabla se muestra los detalles de los tratamientos utilizados y empleados en la presente investigación.

Tabla 3*Arreglo factorial de tratamientos con tres tipos de estacas y cuatro concentraciones de AIB*

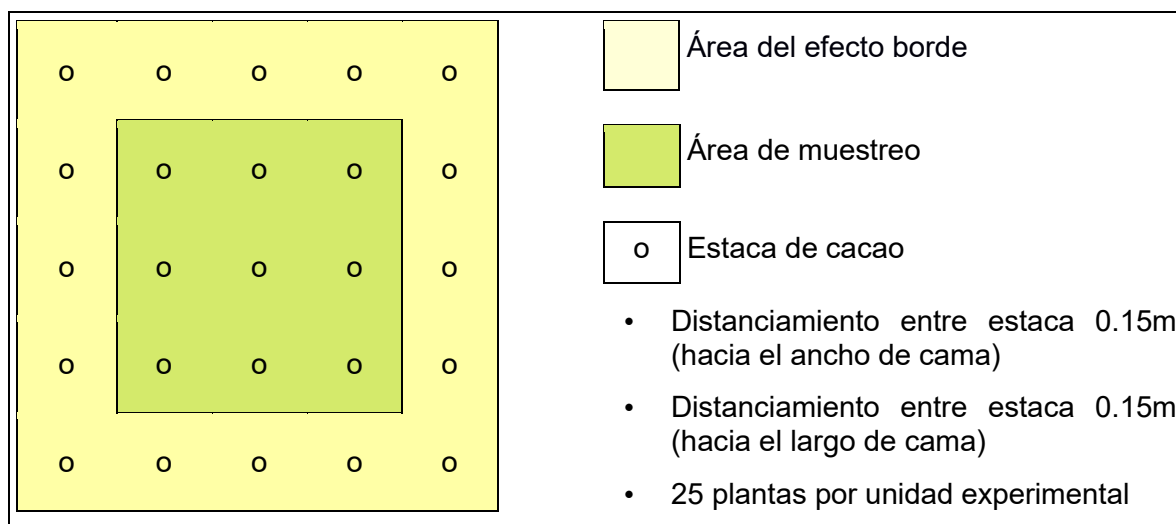
AIB	Concentración	Tipo de estaca		
		Terminal	Intermedia	Basal
Concentración de ácido indolbutírico	0 ppm	T1	T2	T3
	1000 ppm	T4	T5	T6
	2000 ppm	T7	T8	T9
	3000 ppm	T10	T11	T12

Nota. Elaboración propia**Tabla 4***Detalle de los tratamientos y número de repeticiones*

Tratamiento	Detalle	Repeticiones
T1	0 ppm; Terminal	3
T2	0 ppm; Intermedia	3
T3	0 ppm; Basal	3
T4	1000 ppm; Terminal	3
T5	1000 ppm; Intermedia	3
T6	1000 ppm; Basal	3
T7	2000 ppm; Terminal	3
T8	2000 ppm; Intermedia	3
T9	2000 ppm; Basal	3
T10	3000 ppm; Terminal	3
T11	3000 ppm; Intermedia	3
T12	3000 ppm; Basal	3
Total	--	36

Nota. Elaboración propia

La figura (1) muestra el croquis de la unidad experimental, en la que se visualiza el número de plantas por dicha unidad experimental.

Figura 1*Croquis de la unidad experimental**Nota. Elaboración propia***ii. Especificaciones del área experimental****Tabla 5***Detalles y dimensiones del área experimental*

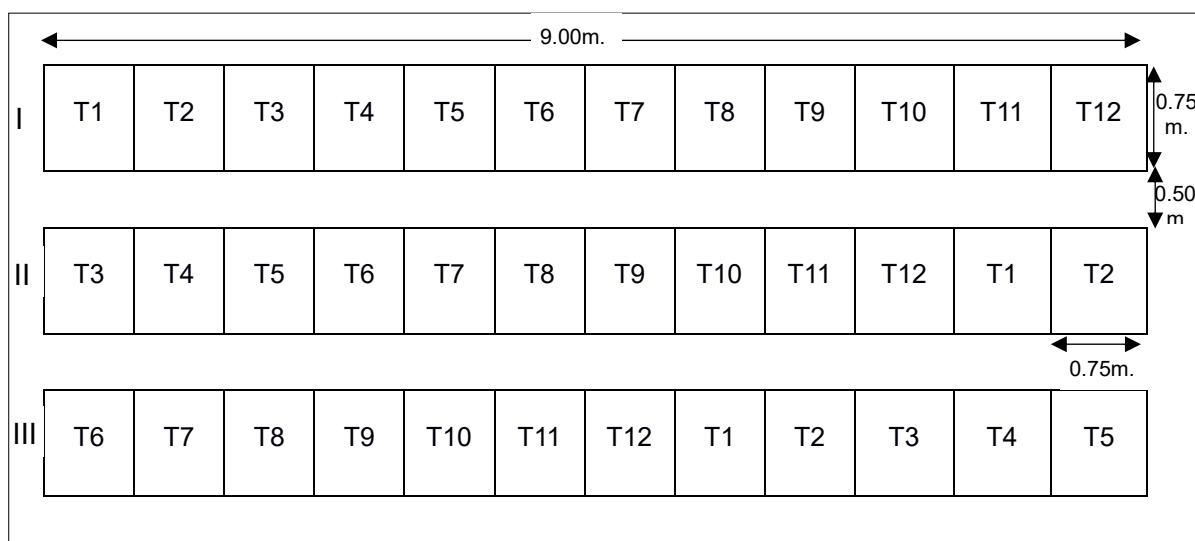
N.º	Detalle	Valor	Unidad
1	Distancia entre estaca a lo largo de la cama	0.15	m
2	Distancia entre estaca a lo ancho de la cama	0.15	m
3	Plantas por ancho de la unidad experimental	5	und
4	Plantas por largo de la unidad experimental	5	und
5	Ancho del pasadizo	0.5	m
6	Número de unidades experimentales por largo	12	und
7	Número de unidades experimentales por ancho	3	und
8	Largo de la unidad experimental	0.75	m
9	Ancho de la unidad experimental	0.75	m
10	Área de la unidad experimental	0.56	m ²
11	Largo del área experimental	10.50	m
12	Ancho del área experimental	4.25	m
13	Número de unidades experimentales total	36	und
14	Número de unidades de análisis por unidad exp.	25	und
15	Población de estacas	900	und
16	Muestra por unidad experimental	9	und
17	Muestra total	324	und
18	Área total	44.63	m ²

Nota. Elaboración propia

iii. Croquis del área experimental

Figura 2

Croquis del área experimental



iv. Diseño experimental

El diseño experimental de la investigación se basa en un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA) con arreglo factorial de tres tipos de estacas (terminal, intermedia, basal) y cuatro concentraciones de AIB (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm y un testigo 0 ppm), formando 12 tratamientos producto de la combinación (3x4) con tres repeticiones.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

El ámbito temporal de la investigación abarcó un período de cuatro meses, desde enero de 2024 hasta mayo de 2024, iniciado tras la aprobación oficial del proyecto. Durante este tiempo se ejecutaron todas las etapas del estudio, que incluyeron la preparación de las estacas, la aplicación de los tratamientos con ácido indolbutírico, el monitoreo del enraizamiento en el invernadero y la recolección de datos, realizadas bajo las condiciones estacionales de Yanatile – Cusco, lo que permitió cumplir con los objetivos establecidos en el marco temporal definido.

4.1.1. *Ámbito espacial*

Ubicación política:

- País: Perú
- Departamento: Cusco
- Provincia: Calca
- Distrito: Yanatile
- Centro poblado: Quebrada Honda

Ubicación geográfica:

- Latitud: 12° 41' 16" Sur
- Longitud: 72° 16' 31" Oeste
- Altitud: 1068 metros sobre el nivel del mar

Ubicación hidrográfica:

- Cuenca: Vilcanota
- Subcuenca: Yanatile

4.3. Población y muestra

4.3.1. *Población*

La población en este estudio estuvo constituida por un total de 900 estacas de cacao de la variedad Chunchu, producto de 25 estacas por unidad experimental, 12 tratamientos con 3 repeticiones. Los mismo que fueron instaladas en un invernadero del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile, provincia de Calca, departamento de Cusco, Perú.

4.3.2. *Muestra*

La muestra constituyó el subconjunto de estacas de cacao seleccionadas de cada unidad experimental, para lo cual, se ha separado o descartado las estacas de los bordes de cada unidad experimental. Por lo que, de las 25 estacas instaladas inicialmente por unidad experimental, se descartó 16 estacas para evitar el efecto borde, quedando así 9 estacas de la parte central de la unidad experimental, teniendo 12 tratamientos y 3

repeticiones; constituyeron un total de 324 estacas como muestra para el presente estudio.

4.3.3. Muestreo

El muestreo empleado fue de tipo no probabilístico, dado que la selección de las estacas evaluadas no se eligió al azar, sino que se seleccionó eliminando las estacas de los cuatro lados como bordes de cada unidad experimental, quedando así la totalidad de las estacas centrales.

4.4. Instrumentos

Técnicas de recolección de datos

En relación a la técnica de recolección de datos se empleó la observación directa y la medición experimental. Asimismo, los datos fueron obtenidos mediante una observación directa se utilizó para registrar la presencia y desarrollo de raíces en las 324 estacas de cacao (108 terminales, 108 intermedias y 108 basales) tratadas con ácido indolbutírico (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm) en condiciones de invernadero, mediante monitoreos periódicos realizados cada 3-5 días en el tiempo de cuatro meses de estudio (enero a mayo de 2024). La medición experimental se aplicó para cuantificar los indicadores del enraizamiento porcentaje de enraizamiento, longitud de raíces y tiempo de enraizamiento a través de procedimientos estandarizados que aseguraron la precisión de los datos recolectados en las condiciones controladas de Yanatile, Cusco.

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron herramientas específicas para cada indicador. Para el porcentaje de enraizamiento, se empleó una ficha de observación donde se registró la cantidad de estacas con raíces visibles al final del experimento (tras 30-60 días), calculando luego el porcentaje por tratamiento y bloque. El tiempo de enraizamiento se documentó mediante un cronómetro en días calendario desde la instalación, registrando los días transcurridos hasta la aparición de las primeras raíces. La longitud de las raíces se midió con una regla graduada (milimetrada), determinando el promedio en centímetros de las raíces primarias de cada estaca enraizada. Las observaciones registradas se volcó a una base de datos en (hojas de cálculo) para su posterior análisis estadístico.

4.5. Procedimientos

El procedimiento experimental comenzó con la selección y preparación de las plantas madre de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho en Quebrada Honda, Yanatile – Cusco, de donde se recolectaron 900 estacas (sanas visualmente) en el mes de enero de 2024, de las cuales se seleccionaron 324 estacas (108 terminales, 108 intermedias y 108 basales) cortadas a 20 cm de longitud con tijeras esterilizadas. En lugar de preparar suelo tradicional, se colocó en camas de sustrato por capas dentro de un invernadero, asegurando drenaje y retención de humedad (80-90%) a una temperatura constante de 25-28°C.

Las soluciones de ácido indolbutírico (AIB) se prepararon disolviendo el compuesto en alcohol al 96° para obtener concentraciones de 1000 ppm, 2000 ppm y 3000 ppm, aplicadas por inmersión en la base de las estacas durante 10 segundos. Las estacas tratadas se distribuyeron aleatoriamente en tres bloques dentro del invernadero, cada uno con las nueve combinaciones de tratamientos, totalizando 108 estacas por bloque.

El seguimiento y monitoreo de la tesis, se realizó cada 3-5 días para observar y registrar en fichas de evaluación el tiempo de enraizamiento (días hasta la aparición de raíces en el 50% de las estacas), utilizando un calendario y observación visual; al final, se midió el porcentaje de enraizamiento (estacas con raíces/número total × 100). Mientras que la longitud de raíces y brotes se midió con una regla milimetrada, recolectando los datos en hojas de cálculo durante 60 días para su análisis estadístico posterior.

1. Selección y marcado de plantas madres: (10 y 11 de enero del 2024).

La selección y marcado de plantas madres de cacao chuncho se realizó en la parcela denominada Cedruchayoc del productor Don José Ángel Linares Rueda, ubicado en el sector de Alto Santiago, jurisdicción del distrito de Yanatile, se tomaron criterios técnicos para el marcado de los árboles información como sanidad, calidad de las almendras, edad del árbol, estructura, índice de semilla, índice de mazorca, rendimiento.

2. Instalación y construcción del invernadero: (14,15 y 16 de enero del 2024).

El invernadero se construyó en un terreno con 5% de desnivel la localidad de centro

poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile, provincia de Calca del departamento Cusco. El invernadero tuvo un tamaño de 10.50 m de largo, por 4.25 m de ancho, haciendo un total de 44.62 m², con un área neta de 21.375 m² que ocupan los tratamientos y 23.250 m² ocupado por calles y bordes del experimento.

