

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO
ÁREA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y NATURALES
CARRERA INGENIERÍA AGROFORESTAL



TESIS DE GRADO

TITULO:

INFLUENCIA DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) Y ÁCIDO
NAFTALENACÉTICO (ANA) SOBRE EL ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE
MORERA (*MORUS ALBA* L.) EN CONDICIONES CONTROLADAS EN EL CENTRO
DE INVESTIGACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA AMAZONÍA,
C.I.N.T.A.

Presentado por:

MISAEEL LIZÁRRAGA MALDONADO

Asesora: Ing. Ruth Gabriela Ancasi Espejo

Asesor: Lic. Israel Muñoz Guzmán

Cobija – Pando -Bolivia

Julio 2026

HOJA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada y revisada por:

.....
Ing. José Armando Alcázar Vivado
TRIBUNAL

.....
Ing. Fader Cabrera Arandia
TRIBUNAL

.....
Ing. Raúl Balcarcel Fernández
TRIBUNAL

.....
Ing. Gabriela Ancasi Espejo
ASESOR

.....
Lic. Israel Muñoz Guzmán
ASESOR

Cobija, 24 de junio del 2026

DEDICATORIA

Dedicado a mi niñez y juventud en el campo, a la escasez que me enseñó el valor del trabajo y a mi familia por su fe. Demostrar que los sueños no tienen edad fue mi motor al entrar a la universidad tras cuatro décadas de historia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios; a la UAP y a la carrera Ingeniería Agroforestal por transformar mi experiencia empírica en ciencia. al CINTA por el espacio experimental y a mis docentes, asesores y tribunales por su guía y rigor científico. Este título demuestra que la perseverancia vence cualquier barrera económica y social.

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de dos reguladores de crecimiento, Ácido Indolbutírico (AIB) y Ácido Naftalenacético (ANA), en la tasa de enraizamiento y desarrollo radicular de esquejes de *Morus alba* L. bajo condiciones controladas. El objetivo fue determinar la concentración óptima de estas auxinas para alcanzar el máximo porcentaje de enraizamiento y su óptimo desarrollo morfológico. Para el análisis se aplicó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos de diferentes dosis de AIB y ANA y el control (T0). Se evaluaron variables como porcentaje de enraizamiento, número de raíces y longitud promedio de raíz., y los resultados se analizaron con el uso de pruebas no paramétricas de *Kruskal-Wallis* y análisis de varianza (ANOVA), para la comparación de medias se aplicó Bonferroni y Tukey respectivamente. Se determinó que el uso de enraizadores influyó de forma muy significativa en el desarrollo radicular de *Morus alba* L.. El tratamiento T1 (AIB; 1500 mg L⁻¹) fue el más eficiente al inducir en 100 % el enraizamiento, significativamente diferente al control (52.5 %). En cuanto a la morfología del sistema radicular, el tratamiento T2 (AIB; 1000 mg L⁻¹) fue efectivo al permitir la produciendo del mayor promedio de raíces por esqueje (71,25), lo cual fue significativamente superior en comparación con los demás tratamientos. No se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la determinación de la longitud de raíz, por tanto, la aplicación de las hormonas no influyó en su desarrollo y variabilidad, lo que indica que esta variable estuvo sujeta a factores distintos bien sea intrínsecos a su naturaleza o a las condiciones del entorno. En conclusión, el enraizador AIB fue más efectivo para optimizar el enraizamiento y se recomienda ampliamente para la propagación de la especie en la dosis de T1 (1500 mg L⁻¹). La dosis de T2 (1000 mg L⁻¹) se recomienda para aumentar la densidad radicular, un factor clave para establecer la morera en el campo y garantizar su supervivencia.

Palabra clave: AIB, ANA, auxinas, enraizamiento, *Morus alba* L., propagación vegetativa

ABSTRACT

This study evaluated the effect of two growth regulators, indolebutyric acid (IBA) and naphthaleneacetic acid (NAA), on the rooting rate and root development of *Morus alba* L. cuttings under controlled conditions. The objective was to determine the optimal concentration of these auxins to achieve the maximum rooting percentage and optimal morphological development. A completely randomized experimental design was used with six treatments of different doses of IBA and NAA, plus a control (T0). Variables such as rooting percentage, number of roots, and average root length were evaluated, and the results were analyzed using the non-parametric Kruskal-Wallis test and analysis of variance (ANOVA). Bonferroni and Tukey tests were used for mean comparisons. The study determined that the use of rooting agents significantly influenced the root development of *Morus alba* L. Treatment T1 (IBA; 1500 mg L⁻¹) was the most efficient, inducing 100% rooting, significantly different from the control (52.5%). Regarding root system morphology, treatment T2 (IBA; 1000 mg L⁻¹) was effective, producing the highest average number of roots per cutting (71.25), which was significantly higher compared to the other treatments. No statistically significant differences ($p > 0.05$) were observed in root length; therefore, the application of the hormones did not influence its development and variability, indicating that this variable was subject to various factors, either intrinsic to its nature or related to environmental conditions. In conclusion, the IBA rooting hormone was most effective in optimizing rooting and is highly recommended for propagating this species at the dose of T1 (1500 mg L⁻¹). The T2 dose (1000 mg L⁻¹) is recommended to increase root density, a key factor in establishing mulberry trees in the field and ensuring their survival.

Keyword: IBA, NAA, auxins, rooting, *Morus alba* L., vegetative propagation

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
1 Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.1 Problema general	3
1.2 Justificación del Tema de Investigación.....	4
1.3 Objetivos (generales y específicos)	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Hipótesis	5
1.4.1 Hipótesis nula (H ₀).....	5
1.4.2 Hipótesis alternativa (H ₁).....	5
2 Revisión Bibliográfica	6
2.1 Morera.....	6
2.1.1 Características de <i>Morus alba</i> L.....	6
2.1.2 Clasificación Taxonómica	6
2.1.3 Requerimientos del cultivo de morera	7
2.1.4 Propagación de la morera	7
2.2 Seguridad y potencial de <i>Morus alba</i> L. como forraje para el ganado.....	9
2.3 Hormonas vegetales y enraizamiento: énfasis en las auxinas.....	10
2.3.1 Ácido Indolbutírico (AIB)	10
2.3.2 Ácido Naftalenacético (ANA)	11
2.3.3 Interacción y sinergias de auxinas	11
2.4 Estudios previos sobre la aplicación de auxinas en el enraizamiento.....	11
2.5 Revisión crítica de la influencia del ácido Indolbutírico (AIB) y Ácido Naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de esquejes de <i>Morus alba</i> L.....	13
2.5.1 Contexto de la propagación de <i>Morus alba</i> L.....	13

2.5.2	Fundamentos fisiológicos y mecanismos de acción	14
2.5.3	Posturas sobre la eficacia de AIB y ANA en <i>Morus alba</i> L.....	15
2.5.4	Variables clave que modulan el enraizamiento de <i>Morus alba</i> L.....	18
2.5.5	Análisis crítico y síntesis	18
3	Materiales y Métodos.....	23
3.1	Ubicación del área de estudio	23
3.2	Tipo de investigación.....	23
3.3	Materiales.....	24
3.3.1	Material vegetal	24
3.3.2	Materiales y herramientas.....	25
3.3.3	Sustratos	25
3.3.4	Reguladores de crecimiento.....	26
3.3.5	Soluciones y solventes	27
3.3.6	Equipos de medición.....	27
3.3.7	Control de variables externas.....	27
3.4	Métodos	28
3.4.1	Procedimientos para recolección y preparación de esquejes	28
3.4.2	Procedimiento para tratamiento de esquejes con hormonas	29
3.4.3	Procedimiento para aplicación de las hormonas a los esquejes.....	30
3.4.4	Procedimiento para siembra de los esquejes.....	31
3.4.5	Métodos de recolección de datos y muestras.....	34
3.5	Método de análisis de laboratorio	35
3.6	Diseño de la investigación	35
3.6.1	Diseño experimental	35
3.6.2	Variables a evaluar.....	36
3.6.3	Análisis estadístico	38
4	Resultados.....	40
4.1	Control y seguimiento del estudio experimental	40
4.1.1	Monitoreo del desarrollo radicular	40
4.1.2	Descripción del vigor vegetativo de los esquejes de <i>Morus alba</i> L.	45
4.2	Verificación de supuestos de Normalidad y Homogeneidad de varianzas de datos.....	47

4.2.1	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk.....	48
4.2.2	Prueba de Homogeneidad de varianzas (Levene).....	49
4.3	Resultados de la verificación y selección de pruebas estadísticas.....	50
4.3.1	Variable Porcentaje de Enraizamiento.....	50
4.3.2	Variable Número de Raíces	50
4.3.3	Variable Longitud de raíces.....	51
4.4	Pruebas Kruskal-Wallis para variable porcentaje de enraizamiento	51
4.5	Análisis de varianza para variable número de raíces	53
4.6	Pruebas Kruskal-Wallis para variable longitud de raíces	54
5	Discusión	56
5.1	Efecto de los reguladores de crecimiento AIB y ANA en el enraizamiento de los esquejes	56
5.2	Cantidad de raíces.....	56
5.3	Longitud de raíz.....	57
6	Conclusiones y recomendaciones	59
6.1	Conclusiones.....	59
6.2	Recomendaciones	59
7	Bibliografía.....	61
8	Anexos	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables del esqueje y ambientales que modulan el enraizamiento	20
Tabla 2 Comparación de la eficacia de AIB y ANA en la propagación de <i>Morus alba</i> L.....	22
Tabla 3 Tratamientos experimentales.....	37
Tabla 4 Desarrollo vegetativo de esquejes de <i>Morus alba</i> L. 15 días después de la siembra.....	45
Tabla 5 Desarrollo vegetativo de esquejes de <i>Morus alba</i> L. 30 días después de la siembra.....	45
Tabla 6 Desarrollo vegetativo de esquejes de <i>Morus alba</i> L. 45 días después de la siembra.....	46
Tabla 7 Desarrollo vegetativo de esquejes de <i>Morus alba</i> L. 60 días después de la siembra.....	46
Tabla 8 Desarrollo vegetativo de esquejes de <i>Morus alba</i> L. 70 días después de la siembra.....	47
Tabla 9 Resultados enraizamiento de esquejes de <i>Morus alba</i> L.70 días después de la siembra .	47
Tabla 10 Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk	48
Tabla 11 Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk	49
Tabla 12 Prueba de Homogeneidad de varianzas (Estadístico de Levene)	50
Tabla 13 Prueba de Homogeneidad de varianzas (Levene)	50
Tabla 14 Prueba de Kruskal-Wallis para % Enraizamiento de esquejes.....	51
Tabla 15 Comparaciones múltiples mediante la corrección de Bonferroni para % enraizamiento	51
Tabla 16 Porcentaje de enraizamiento y rangos promedio de los tratamientos	52
Tabla 17 Análisis de varianza para No. raíces de esquejes	53
Tabla 18 Comparación de medias para No. raíces de esquejes (Prueba de Tukey)	53
Tabla 19 Prueba de Kruskal-Wallis para Longitud_raíz de esquejes.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de CINTA-UAP.....	23
Figura 2 Material vegetal. Esquejes.....	24
Figura 3 Sustratos.....	25
Figura 4 Esterilización de los sustratos.....	26
Figura 5 Auxinas ANA y AIB.....	26
Figura 6 Balanza analítica.....	27
Figura 7 Control de parámetros en las instalaciones.....	28
Figura 8 Transporte de esquejes.....	29
Figura 9 Preparación de soluciones hormonales.....	30
Figura 10 Solución de hormonas.....	30
Figura 11 Esquejes tratados con hormonas.....	31
Figura 12 Macetas listas para la siembra de esquejes.....	32
Figura 13 Siembra de los esquejes.....	33
Figura 14 Riego de los esquejes listos para iniciar experimento.....	33
Figura 15 Esquejes a 13 días después de la siembra.....	34
Figura 16 Parcela experimental.....	37
Figura 17 Unidad experimental.....	38
Figura 18 Monitoreo a los 15 días después de la siembra.....	40
Figura 19 Monitoreo a los 30 días después de la siembra.....	41
Figura 20 Monitoreo a los 45 días después de la siembra.....	42
Figura 21 Monitoreo a los 60 días después de la siembra.....	43
Figura 22 Monitoreo a los 70 días después de la siembra.....	44
Figura 23 Gráfico prueba de Kruskal-Wallis para % Enraizamiento.....	52
Figura 24 Gráfico comparación de medias para No. Raíces de esquejes.....	54
Figura 25 Gráfico prueba de Kruskal-Wallis para Longitud_raíz.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Preparación de los sustratos y macetas.....	66
Anexo 2 Selección de esquejes de <i>Morus alba</i> L.	66
Anexo 3 Preparación de las hormonas	67
Anexo 4 Siembra, preparación y progreso de los esquejes.....	67
Anexo 5 Ficha técnica de hormona AIB.....	68
Anexo 6 Ficha técnica de hormona ANA	69

1 Introducción

En un contexto global marcado por la presión sobre los sistemas agroalimentarios, el cambio climático y la necesidad de incrementar la productividad de manera sostenible, la propagación eficiente de especies forrajeras adquiere un papel estratégico. Las prácticas agroecológicas y las tecnologías de bajo impacto son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad y el fortalecimiento de sistemas productivos resilientes. La propagación vegetativa es una de las estrategias clave para conservar los genotipos que mejor se adaptan y de esta manera, asegurar el equilibrio en cultivos, además de acelerar la recuperación de áreas degradadas.

Es en este punto donde los reguladores de crecimiento vegetal, especialmente las auxinas sintéticas, entre estas el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA), constituyen una opción biotecnológica viable para optimizar los porcentajes de enraizamiento, en especial, la de especies leñosas de gran importancia agrícola y forestal. Su aplicación se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde se promueven sistemas de producción eficientes, inclusivos y restaurativos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s.f.).

Morus alba L. destaca por ser una especie estratégica e importante para la economía agrícola. Se usa mayormente en la producción de piensos puesto que sus hojas y tallos aportan gran cantidad de nutrientes en la alimentación del ganado bovino, caprino y ovino, sumado a que es una especie destacada por su alto rendimiento en producción de biomasa, digestibilidad, y perennidad frente al corte. El contenido proteico es una alternativa factible ante otros forrajes, sobre todo en las zonas donde los pastos son limitados. Adicionalmente se utilizan en la industria textil, farmacéutica y alimentaria, para la producción de suplementos a partir de sus frutos, hojas y corteza, hecho que viene impulsando su posicionamiento en mercados de productos naturales (Zapatier, et al., 2021).

La morera es un arbusto perenne que se propaga fácilmente de forma vegetativa, es de rápido crecimiento y con excelente respuesta a la poda constante y con brotes vigorosos. Tiene la capacidad de adaptarse a diversos tipos de suelo y manejo, incluyendo las limitantes para el riego y fertilización. Estas cualidades le permiten a la morera su implementación en sistemas de reforestación y conservación ambiental, favoreciendo la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas (Villalta et al., (2022).

La obtención de nuevas plantas con características deseables, a través de la técnica de propagación vegetativa usando esquejes, es básica en numerosas especies de interés agrícola y ambiental, pero puede presentar problemas debido a diferenciaciones en la capacidad de enraizamiento. Es cuando los reguladores de crecimiento vegetal como las auxinas sintéticas, AIB y ANA, entran a jugar un papel importante como técnica viable para inducir el desarrollo de las raíces y así garantizar el éxito en la propagación de la morera, optimizando su producción (Monteiro, et al., 2024).

El estudio a desarrollar tiene el propósito de evaluar la influencia del AIB y ANA en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L., analizando su efecto en el desarrollo de raíces y la viabilidad de la propagación vegetativa. Los resultados obtenidos permitirán establecer recomendaciones sobre el uso de estos reguladores de crecimiento en programas de propagación de la morera, contribuyendo a la optimización del cultivo y desarrollo económico del sector agropecuario.

1.1 Planteamiento del problema

En Pando la ganadería se enfrenta a la baja productividad de forrajes y escasa alimentación suplementaria que contribuyen a deficiencias nutricionales de los animales (Román y Flores, 2025). A esta situación se suman los elevados costos de alimentación en la ganadería que puede llegar a representar más del 62 % del gasto operativo de los ganaderos (Gómez, 2025). El problema recae en forma directa en los pequeños y medianos productores, que se dedican a la actividad ganadera para el consumo local, no poseen extensiones de tierra suficientes, la infraestructura ni los recursos para el cultivo de pastizales, gran parte de la tierra está cubierta por bosques en áreas protegidas (Gobierno Autónomo Departamental de Pando, 2023).

En todos los municipios de Pando se llevan a cabo actividades relacionadas con la ganadería como la crianza, mercadeo local y de autoconsumo, al considerarse una actividad insipiente, se restringe a 40.000 hectáreas de pastizales y requieren del suministro de alimentos para cubrir las necesidades de producción de 138.023 cabezas y aumentar la producción de leche que disminuyó en un 5,1 % (Sistema Integrado de Información Productiva [SIIP], 2025). Otros estudios revelan rendimientos en canal promedio de 52,7 %, un desempeño aceptable; sin embargo, es un rendimiento inferior a lo ideal que se asocia a factores como el estado nutricional y prácticas de manejo agropecuario (Avelar, 2025).

Desde una perspectiva de desarrollo sostenible, esta problemática afecta la disponibilidad de forrajes nutritivos para la producción animal, y es entonces que el uso de forrajes disponibles localmente, contribuye de manera significativa a disminuir los gastos asociados a la producción de proteínas animales para consumo humano. Por lo que se requiere de la promoción de prácticas agrícolas más eficientes, que permitan la conservación de estas especies vegetales adaptadas a diversas condiciones edafológicas y la restauración de los suelos, como aporte a la resiliencia climática.

La propagación de plantas a través de esquejes es una técnica ampliamente utilizada por el sector agrícola en la producción de individuos con las mejores condiciones para adaptarse a sustratos y ambientes. Sin embargo, la formación de las raíces va a depender de diferentes factores, entre estos la especie, las condiciones ambientales y la aplicación de reguladores de crecimiento. Esta técnica es fundamental para asegurar la disponibilidad de material vegetal de buena calidad, en especial en sistemas agrícolas que dependen de especies vegetales de rápido establecimiento y valor nutricional. Para *Morus alba* L., una planta importante en la obtención de forraje y en la diversificación de sistemas agroforestales sostenibles, la propagación a través de esquejes puede enfrentar retos a causa de la variabilidad en su capacidad de formar raíces.

