



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES  
NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL  
ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus  
acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO,  
LATACUNGA**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Ambiental

**Autora:**

Nogales Marcalla Joselyn Rubi

**Tutor:**

Rivera Moreno Marco Antonio

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo 2026**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nogales Marcalla Joselyn Rubi con cédula de ciudadanía No. 0504210105, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**, siendo el Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 05 de febrero del 2026



Joselyn Rubi Nogales Marcalla

C.C: 0504210105

**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **NOGALES MARCALLA JOSELYN RUBI**, identificada con cédula de ciudadanía **0504210105** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará la **CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2022 - Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

**Tema: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.
- f) **CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 05 días del mes de febrero del 2026.

  
Joselyn Rubi Nogales Marcalla

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CEDENTE**

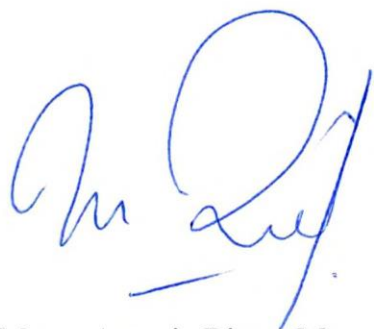
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**, de Nogales Marcalla Joselyn Rubi, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 05 de febrero del 2026



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.  
C.C: 0501518955  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

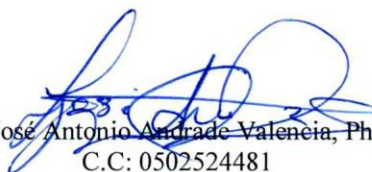
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Nogales Marcalla Joselyn Rubi, con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 05 de febrero del 2026



Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.  
C.C: 0400689790  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Dr. José Antonio Andrade Valencia, Ph.D.  
C.C: 0502524481  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.  
C.C: 0502205164  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero agradezco a Dios por haberme dado suficiente fuerza y sabiduría para terminar esta etapa importante en mi vida.*

*A mis padres y a mi hermana por todo el apoyo incondicional que me han brindado durante toda esta etapa de mi carrera universitaria como también a toda mi familia por su apoyo y confianza en cada paso que he dado.*

*A mi tutor, ingeniero Marco Antonio Rivera Moreno, por su orientación, apoyo constante, su paciencia y por sus valiosos conocimientos brindados en el desarrollo de esta investigación.*

*A mi tutor externo, ingeniero Juan Abraham Estrada por su conocimiento impartido y por todo el apoyo durante mi proceso de titulación.*

*Agradezco a mis lectores, el ingeniero Oscar Rene Daza Guerra, ingeniero José Antonio Andrade Valencia y al ingeniero Cajas Cayo Isaac Eduardo por la paciencia y asesoramiento para culminar con éxito este proyecto y fortalecer mi formación profesional.*

*También agradezco profundamente a los trabajadores del vivero forestal de la Quinta Tunducama de la Prefectura de Cotopaxi, Belisario Quevedo, por su colaboración y por todo el apoyo que me brindaron durante este proceso.*

**Joselyn Rubi Nogales Marcalla**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo dedico con todo mi amor a las personas más especiales que tengo en mi vida:*

*A mis padres: Luis Geova Nogales Cuesta, Elvia Marlene Marcalla Gómez quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por siempre estarme apoyando incondicionalmente por guiar cada uno de mis pasos, por cada sacrificio realizado y por siempre creer en mí. Por todo su apoyo constante por sus consejos y su ejemplo de esfuerzo y dedicación lo que ha sido mi motivación que me impulso a no rendirme. Me dedico este trabajo a mí misma, por no rendirme cuando todo se ponía difícil, por cada lágrima silenciosa, por cada noche de desvelo y por cada esfuerzo que hoy se ve reflejado en este trabajo.*

*A mi familia, amigos y demás que me brindaron tu apoyo, motivación y palabras de aliento durante todo mi proceso.*

***Joselyn Rubi Nogales Marcalla***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOENRAIZANTES NATURALES EN TRES CONCENTRACIONES SOBRE EL ENRAIZAMIENTO Y CRECIMIENTO DE ESTACAS DE ALISO, (*Alnus acuminata*) EN EL VIVERO TUNDUCAMA, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**