La estructura del invernadero estuvo constituida por un material de fierro tubular de 1 pulgada de diámetro y 2.00 m de altura, modelo túnel; donde el techo fue cubierto con plástico grueso de invernadero, para evitar el exceso de lluvia que podría caer; así mismo, el contorno del invernadero fue encerrado con plástico para evitar el ataque de hormigas cortadoras como el "kuqui" (*Atta sexdens fuscata*). Cabe mencionar que a los 60 días el plástico del techo fue retirado para luego ser cubierto con malla raschel, distribuidos de manera uniforme permitiendo una sombra uniforme del 50 a 60 % en el interior del invernadero y, a los 90 días fue retirada la cubierta totalmente exponiendo libremente los plántones a la luz solar.

3. Implementación de sistema de riego: (17 de enero del 2024)

El riego se instaló en el interior del invernadero aprovechando la estructura de la construcción, mediante el sistema de riego tipo nebulizador distribuidas a lo largo de las camas con sustrato de enraizamiento, con la finalidad de garantizar la dotación de agua en el momento y cantidad adecuada, manteniendo la alta humedad requerida.

4. Preparación de sustratos e instalación de camas: (18 y 20 de enero del 2024).

El sustrato de las camas de enraizamiento fue preparado por capas. La primera capa estuvo situada en la base de la cama, y se puso grava gruesa a 5 cm de espesor, la segunda capa estuvo constituida por arena gruesa a 2 cm de espesor por encima de la primera capa, la tercera capa estuvo constituido por arena fina a 2 cm de espesor y, por último, la cuarta capa estuvo constituido por la perlita nivelando a 10 cm de espesor; haciendo un total de 19 cm de sustrato enraizante. Las camas fueron formadas por encima del nivel del suelo, soportados por maderas tipo tablas de 1"x8" (pulgadas) y 10 pies de largo (3m), formando una caja de 0.75 m de ancho y 9 m de largo, separadas por una calle de 0,50 m.

5. Selección, recolección y traslado de estacas: (25 y 26 de enero del 2024).

Para la colecta de estacas, primero fue seleccionado las plantas madres de cacao que reúnan las características deseables de propagación, sanas y vigorosas; teniendo una edad de vida de 10-15 años, de las cuales se recolectaron varas de diferentes tamaños de longitud, ramas de cacao tipo plagiotrópicas (crecimiento horizontal o paralelas al suelo) y expuestas al sol, sanas y libres de cualquier ataque de plagas y/o enfermedades que terminaron de ser cosechadas.

Las estacas se hicieron mediante un corte transversal en forma bisel en las varas a cada 20 cm de largo, las cuales se conservaron la cuarta parte de la hoja de la conservación de la humedad en las estacas, diferenciando por el color la marrón oscuro (basal), marrón verdoso (intermedia) y verde (terminal). Los mismos que tuvieron un diámetro promedio de 12 mm en estacas basales, 9 mm en estacas intermedias y 6 mm en estacas terminales.

Se cortaron 300 estacas terminales, 300 estacas intermedias y 300 estacas basales, haciendo un total de 900 estacas para todo el experimento, los mismos que fueron desinfectadas con benomil al 2%. Así mismo, las estacas fueron tratadas en AIB mediante la técnica de inmersión por un tiempo de 10 segundos en alcohol puro al 96°, aplicando según la dosis correspondiente y siendo distribuido según el croquis del diseño experimental.

Las estacas fueron transportadas en una caja refrigerada con hielo para evitar el "estrés" fisiológico durante el trayecto desde el corte hasta su colocación en el propagador. El espaciamiento entre ellas fue de 15.00 cm, con una ligera inclinación. Al finalizar la instalación, se aplicó un fungicida (Benomil 2%) y se colocó el etiquetado, que indicaba el bloque y los tratamientos, la combinación de factores en estudio y el letrero del trabajo de investigación. Las estacas se distribuyeron según el diseño experimental.

6. Preparación de sustancia enraizante Acido Indolbutírico: (26 de enero del 2024)

La dosis de 1000 ppm se preparó 1.00g de ácido indolbutírico en solución de 1 litro de alcohol al 96°, la dosis de 2000 ppm se preparó 2.00g de ácido indolbutírico en solución

de 1 litro de alcohol al 96°, la dosis de 3000 ppm se preparó 3.00g de ácido indolbutírico en solución de 1 litro de alcohol al 96°.

7. Aplicación de la hormona a las estacas y colocación en el medio de enraizamiento: (26 de enero del 2024)

Las estacas de cacao chuncho debidamente preparadas fueron sumergidas en la sustancia enraizante de ácido indol butírico, tomando en manojos de 10 estacas durante un tiempo de 15 segundos hasta una altura de una pulgada la Basal de la estaca inmediatamente fueron colocados a una profundidad de 3.00 cm en el medio de enraizamiento con sustrato presionado suavemente con una inclinación de aproximadamente 15 grados de ángulo vertical.

En el sustrato del propagador, se hicieron hoyos de aproximadamente 3.00 cm de profundidad, donde se colocaron las estacas con cuidado, presionando firmemente el sustrato alrededor de ellas para asegurar un buen contacto superficial.

8. Labores culturales

Se realizaron labores de manejo y evaluación del experimento, el riego de las camas de enraizamiento se realizó un día antes de colocar las estacas de cacao chuncho, los riegos posteriores se efectuaron 2 veces a la semana siendo durante la primera semana se asperjó con agua tipo nebulizador en forma continua a las estacas para evitar el marchitamiento de los mismos, los deshierbas se realizaron cuidadosamente las malezas, se separaron inmediatamente después de la germinación se presentaron malezas como el mula jataqo (*Amaranthus spinosus*) patas de gallo (*Eleucim indica*).

9. Factores evaluados

Las evaluaciones se realizaron a inicio del mes de abril, cumpliendo los 80 días de iniciado el experimento.

10. Porcentaje de enraizamiento (%)

Se realizó la evaluación del experimento, teniendo en cuenta la cantidad de estas enraizadas teniendo en cuenta la totalidad de unidades experimentales (09 estacas por unidad experimental) por percepción y tratamientos. Se tomó en cuenta como estacas

arraizadas a estacas que tuvieron al menos 2.00 cm de longitud.

11. Evaluación del número de raíces (Unidad)

Mediante una evaluación se llevó a cabo el experimento, teniendo en cuenta la cantidad de raíces por estaca, dando como resultado en Basal a la totalidad de unidades experimentales (09 estacas por unidad experimental), por repetición y por tratamiento.

12. Evaluación de la longitud de raíz (cm)

La medición se realizó a los 30, 45 y 60 días del experimento, utilizando un vernier digital milimetrado para determinar la longitud de la raíz más larga (considerando la de mayor tamaño) en el total de muestras experimentales (9 estacas por unidad experimental), dentro del proceso de tratamiento y por cada repetición.

13. Evaluación de tiempo de enraizamiento (días)

Se efectuó la evaluación del experimento siguiendo un calendario que registró desde el día de la siembra de las estacas hasta el momento en que se observó el crecimiento de las primeras raíces. Como resultado, se obtuvo un promedio correspondiente al total de muestras experimentales (9 estacas por unidad experimental), considerando las repeticiones y los tratamientos aplicados.

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial en el marco del Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA), procesando los datos recolectados de las 324 estacas (108 terminales, 108 intermedias, 108 basales) distribuidas en 9 estacas por unidad experimental y 12 tratamientos, con tres repeticiones. Los indicadores (porcentaje de enraizamiento (%), longitud promedio de raíces (cm), número de raíces (Unidad) y tiempo de enraizamiento (días)) se organizaron en una base de datos en hojas de cálculo y se analizaron por separado para evaluar los efectos principales de las concentraciones de AIB y los tipos de estaca, así como su interacción, utilizando el software estadístico R; se verificaron supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con pruebas como Shapiro-Wilk y Levene, y, tras confirmar significancia ($p < 0.05$) en el ANOVA, se aplicó una prueba post hoc de Tukey para

identificar diferencias específicas entre tratamientos, generando tablas y figuras que ilustraron los resultados en función de los objetivos planteados.

4.7. Consideraciones éticas

Las consideraciones éticas en este trabajo de investigación se centraron en garantizar un manejo responsable y sostenible de los recursos biológicos y el entorno local de Quebrada Honda, Yanatile – Cusco, durante el período de enero a mayo de 2024, en estricto cumplimiento del Reglamento General de Investigación y su instructivo correspondiente. Se respetó la integridad de las plantas madre de cacao variedad Chuncho, recolectando las 900 estacas (de las cuales se usaron 324) de manera cuidadosa con tijeras esterilizadas para evitar daños innecesarios o la propagación de enfermedades, y se evitó el uso excesivo de materiales químicos, limitando el ácido indolbutírico a concentraciones controladas (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm) aplicadas en un ambiente cerrado (invernadero) para minimizar la contaminación ambiental. Asimismo, se obtuvo el consentimiento de los propietarios o agricultores locales para el acceso a las plantas, asegurando que la investigación beneficiara a la comunidad mediante la generación de conocimientos aplicables a la propagación sostenible del cacao, sin afectar negativamente los ecosistemas de la cuenca del río Vilcanota ni comprometer la biodiversidad de la zona, alineándose tanto con principios éticos de investigación agrícola como con las normativas institucionales establecidas.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Porcentaje de enraizamiento (%)

Tabla 6

Porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

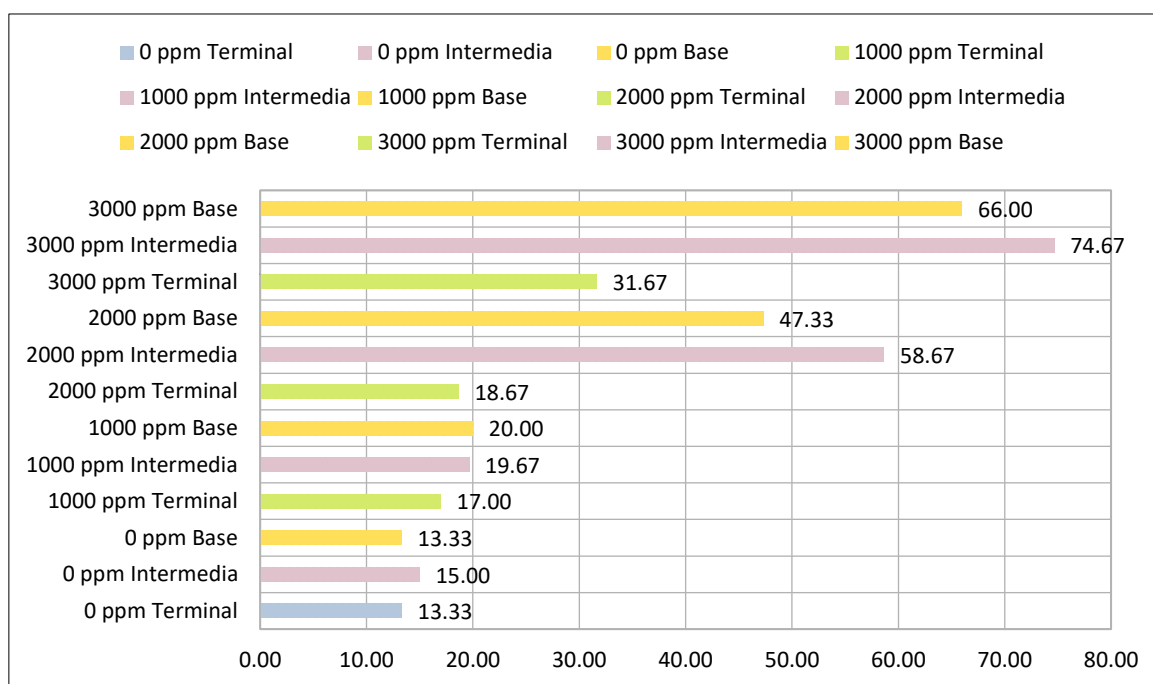
Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	11	14	11	16	19	20	19	56	44	30	75	67
B2	15	16	15	18	20	20	18	60	47	33	74	66
B3	14	15	14	17	20	20	19	60	51	32	75	65
Suma	40.00	45.00	40.00	51.00	59.00	60.00	56.00	176.00	142.00	95.00	224.00	198.00
Promedio	13.33	15.00	13.33	17.00	19.67	20.00	18.67	58.67	47.33	31.67	74.67	66.00
Varianza	4.33	1.00	4.33	1.00	0.33	0.00	0.33	5.33	12.33	2.33	0.33	1.00

Nota. Elaboración propia

La tabla (6) y la figura (3) muestran el análisis de los promedios de enraizamiento en ella se revela que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) presentan el mayor porcentaje de enraizamiento, con un promedio de 74.67%, seguidas por las estacas basales con la misma concentración de AIB, que alcanzan un 66.00%. Las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB también muestran un alto porcentaje de enraizamiento, con un promedio de 58.67%. Las estacas basales con 2000 ppm de AIB logran un promedio de 47.33%. Las estacas terminales con 3000 ppm de AIB tienen un promedio de 31.67%, mientras que las estacas intermedias y basales con 1000 ppm de AIB muestran promedios de 19.67% y 20.00%, respectivamente. Las estacas terminales con 2000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 18.67%, y con 1000 ppm de AIB, un 17.00%. Finalmente, las estacas terminales, intermedias y basales sin AIB (0 ppm) presentan los promedios más bajos, con 13.33%, 15.00% y 13.33%, respectivamente. Estos resultados indican que las concentraciones más altas de AIB (2000 y 3000 ppm) son más efectivas para el enraizamiento, especialmente en estacas intermedias y basales.