Aunque se ha documentado el uso de muchos reguladores de crecimiento y en numerosas investigaciones se ha demostrado su eficacia en la optimización de los procesos de enraizamiento de diferentes variedades vegetales, particularmente no se han encontrado estudios relevantes sobre el uso de las auxinas como AIB y ANA, en la propagación de *Morus alba* L.. Se considera que es limitada, lo que ha creado un vacío de conocimiento sobre su eficiencia y las concentraciones óptimas para optimizar los procesos de enraizamiento. Sigue siendo poco explorada en contextos agropecuarios y esta falta de información técnica limita la adopción de prácticas de propagación más efectivas por parte de productores, viveristas y técnicos del sector rural.

Por tanto, este vacío de conocimiento en sistemas agropecuarios, restringe el aprovechamiento del potencial productivo de *Morus alba* L. y su contribución a la sostenibilidad del sector. Abordar esta necesidad permitirá fortalecer la base forrajera, mejorar la resiliencia de los sistemas ganaderos y aportar soluciones concretas a los desafíos del desarrollo rural sostenible.

1.1.1 Problema general

¿Cómo influyen las diferentes concentraciones de Ácido Indolbutírico (AIB) y Ácido Naftalenacético (ANA) en el número de raíces, longitud promedio de raíces y porcentaje de

enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L. bajo las condiciones controladas en el Centro de Investigación de Nuevas Tecnologías para la Amazonía, CINTA?

1.2 Justificación del Tema de Investigación

La propagación vegetativa por medio de esquejes es un método muy utilizado en especies de interés agrícola y, tomando en cuenta que *Morus alba* L. es de especial importancia en la obtención de forrajes, la optimización de su propagación contribuirá al aumento de su disponibilidad y mejoramiento del cultivo. Sin embargo, el enraizamiento de esquejes puede verse afectada por diferentes factores, entre ellos la disponibilidad de reguladores de crecimiento como el AIB y el ANA.

La propagación vegetativa de especies agrícolas aplicada en forma eficiente, permite la obtención de cultivos con características óptimas y de calidad, todo en beneficio de los productores agropecuarios, tomando en cuenta que se reducen los costos y se optimiza la producción de cultivos importantes desde el punto de vista comercial. La morera también es importante en la reforestación y conservación de los suelos al ser un cultivo que se adapta fácilmente a condiciones ambientales diversas.

El uso de auxinas AIB y ANA en el enraizamiento de *Morus alba* L. amplía el conocimiento sobre su aplicación en la propagación vegetativa de la especie y es replicable a otras especies de interés agrícola. Además, los resultados contribuyen al conocimiento científico y podrán ser utilizados como referencia para futuras investigaciones en el área agropecuaria.

Una eficiente propagación de la morera favorece su comercialización en la producción de forraje y en la industria de alimentos, aumentando los ingresos para los productores, lo cual se traduce en una mejora económica. Este estudio suministra información fundamental para mejorar el proceso de enraizamiento de *Morus alba* L. con el uso de auxinas sintéticas, y causa un impacto positivo para la producción agrícola, conservación del medio ambiente y sus recursos así como el desarrollo sostenible en la zona.

En este sentido, la importancia de este estudio radica en mejorar las estrategias de propagación vegetativa de morera para su uso agropecuario, por lo que se hace necesario determinar el efecto del AIB y ANA en el enraizamiento de sus esquejes, identificando las variables del desarrollo radicular óptimo. Los resultados de esta investigación científica vienen a cerrar una brecha de conocimiento que limita su aplicación en proyectos de producción y sostenibilidad

agrícola, establecen recomendaciones prácticas para mejorar la propagación de la morera y contribuir al mejoramiento de su cultivo.

1.3 Objetivos (generales y específicos)

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la influencia del ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L. analizando su efecto sobre la tasa de enraizamiento y el desarrollo radicular.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento (AIB y ANA) a los esquejes de *Morus alba* L., determinando una dosificación controlada y precisa.
- Evaluar las características morfológicas del desarrollo radicular, incluyendo el número de raíces, longitud promedio de raíces y porcentaje de enraizamiento en esquejes tratados con reguladores de crecimiento (AIB y ANA).
- Determinar la concentración óptima de AIB y ANA que maximice la eficiencia de enraizamiento de *Morus alba* L.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula (H_0)

El uso de AIB y ANA no tiene efectos significativamente distintos en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L. en comparación con esquejes sin tratamiento. Es decir, no hay diferencia en la tasa de enraizamiento o el desarrollo radicular entre los esquejes tratados y los no tratados.

1.4.2 Hipótesis alternativa (H_1)

El uso de AIB y ANA tiene efectos significativamente distintos en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L., aumentando la tasa de enraizamiento y/o favoreciendo el desarrollo radicular en comparación con esquejes sin tratamiento. La aplicación de AIB y ANA incrementa el porcentaje de esquejes enraizados en comparación con esquejes sin tratamiento hormonal.

2 Revisión Bibliográfica

2.1 Morera

El género *Morus* de la familia Moraceae generalmente se cultiva para aprovechamiento de su follaje y sus frutos que también son comestibles. Es una planta leñosa con flores de las más avanzadas y de las cuales se reconocen 150 especies. Para este género son 68 especies de más de cien cultivares y distribuidos en el continente asiático, de estos 24 se encuentran en China y 19 en Japón. Se distribuyen extensamente las especies *Morus alba* L. (morera blanca), *Morus nigra* L. (morera negra) y *Morus rubra* L. (morera roja) (Rafeeq et al., 2020).

Morus alba L. es una especie que adapta a regiones templadas cálidas y subtropicales de Asia, África, Europa y América. Y es un árbol que crece rápidamente, pero una muy corta vida. Se aprovecha toda la planta por su elevada tasa de producción de biomasa que se renueva ampliamente en sus ramas, brotes, follaje y frutas. Se utiliza para alimentar el gusano de seda *Bombyx mori*, las frutas de morera se consumen frescas o se procesan para obtener conservas como mermeladas, jugos y bebidas alcohólicas. Se destina a la elaboración de forrajes para alimentación animal, nutritivo, muy aceptado y digerible (Rafeeq, et al., 2020).

2.1.1 Características de *Morus alba* L.

Es un arbusto de tronco recto y cilíndrico de 10 a 20 metros de alto, de corteza agrietada y rugosa de coloración marrón a gris oscuro, de savia blanca amarillenta. Se presentan dos filas de hojas verde claro y brillante, ovaladas y un trilobal dentado y palmero simple con tres venas basales. La floración es en espigas con flores unisexuales verdosas y de cuatro pétalos libres como escamas; posee cuatro estambres en forma de pistilo. Sueltas en racimos colgantes como amentos que aparecen en la primavera. Los frutos o drupas pequeñas de blanco a rosa pueden ser rojos, morados o negros y presentan diminutas semillas amarillas o marrón que maduran a inicio de verano, son sincárpico carnosos de 5 centímetros de longitud (El Saber Batiha, et al., 2023).

2.1.2 Clasificación Taxonómica

El Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS) (2025) reporta la siguiente jerarquía taxonómica y nomenclatura para *Morus spp.*:

Reino: Plantae

Subreino: Viridiplantae

Infrareino: Streptophyta

Superdivisión: Embryophyta

División: Tracheophyta

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Magnoliopsida

Superorden: Rosanae

Orden: Rosales

Familia: Moraceae

Género: *Morus* L.

Especies comunes:

Morus alba (morera blanca)

Morus nigra (morera negra)

Morus rubra (morera roja)

2.1.3 Requerimientos del cultivo de morera

Las plantas de morera se adaptan muy bien a sustratos de pH bajo (ácido), pero en suelos ricos en nutrientes se desarrollan favorablemente. El manejo agronómico no es exigente solo requiere un mínimo de atención con fertilización equilibrada, rica en materia orgánica y riego constante para inducir el desarrollo de biomasa. La densidad de siembra es de 555 a un millón de plantas por hectárea, aunque en la producción forrajera se puede manejar una mayor densidad. Sin embargo, se pueden presentar problemas de competencia entre plantas, tallos débiles, plantas de bajo tamaño, y formación de raíces (Ontivero-Vasallo, 2021).

La morera se adapta a climas extremos, pero se deben cuidar a las plantas en desarrollo cuando las temperaturas son bajas. Se debe podar para darle presentación aérea, aumento de las ramas, frutas y semillas, además se disminuye el desarrollo apical para darle al cultivo mayor productividad al eliminar ramas caducas e incrementar el desarrollo del follaje. Se recomienda una siembra a profundidad con buen drenaje. (Kien et al., 2020).

2.1.4 Propagación de la morera

Para la reproducción de morera por semillas, se debe tener extremo cuidado debido a su pequeño tamaño, la siembra se realiza muy superficial y existe el peligro de que las aguas de lluvia o el riego las arrastre. Su propagación por estacas va a depender de la forma de colocarlas bien sea horizontal o vertical, el tamaño, grosor, número de nudos y edad de la planta de origen. Es recomendable que las estacas posean dos nudos y un diámetro de entre 1 y 6 centímetros (Ontivero-Vasallo, 2021).

La propagación vegetativa a través de esquejes se recomienda para dar continuidad a variedades genéticas de especies que han dado buenos resultados. Igualmente, para que el proceso de enraizado sea exitoso, se deben tomar en cuenta el genotipo, la madurez de origen y las condiciones edafológicas del ambiente donde se plantarán.

2.1.4.1 Propagación vegetativa mediante esqueje. Los esquejes son recortes vegetales que se utilizan con propósitos reproductivos, constituyen una técnica de propagación vegetativa o asexual, por lo que se da sin producción de esporas ni semillas. Se consideran para la técnica trozos de tallo, yemas segmentos de raíz, y en algunos casos se consideran las hojas de suculentas. Los esquejes en colocados en sustratos húmedos y condiciones óptimas para su desarrollo, brotan las raíces y el vegetal crece y se desarrolla como una nueva planta con las mismas características genéticas de la planta de origen (Flores, 2023).

El proceso de enraizamiento adventicio consiste en la formación de raíces por medio de tejido vegetal como tallos, yemas, y hojas para la obtención de una nueva planta. Se pueden observar las siguientes fases de desarrollo:

a) Inducción. Se inicia el proceso con la diferenciación de células parenquimáticas del tallo que son capaces de formar primordios radiculares. Son esenciales para que esta fase se lleve a cabo con éxito factores endógenos como las hormonas y nutrientes, y los elementos ambientales o exógenos como luz, temperatura y humedad.

b) Iniciación. Los primordios radiculares se comienzan a formar una vez que las células inducidas se empiezan a dividir y a organizarse y empiezan a salir raíces hacia la base del esqueje.

c) Crecimiento. Comienza la elongación de los primordios radiculares y comienzan a emerger a través del tejido cortical, para dar paso a las raíces adventicias.

2.1.4.2 Factores que influyen en el enraizamiento. En el proceso de enraizamiento se deben considerar múltiples factores, entre los cuales se tienen (Polo y Urieta, 2024):

- Los esquejes de brotes jóvenes o semileñosos enraízan mejor.
- La nutrición y salud de la planta madre.
- Monitorear temperatura, humedad relativa, radiación solar y calidad del sustrato.
- Disponibilidad de nutrientes, en especial los relacionados en la síntesis de hormonas de crecimiento.
- Porcentaje de esquejes que desarrollen raíces en el tiempo determinado.
- Número, longitud y biomasa de las raíces que se forman

2.2 Seguridad y potencial de *Morus alba* L. como forraje para el ganado

Morus alba L. o morera blanca, es muy reconocida y usada como especie forrajera de valor nutricional en la alimentación de ganado como bovinos, ovinos y caprinos en diferentes zonas del mundo. Se incluye en la dieta de los animales por su alto contenido de proteína bruta que se presenta entre 15 % y 18 % y aminoácidos esenciales que respaldan su potencial beneficio para la salud animal (Delis et al., (2025).

La literatura científica y prácticas ganaderas a nivel global certifican que *Morus alba* L. no presenta toxicidad significativa para los animales cuando se les suministra en las cantidades adecuadas y en forma equilibrada. Se destaca el hecho de que las hojas de morera son altamente palatables, con valores de digestibilidad entre el 70 % y el 90 %, lo cual favorece el consumo por parte de los animales.

El perfil nutricional de la morera es potenciado por la presencia de compuestos bioactivos como flavonoides, taninos y alcaloides, los cuales se suman a los beneficios en la salud del animal por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Entre los beneficios se ha observado que los flavonoides de la hoja de morera regulan en forma positiva el microbioma ruminal, permitiendo la correcta digestión de la fibra, aumentando la producción de ácidos grasos como el propionato y reducción de las emisiones entéricas de metano, lo que se traduce en una producción animal más sostenible (Wang et al., 2022). Algunos estudios sugieren un efecto antihelmíntico que podría ayudar a reducir la carga parasitaria gastrointestinal en rumiantes. Las especies *Morus alba* L., *Morus serrata* L. y *Morus laevigata* L. destacan por su notable capacidad antihelmíntica y antimicrobiana, siendo *Morus alba* L. la que demuestra mayor efectividad entre ellas (Maqsood et al., 2022).

Si bien, como con cualquier forraje, un suministro excesivo o desequilibrado podría generar ajustes en la flora ruminal, la vasta mayoría de las investigaciones actuales y la experiencia en campo indican que la morera es una opción forrajera segura y altamente ventajosa. Por lo tanto, cualquier preocupación sobre su toxicidad es generalmente infundada, y su propagación y uso promueven la resiliencia de los sistemas ganaderos al proporcionar una fuente de alimento de calidad, especialmente en períodos de escasez de pastos o para la sustitución de concentrados comerciales, mejorando así la sostenibilidad y rentabilidad de las explotaciones (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario, 2024).

2.3 Hormonas vegetales y enraizamiento: énfasis en las auxinas

Para Flores (2023) las hormonas vegetales o fitohormonas son agregados orgánicos que producen los vegetales para regular sus procesos fisiológicos a concentraciones muy bajas, principalmente a nivel celular. Generalmente alteran y permiten regular el crecimiento. Para el enraizamiento son relevantes las auxinas.

Una auxina endógena o natural es el ácido indolacético (AIA), que se produce en los meristemas apicales de brotes jóvenes y hojas en desarrollo. Esta hormona se transporta de forma polar hacia la base del tallo, donde se desempeña principalmente en la diferenciación celular y la formación de raíces. Una concentración adecuada de estas auxinas en la base de los esquejes es primordial para dar inicio al proceso de enraizamiento.

Los reguladores constituyen compuestos sintéticos que se producen de otros organismos y son una variedad de los equivalentes naturales. Su aplicación requiere la consideración de elementos esenciales en la reproducción vegetal como fertilización, sensibilidad del cultivo, factores que pueden afectar el uso de estos compuestos y regulan su concentración. Estos reguladores sintéticos se convierten en una útil herramienta para el control del crecimiento de los vegetales (Flores, 2023).

Los enraizadores se elaboran a base combinación de hormonas concentradas como las auxinas, a las cuales se les adicionan otros elementos requeridos para propiciar el crecimiento radicular como nitrógeno, fósforo entre otros elementos como vitaminas. Estas fitohormonas se aplican a los cultivos donde se observa deficiente desarrollo radicular, haciéndolas más resistentes y robustas como garantía para el desarrollo idóneo de la planta (Mendez, 2023). Las auxinas sintéticas se usan por ser más estables y persistentes que las auxinas endógenas, este estudio considera las siguientes auxinas:

2.3.1 Ácido Indolbutírico (AIB)

Ampliamente reconocido como una de las auxinas sintéticas más efectivas para promover el enraizamiento de una gran variedad de especies. Se cree que el AIB se convierte lentamente en AIA dentro de la planta, liberándolo de manera gradual y prolongada. Regula eficazmente la división celular y su crecimiento, controla la biosíntesis de etileno, actúa en la diferenciación del tejido vascular y crecimiento de las hojas, interviene en la dominancia apical y el cuaje de los frutos (Sourati, et al., 2022).

2.3.2 *Ácido Naftalenacético (ANA)*

De origen sintético, que necesita ser aplicada en concentraciones muy precisas y por ser más fitotóxica que el AIB cuando se usa excesivamente. Su forma de actuar es semejante a las auxinas endógenas, propiciando la división y elongación celular, lo que permite la formación de nuevas capas ayudando a la producción del sistema radicular de la planta. Se usa generalmente en la propagación vegetativa por estacas, para el enraizamiento de esquejes de frutales para el aumento en el rendimiento de la cosecha. La dosis a utilizar depende del cultivar y en algunos se utiliza para evitar la caída de las flores y aumento en el tamaño de los frutos (Mendez, 2023).

2.3.3 *Interacción y sinergias de auxinas*

La combinación de auxinas como el AIB y ANA son capaces de generar un efecto sinérgico que optimice la tasa de enraizamiento y el desarrollo de las raíces de las plantas. Las auxinas realzan las cualidades genéticas que están relacionadas con la inducción de las raíces, la circulación de macro y micronutrientes resistencia al estrés. Al aplicar de forma exógena auxinas AIB y ANA se complementa el nivel de auxinas en la base de los esquejes, induciendo el desarrollo de raíces adventicias. La concentración de los productos y la técnica de aplicación son cruciales en la tasa de enraizamiento del cultivo. Cada cultivo responde de manera diferente ante los tratamientos de fitorreguladores, es por ello que la sinergia de estos compuestos optimiza los protocolos de propagación de los vegetales (Pillacela y Capa, 2020).

2.4 **Estudios previos sobre la aplicación de auxinas en el enraizamiento**

Monteiro et al. (2024) evaluaron el efecto del ácido indolbutírico AIB en concentraciones de 500, 1000 y 1500 mg/L en comparación con un enraizador comercial al 10 % v/v y un control. Los productos se usaron en esquejes de *Morus alba* L. variedad *Miura* recolectados de diferentes partes de la planta (apical, media y basal). El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero durante 70 días y se determinó que los enraizadores favorecieron las cualidades morfoagronómicas evaluadas para todos los esquejes tomados de las diversas partes de la planta. Concluyeron que concentraciones de 500 a 1000 mg/L de AIB son recomendables para los esquejes tomados de la parte basal, los cuales reportaron los valores más altos en los parámetros medidos como el diámetro de los esquejes, número de nudos, número de brotes, número de hojas, longitud de raíz, y masa radicular fresca y seca. Estos resultados ayudan a establecer estrategias que optimicen la producción de morera blanca.