Figura 3

Promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 7

Análisis de varianza del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	22.2	2	11.11	5.67	0.010	**
Concentración de ácido indolbutírico	11115.7	3	3705.22	1890.81	<.001	**
Tipo de estaca	3109.6	2	1554.78	793.42	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	2565.3	6	427.56	218.19	<.001	**
Residuos	43.1	12	1.96			
Total		35				
CV (%)	4.25			Promedio	32.94	

Nota. Elaboración propia.

** : Altamente significativa

La tabla (7) muestra que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca tienen un impacto altamente significativo en el porcentaje de enraizamiento

de las estacas de cacao, con valores p menores a 0.001, lo que indica que las diferencias observadas no son debidas al azar. La concentración de AIB muestra el efecto más pronunciado, sugiriendo que el uso de AIB es crucial para mejorar el enraizamiento. Asimismo, el tipo de estaca también influye significativamente, indicando que diferentes partes de la planta responden de manera distinta al tratamiento con AIB. La interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca es igualmente significativa ($p < 0.001$), lo que implica que el efecto del AIB varía según el tipo de estaca utilizada, destacando la importancia de considerar ambos factores conjuntamente para optimizar el enraizamiento. El bloque también muestra una diferencia significativa ($p = 0.010$), aunque su efecto es menor en comparación con los otros factores. El coeficiente de variación (CV) del 4.25% sugiere una baja variabilidad relativa en los datos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 8

*Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)*

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm	57.44	a
2000 ppm	41.56	b
1000 ppm	18.89	c
0 ppm	13.89	d

Nota. Elaboración propia

En la tabla (8) el análisis de Tukey muestra que el porcentaje promedio de enraizamiento de las estacas de cacao Chuncho varía según la concentración de ácido indolbutírico (AIB): con 3000 ppm se obtiene el mejor resultado, un promedio de 57.44% (grupo a), seguido por 2000 ppm con 41.56% (grupo b), luego 1000 ppm con 18.89% (grupo c), y finalmente, sin AIB (0 ppm), el promedio cae a 13.89% (grupo d). Esto indica que el AIB tiene un efecto positivo claro en el enraizamiento, siendo 3000 ppm la concentración más efectiva, mientras que sin tratamiento las estacas apenas logran enraizar, mostrando una diferencia significativa entre cada nivel de aplicación.

Tabla 9

Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	42.00	a
Basal	36.67	b
Terminal	20.17	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (9) el análisis de Tukey revela que el porcentaje promedio de enraizamiento de las estacas de cacao Chuncho depende del origen de las estacas: las intermedias lideran con un promedio de 42.00% (grupo a), seguidas por las basales con 36.67% (grupo b), y finalmente las terminales con 20.17% (grupo c). Esto muestra que las estacas intermedias son las más propensas a enraizar, mientras que las basales también tienen un buen desempeño, aunque menor, y las terminales claramente tienen más dificultad, destacando una diferencia notable entre los tipos de estacas.

Tabla 10

Comparación de Tukey del promedio de porcentaje de enraizamiento (%) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm:Intermedia	74.67	a
3000 ppm:Basal	66.00	b
2000 ppm:Intermedia	58.67	c
2000 ppm:Basal	47.33	d
3000 ppm:Terminal	31.67	e
1000 ppm:Basal	20.00	f
1000 ppm:Intermedia	19.67	f
2000 ppm:Terminal	18.67	fg
1000 ppm:Terminal	17.00	fgh
0 ppm:Intermedia	15.00	gh
0 ppm:Basal	13.33	h
0 ppm:Terminal	13.33	h

Nota. Elaboración propia

En la tabla (10) el análisis de Tukey sobre la interacción entre el origen de las estacas de cacao Chuncho y las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que el mayor porcentaje de enraizamiento se da con 3000 ppm en intermedias, alcanzando un promedio de 74.67% (grupo a), seguido por 3000 ppm en basales con 66.00% (grupo b),

luego 2000 ppm en intermedias con 58.67% (grupo c), 2000 ppm en basales con 47.33% (grupo d), y 3000 ppm en terminales con 31.67% (grupo e); después, 1000 ppm en basales llega a 20.00% (grupo f), junto con 1000 ppm en intermedias con 19.67% (grupo f), 2000 ppm en terminales con 18.67% (grupo fg), 1000 ppm en terminales con 17.00% (grupo fgh), 0 ppm en Intermedias con 15.00% (grupo gh), y finalmente, tanto 0 ppm en basales como en terminales empatan con 13.33% (grupo h). Esto deja claro que las Intermedias y basales responden mucho mejor al AIB, especialmente a 3000 ppm, mientras que las terminales siempre quedan atrás, incluso con altas concentraciones, y sin AIB todas las estacas tienen un enraizamiento bajo y similar

5.1.2. Tiempo de enraizamiento (días)

Tabla 11

Tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	117	102	107	115	87	83	109	8	91	117	63	82
B2	119	104	107	117	9	85	109	82	88	118	65	81
B3	119	106	107	119	91	83	107	79	87	115	66	79
Suma	355.00	312.00	321.00	351.00	187.00	251.00	325.00	169.00	266.00	350.00	194.00	242.00
Promedio	118.33	104.00	107.00	117.00	62.33	83.67	108.33	56.33	88.67	116.67	64.67	80.67
Varianza	1.33	4.00	0.00	4.00	2,137.33	1.33	1.33	1,754.33	4.33	2.33	2.33	2.33

Nota. Elaboración propia

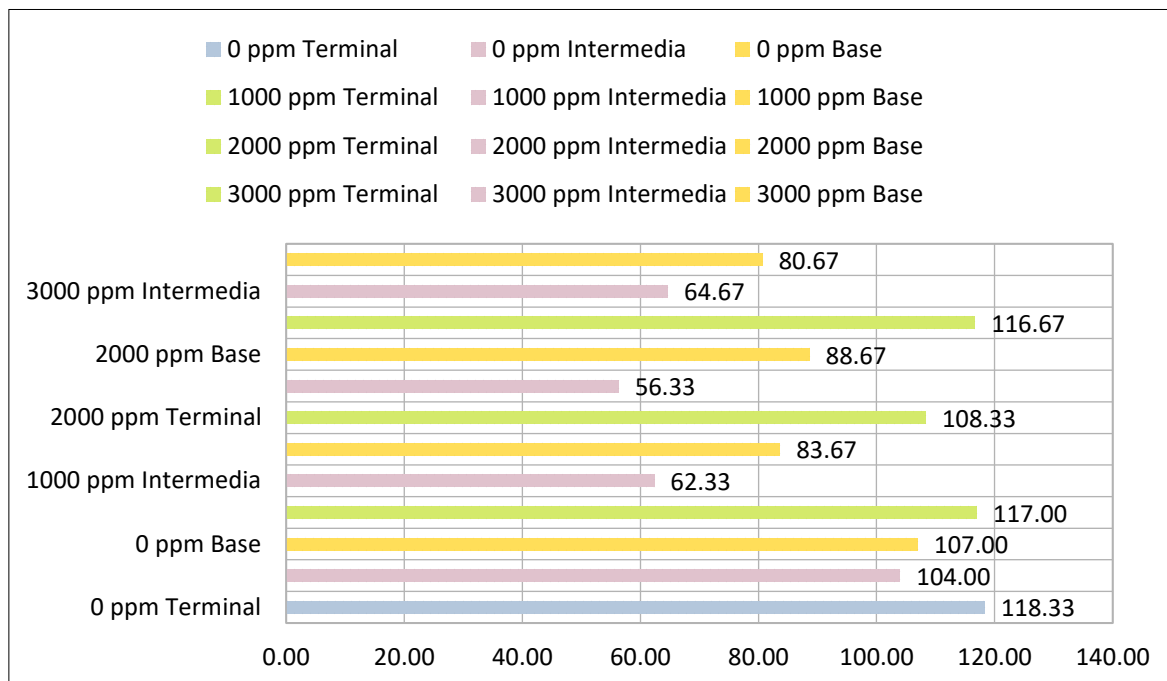
La tabla (11) y la figura (4) muestran el análisis del tiempo de enraizamiento (en días) de estacas de cacao variedad Chuncho sometidas a distintas concentraciones de ácido indolbutírico (AIB). Los resultados muestran que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de AIB presentan el menor tiempo de enraizamiento, con un promedio de 64,67 días, seguidas por las estacas de basal con la misma concentración (80,67 días). Las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB también registran un tiempo relativamente bajo (56,33 días), mientras que las estacas de basal con 2000 ppm alcanzan un promedio de 88,67 días. En cuanto a las estacas tratadas con 1000 ppm de AIB, las intermedias enraizaron en promedio a los 62,33 días y las de basal a los 83,67 días. Las estacas sin aplicación de AIB (0 ppm) exhiben tiempos considerablemente más largos: 104,00 días para las intermedias, 107,00 días para las de basal y 118,33 días para las terminales.

Entre las estacas terminales, los tiempos de enraizamiento son los más altos en todos los tratamientos: 117,00 días (1000 ppm), 108,33 días (2000 ppm) y 116,67 días (3000 ppm). En general, se observa que las concentraciones más altas de AIB (2000 y 3000 ppm) reducen significativamente el tiempo de enraizamiento, especialmente en estacas intermedias y de Basal, mientras que las estacas terminales responden menos

favorablemente al tratamiento, independientemente de la concentración utilizada.

Figura 4

Promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 12

Análisis de varianza del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	317	2	159	0.464	0.635	NS
Concentración de ácido indolbutírico	3720	3	1240	3.631	0.029	*
Tipo de estaca	11319	2	5660	16.573	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	1971	6	328	0.962	0.473	NS
Residuos	7513	12	341			
Total		35				
CV (%)	1.62		Promedio	0.97		

Nota. Elaboración propia

NS: No significativa

** : Altamente significativa

* : Significativa

La tabla (12) indica que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca ejercen un efecto significativo sobre el tiempo que tardan las estacas de cacao variedad Chuncho en enraizar. Específicamente, el tipo de estaca muestra un efecto altamente significativo ($F = 16,573$; $p < 0,001$), lo que implica que las estacas terminales, intermedias y basales difieren notablemente en su capacidad de enraizamiento. Por su parte, la concentración de AIB también resulta significativa ($F = 3,631$; $p = 0,029$), evidenciando que la aplicación de este regulador de crecimiento influye en la velocidad del enraizamiento, aunque con menor intensidad que el tipo de estaca. En contraste, la interacción entre concentración de AIB y tipo de estaca no es significativa ($F = 0,962$; $p = 0,473$), lo que sugiere que el efecto del AIB sobre el tiempo de enraizamiento es relativamente consistente a través de los distintos tipos de estacas, sin variaciones dependientes del tipo específico. Asimismo, el efecto de bloque resultó no significativo ($F = 0,464$; $p = 0,635$), indicando que las condiciones entre las repeticiones experimentales fueron homogéneas y no introdujeron variabilidad relevante en los resultados. El coeficiente de variación (CV) del 1,62 % refleja una baja variabilidad relativa en los datos, lo que respalda la precisión y consistencia del experimento. No obstante, cabe señalar que el promedio general del tiempo de enraizamiento reportado en la tabla (0,97 días) parece inconsistente con los promedios por tratamiento de la Tabla 11 (que oscilan entre ~56 y ~118 días), por lo que probablemente se trate de un error tipográfico en la presentación del valor promedio. A pesar de ello, el análisis de varianza y sus conclusiones respecto a los factores estudiados se mantienen válidos según los datos estadísticos reportados.

Tabla 13

*Comparación de Tukey del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho respecto concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)*

Tratamiento	Promedio	Grupo
2000 ppm	84.44	a
3000 ppm	87.33	ab
1000 ppm	87.67	ab
0 ppm	109.78	b

Nota. Elaboración propia

En la tabla (13) muestra que la concentración de 2000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) produce el menor tiempo promedio de enraizamiento (84,44 días) que el resto. Al mismo tiempo, son iguales las concentraciones de 3000 y 1000 ppm, agrupándose significativamente en la categoría b, lo que indica que es estadísticamente más eficaz que la ausencia de AIB. Las concentraciones de 1000 ppm y 3000 ppm no difieren significativamente entre sí ni de 2000 ppm ni de 0 ppm, ya que comparten letras (grupo ab), lo que sugiere que su efecto es intermedio. En cambio, el tratamiento sin AIB (0 ppm), con un promedio de 109,78 días, se agrupa únicamente en la categoría a, siendo significativamente el más lento en enraizar. En conjunto, el uso de AIB reduce significativamente el tiempo de enraizamiento en estacas de cacao variedad Chuncho en comparación con la ausencia del regulador.