Schaffer et al. (2023) realizó una evaluación del enraizamiento de esquejes de mora usando auxina con diferentes posiciones de estos en el entutorado. El experimento consistió en un diseño DBA (4x5) tratando 20 esquejes de 25 cm en el sustrato con bioplan[®] colocándolas en posición normal e invertidas en combinación con la aplicación o no del producto ácido indolbutírico (Hormona AIB) en dosis de 2000 mg/Kg. Transcurridos 90 días se evaluaron y se determinó que el enraizamiento es normal en posición normal o invertida y que la hormona AIB no causó efecto en el desarrollo de la parte superior de los esquejes de mora.

Gómez-Kosky et al. (2022) llevó a cabo una investigación para implementar estrategias de propagación del cultivo de *Morus alba* L., *Tithonia*, *Cratylia* y la forrajera King grass CT-115 a partir de estacas, semillas botánicas y biotecnológicas. Los resultados arrojaron protocolos eficaces al 95 % de brotación y enraizamiento de estacas a partir de las plantas madre de morera criolla, usando bioestimulantes VIUSID-Agro Fitomás-E y Bioenraíz.

Muicela y Vázquez (2023) evaluaron el efecto de dos auxinas ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA) en cuatro dosis de 0,500, 1000 y 2000 mg/L en el enraizamiento de *Macleania rupestris* en un periodo de 90 días en condiciones controladas de humedad y temperatura. Se determinó el porcentaje de enraizamiento, cantidad de raíces por estaca, tamaño de las raíces y el porcentaje de microestacas viables. Los autores reportaron que las microestacas semileñosas dieron mejor respuesta de enraizamiento con un 6,67 % comparado con las estacas de consistencia herbácea de 0,83 %. En cuanto a las auxinas utilizadas, las estacas tratadas con ANA dieron el mejor resultado utilizando 500 mg/L, con un 13,3 % de microestacas enraizadas.

Polo y Urieta (2024) llevaron a cabo una investigación para mejorar las técnicas de propagación de vástagos del arbusto *Tithonia diversifolia* con la aplicación de fitohormonas. Se utilizó el producto enraizador RADIX 35 % TB en dosis de 750, 1000 y 1500 ppm de IA, el cual se aplicó por inmersión en el extremo basal de las estacas de 50 centímetros provenientes de ramas de un año en comparación con un testigo. Se sembraron y se determinó el número de raíces de primero, segundo y tercer orden, número de yemas que brotaron a los 45 días contados después de la siembra. Los resultados revelaron que concentraciones de 1000 ppm de RADIX 35 % IA, dieron los mejores resultados en la producción de raíces de primer orden y segundo orden. y tercer orden las dosis de 750 ppm dio los mejores resultados. En la formación de brotes el enraizador con dosis de 1000 ppm de IA presentó el mayor número.

Queda establecido que las fitohormonas son compuestos orgánicos que regulan procesos fisiológicos de los cultivos a bajas concentraciones. En cuanto a la propagación vegetativa, las auxinas son fundamentales para la rizogénesis adventicia. Mientras que el ácido indolacético (AIA) es la auxina endógena primaria, su inestabilidad metabólica y fotolabilidad han incentivado a la investigación a revisar el efecto de reguladores de crecimiento sintéticos como el Ácido Indolbutírico (AIB) y el Ácido Naftalenacético (ANA).

En este contexto, existe una discusión técnica sobre cuál es el regulador más eficiente. Se tiene que AIB es muy recomendado para la propagación convencional por su baja movilidad, lo que permite su acumulación localizada en la base del esqueje (Paz, 2023). Por otro lado, ANA destaca por ser más potente, aunque puede existir un riesgo de fitotoxicidad si no se utilizara dosis precisa.

2.5 Revisión crítica de la influencia del Ácido Indolbutírico (AIB) y Ácido Naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L.

La revisión busca analizar y evaluar críticamente las corrientes teóricas vigentes sobre el efecto del ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenoacético (ANA) en el proceso de enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L. Se abordan los resultados de estudios recientes con el fin de identificar las líneas de discusión predominantes y establecer un marco conceptual sólido. Además del tratamiento de la información obtenida, se comparan los hallazgos, se evalúan las variables que influyen en las diferencias observadas y constituyen una base teórica sólida para la interpretación de investigaciones a futuro.

2.5.1 Contexto de la propagación de *Morus alba* L.

La especie *Morus spp.*, en especial *Morus alba* L., es de importancia agrícola y económica que destaca a nivel global. Su principal utilidad se asocia con la alimentación del *Bombyx mori*, insecto clave en la producción de seda, convirtiéndola en un elemento primordial dentro del sector sericícola. Además de su rol en esta industria, la morera ha sido reconocida por su capacidad como fuente forrajera en zonas tropicales, lo que plantea la necesidad de implementar estrategias de propagación eficaces y escalables que permitan responder a la creciente demanda de biomasa (Zapatier, et al., 2021).

Tradicionalmente, la multiplicación de esta especie se ha llevado a cabo mediante técnicas vegetativas como el uso de estacas, acodos e injertos. Estos métodos han sido preferidos frente a la reproducción por semillas, ya que permiten conservar la homogeneidad genética de los cultivos

y mantener genotipos seleccionados por atributos como el vigor vegetativo o el rendimiento en biomasa. Sin embargo, pese a sus beneficios, estas prácticas presentan ciertas limitaciones, entre ellas un desarrollo radicular insuficiente, bajos porcentajes de enraizamiento y una elevada tasa de mortalidad en las plántulas, lo que dificulta su aplicación en esquemas de producción a gran escala (Gergoff et al., 2023).

La producción de plántulas de *Morus alba* L. puede mejorarse de forma significativa por medio del empleo de enraizadores sintéticos, esto con el propósito de hacer frente a las limitaciones que presentan los métodos convencionales de propagación. En este contexto se presentan las auxinas como el AIB y el ANA, agregados fitohormonales muy reconocidos por su efectividad en el desarrollo de raíces adventicias. El uso de estos reguladores de crecimiento radica en su potencial para incrementar el enraizamiento eficaz y favorecer el desarrollo de raíces más fuertes, permitiendo al cultivo responder de una manera favorable a los mecanismos de reproducción vegetativa de la especie (Monteiro et al., 2024).

2.5.2 Fundamentos fisiológicos y mecanismos de acción

2.5.2.1 Eje hormonal de la auxina. Las auxinas constituyen una clase de fitohormonas que intervienen en diversos procesos fisiológicos esenciales, incluyendo la elongación celular y la formación de estructuras radiculares. Aunque el ácido indolacético (AIA) representa la forma natural más investigada dentro de este grupo, derivados sintéticos como el AIB y ANA han adquirido un uso extendido en contextos agrícolas y científicos, principalmente por su mayor estabilidad química y eficacia en la estimulación del crecimiento vegetal (Mendez, 2023; Sourati, et al., 2022).

Las auxinas actúan a nivel celular de dos formas conforme a la respuesta fisiológica de la planta, la primera es de inmediato, una respuesta ácida que ocurre en pocos minutos y está asociada a la activación de bombas de protones (H^+ -ATPasa) en la membrana plasmática. Esto genera una acidificación de la pared celular que facilita la acción de enzimas como las expansinas, las cuales modifican la estructura de la pared para permitir la elongación celular (Alvarado, 2024). La segunda respuesta es tardía y se produce en un lapso de horas para la regulación de la expresión génica, impulsando la síntesis de nuevos elementos que forman parte de pared celular. Sumado a estos mecanismos, ocurre el transporte polar de auxinas por los tejidos vegetales, crucial en la formación de gradientes de concentración que conducen a los procesos de desarrollo celular y diferenciado, en especial en las raíces (Bustillo, 2022).

El ácido indolbutírico (AIB) es superior en comparación con el ácido indolacético (AIA), y en algunos casos frente al ácido naftalenacético (ANA), gracias a sus propiedades fisiológicas diferenciadas. El AIB es más fotoestable y resistente a la acción de los microorganismos comparado con el AIA, por lo que permanece activo en los tejidos del esqueje por más tiempo sin que la radiación solar y la actividad bacteriana lo afecten (Paz, 2023). En este sentido, investigaciones han demostrado que el AIB es de menor movilidad en comparación con el AIA, lo que permite que se acumule en la base del esqueje, especialmente en la zona donde se comienzan a formar las raíces adventicias. Al combinar su estabilidad prolongada y baja translocación del AIB, le da una ventaja funcional, una acción localizada y sostenida que garantiza su efectividad en el proceso de propagación de *Morus alba* L. (Velasco, 2022).

2.5.2.2 Interacción hormonal y la complejidad de la rizogénesis. El proceso de enraizamiento está regulado por una compleja interacción con otras fitohormonas por lo que no depende exclusivamente de la acción de las auxinas. Está demostrado que las auxinas se relacionan funcionalmente con las giberelinas (GA) y las citocininas (CKs), por ejemplo, en el meristemo radicular, las concentraciones elevadas de auxinas estimulan el desarrollo celular. Por otro lado, las citocininas regulan el transporte y la señalización auxínica para favorecer la diferenciación celular. Esta interacción y equilibrio hormonal es esencial para el crecimiento y desarrollo óptimo de las raíces (Amador, 2023).

Dos Santos et al. (2023) documentó la aparición de efectos fitotóxicos relacionados con la aplicación en exceso de auxinas. Una dosis elevada de auxina exógena puede llegar a estimular la producción de etileno, fitohormona que se relaciona con respuestas de estrés, que al incrementarse llega a ocasionar consecuencias adversas al desarrollo vegetal, e incluir necrosis tisular. El antagonismo del etileno constituye un desequilibrio hormonal que va en contra de las funciones beneficiosas de las auxinas, y se traduce en síntomas que se pueden visualizar en marchitamiento, clorosis y la disminución significativa en la tasa de supervivencia. Estas alteraciones fisiológicas permiten entender los mecanismos de la fitotoxicidad y destaca la importancia de una dosificación idónea en el uso de reguladores de crecimiento.

2.5.3 Posturas sobre la eficacia de AIB y ANA en *Morus alba* L.

2.5.3.1. El AIB como el promotor de enraizamiento superior y confiable. Diversos estudios coinciden en señalar al ácido indolbutírico (AIB) como el agente más eficaz y consistente en la inducción de raíces durante la propagación de *Morus alba* L. Esta afirmación se sustenta en

una base experimental sólida que demuestra que el AIB no solo incrementa significativamente el porcentaje de enraizamiento, sino que también contribuye a la formación de sistemas radiculares más desarrollados y funcionales.

Estudios realizados sobre *Morus alba* L. demuestran como diferentes concentraciones de AIB, dosis de 500 mg.L⁻¹ a 1.000 mg.L⁻¹, generan resultados óptimos y superiores en longitud de raíz más larga y masa radicular fresca. Estos valores superan significativamente los obtenidos en el grupo control y en tratamientos con otras concentraciones (Monteiro, et al., 2024). En otro estudio complementario, se evaluó el enraizamiento de esquejes de morera con el uso de hormona ácido indolbutírico (AIB) en dosis de 2000 mg.Kg⁻¹ y variando la posición del esqueje al momento del entutorado. se observó que colocándolas en posición normal e invertidas en combinación con la aplicación o no del producto, transcurridos 90 días se evaluaron y se determinó que el enraizamiento es normal en posición normal o invertida.

Los datos confirman la efectividad del AIB en la propagación vegetativa de la especie y permiten establecer que la dosis es funcional y no causa toxicidad. Las medias de los tratamientos en esquejes con hormona AIB fueron superiores en los parámetros medidos como masa de raíz verde y seca, aun cuando estadísticamente resultaron iguales (Schaffer et al., (2023). Desde el punto de vista fisiológico, su eficacia se atribuye a su alta estabilidad, baja movilidad y capacidad de mantener una acción localizada y sostenida en la zona de formación radicular.

2.5.3.2. El ANA como una alternativa viable y altamente eficaz en contextos específicos. Esta perspectiva cuestiona la presunta superioridad del AIB, al posicionar al ANA como una opción válida e incluso más eficiente en determinados escenarios. Aunque la información sobre la propagación convencional en *Morus alba* L. es limitada, un estudio realizado en una especie comparable (*H. australis*) evidenció que el ANA indujo el porcentaje más elevado de enraizamiento en estacas apicales (80,00 ± 14,14 %) y subapicales (84,00 ± 16,73 %), evidenciando una respuesta significativamente favorable en ambos tipos de esquejes y superando los resultados obtenidos con el AIB (Ríos et al., 2022). De la misma forma que lo terminó Muicela y Vázquez (2023) en el enraizamiento de *Macleania rupestris*, tratada con ANA dieron el mejor resultado utilizando 500 mg/L, con un 13,3 % de microestacas enraizadas.

La propagación in vitro constituye la fuente más sólida de respaldo para el uso del ANA como regulador de crecimiento. En un estudio aplicado a *Morus alba* L. cultivar Kanva 2, se observó que el mayor nivel de enraizamiento se alcanzó en medios de cultivo enriquecidos con

1 mgL⁻¹ de ANA. La concentración utilizada dista notablemente de las utilizadas en la propagación convencional, la cual aplica dosis en rangos de miles de mg/kg, lo que destaca la eficiencia de cantidades mucho menores en condiciones controladas (Viquez, 2018).

Existe una diferencia entre las dosis óptimas del AIB en la propagación convencional (2000 mg.Kg⁻¹) y del ANA en sistemas *in vitro* (1 mg/L), la cual no es contradictoria respecto a su eficacia, por lo tanto, es una evidencia de la dependencia a los fitorreguladores. Bajo un ambiente *in vitro*, existe un entorno estéril, control riguroso de los nutrientes y no se presentan factores de degradación biológica y lumínica que permiten una mejor estabilidad hormonal, por lo que las concentraciones más bajas son justificadas. Por lo tanto, la evaluación de la auxina va en función del método de propagación utilizado y la variedad de *Morus* utilizada.

2.5.3.3. La dosis y la sinergia como factores críticos que mitigan la discusión. La tercera perspectiva articula los enfoques previos y plantea que la eficacia en el enraizamiento depende fundamentalmente de una dosificación precisa, la interacción sinérgica entre reguladores de crecimiento y las condiciones específicas del sistema de propagación. El proceso de enraizamiento no responde de manera lineal al incremento de la concentración de auxinas, sino que se rige por un umbral fisiológico, una dosis óptima funcional y un punto crítico a partir del cual se manifiestan efectos fitotóxicos.

En estudios más antiguos para *Morus alba* L., evidenciaron que concentraciones de AIB de 2500 ppm producen efectos comparables a las de 7500 ppm, lo que sugiere la existencia de un umbral de saturación en la respuesta fisiológica (Boschini y Rodríguez, 2002). Esta tendencia también ha sido confirmada en otras especies, como *Nothofagus nervosa*, donde 5000 ppm de AIB representaron la dosis óptima, mientras que 15000 ppm provocaron una disminución significativa en la respuesta y un incremento en la mortalidad de las estacas (Rolón et al., 2012). En otra investigación actual de enraizamiento de *Morus alba* L. de la variedad criolla, se demostró la eficiencia del ácido indolbutírico a una dosis de 2000 mg·kg⁻¹, aplicada a estacas de 30 cm y diámetro entre 2,5 y 3,5 cm. Este resultado respalda su viabilidad para ser incorporada en sistemas silvopastoriles (Moratinos et al., 2020).

Por otro lado, se tiene que la utilización conjunta de auxinas puede resultar más eficiente que la aplicación individual de cada una. Durante 120 días se aplicó dos veces por semana mediante el riego, los enraizadores ácido naftalenacético 0.02% (ANA) y ácido indol butírico 3.92 % (AIB) en comparación con uno de origen natural, agua de coco 6 % y extracto de sauce 30 %. El mayor

porcentaje de desarrollo radicular se obtuvo con AIB y ANA. Aunque en este caso la sinergia no incrementó de manera significativa el rendimiento, evidencia que la combinación hormonal constituye una estrategia valiosa para mejorar la respuesta en variedades con baja sensibilidad a una única auxina.

2.5.4 Variables clave que modulan el enraizamiento de *Morus alba* L.

La revisión bibliográfica indica que, más allá de la dosis y el tipo de auxina, diversos factores internos y externos de la planta condicionan la efectividad del proceso de enraizamiento.

2.5.4.1. Especie y variedad de *Morus spp.* La habilidad para enraizar presenta variaciones intrínsecas entre las distintas especies y variedades del género *Morus spp.* Entre los factores que influyen se encuentran la edad de la rama de origen del esqueje y la posición del mismo dentro de la rama (apical, medial o basal). Estudios indican que los esquejes con 112 días de desarrollo y aquellos procedentes de las secciones medial y basal exhiben una mayor capacidad de enraizamiento en comparación con los extraídos de la zona apical (Monteiro, et al., 2024).

2.5.4.2. Impacto del sustrato y las condiciones ambientales. El tipo de sustrato utilizado para plantar los esquejes representa un factor determinante en el éxito del enraizamiento. Diversos estudios indican que los sustratos que combinan una adecuada aireación con buena capacidad para retener humedad, como la arena pura o mezclas de tierra y arena, favorecen un desarrollo radicular óptimo (Ríos et al., (2022)). La textura del suelo está directamente relacionada con su capacidad de retención hídrica, lo que implica que en suelos más arenosos es necesario incrementar la frecuencia de riego para prevenir el estrés por déficit de agua. Asimismo, la propagación vegetal depende de manera crítica de condiciones ambientales controladas, tales como la humedad relativa y la intensidad de la luz, factores esenciales para la viabilidad y supervivencia de las plántulas, particularmente durante la etapa de aclimatación posterior a la propagación *in vitro* (González-Carnero et al., 2020).

2.5.5 Análisis crítico y síntesis

El análisis sobre cuál auxina es superior, si AIB o ANA, representa una simplificación excesiva de un proceso biológico complejo y multifactorial. No existe una auxina que sea universalmente mejor en todos los casos. El AIB ha demostrado ser una herramienta eficaz y confiable para la propagación convencional de *Morus alba* L., especialmente en dosis elevadas del orden de miles de ppm, debido a su estabilidad química y a su capacidad para mantener niveles efectivos dentro del tejido del esqueje. El ANA constituye una auxina muy eficaz y accesible desde

el punto de vista económico, que sobresale en la micropropagación in vitro, donde se utilizan dosis más bajas con la protección del ambiente adverso gracias al control de las condiciones.

Los resultados reportados varían por la naturaleza inherente al proceso de enraizamiento más que a la metodología empleada. La teoría que mejor avala estas respuestas es la dosis y el ambiente, lo que reconoce la eficacia real del AIB y del ANA, restringida a las características del diseño experimental. La determinación de la eficiencia de una auxina va a depender de elementos como la técnica de propagación, la variedad de morera, tipo de esqueje y su edad, el sustrato utilizado y las condiciones ambientales circundantes.

El análisis crítico, más allá de determinar la eficiencia de una auxina, permite entender que los resultados que se busca obtener con la investigación personal dependerán de las condiciones particulares del diseño experimental. En este sentido, los hallazgos se van a interpretar en función de la dosis óptima y la interacción de variables, lo que se puede explicar cualquier diferencia con la revisión documental como respuesta a los factores que controlan la respuesta de enraizamiento.

El AIB y el ANA son reguladores eficientes en la promoción del enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L., tal como se ha expuesto en la revisión de la literatura. Elegir un tipo de auxina y su concentración óptima va a depender de diversos factores clave, entre los cuales se tienen:

AIB: es la auxina predominante y más confiable para la propagación convencional, con dosis óptimas reportadas que oscilan entre 2500 y 7500 ppm. Un caso específico con 4000 mg/kg evidenció resultados destacados tanto en porcentaje como en calidad del enraizamiento.

ANA: constituye una alternativa eficaz, especialmente en la propagación in vitro de *Morus alba* L., donde se han obtenido resultados exitosos con concentraciones tan bajas como 1 mg/L. Económicamente representa una ventaja significativa en ciertos contextos por ser de bajo costo.

La dosis y su toxicidad viene dada por el umbral de saturación a partir del cual la concentración de auxina no mejora el enraizamiento, y valores mayores a 2000 ppm, pueden causar fitotoxicidad, daño celular y hasta la muerte de la planta.

Los factores determinantes como la edad y la posición del esqueje, son elementos esenciales que influyen en la respuesta al enraizamiento. En particular, se consideran las zonas medial y basal, junto con el tipo de sustrato utilizado, como arena o mezclas con buena porosidad.

Tras analizar las investigaciones de Monteiro et al. (2024), Schaffer et al. (2023) y Moratinos et al. (2020), se identifican los siguientes puntos críticos que fundamentan la necesidad de este estudio:

2.5.5.1 El conflicto de la dosis óptima. La existencia de una contradicción es evidente en al revisar la literatura sobre el umbral de saturación para *Morus alba* L. Mientras Monteiro et al. (2024) establecen que dosis de 500 a 1000 mg/L son suficientes, otros autores como Boschini y Rodríguez (2002) precisan que se requieren hasta 2500 ppm para obtener buenos resultados. Esto sugiere que la eficacia no depende solo de la auxina, sino de su interacción con el genotipo específico y el estado vegetativo del esqueje, lo cual constituye un área de investigación que requiere ser precisada experimentalmente.

2.5.5.3 Relación con el problema de investigación. Existen limitaciones en la propagación tradicional de *Morus alba* L. como baja supervivencia y raíces débiles, los cuales no son solo un problema técnico, sino un reflejo de la falta de modelos de respuesta a las dosis específicas para las variedades locales. Con esta investigación se busca dar respuesta, al contrastar el uso de AIB y ANA para determinar cuál enraíza más y cuál genera una estructura radicular mal funcional y apta para el trasplante a campo.

En las Tabla 1 y Tabla 2, presenta la contextualización que se deriva de las evidencias existentes en la revisión documental.

Tabla 1

Variables del esqueje y ambientales que modulan el enraizamiento

Factor de enraizamiento	Descripción	Implicaciones para el estudio
Edad del esqueje	Estacas de 112 días muestran la mayor capacidad de brotación total.	Considerar la edad de las ramas de la planta madre al seleccionar el material para su experimento.
Sitio de donde se toma el esqueje	El esqueje tomado en la zona medial y basal de la rama presenta mayor capacidad de enraizamiento que el de la parte apical.	Los resultados suelen ser diferentes dependiendo del sitio de donde se extrae el esqueje
Sustrato utilizado	Es recomendable el uso de arena y mezclas con sustratos porosos y de buena retención de humedad.	Se debe utilizar el sustrato con buena aireación y retención de agua para mejores resultados.
Parámetros ambientales	Temperatura, humedad relativa y luz solar son elementos críticos para el desarrollo y crecimiento de los esquejes.	Se requiere de controlar las condiciones ambientales en el invernadero o laboratorio para

Factor de enraizamiento	Descripción	Implicaciones para el estudio
Asociación hormonal	Al combinar AIB y ANA se puede optimizar el enraizamiento, sobre todo cuando una auxina individualmente no lo consigue.	garantizar la repetitividad de los resultados. Se considera evaluar el efecto sinérgico si se incluye un tratamiento con la asociación de AIB y ANA.

Tabla 2

Comparación de la eficacia de AIB y ANA en la propagación de Morus alba L.

Especie/ Variedad	Auxina	Concentración óptima	% Enraizamiento	N° de raíces/ esqueje	Condiciones de propagación	Comentarios
<i>Morus spp.</i>	AIB	500 mg.L ⁻¹ a 1.000 mg.L ⁻¹	Largo de la raíz más grande y pesada en estado fresco	15.80	Condiciones bajo invernadero. Como sustrato la corteza de pino y turba (SV Vidaverde®)	Fue mejor que el control y resto de las concentraciones. (Monteiro, et al., 2024)
<i>Morus alba L.</i>	Ácido Indolbutírico	2.000 mg.L ⁻¹	Mayor masa de raíz verde y seca	N/A	Convencional (invernadero)	Se recomiendan estas dosis para posición normal o invertida (Schaffer et al., (2023).
<i>Morus alba cv. Kanva 2</i>	Ácido naftalenacético	1,0 mg/L	Porcentaje más alto	N/A	<i>In Vitro</i>	Mejor enraizamiento comparado con AIA (Viquez, 2018).
<i>Macleania rupestris</i>	ANA	500 mgL ⁻¹	13,3 %	N/A	Convencional Opción rentable por su menor costo	(Muicela y Vázquez (2023)
<i>H. australis</i>	ANA	100 mg/kg	80-84%	N/A	Convencional (sustrato de arena). Mejor resultado que AIB en este estudio.	(Ríos et al., (2022)

3 Materiales y Métodos

3.1 Ubicación del área de estudio

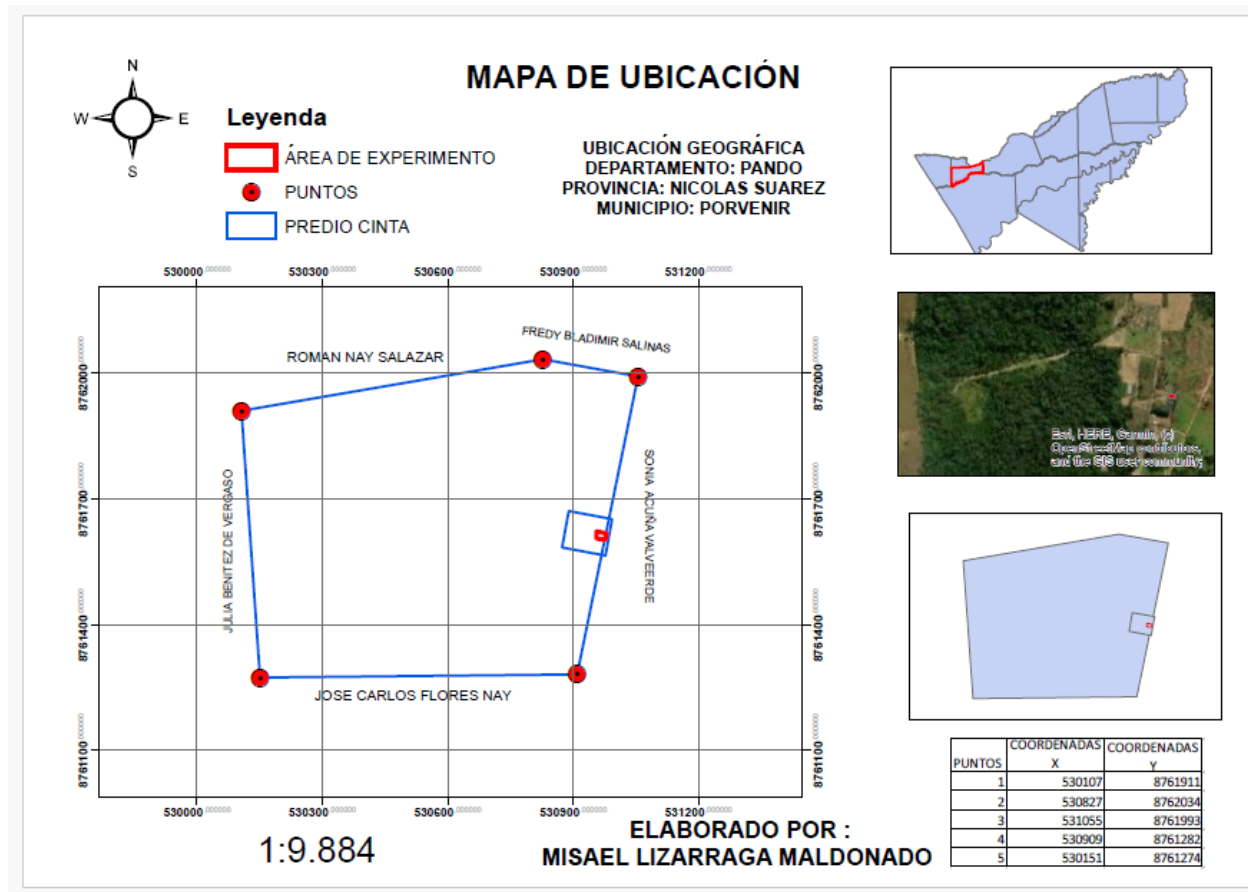
El Centro de Investigación de Nuevas Tecnologías para la Amazonía, un espacio académico y científico creado para promover la investigación aplicada en temas relacionados con la región, se encuentra ubicado en la comunidad Gran Chaco, perteneciente a las instalaciones de la Universidad Amazónica de Pando (UAP) de Bolivia, en la ciudad de Cobija (Figura 1). Las coordenadas geográficas son:

Latitud: -11.034408

Longitud: -68.758888

Figura 1

Ubicación geográfica de CINTA-UAP



3.2 Tipo de investigación

Es un enfoque cuantitativo basado en un diseño experimental y se define, de acuerdo con su naturaleza y objetivos:

Investigación experimental. Se manipula la variable independiente de las tres dosis de dos enraizadores, para evaluar su efecto sobre las variables dependientes medibles que se obtuvieron durante el proceso de propagación del cultivo de morera. Se evaluaron tratamientos de AIB y ANA donde se determinaron el enraizamiento, tasa de crecimiento y calidad de raíces, comparando el efecto de cada compuesto aplicado a los esquejes de morera, para establecer la hormona más eficiente.

Investigación aplicada. Busca generar conocimientos prácticos y soluciones tecnológicas orientadas a optimizar la propagación de *Morus alba* L. Los resultados fortalecen la base forrajera y mejoran la eficiencia productiva en el sector agropecuario del departamento de Pando, al proporcionar una herramienta para productores y viveristas de la localidad.

Investigación explicativa. Además de describir el fenómeno de enraizamiento en morera, se explica cómo y por qué los distintos enraizadores influyen en el comportamiento fisiológico de la propagación por esquejes, al determinar las concentraciones óptimas.

3.3 Materiales

3.3.1 Material vegetal

Plantas madre de *Morus alba* L. Se seleccionaron sanas, vigorosas y libres de plagas o enfermedades, ubicadas en el departamento de Pando, fueron adquiridas en Cobija de una propiedad privada en el barrio Tahuamanu al frente de la UAP. Con una edad y condición fisiológica similares para asegurar la uniformidad del material vegetal. La Figura 2 muestra el material vegetal.

Figura 2

Material vegetal. Esquejes



3.3.2 *Materiales y herramientas*

Herramientas de corte. Se utilizaron tijeras de podar o bisturís afilados y esterilizados (con alcohol al 70 % y una solución de hipoclorito de sodio al 10%), realizando cortes limpios y precisos, minimizando el daño a la planta madre y los esquejes.

Recipientes para recolección y transporte. Bolsas plásticas herméticas, cavas térmicas con hielo para mantener la humedad y baja temperatura de los esquejes durante el transporte.

Recipientes para enraizamiento. Macetas individuales con orificios de drenaje.

3.3.3 *Sustratos*

Se utilizó una mezcla de turba (fibra de coco) y perlita en proporciones adecuadas (1:1:1) estandarizada y esterilizada que proporcionó buen drenaje y aireación. Con esta mezcla se optimizó el desarrollo radicular para evitar la compactación. En la Figura 3 se muestran los sustratos utilizados.

Figura 3

Sustratos



Turba

Fibra de coco

Perlita

La esterilización del sustrato (por calor) fue fundamental para prevenir enfermedades. Se utilizó una autoclave para llevar a cabo el proceso que garantizó su sanidad, conforme se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Esterilización de los sustratos



3.3.4 Reguladores de crecimiento

Se utilizaron las auxinas AIB y ANA de grado analítico. Se muestran en la Figura 5, las presentaciones comerciales de dichos productos aplicados a los esquejes de morera, según las dosis experimentales.

Figura 5

Auxinas ANA y AIB



3.3.5 Soluciones y solventes

Se usó alcohol etílico para disolver las hormonas, agua destilada para preparar las soluciones de hormonas.

3.3.6 Equipos de medición

Se usó una balanza analítica para obtener el peso de los enraizadores, además de probetas graduadas, pipetas volumétricas, atomizador, calibrador pie de rey y regla para medir la longitud de las raíces y brotes. El equipo se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Balanza analítica



3.3.7 Control de variables externas

Como garantía de que los resultados se deben solo a los tratamientos aplicados y dar validez interna, se controlaron las variables extrañas mediante:

3.3.7.1. Instalaciones. Para disminuir la variabilidad ambiental y el error experimental, se controlaron los parámetros ambientales bajo el invernadero con malla sombra al 50 %, la temperatura entre 20 y 28 °C, humedad relativa de 70 y 90 % e iluminación adecuada para evitar estrés térmico. La investigación se llevó a cabo en condiciones controladas del Centro de Investigación de Nuevas Tecnologías para la Amazonía (CINTA), lo que permitió minimizar el sesgo de factores externos. La Figura 7 detalla los controles de humedad y temperatura en las instalaciones.

Figura 7

Control de parámetros en las instalaciones



3.3.7.2. Material vegetal. Todos los esquejes se estandarizaron a una longitud de 20 a 25 cm y un diámetro de 0,5 a 1 cm.

3.3.7.3. Sanidad. Se esterilizó el sustrato en autoclave y se desinfectaron las herramientas con alcohol al 70 % en cada corte para evitar contagio con patógenos fúngicos que interfieran en el enraizamiento.

3.4 Métodos

3.4.1 Procedimientos para recolección y preparación de esquejes

Recolección de esquejes de la planta madre. Se realizó en las primeras horas de la mañana, cuando las plantas están turgentes y los niveles de reservas son óptimos, evitando horas de máximo calor o estrés hídrico. Se seleccionaron las ramas de plantas madre representativas, sanas, vigorosas y libres de signos de plagas o enfermedades. Ramas semileñosas o terminales del año en curso, con un diámetro de aproximadamente 0,5 a 1 cm, evitando ramas muy tiernas (herbáceas) o muy lignificadas (leñosas), ya que su capacidad de enraizamiento puede ser menor.

Corte del esqueje. Utilizando tijeras de podar o bisturí previamente esterilizado, se realizó un corte basal limpio y en bisel (a 45 grados) justo por debajo de un nudo (yema). Este corte angular aumenta la superficie de absorción y facilita la penetración de las hormonas. El esqueje se cortó con una longitud de aproximadamente 20 a 25 cm, con al menos 3 a 4 nudos. Se realizó un corte apical recto por encima del último nudo, eliminando la parte más tierna o las inflorescencias presentes.

Retiro parcial de hojas. Con cuidado se retiran las hojas a partir de dos tercios inferiores del esqueje, procurando que queden de 2 a 4 hojas en la parte superior para disminuir la transpiración en exceso y reservar las fuerzas del esqueje en el desarrollo de las raíces. Se debe tener el cuidado de no causar daño a la corteza al eliminar las hojas.

Etiquetar y agrupar esquejes. Se colocó etiquetas claras y se agrupó los esquejes en manojos de 10 para mejor manejo.

Conservación y transporte al sitio del experimento. Los esquejes se trasladaron desde Cobija al Centro de Investigación de Nuevas Tecnologías para la Amazonía C.I.N.T.A. Inmediatamente después del corte, se sumergieron por su base, en agua limpia para evitar la deshidratación. Seguido se envolvieron los manojos de esquejes en papel húmedo y luego se colocaron dentro de bolsas plásticas herméticas. Las bolsas con los esquejes se colocan en cavas térmicas con hielo para mantenerlos entre 4 °C y 10 °C durante el transporte (Figura 8), y así retardar el metabolismo y reducir el estrés. Se transportaron los esquejes al sitio del experimento lo más rápido posible para minimizar la deshidratación. El objetivo era llevarlos el mismo día de la recolección.

Figura 8

Transporte de esquejes



3.4.2 Procedimiento para tratamiento de esquejes con hormonas

Preparación de las soluciones hormonales. Se pesó la cantidad de las hormonas AIB y ANA, en miligramos, para preparar cada concentración deseada conforme a las dosis experimentales (Figura 9). Seguido se procedió a disolver completamente la cantidad pesada de AIB y ANA en

una pequeña cantidad de alcohol etílico al 96 %. Una vez disuelta, se añadió gradualmente agua destilada hasta alcanzar el volumen final deseado de la solución y mezclar bien. Las soluciones se prepararon frescas el mismo día del tratamiento para asegurar su potencia.