Tabla 14

*Comparación de Tukey del promedio de tiempo de enraizamiento (días) de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	71.83	a
Basal	90.00	b
Terminal	115.08	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (14) revela diferencias altamente significativas en el tiempo de enraizamiento según el origen de las estacas de cacao variedad Chuncho. Las estacas intermedias presentan el menor tiempo promedio de enraizamiento (71,83 días) y se agrupan en la categoría c, lo que las distingue claramente como las más eficientes para enraizar. Las estacas basales muestran un tiempo intermedio (90,00 días) y forman un grupo aparte (b), indicando que enraizaron significativamente más lento que las intermedias, pero más rápido que las terminales. Estas últimas, con un promedio de 115,08 días, se agrupan únicamente en la categoría a, siendo las más tardías en desarrollar raíces. Estos resultados confirman que la posición de la estaca en la rama madre influye de manera decisiva en su capacidad de enraizamiento, destacando a las estacas intermedias como las más adecuadas para la propagación vegetativa en esta variedad.

5.1.3. Número de raíces (und)

Tabla 15

Número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

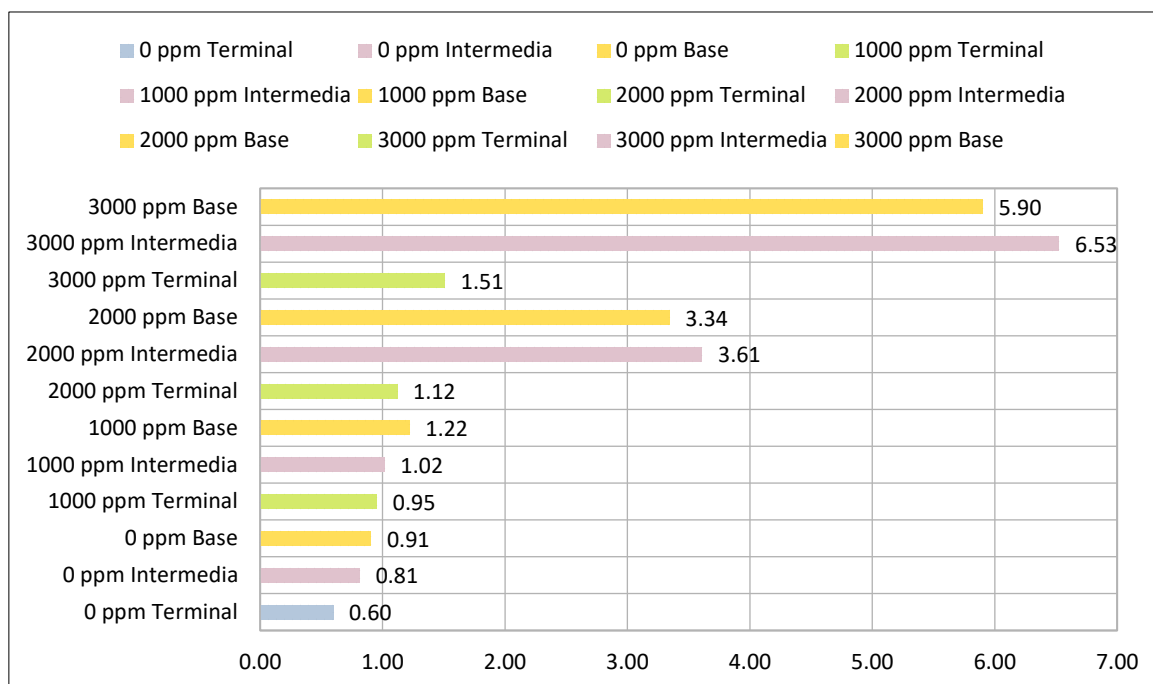
Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	0.64	0.77	0.9	0.96	0.97	1.22	1.14	3.65	3.32	1.49	6.19	6.21
B2	0.56	0.82	0.93	0.95	1.05	1.22	1.13	3.59	3.33	1.51	6.06	5.47
B3	0.59	0.85	0.89	0.95	1.03	1.22	1.09	3.59	3.38	1.53	7.33	6.03
Suma	1.79	2.44	2.72	2.86	3.05	3.66	3.36	10.83	10.03	4.53	19.58	17.71
Promedio	0.60	0.81	0.91	0.95	1.02	1.22	1.12	3.61	3.34	1.51	6.53	5.90
Varianza	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.488	0.149

Nota. Elaboración propia

La tabla (15) y la figura (5) muestran el análisis de los promedios del número de raíces, en ella se muestra que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) presentan el mayor número de raíces, con un promedio de 6.53 raíces, seguidas por las estacas basales con la misma concentración de AIB, que alcanzan un promedio de 5.90 raíces. Las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB también muestran un alto número de raíces, con un promedio de 3.61 raíces. Las estacas basales con 2000 ppm de AIB logran un promedio de 3.34 raíces, mientras que las estacas terminales con 3000 ppm de AIB obtienen un promedio de 1.51 raíces. Las estacas intermedias y basales con 1000 ppm de AIB tienen promedios de 1.02 y 1.22 raíces, respectivamente. Las estacas terminales con 2000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 1.12 raíces, y las estacas intermedias sin AIB (0 ppm) presentan un promedio de 0.81 raíces. Las estacas basales sin AIB muestran un promedio de 0.91 raíces, y las estacas terminales con 1000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 0.95 raíces. Finalmente, las estacas terminales sin AIB (0 ppm) presentan el menor número de raíces, con un promedio de 0.60 raíces. Estos resultados indican que las concentraciones de AIB (2000 y 3000 ppm) son más efectivas para aumentar el número de raíces, especialmente en estacas intermedias y basales.

Figura 5

Promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 16

Análisis de varianza del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	0.145	2	0.0723	1.39	0.271	NS
Concentración de ácido indolbutírico	85.708	3	28.5693	547.81	<.001	**
Tipo de estaca	28.182	2	14.0910	270.19	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	28.157	6	4.6929	89.99	<.001	**
Residuos	1.147	12	0.0522			
Total		35				
CV (%)	9.96			Promedio	2.29	

Nota. Elaboración propia

NS: No significativa

** : Altamente significativa

La tabla (16) muestra el análisis de varianza del número de raíces revela que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca tienen un impacto

altamente significativo en el número de raíces que desarrollan las estacas de cacao, con valores p menores a 0.001, lo que indica que las diferencias observadas no son debidas al azar. La concentración de AIB muestra un efecto muy pronunciado, con un valor F de 547.81, sugiriendo que el uso de AIB aumenta significativamente el número de raíces. De manera similar, el tipo de estaca también influye significativamente, con un valor F de 270.19, lo que implica que diferentes tipos de estacas (terminal, intermedia y basal) responden de manera distinta en términos de desarrollo de raíces. La interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca es igualmente significativa ($p < 0.001$), con un valor F de 89.99, indicando que el efecto del AIB en el número de raíces varía según el tipo de estaca utilizada, lo que subraya la importancia de considerar ambos factores conjuntamente para optimizar el desarrollo de raíces. El bloque no muestra una diferencia significativa ($p = 0.271$), sugiriendo que la variabilidad entre las repeticiones del experimento no afecta significativamente los resultados. El coeficiente de variación (CV) del 9.96% sugiere una variabilidad moderada en los datos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos, con un promedio general de 2.29 raíces por planta.

Tabla 17

Comparación de Tukey del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm	4.65	a
2000 ppm	2.69	b
1000 ppm	1.06	c
0 ppm	0.77	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (17) el análisis de Tukey del promedio del número de raíces por estaca de cacao Chuncho según las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que con 3000 ppm se obtiene el mayor número, con 4.65 raíces en promedio (grupo a), seguido por 2000 ppm con 2.69 raíces (grupo b), luego 1000 ppm con 1.06 raíces (grupo c), y finalmente sin AIB (0 ppm) con 0.77 raíces (grupo c). Esto indica que el AIB aumenta significativamente el número de raíces, especialmente a 3000 ppm, mientras que a 1000 ppm y sin tratamiento

los valores son bajos y similares, destacando un claro efecto positivo de las concentraciones más altas.

Tabla 18

Comparación de Tukey del promedio de número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	2.99	a
Basal	2.84	a
Terminal	1.05	b

Nota. Elaboración propia

En la tabla (18) el análisis de Tukey del promedio del número de raíces por estaca de cacao Chuncho según su origen muestra que las intermedias lideran con 2.99 raíces en promedio (grupo a), seguidas muy de cerca por las basales con 2.84 raíces (grupo a), y finalmente las terminales con 1.05 raíces (grupo b). Esto sugiere que las estacas intermedias y basales producen un número similar y significativamente mayor de raíces en comparación con las terminales, que se quedan rezagadas, indicando que el origen de la estaca influye notablemente en este aspecto.

Tabla 19

Comparación de Tukey del número de raíces (und) de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm:Intermedia	6.53	a
3000 ppm:Basal	5.90	a
2000 ppm:Intermedia	3.61	b
2000 ppm:Basal	3.34	b
3000 ppm:Terminal	1.51	c
1000 ppm:Basal	1.22	cd
2000 ppm:Terminal	1.12	cd
1000 ppm:Intermedia	1.02	cd
1000 ppm:Terminal	0.95	cd
0 ppm:Basal	0.91	cd
0 ppm:Intermedia	0.81	d
0 ppm:Terminal	0.60	d

Nota. Elaboración propia

En la tabla (19), el análisis de Tukey del número de raíces por estaca de cacao Chuncho según la interacción entre el origen y las concentraciones de ácido indolbutírico

(AIB) muestra que 3000 ppm en Intermedias lidera con 6.53 raíces en promedio (grupo a), seguido por 3000 ppm en basales con 5.90 raíces (grupo a), luego 2000 ppm en intermedias con 3.61 raíces (grupo b), 2000 ppm en basales con 3.34 raíces (grupo b), 3000 ppm en terminales con 1.51 raíces (grupo c), 1000 ppm en basales con 1.22 raíces (grupo cd), 2000 ppm en terminales con 1.12 raíces (grupo cd), 1000 ppm en intermedias con 1.02 raíces (grupo cd), 1000 ppm en terminales con 0.95 raíces (grupo cd), 0 ppm en basales con 0.91 raíces (grupo cd), 0 ppm en intermedias con 0.81 raíces (grupo d), y finalmente 0 ppm en terminales con 0.60 raíces (grupo d). Esto destaca que las mayores concentraciones de AIB (3000 ppm) generan muchas más raíces en intermedias y basales, mientras que las terminales siempre producen menos, y sin AIB los valores son bajos en todos los tipos de estaca

5.1.4. Longitud de raíces (cm)

a) Longitud de raíces (cm) a los 30 días

Tabla 20

*Longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)*

Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	1.72	1.9	2	2.32	2.83	2.55	2.29	2.89	2.82	2.67	4.27	3.59
B2	1.86	2.12	2.17	2.39	2.91	2.58	1.93	2.9	2.43	2.5	3.66	2.91
B3	1.94	1.98	2.14	2.2	2.75	2.9	2.17	2.58	3.1	2.9	4.29	3.08
Suma	5.52	6.00	6.31	6.91	8.49	8.03	6.39	8.37	8.35	8.07	12.22	9.58
Promedio	1.84	2.00	2.10	2.30	2.83	2.68	2.13	2.79	2.78	2.69	4.07	3.19
Varianza	0.012	0.012	0.008	0.009	0.006	0.038	0.034	0.033	0.113	0.040	0.128	0.125