Figura 9

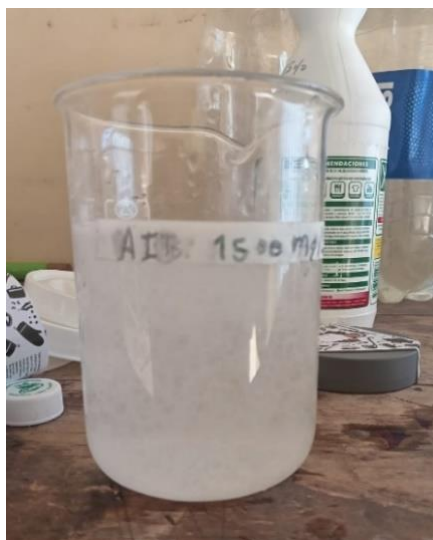
Preparación de soluciones hormonales



Etiquetado. Se identificó claramente cada recipiente con la concentración de hormona, el tipo de hormona y la fecha de preparación (Figura 10).

Figura 10

Solución de hormonas



3.4.3 Procedimiento para aplicación de las hormonas a los esquejes

Selección y agrupación de esquejes. Se tomó el lote de esquejes más uniforme posible en tamaño y vigor para cada tratamiento y repetición. Se dividió en grupos de acuerdo al diseño experimental (4 repeticiones para 6 tratamientos).

Método de aplicación por inmersión rápida. Se colocó una cantidad suficiente de cada solución hormonal en recipientes individuales y poco profundos. Se tomaron los esquejes en grupos de 10, sumergiendo la base, unos 4 a 5 cm, en la solución hormonal correspondiente. Se realizó una inmersión rápida de 5 segundos. Verificando que el corte basal y los nudos inferiores queden bien cubiertos por la solución. Los esquejes tratados se observan en la Figura 11.

Figura 11

Esquejes tratados con hormonas



Tratamiento control. Los esquejes se sumergieron en agua destilada (mismo procedimiento de las hormonas) por el mismo tiempo.

Secado parcial. Después de la inmersión, se retiraron los esquejes permitiendo que el exceso de líquido escurra o que la superficie tratada se seque ligeramente al aire por unos minutos antes de la siembra. Esto ayuda a que la hormona se fijara y evite la lixiviación en el sustrato.

3.4.4 Procedimiento para siembra de los esquejes

Preparación del sustrato. Se llenaron las macetas con el sustrato previamente esterilizado y humedecido ligeramente, sin empararlo (Figura 12). La siembra se realizó mediante la técnica de orificio previo para evitar el desprendimiento de la solución hormonal del esqueje por fricción con el sustrato. La profundidad fue suficiente para insertar aproximadamente 7 centímetros del esqueje.

Figura 12

Macetas listas para la siembra de esquejes



Inserción del esqueje. Se colocó con extremo cuidado cada esqueje en el un orificio hecho en el sustrato, considerando que un nudo quede dentro del sustrato, sin dañar la base que se trató al insertarlo (Figura 13).

Compactar. Se presionó suavemente el sustrato alrededor de la base del esqueje para garantizar un buen contacto con el sustrato y eliminar así las bolsas de aire.

Primer riego. Se aplica un riego suave después de la siembra para asentamiento del sustrato y lograr un buen contacto.

Figura 13

Siembra de los esquejes



Luego de la siembra de los esquejes, se realizó riego mediante microaspersión a cada tratamiento y se tapó con bolsas plásticas (Figura 14).

Figura 14

Riego de los esquejes listos para iniciar experimento



Condiciones postsiembra. Las bandejas permanecieron en el invernadero bajo condiciones ambientales controladas (temperatura, humedad, luz). Se mantuvo una humedad constante en el sustrato, pero sin encharcamientos. Una humedad ambiental de 70 a 90 % fue crucial durante las primeras semanas para reducir el estrés hídrico de los esquejes mientras desarrollaron sus raíces.

Se observaron diariamente los esquejes para detectar signos de estrés, enfermedades o plagas, y tomar medidas correctivas de ser necesario. La Figura 15 muestra los esquejes a los 13 días después de la siembra.

Figura 15

Esquejes a 13 días después de la siembra



AIBD1



AIBD2



AIBD3



ANAD1



ANAD2



ANAD3



Control sin hormonas

3.4.5 Métodos de recolección de datos y muestras

Supervisión del desarrollo de las raíces. Se verificó durante 70 días con evaluaciones cada 15 días. Se realizó el conteo de esquejes enraizados por cada tratamiento.

Muestreo. Se removió con cuidado cada punto evaluado y sus réplicas del sustrato, y evitar dañar las raíces.

Registrar datos. Se utilizó una hoja de campo para registrar los datos de todos los parámetros de cada tratamiento. Posteriormente, estos datos se tabularon en hojas de cálculo (Microsoft Excel, *Google Sheets*) para su organización y preparación para el análisis estadístico.

3.5 Método de análisis de laboratorio

Los esquejes muestreados se llevaron al laboratorio para un análisis detallado.

Lavado de raíces. Las raíces se lavaron con agua corriente para eliminar completamente residuos de sustrato adherido. Esto garantizó una medición precisa.

Secado superficial. Secado suave de las plántulas con papel absorbente para proceder con las mediciones de masa fresca.

Medición de parámetros.

- Se determinó el porcentaje de enraizamiento:

$$\%Enraizamiento = \frac{N^{\circ} \text{ esquejes enraizados}}{N^{\circ} \text{ total de esquejes del tratamiento}} \times 100$$

Conteo de raíces. Se contó el número total de raíces por esqueje.

- Longitud de raíz. Se utilizó un calibrador o una regla milimétrica para medir la longitud de la raíz más larga de cada esqueje.

Registro y respaldo. Todos los datos obtenidos en el laboratorio se registraron inmediatamente en las hojas de campo o en un formato digital para asegurar su integridad y facilitar el procesamiento posterior.

3.6 Diseño de la investigación

3.6.1 *Diseño experimental*

Se implementó un Diseño completamente al azar (DCA), dos productos enraizadores con 3 dosis para cada producto. Este diseño arrojó 6 tratamientos experimentales más el control o testigo, donde se compararon sus efectos para determinar su eficacia y la dosis que dio los mejores resultados. Los efectos de las diferentes concentraciones de AIB y ANA, con cuatro repeticiones

en cada uno de los tratamientos, se evaluaron a través de un análisis de varianza y comparación de medias con un 5 % de significancia.

Basado en el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado de la variable de respuestas.

μ = Media general

α_i = Efecto de las dosis de hormonas

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental

3.6.2 Variables a evaluar

3.6.2.1 Variables dependientes

Para el enraizamiento de esquejes se determinaron los siguientes parámetros:

- Porcentaje de enraizamiento (%). Número de esquejes que desarrollaron raíces en cada tratamiento.
- Número de raíces. Evaluación de la cantidad de raíces por esqueje.
- Longitud de raíces (cm). Evaluación del crecimiento de raíces por esqueje en centímetros.

3.6.2.2 Variables independientes

Tipo de auxina: AIB y ANA.

Dosis de los enraizadores. Se aplicaron tres dosis de cada hormona AIB y ANA, tomando en cuenta dosis media (recomendada por el fabricante), alta y baja. Estas se detallan y justifican conforme a los efectos esperados:

- **Dosis de AIB**

Dosis baja: 500 mg/L. Constituye una concentración base efectiva para inducir raíces sin generar fitotoxicidad, especialmente en especies con mediana facilidad de enraizamiento.

Dosis media: 1000 mg/L. Representó una dosis comúnmente óptima en propagación vegetativa de plantas frutales, logrando un equilibrio entre velocidad de enraizamiento y número de raíces.

Dosis alta 1500 mg/L. Busca evaluar el umbral de respuesta fisiológica máxima, permitiendo observar si una mayor disponibilidad hormonal incrementa el rendimiento radicular o genera efectos adversos (callosidad excesiva o inhibición).

- **Dosis de ANA**

Dosis baja 500 mg/L. Dosis segura para evitar inhibición del crecimiento basal y controlar la elongación prematura. Útil como punto de partida para ANA, ya que su actividad es más intensa que el AIB en algunos cultivos.

Dosis media 1000 mg/L. Frecuentemente utilizada en esquejes semi-leñosos, donde se requiere un estímulo moderado y sostenido del sistema radicular.

Dosis alta 1500 mg/L. Permitió evaluar el comportamiento de la morera bajo condiciones de estímulo hormonal elevado, siendo útil para identificar niveles superiores de emisión radicular o posibles efectos secundarios como necrosis en tejidos.

3.6.2.3 Tratamientos experimentales

En la Tabla 3 se presenta la matriz para los seis tratamientos experimentales y el control (T0), evaluados con sus cuatro repeticiones.

Tabla 3

Tratamientos experimentales

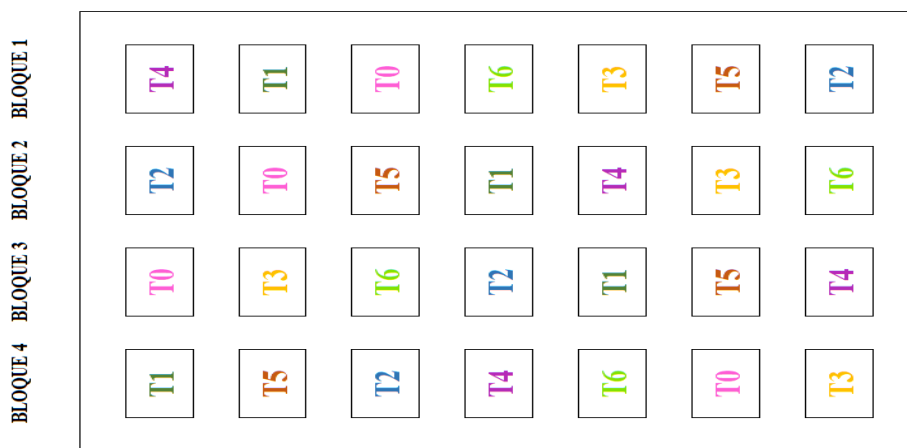
Tratamiento (T)	Enraizadores (P)	Dosis (D)
T0 (Control)	Agua	-
T1 (AIB1)	P1: AIB	D1: Alta: 1500 mg /L
T2 (AIB2)	P1: AIB	D2: Media: 1000 mg /L
T3 (AIB3)	P1: AIB	D3: Baja: 500 mg /L
T4 (ANA1)	P2: ANA	D1: Alta: 1500 mg /L
T5 (ANA2)	P2: ANA	D2: Media: 1000 mg /L
T6 (ANA3)	P2: ANA	D3: Baja: 500 mg /L

3.6.2.4 Esquema del diseño experimental

La parcela experimental se estableció bajo una distribución de cuatro repeticiones con siete unidades experimentales cada uno (seis tratamientos y T0 o control). Todo conforme a lo presentado en la Figura 16.

Figura 16

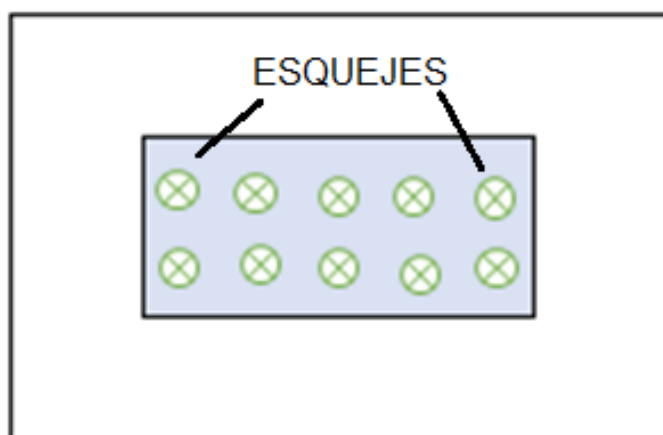
Parcela experimental



3.6.2.5. Tamaño de la muestra. El experimento constó de 28 unidades experimentales, y en cada una con 10 esquejes. Con este número se garantiza la representatividad estadística al considerar un margen de mortalidad natural en la propagación vegetativa de *Morus alba* L. En la Figura 17 se presenta esquema para cada tratamiento evaluado.

Figura 17

Unidad experimental



3.6.3 Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación de las hormonas AIB y ANA en diferentes dosis aplicadas a esquejes de *Morus alba* L., se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, con el propósito de identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Este procedimiento permitió contrastar la hipótesis nula de igualdad de medias entre los grupos evaluados.

En los casos en que el ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey, para interpretar de forma precisa las diferencias entre las concentraciones de auxinas evaluadas. Esto permitió determinar cuáles tratamientos generaron un efecto diferente en el desarrollo de raíces en los esquejes. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico SPSS, lo que garantizó la reproducibilidad de los resultados y la adecuada verificación de los supuestos del modelo, tales como la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas.

4 Resultados

Para la evaluación de la influencia del ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de esquejes de *Morus alba* L., se aplicaron diferentes concentraciones de estos reguladores de crecimiento para determinar las características morfológicas del desarrollo radicular. Se evaluó el número de raíces, longitud promedio de raíces y porcentaje de enraizamiento en los esquejes tratados con diferentes dosis de AIB y ANA para determinar la concentración óptima que maximizó la eficiencia de enraizamiento.

4.1 Control y seguimiento del estudio experimental

4.1.1 Monitoreo del desarrollo radicular

Para el control del experimento se realizó un monitoreo del desarrollo radicular con evaluaciones periódicas cada 15 días a lo largo del período de 70 días, haciendo el conteo de esquejes enraizados por tratamiento. En las Figuras 18, 19 y 20, se observa el monitoreo intermedio de los tratamientos a los 15, 30 y 45 días después de la siembra respectivamente. Cada punto fue removido cuidadosamente del sustrato, para evitar dañar a las raíces recién formadas.

Figura 18

Monitoreo a los 15 días después de la siembra

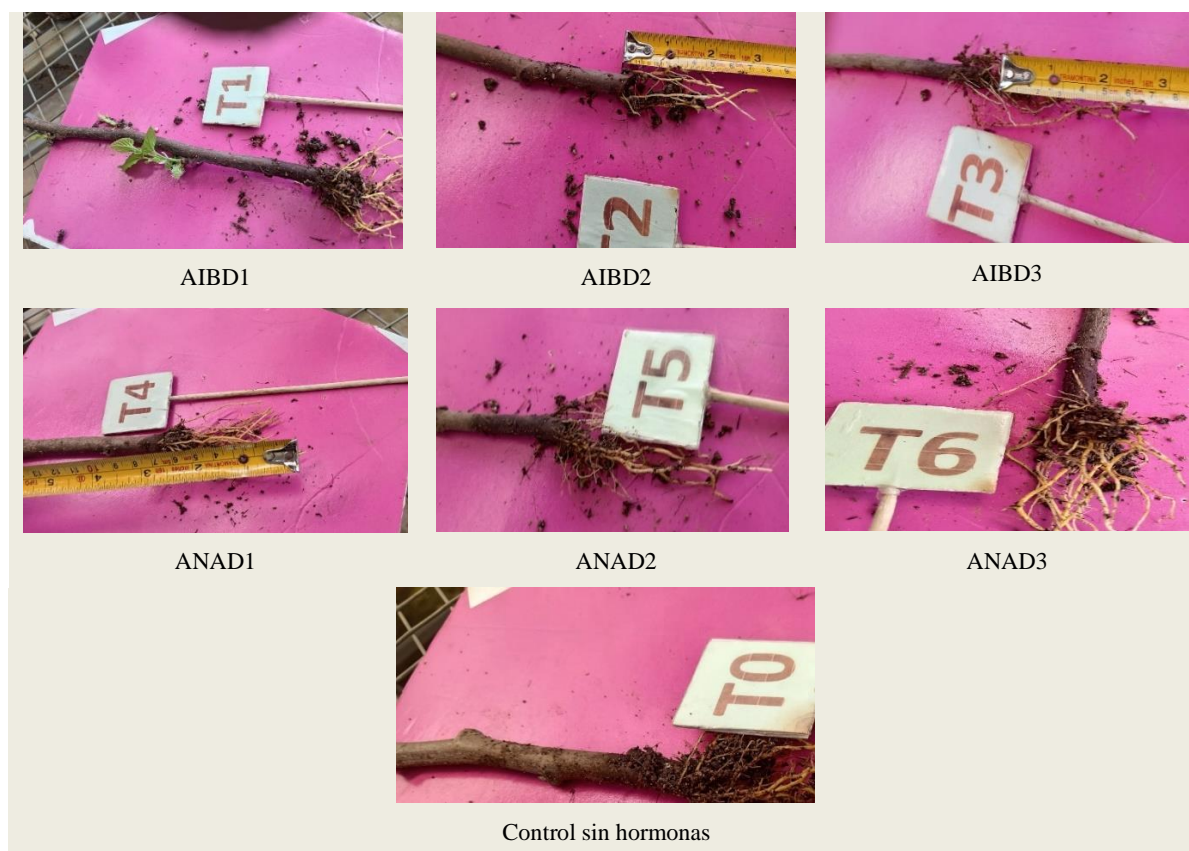


Figura 19

Monitoreo a los 30 días después de la siembra

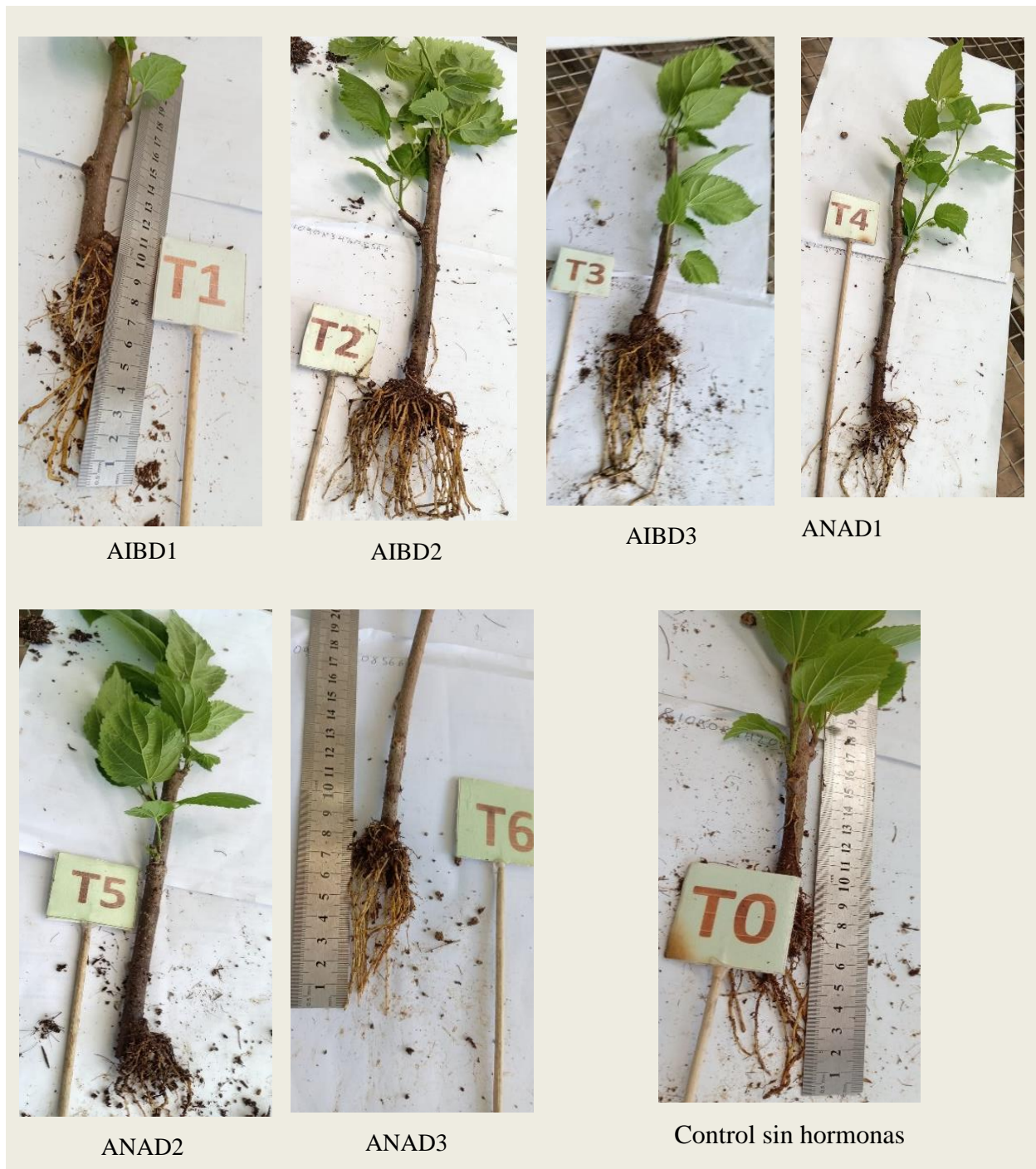


Figura 20

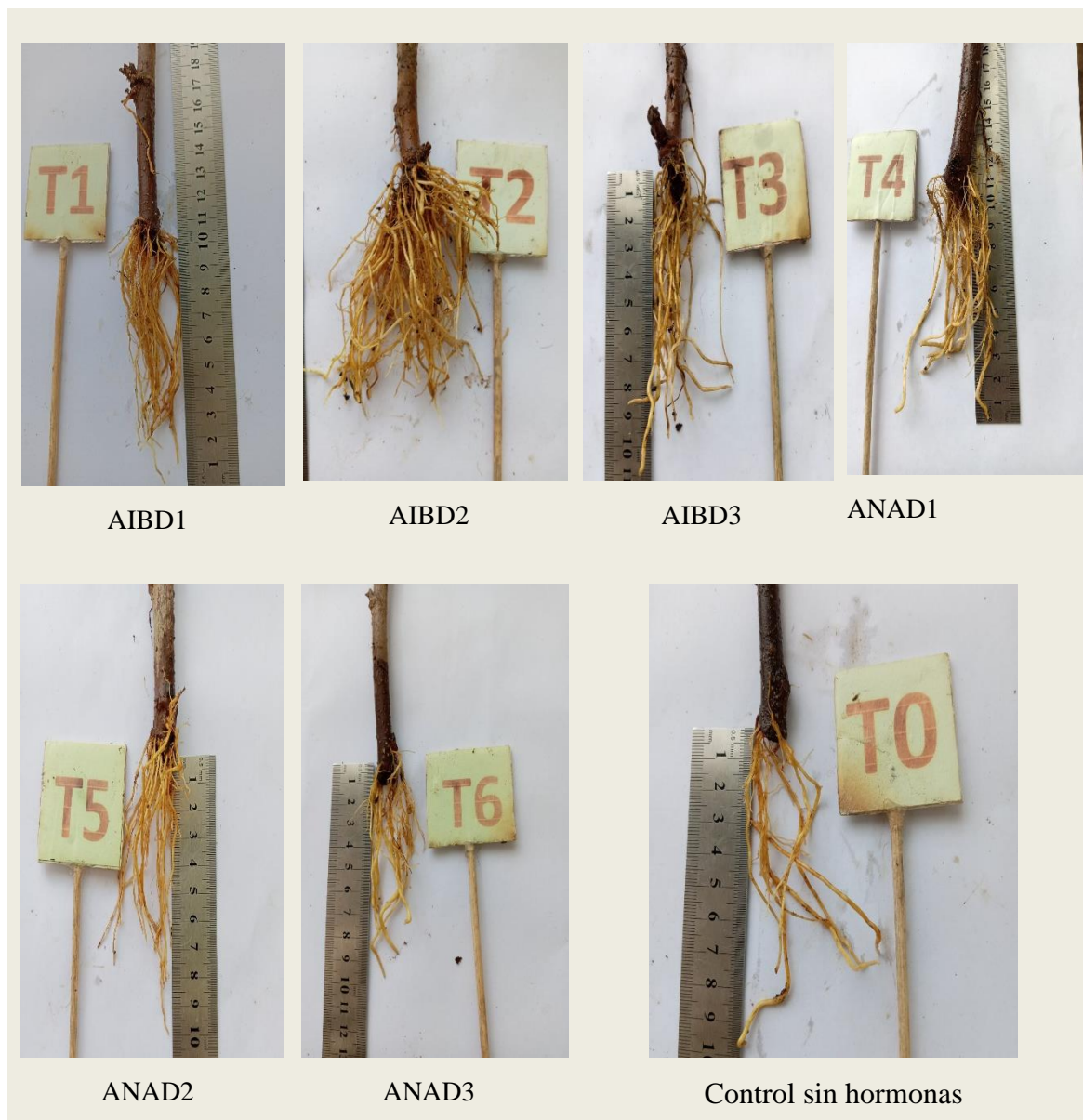
Monitoreo a los 45 días después de la siembra



A los 60 días después de la siembra se realizó un monitoreo avanzado conforme a lo presentado en la Figura 21.

Figura 21

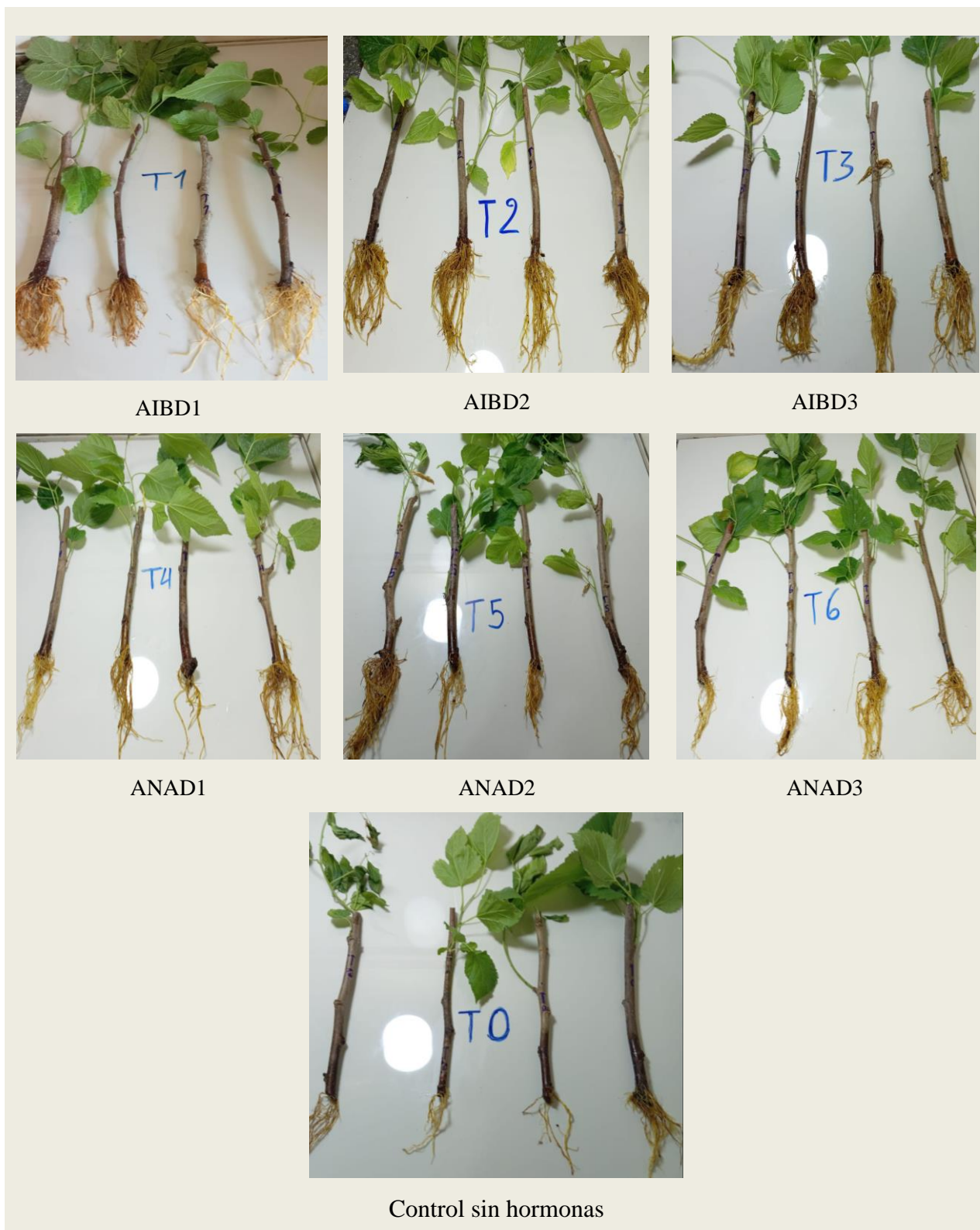
Monitoreo a los 60 días después de la siembra



En la Figura 22, se observan las muestras tomadas al final de los 70 días para el cierre del estudio. Estos resultados se registraron y se procesaron para dar respuesta a los objetivos planteados.

Figura 22

Monitoreo a los 70 días después de la siembra



4.1.2 Descripción del vigor vegetativo de los esquejes de *Morus alba* L.

En las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se presentan los resultados de la evaluación del vigor vegetativo de los esquejes de *Morus alba* L. a los 15, 30, 45, 60 y 70 días después de la siembra respectivamente. Se observan los rangos de los valores referidos al número de brotes, número de hojas y longitud de brotes para cada tratamiento y sus repeticiones. Se destaca como los tratamientos con AIB y ANA favorecieron el desarrollo vegetativo de los esquejes, marcándola diferencia desde los primeros días de evaluación.

El tratamiento T2 (AIB2) y T5(ANA2) presentaron los mayores rangos en números de hojas y longitud de brotes en evaluaciones intermedias y al final del estudio. Para el número de brotes, T1(AIB1) se mantuvo por encima del resto de los tratamientos. Para el tratamiento control (T0) los resultados fueron bajos para todos los resultados durante el lapso de estudio. Los valores reportados confirman que el uso de estos enraizadores, en particular AIB y ANA en sus dosis medias, favorecen el desarrollo de estructuras foliares y elongación de brotes en condiciones controladas.

Tabla 4

Desarrollo vegetativo de esquejes de Morus alba L. 15 días después de la siembra

Tratamiento	Nº de brotes (rango)	Nº de hojas (rango)	Longitud de brotes (cm, rango)
T0 (Control)	6–7	10–12	0–4
T1 (AIB1)	15–19	13–15	0–14
T2 (AIB2)	9–19	15–17	0–16
T3 (AIB3)	13–14	9–12	0–7
T4 (ANA1)	12–14	7–10	5–9
T5 (ANA2)	12–16	6–18	0–8
T6 (ANA3)	11–12	8–10	0–6

Tabla 5

Desarrollo vegetativo de esquejes de Morus alba L. 30 días después de la siembra

Tratamiento	Nº de brotes (rango)	Nº de hojas (rango)	Longitud de brotes (cm, rango)
T0 (Control)	13-16	22-38	0-19

T1 (AIB1)	15-28	42-49	0-19
T2 (AIB2)	17-22	69-78	0-28
T3 (AIB3)	17-23	62-68	5-23
T4 (ANA1)	17-22	54-63	2-25
T5 (ANA2)	16-23	69-72	0-21
T6 (ANA3)	17-24	49-64	2-23

Tabla 6

Desarrollo vegetativo de esquejes de Morus alba L. 45 días después de la siembra

Tratamiento	Nº de brotes (rango)	Nº de hojas (rango)	Longitud de brotes (cm, rango)
T0 (Control)	12-14	26-40	0-27
T1 (AIB1)	18-20	67-74	0-29
T2 (AIB2)	16-20	67-78	0-34
T3 (AIB3)	15-19	62-77	4-34
T4 (ANA1)	17-19	61-66	4-34
T5 (ANA2)	15-25	64-69	3-29
T6 (ANA3)	15-21	67-73	1-36

Tabla 7

Desarrollo vegetativo de esquejes de Morus alba L. 60 días después de la siembra

Tratamiento	Nº de brotes (rango)	Nº de hojas (rango)	Longitud de brotes (cm, rango)
T0 (Control)	11-12	26-38	2-26
T1 (AIB1)	18-23	67-77	4-34
T2 (AIB2)	17-22	71-90	3-35
T3 (AIB3)	17-21	68-82	5-32
T4 (ANA1)	17-19	69-75	5-35
T5 (ANA2)	16-24	61-71	4-35
T6 (ANA3)	16-20	73-86	5-39

Tabla 8

Desarrollo vegetativo de esquejes de Morus alba L. 70 días después de la siembra

Tratamiento	Nº de brotes (rango)	Nº de hojas (rango)	Longitud de brotes (cm, rango)
T0 (Control)	8-10	28-34	5-28
T1 (AIB1)	17-23	65-90	3-37
T2 (AIB2)	15-21	69-87	6-36
T3 (AIB3)	17-21	67-85	6-33
T4 (ANA1)	16-18	71-80	3-36
T5 (ANA2)	17-20	59-76	3-36
T6 (ANA3)	16-21	74-84	4-35

4.2 Verificación de supuestos de Normalidad y Homogeneidad de varianzas de datos

Los datos experimentales correspondientes a las variables número de raíces, longitud promedio de raíces y porcentaje de enraizamiento de los esquejes de *Morus alba* L., se muestran en la Tabla 9. Estos se sometieron a la verificación de los supuestos de Normalidad y homogeneidad de varianzas con el objetivo de aplicar las pruebas estadísticas acorde para cada caso. Se verificaron aplicando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, para normalidad y homogeneidad de varianzas respectivamente.

Tabla 9

Resultados enraizamiento de esquejes de Morus alba L. 70 días después de la siembra

Tratamiento	Repetición	%Enraizamiento	Nº Raíces (promedio)	Longitud de raíz (promedio)
T1 (AIB1)	1	100	54	11
T1 (AIB1)	2	100	22	10
T1 (AIB1)	3	100	55	8
T1 (AIB1)	4	100	28	15
T2 (AIB2)	1	90	81	11
T2 (AIB2)	2	100	77	13
T2 (AIB2)	3	90	56	13
T2 (AIB2)	4	90	71	10
T3 (AIB3)	1	100	4	12
T3 (AIB3)	2	100	44	13

T3 (AIB3)	3	90	42	12
T3 (AIB3)	4	90	25	19
T4 (ANA1)	1	100	24	17
T4 (ANA1)	2	100	11	10
T4 (ANA1)	3	90	39	18
T4 (ANA1)	4	100	21	16
T5 (ANA2)	1	100	11	13
T5 (ANA2)	2	90	9	14
T5 (ANA2)	3	100	21	10
T5 (ANA2)	4	90	35	20,5
T6 (ANA3)	1	90	26	11
T6 (ANA3)	2	90	22	11
T6 (ANA3)	3	100	22	11
T6 (ANA3)	4	100	27	14
T0	1	50	8	7
T0	2	60	8	8
T0	3	50	9	8
T0	4	50	26	10

4.2.1 Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro -Wilk para cada variable estudiada. La prueba se resume en la Tabla 11, dando como resultado para las variables enraizamiento y Longitud_raíz una violación al supuesto ($p < 0,05$), mientras que para No. raíces si se cumple ($p > 0,05$).

Tabla 10

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk

Variables	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	G1	Sig.
Enraizamiento	T0(control)	0,63	4	0,001
	T1(AIB1)	.	4	.
	T2(AIB2)	0,63	4	0,001

	T3(AIB3)	0,729	4	0,024
	T4(ANA1)	0,63	4	0,001
	T5(ANA2)	0,729	4	0,024
	T6(ANA3)	0,729	4	0,024
No raíces	T0(control)	0,67	4	0,005
	T1(AIB1)	0,821	4	0,144
	T2(AIB2)	0,916	4	0,516
	T3(AIB3)	0,888	4	0,375
	T4(ANA1)	0,968	4	0,828
	T5(ANA2)	0,9	4	0,43
	T6(ANA3)	0,811	4	0,123
Longitud_raíz	T0(control)	0,895	4	0,406
	T1(AIB1)	0,953	4	0,734
	T2(AIB2)	0,849	4	0,224
	T3(AIB3)	0,729	4	0,024
	T4(ANA1)	0,828	4	0,163
	T5(ANA2)	0,647	4	0,002
	T6(ANA3)	0,63	4	0,001

Tabla 11*Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk*

Variable	Estadístico Shapiro-Wilk; <i>p</i>	Cumple
Enraizamiento	< 0.05	No cumple
No. Raíces	>0,005	Cumple
Longitud_raíz	< 0.05	Al menos 3 tratamientos no cumplen

4.2.2 Prueba de Homogeneidad de varianzas (Levene)

Las pruebas de Homogeneidad de varianzas de cada variable experimental, con respecto a la media, se detallan en la Tabla 12. Los valores de significancia correspondientes se presentan en la Tabla 13 donde se revela que las variables % Enraizamiento y Longitud_raíz, violan el supuesto ($p < 0,05$) y No. Raíces si cumple, presentando homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$).