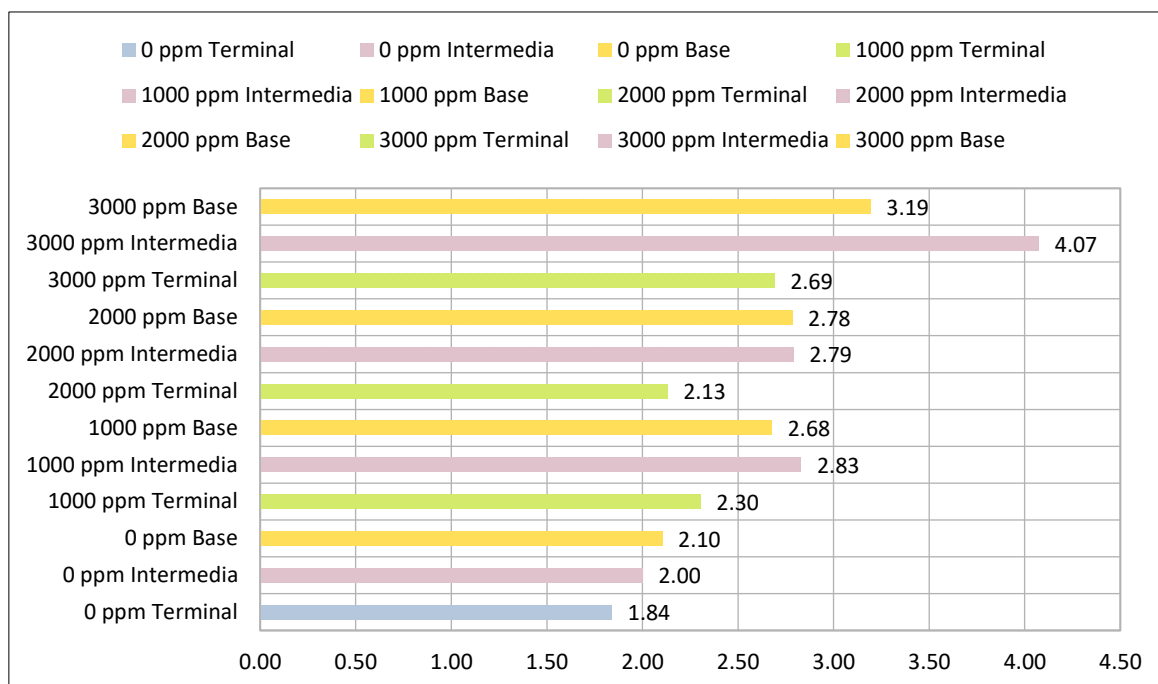
Nota. Elaboración propia

La tabla (20) y la figura (6) muestran el análisis de los promedios de la longitud de las raíces a los 30 días, en la que se muestra que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) presentan la mayor longitud de raíces, con un promedio de 4.07 cm, seguidas por las estacas basales con la misma concentración de AIB, que alcanzan un promedio de 3.19 cm. Las estacas intermedias con 1000 ppm de AIB también muestran una longitud de raíces considerable, con un promedio de 2.83 cm. Las estacas basales con 1000 ppm de AIB tuvieron un promedio de 2.68 cm, mientras que las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB tuvieron un promedio de 2.79 cm. Las estacas basales con 2000 ppm de AIB tienen un promedio de 2.78 cm, y las estacas terminales con 1000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 2.30 cm. Las estacas terminales con 3000 ppm de AIB presentan un promedio de 2.69 cm, y las estacas intermedias sin AIB (0 ppm) muestran un promedio de 2.00 cm. Las estacas basales sin AIB tienen un promedio de 2.10 cm, y las estacas terminales con 2000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 2.13 cm. Finalmente, las estacas terminales sin AIB (0 ppm) presentan la menor longitud de raíces, con un promedio de 1.84 cm. Estos resultados indican que las concentraciones más altas

de AIB (2000 y 3000 ppm) son más efectivas para aumentar la longitud de las raíces, especialmente en estacas intermedias y basales.

Figura 6

Promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 21

Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	0.140	2	0.0700	1.57	0.230	NS
Concentración de ácido indolbutírico	8.096	3	2.6988	60.59	<.001	**
Tipo de estaca	2.887	2	1.4433	32.40	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	1.463	6	0.2439	5.47	0.001	**
Residuos	0.980	12	0.0445			
Total		35				
CV (%)	8.06			Promedio	2.62	

Nota. Elaboración propia

NS: No significativa

** : Altamente significativa

La tabla (21) muestra el análisis de varianza de la longitud de raíces a los 30 días muestra que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca tienen un impacto significativo en la longitud de las raíces de las estacas de cacao, con valores p menores a 0.001, lo que indica que las diferencias observadas no son debidas al azar. La concentración de AIB tiene un efecto notable, con un valor F de 60.59, sugiriendo que el uso de AIB aumenta significativamente la longitud de las raíces. De manera similar, el tipo de estaca también influye significativamente, con un valor F de 32.40, lo que implica que diferentes tipos de estacas (terminal, intermedia y basal) responden de manera distinta en términos de crecimiento de las raíces. La interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca es significativa ($p = 0.001$), con un valor F de 5.47, indicando que el efecto del AIB en la longitud de las raíces varía según el tipo de estaca utilizada, lo que subraya la importancia de considerar ambos factores conjuntamente para optimizar el crecimiento de las raíces. El bloque no muestra una diferencia significativa ($p = 0.230$), sugiriendo que la variabilidad entre las repeticiones del experimento no afecta significativamente los resultados. El coeficiente de variación (CV) del 8.06% sugiere una variabilidad moderada en los datos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos, con un promedio general de longitud de raíces de 2.62 cm.

Tabla 22

*Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)*

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm	3.32	a
1000 ppm	2.60	b
2000 ppm	2.57	b
0 ppm	1.98	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (22) El análisis de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 30 días en estacas de cacao Chuncho según las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que con 3000 ppm se alcanza la mayor longitud, con 3.32 cm (grupo a), seguido por 1000 ppm con 2.60 cm (grupo b), 2000 ppm con 2.57 cm (grupo b), y finalmente sin

AIB (0 ppm) con 1.98 cm (grupo c). Esto indica que el AIB incrementa la longitud de las raíces, siendo 3000 ppm la concentración más efectiva, mientras que 1000 y 2000 ppm tienen un efecto similar entre sí, y sin tratamiento crecen significativamente menos.

Tabla 23

Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto al origen de estacas

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	2.92	a
Basal	2.69	b
Terminal	2.24	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (23) el análisis de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 30 días en estacas de cacao Chuncho según su origen muestra que las Intermedias lideran con 2.92 cm (grupo a), seguidas por las basales con 2.69 cm (grupo b), y finalmente las terminales con 2.24 cm (grupo c). Esto sugiere que las estacas Intermedias desarrollan raíces más largas, mientras que las basales están cerca pero un poco por debajo, y las terminales producen raíces notablemente más cortas, indicando que el origen de la estaca influye en la longitud del crecimiento radicular.

Tabla 24

Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 30 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm:Intermedia	4.07	a
3000 ppm:Basal	3.19	b
1000 ppm:Intermedia	2.83	bc
2000 ppm:Intermedia	2.79	bc
2000 ppm:Basal	2.78	bc
3000 ppm:Terminal	2.69	bcd
1000 ppm:Basal	2.68	bcd
1000 ppm:Terminal	2.30	cde
2000 ppm:Terminal	2.13	de
0 ppm:Basal	2.10	de
0 ppm:Intermedia	2.00	e
0 ppm:Terminal	1.84	e

Nota. Elaboración propia

En la tabla (24) el análisis de Tukey de la longitud de raíces a los 30 días en estacas

de cacao Chunchu según la interacción entre el origen y las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que 3000 ppm en intermedias lidera con 4.07 cm (grupo a), seguido por 3000 ppm en basales con 3.19 cm (grupo b), 1000 ppm en Intermedias con 2.83 cm (grupo bc), 2000 ppm en intermedias con 2.79 cm (grupo bc), 2000 ppm en basales con 2.78 cm (grupo bc), 3000 ppm en erminales con 2.69 cm (grupo bcd), 1000 ppm en basales con 2.68 cm (grupo bcd), 1000 ppm en terminales con 2.30 cm (grupo cde), 2000 ppm en terminales con 2.13 cm (grupo de), 0 ppm en basales con 2.10 cm (grupo de), 0 ppm en Intermedias con 2.00 cm (grupo e), y finalmente 0 ppm en terminales con 1.84 cm (grupo e). Esto destaca que las intermedias con 3000 ppm logran las raíces más largas, mientras que las terminales y los tratamientos sin AIB producen las más cortas, mostrando un efecto combinado claro del AIB y el origen de la estaca.

b) Longitud de raíces (cm) a los 45 días

Tabla 25

Longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chunchu con diferentes concentraciones del ácido indolbutírico (AIB)

Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	7.99	8.63	9.26	11.3	11.13	10.99	10.57	13.8	13.01	12.22	16.37	13.5
B2	8.38	9.81	8.6	11.33	12.12	11.69	10.03	12.44	11.56	11.41	15.48	12.21
B3	9.24	8.93	11.23	11.44	10.89	12.29	11.39	13.45	13.09	13.13	15.73	13.81
Suma	25.61	27.37	29.09	34.07	34.14	34.97	31.99	39.69	37.66	36.76	47.58	39.52
Promedio	8.54	9.12	9.70	11.36	11.38	11.66	10.66	13.23	12.55	12.25	15.86	13.17
Varianza	0.409	0.376	1.872	0.005	0.425	0.423	0.469	0.499	0.742	0.740	0.211	0.720

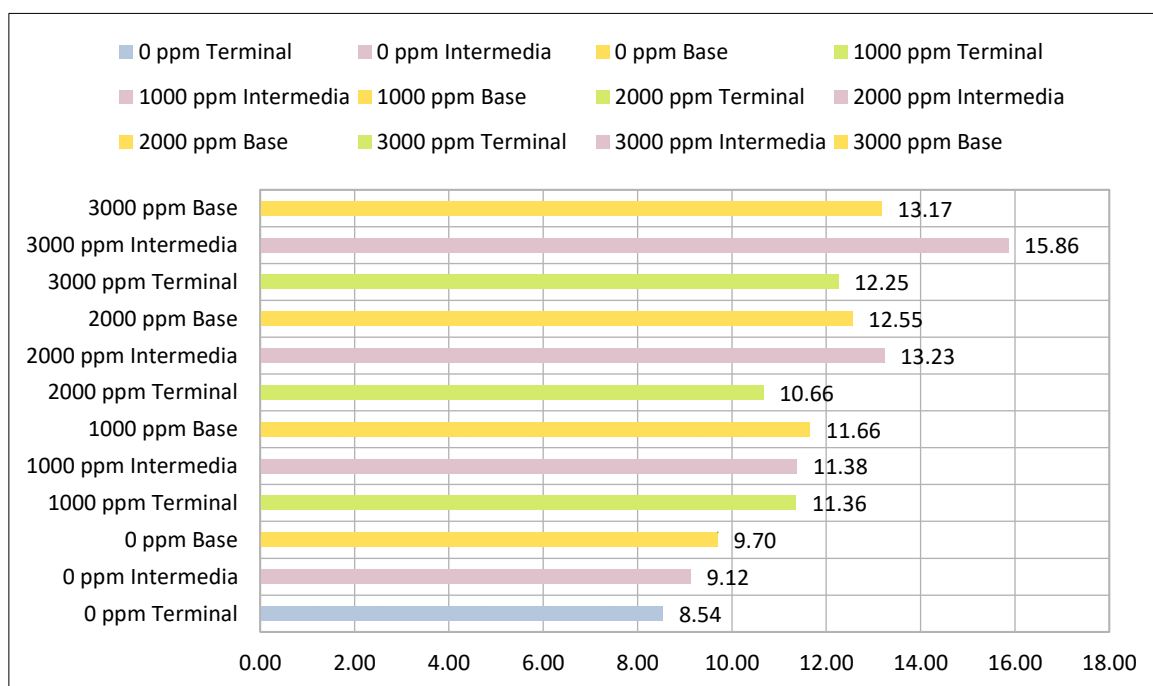
Nota. Elaboración propia

La tabla (25) y la figura (7) muestran el análisis de los promedios de la longitud de las raíces a los 45 días, en la que se muestra que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) presentan la mayor longitud de raíces, con un promedio de 15.86 cm, seguidas por las estacas basales con la misma concentración de AIB, que alcanzan un promedio de 13.17 cm. Las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB también muestran una longitud de raíces considerable, con un promedio de 13.23 cm.

Las estacas de basal con 2000 ppm de AIB logran un promedio de 12.55 cm, mientras que las estacas intermedias con 1000 ppm de AIB obtienen un promedio de 11.38 cm. Las estacas terminales con 3000 ppm de AIB tienen un promedio de 12.25 cm, y las estacas basales con 1000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 11.66 cm. Las estacas terminales con 1000 ppm de AIB presentan un promedio de 11.36 cm, y las estacas intermedias sin AIB muestran un promedio de 9.12 cm. Las estacas basales sin AIB tienen un promedio de 9.70 cm, y las estacas terminales con 2000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 10.66 cm. Finalmente, las estacas terminales sin AIB (0 ppm) presentan la menor longitud de raíces, con un promedio de 8.54 cm. Estos resultados indican que las concentraciones más altas de AIB (2000 y 3000 ppm) son más efectivas para aumentar la longitud de las raíces a los 45 días, especialmente en estacas intermedias y basales.

Figura 7

Promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chunchu con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 26

Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	3.87	2	1.936	4.30	0.027	*
Concentración de ácido indolbutírico	100.34	3	33.446	74.24	<.001	**
Tipo de estaca	17.64	2	8.820	19.58	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	16.24	6	2.706	6.01	<.001	**
Residuos	9.91	12	0.451			
Total		35				
CV (%)	5.77			Promedio	11.62	

Nota. Elaboración propia

NS: No significativa

*: Significativo

**: Altamente significativa

La tabla (26) muestra el análisis de varianza de la longitud de raíces a los 45 días muestra que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca tienen un impacto altamente significativo en la longitud de las raíces de las estacas de cacao, con valores p menores a 0.001, lo que indica que las diferencias observadas no son debidas al azar. La concentración de AIB tiene un efecto notable, con un valor F de 74.24, sugiriendo que el uso de AIB aumenta significativamente la longitud de las raíces. De manera similar, el tipo de estaca también influye significativamente, con un valor F de 19.58, lo que implica que diferentes tipos de estacas (terminal, intermedia y basal) responden de manera distinta en términos de crecimiento de las raíces. La interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca es significativa ($p < 0.001$), con un valor F de 6.01, indicando que el efecto del AIB en la longitud de las raíces varía según el tipo de estaca utilizada, lo que subraya la importancia de considerar ambos factores conjuntamente para optimizar el crecimiento de las raíces. El bloque muestra una diferencia significativa ($p = 0.027$), sugiriendo que hay alguna variabilidad entre las repeticiones del experimento, aunque su efecto es menor en comparación con los otros factores. El coeficiente de

variación (CV) del 5.77% sugiere una baja variabilidad en los datos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos, con un promedio general de longitud de raíces de 11.62 cm.