Tabla 12*Prueba de Homogeneidad de varianzas (Estadístico de Levene)*

Variables	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Enraizamiento	4,667	6	21	0,004
No raíces	2,353	6	21	0,068
Longitud_raíz	8,528	6	21	<0,000

Tabla 13*Prueba de Homogeneidad de varianzas (Levene)*

Variable	Estadístico Levene; <i>p</i>	Cumple
Enraizamiento	0,004	No cumple
No. Raíces	0,068	Cumple
Longitud_raíz	<0,001	No cumple

4.3 Resultados de la verificación y selección de pruebas estadísticas

4.3.1 Variable Porcentaje de Enraizamiento

Las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene mostraron valores de significancia $p < 0,05$, por lo que los datos no siguen una distribución normal y presentan diferencias significativas en las varianzas entre grupos. En vista de la violación a estos supuestos se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, apropiada para llevar a cabo la comparación de medianas entre múltiples grupos independientes. Para el caso donde se presentaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con el método de Dunn mediante la corrección de Bonferroni.

4.3.2 Variable Número de Raíces

Para el número promedio de raíces en los esquejes, Shapiro-Wilk muestra valores de $p > 0,05$ en la mayoría de los tratamientos con excepción del tratamiento control (T0), lo cual demuestra un ajuste de los datos a una distribución normal. De la misma manera Levene con $p = 0,068$, indica homogeneidad de varianza entre grupos. En función a que se cumplen ambos supuestos, se considera la aplicación de ANOVA de un factor complementado con la prueba de Tukey para comparaciones múltiples.

4.3.3 Variable Longitud de raíces

Para esta variable, varios tratamientos presentaron significancia $p < 0,05$ para la prueba de Shapiro-Wilk, por lo que los datos no siguen una distribución normal. Para la prueba de Levene se obtuvo un $p < 0,001$, evidenciando heterogeneidad de varianzas. Por tanto, al no cumplirse los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con comparaciones múltiples ajustadas.

4.4 Pruebas Kruskal-Wallis para variable porcentaje de enraizamiento

Para el porcentaje de enraizamiento de los esquejes de *Morus alba* L., se obtuvo un $p < 0,05$ en las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis, tal como se observa en la Tabla 14. Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, es decir, que al menos uno de los tratamientos causó efecto diferencial en el porcentaje de enraizamiento de los esquejes de *Morus alba* L.

Tabla 14

Prueba de Kruskal-Wallis para % Enraizamiento de esquejes

Variable	N total	H (Kruskal-Wallis)	gl	<i>p</i>
Enraizamiento	28	15,398	6	0.017

Para las pruebas post hoc se realizaron las comparaciones múltiples en base a la corrección de Bonferroni, las cuales se resumen en la Tabla 15. Se observan los pares de tratamientos que presentaron diferencia significativa, como T0 (control) y T1(AIB1) donde se obtuvo un $p < 0,05$.

Tabla 15

Comparaciones múltiples mediante la corrección de Bonferroni para % enraizamiento

Comparación	Diferencia de medias	<i>p</i> -ajustada
T0 (Control) – T1 (AIB1)	-19.000	0.007
T0 (Control) – T2, T3, T4, T5, T6		> 0.05
Comparaciones entre tratamientos con enraizadores		> 0.05

La Tabla 16 presenta una síntesis del efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de enraizamiento y su rango promedio en la prueba de Kruskal-Wallis. El tratamiento T1 (AIB1)

alcanzó el mayor porcentaje de enraizamiento (100 %) y el rango promedio más alto (21,5), seguido por T4 (ANA1) con 97,5 %. El control (T0) presentó el valor más bajo (52,5 %) y un rango promedio de 2,5. Se corrobora como T1 difiere significativamente del control, lo que indica que el enraizador AIB en su dosis alta, es superior, mientras que los tratamientos intermedios no presentan diferencias significativas entre sí.

Tabla 16

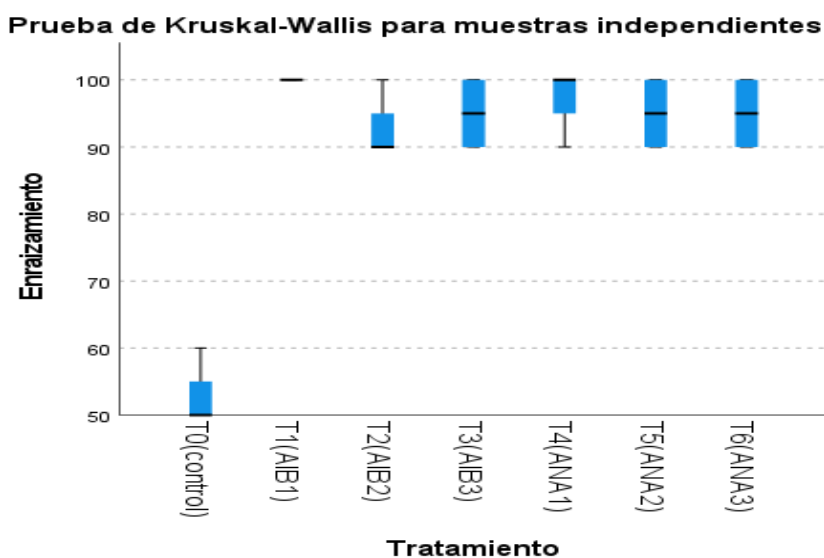
Porcentaje de enraizamiento y rangos promedio de los tratamientos

Tratamiento	Enraizamiento (%)	Rango promedio	
T1 (AIB1)	100%	21,5	A
T4 (ANA1)	97.5%	18,5	AB
T3, T5, T6	Variable	15,5	AB
T2 (AIB2)	92.5%	12,5	AB
T0 (Control)	52.5%	2,5	B

El gráfico de la prueba Kruskal-Wallis para % Enraizamiento en la Figura 23, muestra que los tratamientos con hormonas AIB y ANA permitieron un mayor porcentaje de enraizamiento en los esquejes, con T1(AIB1) que destaca como el más efectivo y consistente. Mientras que el tratamiento control (T0) presentó los porcentajes más bajos.

Figura 23

Gráfico prueba de Kruskal-Wallis para % Enraizamiento



4.5 Análisis de varianza para variable número de raíces

Los resultados del ANOVA para el número de raíces en los esquejes de *Morus alba* L., reflejan que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos ($p < 0,001$). El resultado se presenta en la Tabla 17. Esto indica que la variabilidad en el número de raíces se debe al efecto de los tratamientos aplicados.

Tabla 17

Análisis de varianza para No. raíces de esquejes

No. Raíces	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	P
Entre grupos	9103,929	6	1517,321	9,465	<0,001
Dentro de grupos	3366,5	21	160,31		

Para determinar que tratamientos difieren entre si se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey cuyos resultados se muestran en la Tabla 18. Claramente T2, tratamiento con AIB en dosis media, se perfila como el mejor para producir raíces, con una media de 71,25 muy por encima de los demás tratamientos. El resto de los tratamientos (T0, T1, T3, T4, T5 y T6) presentan medias desde 12,75 hasta 39,75 raíces que, estadísticamente no presentan diferencias significativas entre ellos dentro del grupo. Estos resultados se reflejan en la Figura 24.

Tabla 18

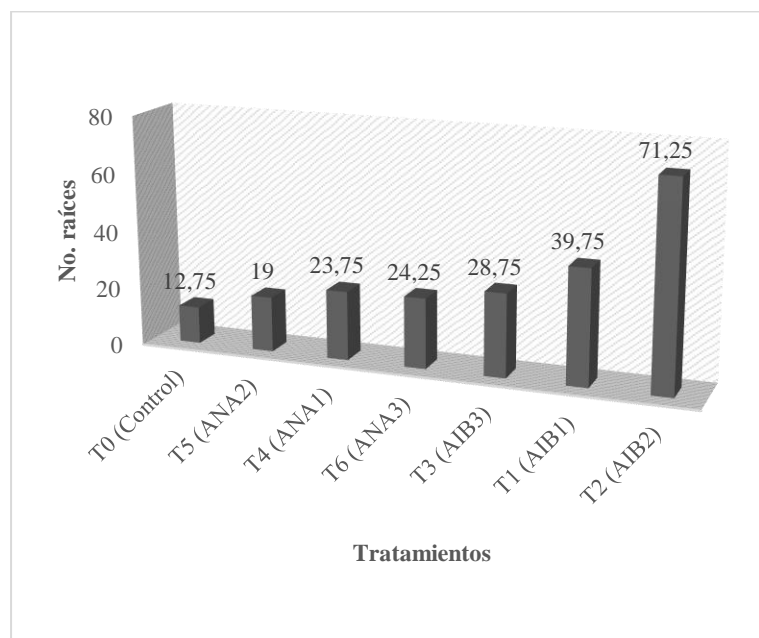
Comparación de medias para No. raíces de esquejes (Prueba de Tukey)

Tratamiento	N	E. E.	Media	
T0 (Control)	4	8,953	12.75	A
T5 (ANA2)	4	8,953	19.00	A
T4 (ANA1)	4	8,953	23.75	A
T6 (ANA3)	4	8,953	24.25	A
T3 (AIB3)	4	8,953	28.75	A
T1 (AIB1)	4	8,953	39.75	A
T2 (AIB2)	4	8,953	71.25	B
Sig.			0,081	1

Nota: Tratamientos con letras iguales no presentan diferencias significativas para $p < 0,05$

Figura 24

Gráfico comparación de medias para No. Raíces de esquejes



4.6 Pruebas Kruskal-Wallis para variable longitud de raíces

La evaluación estadística de la longitud promedio de las raíces en esquejes de *Morus alba* L., al aplicar pruebas no paramétricas, reportó una significancia $p > 0,05$ según el estadístico Kruskal-Wallis, cuyo resultado se presenta en la Tabla 19. Este resultado indica que, independientemente de la hormona o dosis aplicada, la elongación lineal de las raíces una vez emitidas, tiende a ser constante en la especie *Morus alba* L. bajo las condiciones controladas del invernadero CINTA, lo cual quiere decir que, estadísticamente, no existe diferencia significativa en la longitud de las raíces entre los diferentes tratamientos.

Tabla 19

Prueba de Kruskal-Wallis para Longitud_raíz de esquejes

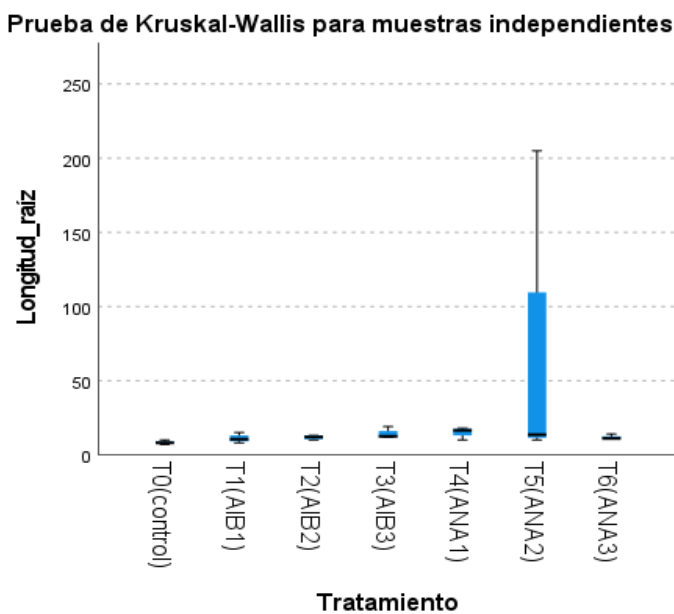
Variable	N total	H (Kruskal-Wallis)	G1	P
Longitud_raíz	28	12,444	6	0.053

En la Figura 25 se puede ver el gráfico de distribución de la longitud de raíz por tratamiento, donde se observa que T5 (ANA2) presenta una tendencia favorable en longitud de raíz para los

esquejes y mayor variabilidad, mientras que el T0 (control) tiene los valores más bajos. Sin embargo, estas diferencias estadísticamente no son significativas. Dado los resultados en la prueba global ($p > 0,05$) no se realizan pruebas de comparación múltiple.

Figura 25

Gráfico prueba de Kruskal-Wallis para Longitud_raíz



5 Discusión

5.1 Efecto de los reguladores de crecimiento AIB y ANA en el enraizamiento de los esquejes

La especie *Morus alba* L. mostró su sensibilidad ante la aplicación de los reguladores de crecimiento AIB y ANA, fitohormonas exógenas que influyeron significativamente en el porcentaje de enraizamiento de sus esquejes ($p < 0,05$). El tratamiento T1 (AIB; 1500 mg /L) alcanzó un 100 % de efectividad con diferencias significativas sobre el control (52,5 %), lo que ubica al Ácido Indolbutírico (AIB) en su dosis alta, como el catalizador clave para el crecimiento celular y enraizamiento de los esquejes de morera.

Fisiológicamente, la eficiencia de AIB se atribuye probablemente a su elevada estabilidad química, baja movilidad, lo que le da la capacidad de permanecer de forma prolongada y sostenida en la zona de formación radicular en comparación con ANA, estimulando la desdiferenciación celular y la formación de primordios radiculares. Los resultados obtenidos en la presente investigación son mejores con respecto a lo reportado en el distrito de Syangja por Regmi et al (2022) quienes necesitaron dosis significativamente más elevadas de AIB (4000 ppm) en esquejes de morera (*Morus alba* L.), para obtener un 81,33 %. La diferencia sugiere que las condiciones experimentales del CINTA permitieron obtener mayor eficacia de la hormona a dosis menores de 1500 mg L⁻¹.

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Schaffer et al. (2023) en su estudio sobre propagación vegetativa, donde confirman la efectividad del AIB en la especie vegetal, al establecer que la dosis de 2000 mg.Kg-1 mezclado con talco neutro durante 90 días, es funcional y no causa toxicidad. Los esquejes tratados con esta hormona beneficiaron los parámetros como masa de raíz verde y seca. Aunque el método de inmersión rápida en solución líquida del presente estudio, demostró ser más eficiente en términos de tiempo y control de dosis que la mezcla con talco neutro. Estos resultados refuerzan la teoría de que, aunque *Morus alba* L. tiene la capacidad de enraizar naturalmente, la mejora comercial del cultivo requiere el uso de reguladores de crecimiento que garanticen la uniformidad.

5.2 Cantidad de raíces

El tratamiento T2 (AIB1) promovió el mejor sistema radicular, con un promedio de 71.25 raíces, cantidad que triplica al tratamiento control y supera por mucho al resto de los tratamientos, la diferencia fue altamente significativa ($p < 0,001$). La dosis media de AIB induce una mayor cantidad de raíces en los esquejes, discordancia con la dosis alta en el porcentaje de enraizamiento,

que se explica por medio de la curva de respuesta a la dosis. Pudo ocurrir que la dosis media de AIB represente el punto de equilibrio óptimo para la proliferación de primordios radicales laterales sin alcanzar el nivel de fitotoxicidad que inhiba el proceso. T2 presenta una diferencia muy significativa frente al resto de los tratamientos que indica un efecto de choque hormonal específico en favor de la cantidad de raíces, una condición fundamental para la supervivencia de las plantas después del trasplante y su capacidad para absorber nutrientes.

Este resultado concuerda con los obtenidos por Regmi et al (2022) quienes experimentaron con dosis de 1000 a 4000 ppm, determinando que una concentración de 2000 ppm es eficaz para un desarrollo foliar saludable y para incrementar el número de raíces primarias y secundarias en *Morus alba* L. Los resultados de Monteiro et al. (2024) de igual forma demostraron los beneficios del enraizante AIB en las posiciones basales de los esquejes en comparación con los demás tratamientos, tanto en el aumento del número de hojas y masa radicular seca con la dosis más alta de AIB (1000 mg L⁻¹).

5.3 Longitud de raíz

La ausencia de diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en la variable longitud de raíz indica que, ya iniciado el proceso de enraizamiento y la formación del sistema radicular, al parecer la elongación celular estuvo influenciada, más por la energía interna de los esquejes, como los carbohidratos y las condiciones ambientales, que por el tipo de auxina que se aplicó.

La falta de significancia estadística no permite afirmar que la tendencia favorable de T5 (ANA2) observada en la variabilidad de los datos para esta variable sea superior. Los resultados sugieren que las auxinas cumplen una función principalmente inductora en la formación de la raíz y en su proliferación (número de raíces) en *Morus alba* L., pero su efecto es secundario en la etapa de elongación y crecimiento longitudinal de las raíces.

Caso contrario ocurrió en la investigación que desarrollaron Monteiro et al. (2024), donde recomendaron dosis de 500 o 1,000 mg L⁻¹ de AIB en enraizamiento de *Morus alba* L. para maximizar el largo de la raíz y otros parámetros de crecimiento. La investigación destacó que los esquejes de las posiciones basales siempre superaron a los demás tratamientos en esta variable. Para justificar el efecto favorable de AIB sobre la longitud de las raíces en los esquejes de origen basal (1,000 mg L⁻¹ la más efectiva), los autores establecen la posibilidad de un incremento de enzimas como la peroxidasa, la cual estimula los procesos de iniciación radicular y el catabolismo

de las auxinas. En particular, los esquejes de la parte basal, tienen un mayor diámetro y por ende poseen más reservas que ayudan a dar una mejor respuesta en el crecimiento de la raíz.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se acepta la hipótesis alternativa (H1), puesto que la aplicación de reguladores de crecimiento AIB y ANA, causaron efectos significativos y diferentes en el enraizamiento ($p < 0,05$) de los esquejes de *Morus alba* L.. Los tratamientos con las hormonales mencionadas fueron superiores al tratamiento control (T0), al confirmar que el uso de auxinas exógenas es fundamental para mejorar la propagación de la morera bajo las condiciones controladas del estudio.

En cuanto a la eficiencia de las auxinas en el porcentaje de enraizamiento de los esquejes, el tratamiento T1 (AIB1; dosis alta 1500 mg L^{-1}) fue el más efectivo para inducir la formación de raíces con un 100 % frente al 52,5 % del control, con una diferencia significativa ($p < 0,05$), le sigue T4 (ANA1; dosis alta 1500 mg L^{-1}) con un 97.5%. Se confirma que, AIB a la dosis alta, es altamente eficiente para lograr una desdiferenciación celular en los esquejes.

Para la morfología radicular, se determinó la existencia de una especialización funcional según la hormona y dosis utilizada. La dosis media del tratamiento T2 (AIB2: 1000 mg L^{-1}) ejerce un efecto significativamente mayor en la producción de raíces ($p < 0,001$), con un promedio de 71,25 raíces por esqueje, dando como resultado un sistema radicular fuerte para garantizar la supervivencia de la planta luego del trasplante.

Para la variable longitud de raíces, las hormonas no causaron efecto diferenciador en los tratamientos con respecto al control. Al no existir diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), se sugiere que, si bien las auxinas son eficientes en la inducción y multiplicación de las raíces, la elongación de la raíz estuvo influenciada por los factores fisiológicos que comúnmente poseen los esquejes o ambientales circundantes.

Se determinó que el AIB (Ácido Indolbutírico) es el regulador de crecimiento más eficiente para *Morus alba* L. La dosis de T1 (dosis alta 1500 mg L^{-1}) es óptima para garantizar el enraizamiento de los esquejes, mientras que la dosis de T2 (AIB2: 1000 mg L^{-1}) es eficiente para mejor calidad y densidad radicular.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar el tratamiento T1 (AIB en dosis alta) para garantizar que la totalidad de los esquejes activen su crecimiento. Esto disminuye la posible mortalidad en vivero y, por consiguiente, las pérdidas económicas que se generan.

Se recomienda aplicar el tratamiento T2 (AIB; dosis media) para establecer el cultivo en suelos difíciles. Esto se debe a su capacidad para inducir el mayor número de raíces, donde se requiere un buen anclaje y una eficiente absorción de nutrientes,

Es recomendable realizar estudios donde se evalúen el tipo de sustrato (textura y porosidad), las condiciones nutricionales de la planta madre y el origen del esqueje en la rama de la planta para maximizar la etapa de elongación de las raíces.

Estudiar la supervivencia de los esquejes después de trasplantados para verificar los resultados obtenidos con T2 y su respuesta esperada de un crecimiento más rápido de la parte aérea en comparación con T1.

7 Bibliografía

- Alvarado, J. A. (2024). *Evaluación de tres fitohormonas (Cytokin, auxinas+ giberlinas, extracto de algas) en el desarrollo productivo del cultivo de plátano barraganete (Musa paradisiaca) en el cantón Shushufindi-Sucumbíos*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio Institucional ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/d8251a15-509f-4cbb-a83b-b2a7ce6c8174/content>
- Amador, F. (24 de mayo de 2023). *Reguladores de crecimiento 3*. Scribd: <https://es.scribd.com/document/647855227/Reguladores-de-Crecimiento-3>
- Avelar, N. A. (2025). *Indicadores productivos en bovinos de la raza nelore en la finca cabaña tajmahal, Beni, Bolivia*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Agricultura], Repositorio Institucional UNAG. <http://amanglana.unag.edu.hn/jspui/bitstream/123456789/1756/1/NELSON%20ARIEL%20AVELAR%20ORTEZ.pdf>
- Boschini, C. y Rodríguez, A. M. (2002). Inducción del crecimiento en estacas de morera (*Morus alba*), con ácido indol butírico (AIB). *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 19-24. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/download/13229/12504>
- Bustillo, E. (2022). *Identificación y perturbación de la señalización auxínica por el factor Aux/IAA POTENT en el Reloj de la Raíz y la formación de raíces laterales*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid], Repositorio Institucional UPM. https://oa.upm.es/72036/1/ESTEFANO_BUSTILLO_AVENDANO.pdf
- Delis, E. A., Jiménez, R. A., Estrada, M. M. y Gil, G. I. (2025). Forraje verde hidropónico y follaje de morera. Alternativas agroecológicas en la alimentación del ganado lechero en sistemas de producción familiar. *Sistemas de Producción Agroecológicos*, 16(1), e-1162. <https://doi.org/10.22579/22484817.1162>
- dos Santos, M. A., Martins, A. A., do Nascimento, F. J., Alves Cavalcanti, E. M. y Atroch, A. L. (2023). The interactive effect of synthetic auxins and genotypes on the rooting of guarana cuttings. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal*, 66, 1-19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10377664>
- El Saber Batiha, G., Al-Snafi, A. E., Thuwaini, M. M., Teibo, J. O., Shaheen, H. M., Akomolafe, A. P., Ayandeyi Teibo, T. K., Al-kuraishy, H. M., Al-Garbeeb, A. I. y Al-Garbeeb, A. I.

- (2023). *Morus alba*: una revisión fitoquímica y farmacológica exhaustiva. *Arch Pharmacol de Naunyn-Schmiedeberg*, 396, 1399-1413. <https://doi.org/10.1007/s00210-023-02434-4>
- Flores, R. (2023). *Efectos de enraizadores orgánicos y sustratos en la propagación vegetativa del clavel (Dianthus caryophyllus L.) en condiciones de invernadero Samegua-Moquegua*. [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. <https://repositorio-api.ujcm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8295c85f-a201-4d73-ab36-f5e141ba298d/content>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. (2024). *Forraje de Morera es buena fuente de alimento para bovinos*. <https://www.finagro.com.co/noticias/forraje-morera-buena-fuente-alimento-bovinos>
- Gergoff, G. E., Ruscitti, M. F. y Gimenez, D. O. (2023). *Introducción a la propagación vegetal. De la fisiología a la práctica*. La Plata, Argentina: Universidad de la Plata Edulp. <https://fileserv-az.core.ac.uk/download/597602003.pdf>
- Gómez, N. K. (2025). Costo de producción del litro de leche en la asociación Parcopata del Municipio de Viacha. *Revista Científica y Tecnológica AUDICONT*(1), 13-30. <https://revista.instituto-contaduria.com/index.php/OJS/article/view/costo-produccion-leche-parcopata-viacha/13>
- Gómez-Kosky, R., Delgado-Mora, I., Hernández-León, M. C., Toledo-Rodríguez, E. A., Álvarez-Fernández, J., Alejo-Sierra, M., Aguiar-Fernández, A. T.; Bernal-Villegas, A.; Suárez-Castellá, M.; González-Olmedo, J. y Bermúdez-Calimano, M. (2022). Desarrollo de estrategias para la propagación de especies de plantas proteicas y forrajeras. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 56(2), 22-29. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2022/10/articulo-3.pdf>
- Gonza-Carnero, K. A., López-Medina, S. E., Gil, A. E., Mostacero-León, J., López-Zabaleta, A., De La Cruz-Castillo, A. J. y Villena, L. (2020). Enraizamiento de esquejes de tallo juvenil de *Solanum tuberosum* L. var. yungay mediante la aplicación del ácido 2,4-diclorofenoxiacético. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-10. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1604
- Integrated Taxonomic Information System. (03 de junio de 2025). *Morus alba* L. Taxonomy and Nomenclature:

https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=19066#null

- Kien, T. T., Khoa, M. A., Hoan, T. T. y Hien, T. Q. (2020). Effect of cutting intervals on yield and quality of the green fodder *Trichanthera gigantea*. *AGROFOR International Journal*, 5(1), 22-29. <https://doi.org/10.7251/AGRENG2001022K>
- Maqsood, M., Saeed, R. A., Sahar, A. y Khan, M. I. (2022). Mulberry plant as a source of functional food with therapeutic and nutritional applications: A review. 46(e14263), 3541. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14263>
- Mendez, J. (2023). *Evaluación de enraizadores inorgánicos en esquejes de cacao (Theobroma cacao L.)*, Guayas Ecuador. Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MENDEZ%20CHALEN%20JOAN%20MICHAEL.pdf>
- Monteiro, K. A., Orlandini, C. A., Shimizu, G. E., Baudraz, J. C., Roldi, H. y Tadeu, R. (2024). Enhancing Rooting in *Morus alba* Cuttings: Effects of Indolebutyric Acid and a Commercial Rooting Agent across Branch Positions. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(2), e3392. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num2_art:3392
- Moratinos, P. A., Flores, E. K., Perdomo, D. A., Ramírez, M., García, D. E., Medina, M. G. y Castellanos, K. J. (2020). Efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de morera (*Morus alba* L.). *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, 37(Suple. 1), 16-23. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/32985/34590>
- Muicela, T. V. y Vázquez, N. M. (2023). *Efecto de la consistencia de microestacas y diferentes concentraciones de AIB (Ácido indolbutírico) y ANA (Ácido naftalenacético) en el enraizamiento de Macleania rupestris bajo condiciones controladas*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Ucuena. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43411>
- Ontivero-Vasallo, Y. (2021). Caracterización de cinco arbustivas proteicas promisorias para la ganadería cubana. *Pastos y Forrajes*, 44(eE10), 1-11. <https://core.ac.uk/download/pdf/490931089.pdf>
- Paz, E. (2023). *Uso del ácido indol butírico para la propagación de plátano en la provincia del Dorado, región San Martín, 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín], Repositorio Institucional UNSM.

<https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/24ffe3e9-ed19-4fe5-81f1-3ad00b4e8a5c/content>

- Pillacela, N. A. y Capa, E. D. (2020). *Evaluación de la eficiencia de enraizadores sintéticos y naturales sobre esquejes de guayusa (Ilex guayusa) var. Limoncocha, en vivero en la provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional Utpl. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/26733>
- Polo, E. A. y Urieta, S. (2024). Evaluación del efecto de inductor de enraizamiento en la *Tithonia diversifolia* utilizada en la alimentación como fuente proteica. *Semilla del Este*, 4(2), 42-53. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n2.5039>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Rafeeq, J., Mughal, A., Zaffar, S., Dutt, V., Ahmad, K. y Raja, T. (2020). Effect of polyhouse conditions on germination and. *The Pharma Innovation Journal*, 9(9), 417-419. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i9f.5158>
- Regmi, S., Puri, C. y Shah, K. (2022). IBA impact at different dose on mulberry cutting (*Morus abla*). *Investigación en Agricultura, Ganadería y Pesca*, 9(3), 253-257. <https://doi.org/10.3329/ralf.v9i3.63961>
- Ríos, M. R., Rocha, S. P., Niella, F., Keller, H. A. y Duarte, E. R. (2022). Factores que afectan el enraizamiento adventicio y brotación en estacas de *Hyptis australis*. *Revista peruana de biología*, 29(1), e20809 001 - 008. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i1.20809>
- Rolón, A., Mari, C., Mattes, H., Dezzotti, A. y Orlov, D. (2012). Efecto del ácido indolbutírico sobre el enraizamiento de estacas juveniles de verano de *Nothofagus nervosa* y *Nothofagus pumilio* (Nothofagaceae). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 111(2), 91-98. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5718076.pdf>
- Schaffer, M. L., Sperandio, B. N., Bridi, S., Sandoval, M. V. y Fernandes, A. R. (2023). AIB no enraizamiento de estacas invertidas de amoreira. *Revista FOCO*, 16(3), 1-8. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n3-056>
- Sistema Integrado de Información Productiva [SIIP]. (3 de noviembre de 2025). *Pando Industrial y Productivo*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2025-5f32e-PANDO-V3-PANDO-libro.pdf>

- Sourati, R., Sharifi, P., Poorghasemi, M., Alves, V., Seidavi, A., Anjum, N. A. y Soto, A. (2022). Effects of Naphthaleneacetic Acid, Indole-3-Butyric Acid and Zinc Sulfate on the Rooting and Growth of Mulberry Cuttings. *International Journal of Plant Biology*, 13(3), 245-253. <https://doi.org/10.3390/ijpb13030021>
- Velasco, R. (2022). *Aplicación de ácido indolbutírico en propagación de olivo. Efecto sobre la capacidad de enraizamiento bajo nebulización*. [Tesis de maestría, Universidad de Jaén], Repositorio institucional UJAEN. <https://crea.ujaen.es/server/api/core/bitstreams/b2e11b7a-587c-4b06-bd6f-75ec5b3f1e8f/content>
- Villalta, O. N., Elizondo, J. A. y Russo, R. (2022). Propagación de estacas de morera (*Morus alba* L.) en condiciones de invernadero: comunicación. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 2474-2483. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-083>
- Viquez, R. A. (2018). *Establecimiento de un protocolo de propagación in vitro de morera (Morus sp.) para el suministro de material de siembra en la cadena serícola en el departamento del Cauca-Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia], Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69121>
- Wang, L., Gao, H., Sun, C. y Huang, L. (2022). Protective Application of Morus and Its Extracts in Animal Production. *Animals*, 12(24), 3541. <https://doi.org/10.3390/ani12243541>
- Zapatier, D. A., Meza, C. J., Avellaneda, J. H., Meza, M. T., Vivas, W. y Meza, G. A. (2021). Evaluación agronómica y valor nutricional de la Morera (*Morus alba*). *Ciencias de la Producción Animal y Forrajes*, 14(1), 85-93. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.447>

8 Anexos

Anexo 1

Preparación de los sustratos y macetas



Anexo 2

Selección de esquejes de Morus alba L.



Anexo 3

Preparación de las hormonas



Anexo 4

Siembra, preparación y progreso de los esquejes



Anexo 5

Ficha técnica de hormona AIB



Ficha técnica – C-IBA

Generalidades

- C-IBA es un regulador de crecimiento vegetal.
- Ingrediente activo: ACIDO INDOL BUTIRICO (IBA).
- Concentración: 980 gram/kilo.
- Vida útil: 2 años.
- Periodo de re-entrada: 4 horas.
- Registro de Venta ICA No. 2780.
- Presentación: Ziplock bag de 100 gram.



Efectos

- C-IBA es un regulador de crecimiento que promueve el crecimiento de raíces.

Cultivos

- En ornamentales, es usado en los cultivos de Clavel y Crisantemo.

Uso

Cultivos	Dosis (ppm Ingrediente Activo)	Recomendaciones de Uso
Clavel Crisantemo	2000	Se realiza una única aplicación por aspersión con atomizador y/o por inmersión vertiendo la solución en polvo de acuerdo a la concentración de cada tratamiento en un recipiente de poca profundidad. Se introduce el extremo del corte del esqueje en la solución, durante unos segundos, asegurando que todos los esquejes tengan buen contacto con esta.

Recomendaciones

- La aplicación se realiza mediante inmersión de los esquejes.
- Sumerja la parte inferior de los esquejes (1-2 cm) en el polvo diluido o en la solución que contenga el polvo en la dosis recomendada.
- También se permite aplicar mediante aspersión.

T523/ COL / v2101

Chrysal Colombia S.A., Carrera 106 # 15-25 Manzana 9 Bodega 21 Bogota D.C., Colombia
E: info@chrysal.com.co, www.chrysal.com

Anexo 6

Ficha técnica de hormona ANA



ANA

Hormona Vegetal
Concentrado Soluble (SL)

- 01 Generalidades**
- 02 Composición**
- 03 Mecanismo de Acción**
- 04 Características**
- 05 Recomendaciones de uso**
- 06 Info. Adicional**
- 07 Otros**



MATERIAS PRIMAS

Actualización: Junio 2108
Versión: 1.0
Producto: ACIDO NAFTALENACÉTICO

Importado y distribuido por:

Cibochem®

01 Generalidades

El ácido alfa-naftalenacético A.N.A. es un producto que se recomienda particularmente para impedir la caída prematura de las flores y los frutos en plantas y cultivos donde el fruto sea de interés comercial, tales como frutales, hortalizas, cereales, cacao, café, algodón e igualmente en plantas ornamentales, para prolongar el tiempo de floración.

02 Composición

Ingrediente Activo	Ácido alfa-naftalenacético (A.N.A.)	970 g/Kg
Ingrediente Aditivos	c.s.p	1 Kilo

03 Mecanismo de Acción

(El ácido alfa-naftalenacético contiene una hormona vegetal específica, que actúa en forma más efectiva que otros homólogos como AIB (Ácido Indolbutírico) y AIA (Ácido Indolacético).

Es un bioestimulante que presenta una acción de carácter preventivo y correctivo ante la caída prematura de botones, flores y frutos no maduros.

04 Características

Ácido alfa-naftalenacético funciona como un activador enzimático de los siguientes procesos fisiológicos en las plantas: Activa la división celular, regula la maduración, mantiene las semillas en un estado de germinación latente, promueve la emisión de raíces, la floración y la fructificación

05 Recomendaciones de uso

Se recomienda su aplicación para evitar la caída prematura de las flores y frutos en plantas donde el fruto sea de interés comercial, tales como hortalizas, frutales, cereales, cacao y café, e igualmente en plantas ornamentales, para prolongar el tiempo de floración.

Para aplicaciones de Ácido alfa-naftalenacético A.N.A. con aspersora de espalda, use un mínimo de 150 litros de agua por hectárea. Cuando utilice un equipo de bajo volumen, emplee 40 L por hectárea. Para aplicaciones aéreas debe emplearse un mínimo de 30 a 40 litros por hectárea. Aplique en las primeras horas de la mañana o últimas de la tarde, con poca radiación solar y bajas temperaturas. Aplicaciones al medio día pueden no ser tan efectivas por excesiva pérdida de humedad por evaporación.

Consulte con un Ingeniero Agrónomo

06 Info. Adicional

CIBOCHEM S.A.S, garantiza que las características físico-químicas del producto contenido en este envase corresponden a las anotadas en la etiqueta y que es eficaz para los fines aquí recomendados, si se usa y maneja de acuerdo con las condiciones e instrucciones dadas.

TOXICIDAD

Antes de realizar mezclas con Ácido alfa-naftalenacético debe realizarse previamente pruebas de compatibilidad con el producto que se desea mezclar y fito-compatibilidad, en pequeña escala. Ácido alfa-naftalenacético No es compatible con sustancias alcalinas. Ácido alfa-naftalenacético en las dosis y frecuencia recomendadas, es compatible con los cultivos registrados, sin embargo, se recomienda pruebas de fitocompatibilidad con nuevas variedades y/o híbridas.

PERÍODO DE REINGRESO A CAMPO:

P.C: N.A
P.R: N.A