Tabla 27

Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm	13.76	a
2000 ppm	12.15	b
1000 ppm	11.46	b
0 ppm	9.12	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (27) El análisis de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 45 días en estacas de cacao Chuncho según las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que con 3000 ppm se obtiene la mayor longitud, con 13.76 cm (grupo a), seguido por 2000 ppm con 12.15 cm (grupo b), 1000 ppm con 11.46 cm (grupo b), y finalmente sin AIB (0 ppm) con 9.12 cm (grupo c). Esto indica que el AIB promueve un mayor crecimiento de las raíces a los 45 días, siendo 3000 ppm la concentración más efectiva, mientras que 2000 y 1000 ppm tienen un efecto similar entre sí, y sin tratamiento las raíces crecen notablemente menos.

Tabla 28

Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	12.40	a
Basal	11.77	a
Terminal	10.70	b

Nota. Elaboración propia

En la tabla (28) el análisis de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 45 días en estacas de cacao Chuncho según su origen muestra que las intermedias lideran con 12.40 cm (grupo a), seguidas por las basales con 11.77 cm (grupo a), y finalmente las terminales con 10.70 cm (grupo b). Esto sugiere que las estacas intermedias y basales

desarrollan raíces más largas y similares entre sí a los 45 días, mientras que las Terminales producen raíces significativamente más cortas, indicando que el origen de la estaca influye en el crecimiento radicular a este plazo.

Tabla 29

Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 45 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm:Intermedia	15.86	a
2000 ppm:Intermedia	13.23	b
3000 ppm:Basal	13.17	b
2000 ppm:Basal	12.55	bc
3000 ppm:Terminal	12.25	bc
1000 ppm:Basal	11.66	bcd
1000 ppm:Intermedia	11.38	bcd
1000 ppm:Terminal	11.36	bcd
2000 ppm:Terminal	10.66	cde
0 ppm:Basal	9.70	def
0 ppm:Intermedia	9.12	ef
0 ppm:Terminal	8.54	f

Nota. Elaboración propia

En la tabla (29) el análisis de Tukey de la longitud de raíces a los 45 días en estacas de cacao Chuncho según la interacción entre el origen y las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que 3000 ppm en intermedias lidera con 15.86 cm (grupo a), seguido por 2000 ppm en Intermedias con 13.23 cm (grupo b), 3000 ppm en basales con 13.17 cm (grupo b), 2000 ppm en basales con 12.55 cm (grupo bc), 3000 ppm en terminales con 12.25 cm (grupo bc), 1000 ppm en basales con 11.66 cm (grupo bcd), 1000 ppm en intermedias con 11.38 cm (grupo bcd), 1000 ppm en terminales con 11.36 cm (grupo bcd), 2000 ppm en terminales con 10.66 cm (grupo cde), 0 ppm en basales con 9.70 cm (grupo def), 0 ppm en Intermedias con 9.12 cm (grupo ef), y finalmente 0 ppm en terminales con 8.54 cm (grupo f). Esto resalta que las estacas intermedias con 3000 ppm logran las raíces más largas, mientras que las terminales sin AIB tienen las más cortas, evidenciando un efecto combinado del AIB y el origen en el crecimiento radicular.

c) Longitud de raíces (cm) a los 60 días

Tabla 30

Longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas (Terminal, Intermedia y Basal) de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

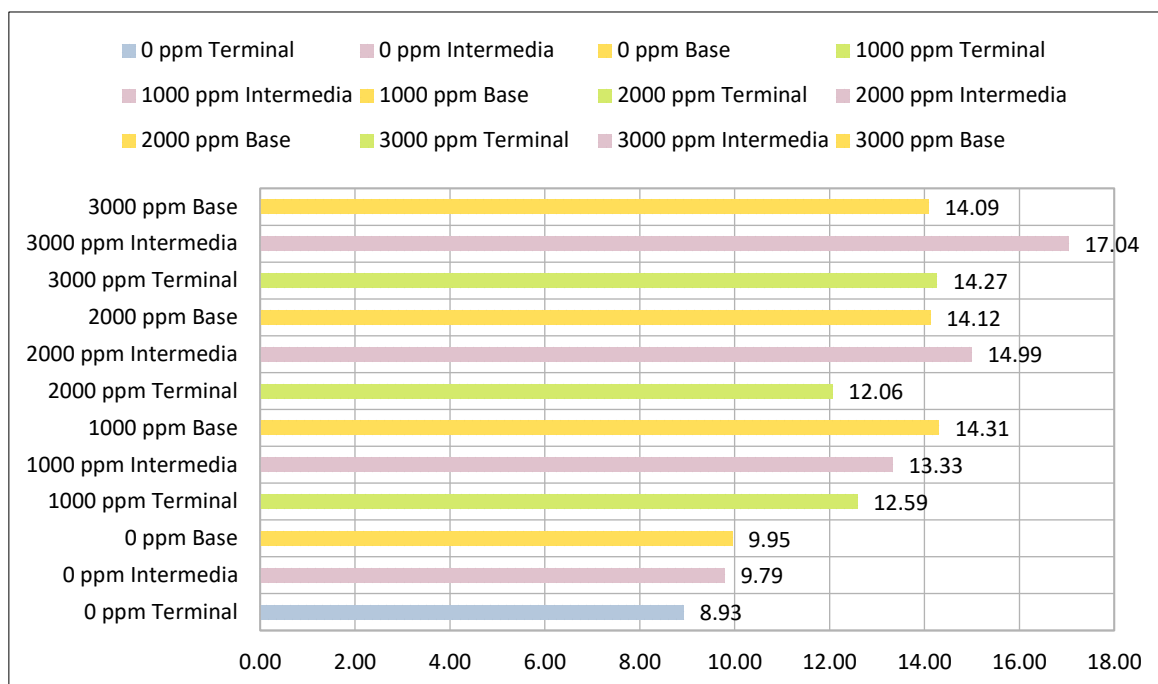
Bloque	0 ppm de AIB			1000 ppm de AIB			2000 ppm de AIB			3000 ppm de AIB		
	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal	Terminal	Intermedia	Basal
B1	8.62	9.68	9.46	12.7	12.74	13.22	11.35	15.05	14.71	13.92	17.92	14.19
B2	8.63	10.61	9.02	12.2	14.03	14.69	11.99	14.48	13.37	12.99	16.22	13.69
B3	9.54	9.08	11.38	12.86	13.22	15.01	12.85	15.45	14.29	15.89	16.98	14.39
Suma	26.79	29.37	29.86	37.76	39.99	42.92	36.19	44.98	42.37	42.80	51.12	42.27
Promedio	8.93	9.79	9.95	12.59	13.33	14.31	12.06	14.99	14.12	14.27	17.04	14.09
Varianza	0.279	0.594	1.575	0.119	0.425	0.911	0.567	0.238	0.470	2.193	0.725	0.130

Nota. Elaboración propia

La tabla (30) y la figura (8) muestran el análisis de los promedios de la longitud de las raíces a los 60 días, en la que se muestra que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) presentan la mayor longitud de raíces, con un promedio de 17.04 cm, seguidas por las estacas basales con la misma concentración de AIB, que alcanzan un promedio de 14.09 cm. Las estacas intermedias con 2000 ppm de AIB también muestran una longitud de raíces considerable, con un promedio de 14.99 cm. Las estacas basales con 2000 ppm de AIB logran un promedio de 14.12 cm, mientras que las estacas terminales con 3000 ppm de AIB obtienen un promedio de 14.27 cm. Las estacas intermedias con 1000 ppm de AIB tienen un promedio de 13.33 cm, y las estacas basales con 1000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 14.31 cm. Las estacas terminales con 2000 ppm de AIB presentan un promedio de 12.06 cm, y las estacas intermedias sin AIB (0 ppm) muestran un promedio de 9.79 cm. Las estacas basales sin AIB tienen un promedio de 9.95 cm, y las estacas terminales con 1000 ppm de AIB alcanzan un promedio de 12.59 cm. Finalmente, las estacas terminales sin AIB (0 ppm) presentan la menor longitud de raíces, con un promedio de 8.93 cm. Estos resultados indican que las concentraciones más altas de AIB (2000 y 3000 ppm) son más efectivas para aumentar la longitud de las raíces a los 60 días, especialmente en estacas intermedias y basales.

Figura 8

Promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)



Nota. Elaboración propia

Tabla 31

Análisis de varianza del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P valor	Sig.
Bloque	3.85	2	1.924	3.36	0.053	NS
Concentración de ácido indolbutírico	153.74	3	51.246	89.46	<.001	**
Tipo de estaca	20.49	2	10.247	17.89	<.001	**
Concentración de ácido indolbutírico * Tipo de estaca	15.79	6	2.632	4.60	0.004	**
Residuos	12.60	12	0.573			
Total		35				
CV (%)	5.84			Promedio	12.96	

Nota. Elaboración propia

NS: No significativa

** : Altamente significativa

La tabla (31) muestra el análisis de varianza de la longitud de raíces a los 60 días

muestra que tanto la concentración de ácido indolbutírico (AIB) como el tipo de estaca tienen un impacto altamente significativo en la longitud de las raíces de las estacas de cacao, con valores p menores a 0,001, lo que indica que las diferencias observadas no son debidas al azar. La concentración de AIB tiene un efecto muy pronunciado, con un valor F de 89,46, sugiriendo que el uso de AIB aumenta significativamente la longitud de las raíces. De manera similar, el tipo de estaca también influye significativamente, con un valor F de 17,89, lo que implica que diferentes tipos de estacas (terminal, intermedia y basal) responden de manera distinta en términos de crecimiento de las raíces. La interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca es significativa ($p = 0,004$), con un valor F de 4,60, indicando que el efecto del AIB en la longitud de las raíces varía según el tipo de estaca utilizada, lo que subraya la importancia de considerar ambos factores conjuntamente para optimizar el crecimiento de las raíces. El bloque no muestra una diferencia significativa ($p = 0,053$), sugiriendo que la variabilidad entre las repeticiones del experimento no afecta significativamente los resultados (aunque el valor está cercano al umbral de significancia del 5 %). El coeficiente de variación (CV) del 5,84 % sugiere una baja variabilidad relativa en los datos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos, con un promedio general de longitud de raíces de 12,96 cm.

Tabla 32

*Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho respecto a concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)*

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm	15.13	a
2000 ppm	13.73	b
1000 ppm	13.41	b
0 ppm	9.56	c

Nota. Elaboración propia

En la tabla (32) se muestra el análisis de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 60 días en estacas de cacao Chuncho según las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) muestra que con 3000 ppm se alcanza la mayor longitud, con 15.13 cm (grupo a), seguido por 2000 ppm con 13.73 cm (grupo b), 1000 ppm con 13.41 cm (grupo

b), y finalmente sin AIB (0 ppm) con 9.56 cm (grupo c). Esto indica que el AIB impulsa significativamente el crecimiento de las raíces a los 60 días, siendo 3000 ppm la concentración más efectiva, mientras que 2000 ppm y 1000 ppm producen respuestas similares (sin diferencia significativa entre ellas), y la ausencia de tratamiento resulta en la menor longitud de raíces, claramente distinta del resto.

Tabla 33

Comparación de Tukey del promedio de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto al origen de las estacas

Tratamiento	Promedio	Grupo
Intermedia	13.79	a
Basal	13.12	a
Terminal	11.96	b

Nota. Elaboración propia

En la tabla (33) se muestra la comparación de Tukey del promedio de la longitud de raíces a los 60 días en estacas de cacao Chuncho según su origen muestra que las Intermedias lideran con 13.79 cm (grupo a), seguidas por las basales con 13.12 cm (grupo a), y finalmente las terminales con 11.96 cm (grupo b).

Tabla 34

Comparación de Tukey de longitud de raíces (cm) a los 60 días de diferentes tipos de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) variedad Chuncho respecto a la interacción de origen de las estacas y concentraciones de ácido indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Promedio	Grupo
3000 ppm:Intermedia	17.040000	a
2000 ppm:Intermedia	14.993333	ab
1000 ppm:Basal	14.306667	bc
3000 ppm:Terminal	14.266667	bc
2000 ppm:Basal	14.123333	bc
3000 ppm:Basal	14.090000	bc
1000 ppm:Intermedia	13.330000	bc
1000 ppm:Terminal	12.586667	c
2000 ppm:Terminal	12.063333	cd
0 ppm:Basal	9.953333	de
0 ppm:Intermedia	9.790000	e
0 ppm:Terminal	8.930000	e

Nota. Elaboración propia

Esto sugiere que las estacas intermedias y basales desarrollan raíces más largas y similares entre sí a los 60 días, mientras que las terminales producen raíces

significativamente más cortas, indicando que el origen de la estaca tiene un impacto claro en el crecimiento radicular a este plazo.

La tabla (34) muestra los resultados del análisis de Tukey para la longitud de las raíces (cm) a los 60 días en estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad Chuncho, evaluando la interacción entre el origen de las estacas (basal, intermedia, terminal) y las concentraciones de ácido indolbutírico (AIB: 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm). El tratamiento con 3000 ppm en estacas intermedias alcanzó la mayor longitud (17.04 cm), posicionándose significativamente por encima del resto en el grupo a. A continuación, 2000 ppm en estacas intermedias (14.99 cm) se ubicó en el grupo ab, indicando que, aunque algo menor, su desempeño no difiere significativamente del mejor tratamiento. Los tratamientos 1000 ppm: basal (14.31 cm), 3000 ppm: terminal (14.27 cm), 2000 ppm: basal (14.12 cm), 3000 ppm: basal (14.09 cm) y 1000 ppm: Intermedia (13.33 cm) compartieron el grupo bc, con longitudes intermedias y sin diferencias significativas entre ellos. Los valores 1000 ppm: terminal (12.59 cm) y 2000 ppm: terminal (12.06 cm) formaron los grupos c y cd, respectivamente, mostrando una reducción notable en el crecimiento radicular. Finalmente, los tratamientos sin AIB tanto basal (9.95 cm), intermedia (9.79 cm) y terminal (8.93 cm) se agruparon en las categorías de e, siendo las estacas terminales sin AIB las de menor desarrollo radicular. Esto confirma que la combinación más eficaz para maximizar la longitud de raíces es 3000 ppm de AIB en estacas intermedias, y que la respuesta al AIB depende fuertemente del tipo de estaca, con las intermedias mostrando la mayor sensibilidad positiva al regulador.

5.2. Discusión

Los resultados mostraron que el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con la aplicación de AIB a una concentración de 3000 ppm en estacas intermedias con 74.67% de enraizamiento, seguido por las estacas basales con 66.00% de enraizamiento, mientras que en las estacas terminales sin la aplicación de AIB (13.33%), fueron inferiores que el resto. Este hallazgo, son superiores a lo que Cajamarca (2017) obtuvo un enraizamiento del 58% en cacao tipo nacional, demostrando que los polvos enraizantes basados en auxinas alcanzaron máxima eficiencia, siendo una evidencia adicional del impacto positivo de estos compuestos en la formación de raíces. Sin embargo, fueron inferiores a los estudios de Campoverde (2017), quien reportó que la aplicación de AIB en dosis de 800 mg resultó en un porcentaje de prendimiento del 80% en estacas de cacao de la variedad CCN-51, indicando que el AIB es una hormona efectiva para la propagación vegetativa. Por otro lado, los hallazgos de esta investigación contrastan con los de Crespo (2021), quien concluyó que el uso de enraizadores naturales (agua de lenteja, agua de coco y sábila) en estacas de cacao CCN-51 no mostró diferencias significativas en el porcentaje de enraizamiento. Esto sugiere que los enraizadores sintéticos como el AIB tienen una mayor eficacia en la propagación de cacao en comparación con los enraizadores naturales.

El tiempo requerido para el enraizamiento se redujo significativamente con la aplicación de AIB, alcanzando su menor valor en las estacas intermedias con una dosis de AIB de 2000 ppm, con un promedio de 71.83 días. Estos resultados se asemejan a lo que Cajamarca (2017) obtuvo un enraizamiento significativo a los 45 días. Esta dosis es reforzada con los resultados encontrado por Chino (2018), quien reportó que el uso de AIB y ANA en diferentes dosis favoreció el enraizamiento de estacas de cacao en vivero, con una mejor respuesta en la concentración de 2000 ppm. Asimismo, Reyes (2015), en su estudio sobre propagación vegetativa de cacao en cámaras de subirrigación, destacó la efectividad del AIB en la reducción del tiempo de enraizamiento, lo que coincide con nuestros hallazgos. En contraste, Flores (2019) observó que el corte de media hoja en combinación con enraizadores como ANA presentó mejores resultados en el prendimiento

de estacas con un 62% de éxito, lo que sugiere que la técnica de corte también puede influir en la respuesta al enraizador.

En la presente investigación, se evidenció que las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de AIB desarrollaron el mayor número de raíces (6.53), seguidas por las basales (5.90). Resultados similares fueron obtenidos por Guizado (2015), quien encontró que la aplicación de AIB en clones de cacao CCN-51 favoreció la formación de raíces, alcanzando un promedio de 5.93 raíces. De igual manera, Illanes (2015) reportó que diferentes concentraciones de hormonas enraizadoras en cacao generaron diferencias significativas en el número de raíces, confirmando la importancia de la dosis del enraizador en la propagación asexual. No obstante, Villa (2015), en su investigación con la variedad CCN-51, encontró un prendimiento del 41% a los 60 días y una longitud radicular de 8.79 cm con el uso de la hormona Hormonagro, lo que sugiere que diferentes productos pueden tener efectos variables dependiendo del material vegetal y las condiciones ambientales.

El crecimiento radicular también mostró diferencias significativas, alcanzando su mayor longitud a los 60 días en estacas intermedias con 3000 ppm de AIB (37.71 cm). Estos resultados son comparables con los de Gamboa (2015), quien evaluó clones de cacao sobre diferentes patrones y reportó un prendimiento entre 75% y 100%, resaltando la importancia del material clonal en la propagación vegetativa. Asimismo, Huilca (2019) comparó dos cultivares de cacao y evidenció que el clon CCN-51 presentó un mayor desarrollo vegetativo en comparación con la variedad Chunchu, destacando la influencia del genotipo en la respuesta al enraizamiento. Por otra parte, Rosas (2019), en su estudio sobre fases lunares y tipos de injerto en cacao, reportó que el injerto tipo púa central mostró mejores resultados en prendimiento y crecimiento radicular en determinadas fases lunares, lo que sugiere que factores ambientales también pueden influir en la formación de raíces.

Finalmente, Guizado (2015) determinó que en clones de cacao CCN-51, el AIB permitió obtener raíces con una longitud promedio de 13.05 cm, un valor inferior a los encontrados en esta investigación, lo que podría atribuirse a diferencias en la dosis aplicada, las condiciones ambientales y el tipo de material vegetal utilizado. En general, los

resultados de esta investigación confirman que la aplicación de AIB es altamente efectiva para mejorar el enraizamiento en estacas de cacao variedad Chuncho, obteniendo un porcentaje de enraizamiento superior al 70% en estacas intermedias con 3000 ppm de AIB. Esto respalda los hallazgos de estudios previos que han demostrado la importancia de los reguladores de crecimiento en la propagación asexual del cacao. Sin embargo, la respuesta al enraizador puede variar dependiendo del material clonal, la técnica de propagación y las condiciones ambientales, lo que sugiere la necesidad de realizar más investigaciones para optimizar la propagación vegetativa de diferentes variedades de cacao.

VI. Conclusiones

- En cuanto al efecto del ácido indolbutírico en el porcentaje de enraizamiento, el análisis de los resultados indicó que el porcentaje de enraizamiento aumentó de manera significativa con la aplicación de AIB, especialmente en las concentraciones más altas. Las estacas intermedias con 3000 ppm de AIB lograron el mayor porcentaje de enraizamiento (74.67%), seguidas por las estacas basales con el mismo tratamiento (66.00%). Con 2000 ppm, las estacas intermedias alcanzaron 58.67% y las basales 47.33%. Las estacas terminales tuvieron menor enraizamiento: 31.67% con 3000 ppm y 18.67% con 2000 ppm. Sin AIB (0 ppm), los valores fueron menores, con 15.00% en estacas intermedias, y 13.33% en terminales y basales. Esto confirma que AIB favorece el enraizamiento, siendo más eficaz a 3000 y 2000 ppm.
- Respecto al efecto del ácido indolbutírico en el tiempo de enraizamiento se ha encontrado que Las estacas intermedias enraizan significativamente más rápido que las de Basal, y estas, a su vez, más rápido que las terminales. La aplicación de AIB reduce el tiempo de enraizamiento respecto al tratamiento sin regulador (0 ppm), siendo 2000 ppm la concentración más eficaz, seguida de 1000 y 3000 ppm, aunque las diferencias entre estas últimas no siempre son estadísticamente significativas. La interacción entre tipo de estaca y concentración de AIB no resultó significativa en el análisis de varianza, pero el análisis de Tukey por combinaciones muestra que el beneficio del AIB es mucho más pronunciado en estacas intermedias, especialmente con 2000 ppm (56,33 días), mientras que en estacas terminales el AIB apenas mejora el desempeño, manteniéndose los tiempos por encima de 108 días. Las condiciones experimentales fueron homogéneas (efecto de bloque no significativo) y los datos presentan baja variabilidad (CV = 1,62 %), lo que respalda la confiabilidad de los resultados.
- En cuanto al efecto del ácido indolbutírico en el número de raíces se ha hallado que el número de raíces formadas en las estacas varió significativamente según la concentración de AIB aplicada y el tipo de estaca. Las estacas intermedias con 3000

ppm formaron el mayor número de raíces (6.53 en promedio), seguidas por las basales con 5.90. Con 2000 ppm, intermedias y basales lograron 3.61 y 3.34, respectivamente. Las estacas terminales, incluso con AIB, tuvieron menos raíces (1.51 con 3000 ppm y 1.12 con 2000 ppm). Sin AIB, los valores bajaron significativamente: 0.81 (intermedias), 0.91 (basales) y 0.60 (terminales). Esto confirma que AIB mejora la formación de raíces, sobre todo en estacas intermedias y basales.

- Respecto al efecto del ácido indolbutírico (AIB) en la longitud de raíces a los 60 días, el crecimiento radicular se vio claramente influenciado por la aplicación de este regulador, con diferencias significativas asociadas tanto a la concentración como al tipo de estaca. Las estacas intermedias tratadas con 3000 ppm de AIB alcanzaron la mayor longitud radicular (17.04 cm), superando significativamente al resto de tratamientos. Las estacas de Basal con 3000 ppm mostraron una longitud de 14.09 cm, estadísticamente similar a otras combinaciones como 2000 ppm en estacas intermedias (14.99 cm), 1000 ppm en Basal (14.31 cm) y 3000 ppm en terminales (14.27 cm), todas agrupadas en categorías intermedias (grupos ab o bc). En contraste, las estacas sin AIB presentaron los valores más bajos: 8.93 cm (terminales), 9.79 cm (intermedias) y 9.95 cm (Basal), agrupándose en las categorías. Es decir, el uso de ácido indolbutírico (AIB) tuvo un impacto significativo en el enraizamiento de las estacas de cacao variedad Chunchu, optimizando el porcentaje de enraizamiento, reduciendo el tiempo requerido para la formación de raíces, aumentando el número de raíces y promoviendo su crecimiento. La concentración óptima fue 3000 ppm, seguida de 2000 ppm; sin AIB se obtuvieron valores inferiores en todas las variables. El tipo de estaca también influyó, siendo las intermedias y basales las que respondieron mejor al AIB.

VII. Recomendaciones

Repetir el experimento a dosis de 3000 ppm con estacas intermedias de clones híbridos de árboles de buena producción y tolerantes a enfermedades.

Repetir el experimento considerando los períodos de lunación, con el objetivo de evaluar la incidencia de las fases lunares en el prendimiento de estacas intermedias de cacao chuncho, empleando una dosis de 3000 ppm.

Continuar la investigación con dosis de 3000 ppm para ácido indolbutírico con clones híbrido de cacao por demostrar mejor desempeño en los parámetros evaluados en cuanto a % prendimiento, número de raíces, longitud, de raíces, tiempo de enraizamiento.

La combinación más apropiada para el prendimiento en cacao es: estacas intermedias a dosis de 3000 ppm de AIB con yema del clon chuncho por mostrar buenas características agronómicas.

Se sugiere desarrollar investigaciones con distintos clones híbridos de cacao, con el propósito de analizar cómo influye el factor genético en el proceso de enraizamiento de las estacas.

Desarrollar investigaciones en esta línea, considerando variables como volumen y peso de raíces, tamaño de brotes, número de hojas, diámetro y peso de las estacas, contenido relativo de agua, coeficiente neto fotosintético, conductividad estomática y fluorescencia.

Para la aplicación del agua se sugiere la instalación de un sistema de nebulización que proporcione humedad constante las camas de enraizamiento. El programa de riego debe establecerse para las horas donde la temperatura ambiental sea más elevada para evitar que existan cambio drástico dentro de los propagadores.

VIII. Referencias

- Arvelo S.M.; Gonzales L.D.; Maroto A.S.; Delgado L.T. y Montoya L.P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas Latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://publications.iica.int/es/biblioteca/1234>
- Aguéz, A. (2010). *Tratamiento de los materiales vegetativos de cacao con los ácidos naftalenacético (ANA) o indolbutírico (IBA) a una concentración de 4000 ppm*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo – UTEQ]. Babahoyo, Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/50000/1234>.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.^a ed.). Episteme. Caracas, Venezuela.
- Avanzato, D. & Cherubini, S. (1993). Influence of the substrates on the direct rooting of ex vitro, MM106 apple microcuttings. *Acta Horticulturae, Wageningen*, v.342, p.297-303.
- Batista, L. (2009). *Guía técnica: El cultivo de cacao*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en: <http://www.cdaf.gob.do/publicaciones/guia-cacao-2009.pdf>.
- Blazich, F. (1988). *Chemicals and Dormulations used to promote adventitious rooting*. In: Davis, T; Haissig, BE; Sankhla, N (eds). *Adventitious root formation in cuttings. Protiand, Oregon* Pp 132-149.
- Botti, C. (1999). *Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas*. Dpto. de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. (1° ed.). Editorial Santiago, Chile.
- Braudeau J. (1981). *El cacao: colección de agricultura tropical*. Blume Distribuidora, pp-297. Disponible en: https://books.google.com.sv/books?id=S_O2AAAACAAJ
- Cajamarca M., E.S. (2017). *Determinación de la eficiencia de hormonas en la propagación por ramillas de cacao tipo Nacional*. [Tesis pregrado. Universidad Técnica de

Machala – UTM]. Ecuador. Recuperado de:

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/items/9b845bc9-f6af-4d1b-b3a4-e2db88832c2b>

Campoverde Armijos, J. A. (2017). *Efectos de dos hormonas enraizantes sobre estacas de cacao (Theobroma cacao L.) de la variedad CCN 51 en la zona de Matilde Esther, en la provincia del Guayas*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador].

Guayaquil. Disponible en: <https://repositorio.uda.edu.ec/handle/5000/3456>

Cedeño, G. (2015). *Biorreguladores para la propagación intensiva del banano Williams (Musa AAA Simmonds) en cámara térmica* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM]. Lima, Perú. Recuperado de:

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/7890>.

Chino, E. (2018). *Efecto de dos hormonas en el enraizamiento de estacas de cacao chuncho (Theobroma cacao) en vivero, en el sector de Korymany, Distrito de Echarati, Provincia La Convención*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Cusco, Perú. Repositorio UNSAAC. Disponible en:

<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12726/9876>.

Cordero, X., Peralta, R., Mendoza, F., & Vásquez, L. (2011). *Aplicación de Proroot (ANA e IBA) como enraizador en cacao* [Informe técnico, Estación Experimental Tropical Pichilingue]. INIAP – CICA. Quevedo. Ecuador. Disponible en:

<https://www.iniap.gob.ec/publicaciones/iniap-tecnicos/2011/proroot-cacao.pdf>.

Costas, D. (2006). *Propagação da caramboleira por estacas caulinares e caracterização anatômica e histológica da formação de raízes adventícias*. [Tesis pre grado, Universidad de São Paulo – USP]. Brasil. Recuperado de:

[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-123456789/..](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-123456789/)

Crespo Pardo, F.E. (2021). *Evaluación del efecto de tres hormonas naturales en el enraizamiento de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51, en el recinto*

- Zhucay, provincia del Cañar*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador].
 Disponible en: <https://repositorio.ucacue.edu.ec/handle/123456789/1122>.
- DEVIDA (2018). *Buenas prácticas en el cultivo de cacao: Protocolos técnicos*. Programa de Desarrollo Alternativo en Satipo. Lima, Perú. Disponible en: <https://devida.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/Buenas-Practicas-Cacao-DEVIDA.pdf>.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao*. Proyecto Perúbiodiverso & Botconsult GmbH. Lima, Perú. Disponible en: <https://perubiodiverso.munlima.gob.pe/publicaciones/hoja-botanica-cacao.pdf>
- Eco Asháninka (2015). *Guía: Cultivo de cacao orgánico*. Acuerdo para la Conservación de Bosques Tropicales - ACBT. Pasco, Perú. Disponible en: <https://www.acbtperu.org/publicaciones/guia-cacao-orgnico-2015.pdf>.
- EcuRed. (2019). *Ácido indolbutírico (IBA)*. La Habana. Cuba. Disponible en: https://www.ecured.cu/%C3%81cido_indolbut%C3%ADrico
- Enríquez, G. (2004). *Método de propagación asexual por medio de estacas o ramillas y tratadas con fitorreguladores inductores de raíces*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. Disponible en: <https://www.iniap.gob.ec/publicaciones/manuales-propagacion-vegetativa-2004.pdf>.
- Fanego, A. (2006). *Aportes a la metodología de propagación de Bougainvillea glabra Choisy*. Tesis posgrado. Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. 56 p, La Habana, Cuba.
- Flores Terán, L.M. (2019). *Evaluación de enraizadores en estacas de cacao (Theobroma cacao L.) con tres cortes de hoja tolerantes a la monilia en la Estación Experimental de Sapecho – Alto Beni*. Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4567>.
- Gamboa, J. (2015). *Comportamiento en vivero de cuatro clones de cacao (Theobroma cacao L.) sobre diferentes patrones en Satipo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional

Agraria La Molina – UNALM]. Lima, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/8765>

Gárate, M. (2010). *Propagación clonal de estacas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali – UNAP]. Pucallpa, Perú. Disponible en:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7890>

García, R. (1996). *Acción de dos fitorreguladores en el enraizamiento de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) en Tumbes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes – UNT]. Tumbes, Perú. Disponible en:
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12829/1234>

Guerra, H. (2008). *Basals técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamiento de estaquillas*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP. Iquitos, Perú. Disponible en:
<https://repositorio.iiap.org.pe/bitstream/handle/20.500.12675/1234/BasalsTecnicasPropagacionVegetativa2008.pdf>.

Guizado Ovando C.D. (2015). *Enraizamiento de estaca basal de los clones de cacao (Theobroma cacao L.), ICS-95, CCN-51, ICS-1, CMP-15 y porcelana; utilizando Ácido Indol Butírico (AIB) en el Centro Poblado de Valle Esmeralda – río Ene*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú – UNCP]. Satipo, Perú.
Recuperado de:
<https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/20d70741-1025-4770-baa3-f2cde72f196a/content>

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). *Plant propagation: Principles and practices* (8.^a ed.). Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, Estados Unidos.

Henríquez, E. (2004). *Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de morera (Morus alba)* [Tesis pregrado. Universidad de Chile- UCHILE]. Santiago, Chile.
Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/123456>.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education. México D.F. México.
- Hidalgo, N. (s. f.). *Algunos métodos de propagación del cultivo de cacao Theobroma cacao L.* [Boletín de divulgación, MAG – CATIE]. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. Disponible en:
<https://www.mag.go.cr/publicaciones/boletines/propagacion-cacao-2004.pdf>.
- Huillca Huaypar, N. (2019). *Multiplicación vegetativa por ejes plagiotrópicos en dos cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) en el sector de Tiobamba – La Convención – Cusco.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC]. Cusco, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12726/8765>
- Illanes Villalba, S.J. (2015). *Propagación vegetativa en plántulas de cacao CCN 51 (Theobroma cacao L.) con diferentes concentraciones de hormonas en el Cantón Las Naves Provincia Bolívar.* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Bolívar – UEB]. Recuperado de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/9c546462-5f78-460b-bdc1-d51b7dc7bfad>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (2018). *Análisis de la cadena productiva del cacao, con enfoque en los pequeños productores de limitado acceso al mercado.* MINAGRI. Lima, Perú. Disponible en:
https://web.inia.gob.pe/attachments/article/1356/Analisis_cadena_cacao_INIA_2018.pdf.
- Kaulard, A. (2018). *Cacao por coca en Perú: El comercio justo y las redes locales.* En *Memorias del XXXIII Congreso Internacional de la Asociación de Estudios Latinoamericanos* (pp. 112–125). Barcelona, España. Disponible en:
<https://lasa.international.pitt.edu/lasa2018/AULA2018-Kaulard.pdf>
- Leakey, R. R. B. (2004). Physiology of vegetative propagation in trees and its relevance to clonal forestry. *Journal of Experimental Botany*, 55(399), 1039–1049.

- López P., D. & Carazo G. N. (2005). *La producción de esquejes*. EUITA (ESAB). Horticultura internacional. Universidad Politécnica de Cataluña – UPC. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_hortint/hortint_2005_E_22_29.pdf
- Luna, K. (2003). *Utilización de tres dosis de ácido indol butírico en el enraizamiento de clones de cacao (Theobroma cacao L.) en Pucallpa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali - UNAP]. Pucallpa, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6543>.
- Mansilla, D. 2004. *Propagación vegetativa mediante estaquillado en especies nativas de los géneros Mutisia, Escallonia y Gaultheria, como 83 potenciales cultivos ornamentales*. [Tesis pregrado. Universidad Austral de Chile]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fam288p/html/index-frames>
- M&O Consulting S.A.C. (2008). *Estudio de la caracterización del potencial genético del cacao en el Perú*. Proyecto de Cooperación UE-Perú / PENX. Lima, Perú. Disponible en: <https://penx.gob.pe/publicaciones/estudio-genetico-cacao-2008.pdf>.
- Mesén, F. & Viquez, E. (2003). *Propagación vegetativa de Bombacopsis quinata*. In Cordero, J; Boshier, DH. (Eds.). *Bombacopsis quinata, un árbol maderable para reforestar*. University of Oxford, Oxford Forestry Institute. *Tropical Forestry Papers* 39. p. 89-96
- MINAGRI. (2022). *Datos agroclimáticos y productivos del distrito de Yanatile, Cusco*. Ministerio de Agricultura y Riego. Oficina de Estadística Agropecuaria de la Provincia de Calca. Cusco, Perú. Disponible en: <https://www.gob.pe/minagri>
- Mestanza, I. C. (1981). *Efecto del Cycocel 500 A y el Ferban en el enraizado de estacas de cacao (Theobroma cacao L.) en Tingo María*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú. 54 p.
- Mita, K., & Grundy, E. (2017). *Encallado de injertos de la variedad Borgoña en invernadero en dos patrones de vid (Vitis vinifera L.)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San

- Agustín – UNSA]. Arequipa, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12759/3456>.
- Osuna, H., Osuna, A., & Fierro, A. (2016). *Manual de propagación de plantas superiores*. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana. Primera edición. Metropolitana-Xochimilco, México. Disponible en:
<https://www.xoc.uam.mx/uaeh/manuales/propagacion-plantas-2016.pdf>
- Palacios, I. (2018). *Perú sabe a chocolate: El prestigio del cacao peruano se impone en el mundo*. Libro de Recetas Editores. Lima. Perú.
- Palma, M. (2017). *Utilización de hormonas enraizadoras en la propagación vegetativa del sauco (Sambucus peruviana HBK.) en el vivero de Kesari distrito de Circa – Abancay* [Tesis pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes - UTEA]. Abancay, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.utandina.edu.pe/handle/5000/6789>.
- Paredes A., M. (2003). *Manual de cultivo del cacao*. Programa para el desarrollo de la Amazonía – PROAMAZONIA - MINAG. Lima, Perú. Disponible en:
<https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Pinedo Soto S.K. (2019). *Incidencia del gusano mazorquero (Carmenta foraseminis Eichlin) y daños productivos en el cultivo de Cacao (Theobroma cacao L.) en la región San Martín*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional de San Martín]. Tarapoto, Perú.
- Reyes, E. (2015). *Propagación vegetativa de cacao (Theobroma cacao L.) con dos tipos de estacas y cuatro dosis de ácido indolbutírico (AIB) en cámara de subirrigación en Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva – UNAS]. Tingo María, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.12322/1234>.
- Reyes J. (2015). *Guía de técnicas, métodos y procedimientos de reproducción asexual o vegetativa de las plantas*. Clúster de Viveristas dominicano. Santo Domingo, República

- Dominicana. Disponible en: <https://clusvidon.org/publicaciones/guia-propagacion-vegetal-2015.pdf>
- Rojas G.S.; García L.J.; Alarcón R.M.; Escobar C.J.; Cipagauta M.; Solarte H.; Osorio V.E.; Barahona R.; Trujillo R.; Tróchez M.J. Rivera E.; Colorado G.; Cadena F. (2004). *Propagación asexual de plantas: conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA; Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17056>
- Rosas, E. (2019). *Influencia de las fases lunares y tipos de injerto en el prendimiento y crecimiento del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) clon ICS-95*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva – UNAS]. Tingo María, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.12322/2345>
- Sisaro, D., & Hagiwara, J. (2016). *Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo*. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/propagacion-estacas-tallo-inta-2016>
- Tapia, F. (2003). Propagación. En F. Tapia, F. Carrasco, & A. Carrasco (Eds.), *Manual del cultivo del olivo* (pp. 41–48). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena. Chile.
- Villa, H. (2015). *Efectos de dos hormonas enraizantes sobre plantas clonales de cacao variedad CCN 51 a nivel de vivero en la zona de la Troncal, provincia del Cañar*. Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador. Milagro. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4567>
- Weaver, R. (1976). *Reguladores de crecimiento de plantas en la agricultura*. México, Trillas. 622 p.
- Zobel B. & Talbert J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México F. D. Limusa.