**Autora:**

Nogales Marcalla Joselyn Rubi

**RESUMEN**

La investigación se realizó en el vivero Tunducama, ubicado en la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga. El objetivo fue analizar el efecto de tres bioenraizantes naturales y un enraizante químico aplicados en diferentes concentraciones sobre el enraizamiento y crecimiento de estacas de aliso (*Alnus acuminata*). El estudio presentó un enfoque cuantitativo y empleó el método destructivo bajo un diseño de bloques completamente al azar, con un arreglo factorial  $4 \times 3$ , correspondiente a cuatro tipos de bioenraizantes y tres niveles de concentración. Las variables analizadas fueron: porcentaje de enraizamiento, número de estacas con raíz, altura del brote y longitud de la raíz, medidas a los 30, 60 y 90 días. Los resultados evidenciaron que el tipo de bioenraizante influyó significativamente en el desempeño fisiológico de las estacas, registrándose diferencias estadísticas significativas en los distintos muestreos. A los 30 días, Aloe vera presentó el promedio más alto en la altura de los brotes (20,20 mm), así como el mayor número de estacas con brotes (36,11 mm) mostrando el mejor desempeño inicial; mientras que el extracto de plátano registró el valor más bajo (12,86 mm). A los 90 días, Aloe vera mantuvo el mejor desempeño en altura (56,85 mm), mientras que el bioenraizante comercial (Hormonagro) presentó el mayor número de estacas con brotes (84,33 mm) y la mayor longitud radicular (35,22 mm). Por su parte, el extracto de plátano y el extracto de papa mostraron los valores más bajos (71,44 mm). Se concluye que Aloe vera favoreció principalmente el enraizamiento y crecimiento aéreo, mientras que el bioenraizante comercial favoreció en mayor medida el desarrollo radicular. Estos resultados aportan información relevante para optimizar la propagación vegetativa de aliso y fortalecer la reforestación y restauración ecológica.

**Palabras clave:** eficiencia de tratamientos, propagación vegetativa, reforestación, restauración ecológica, sostenibilidad.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES**

**TITLE: “EVALUATION OF THE EFFECT OF THREE NATURAL ROOTING BIOSTIMULANTS AT THREE CONCENTRATIONS ON THE ROOTING AND GROWTH OF ALDER CUTTINGS (*Alnus acuminata*) AT THE TUNDUCAMA NURSERY, BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**

**Author:**  
Nogales Marcalla Joselyn Rubi

**ABSTRACT**

This research was conducted at the Tunducama nursery, located in Belisario Quevedo parish, Latacunga canton. The objective was to analyze the effect of three natural rooting biostimulants and one chemical rooting agent applied at different concentrations on the rooting and growth of alder (*Alnus acuminata*) cuttings. The study followed a quantitative approach and employed a destructive sampling method under a completely randomized block design with a  $4 \times 3$  factorial arrangement, corresponding to four types of rooting treatments and three concentration levels. The evaluated variables were rooting percentage, number of rooted cuttings, shoot height, and root length, measured at 30, 60, and 90 days. The results showed that the type of rooting treatment significantly influenced the physiological performance of the cuttings, with statistically significant differences observed across sampling periods. At 30 days, Aloe vera presented the highest average shoot height (20.20 mm), as well as the greatest number of sprouted cuttings (36.11 mm), demonstrating the best initial performance, whereas banana extract recorded the lowest value (12.86 mm). At 90 days, Aloe vera maintained the best performance in shoot height (56.85 mm), while the commercial rooting agent (Hormonagro) showed the highest number of sprouted cuttings (84.33 mm) and the greatest root length (35.22 mm). In contrast, banana and potato extracts showed the lowest values (71.44 mm). It is concluded that Aloe vera primarily enhanced rooting and aerial growth, whereas the commercial rooting agent mainly promoted root development. These findings provide relevant information to optimize the vegetative propagation of alder and strengthen reforestation and ecological restoration.

**Keywords:** treatment efficiency, vegetative propagation, reforestation, ecological restoration, sustainability.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
6. OBJETIVOS .....	6
6.1. Objetivo general.....	6
6.2. Objetivos específicos .....	6
7. ACTIVIDADES EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA.....	8
8.1. Bases conceptuales de la restauración ecológica .....	8
8.1.1. Restauración ecológica .....	8
8.1.2. Rol de la reforestación con especies nativas.....	8
8.2. Generalidades de <i>Alnus acuminata</i> .....	9
8.2.1 Taxonomía y clasificación botánica de Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ) .....	9

8.2.2. Distribución geográfica y ecología de Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ).....	10
8.2.3. Importancia ecológica de <i>Alnus acuminata</i> .....	11
8.3. Propagación vegetal en especies forestales.....	12
8.3.1. Propagación sexual y vegetativa.....	12
8.3.2. Propagación por estacas en viveros forestales.....	12
8.4. Fisiología del enraizamiento adventicio.....	13
8.4.1. Conceptualización.....	13
8.4.2. Formación de raíces adventicias.....	13
8.4.3. Rol de las fitohormonas en el enraizamiento.....	14
8.4.4. Auxinas naturales y su función.....	15
8.4.5. Factores internos y externos que influyen en el enraizamiento.....	15
8.5. Reguladores de crecimiento vegetal.....	16
8.5.1. Reguladores de crecimiento sintéticos.....	16
8.5.2. Bioestimulantes y bioenraizantes naturales.....	17
8.6. Bioenraizantes naturales de origen vegetal.....	17
8.6.1. Extractos vegetales ricos en compuestos bioactivos.....	17
8.6.2. Principales bioenraizantes.....	18
8.7. Concentración de bioenraizantes y respuesta fisiológica.....	19
8.7.1. Relación dosis-respuesta en fisiología vegetal.....	19
8.7.2. Efectos de la concentración en el desarrollo radicular y aéreo.....	20
9. HIPÓTESIS.....	21
10. ÁREA DE ESTUDIO.....	22
11. METODOLOGÍA.....	23
11.1. Tipo de investigación.....	23
11.2. Método cuantitativo.....	24
11.3. Método destructivo.....	24
11.4. Diseño experimental.....	25

11.5. Técnicas de investigación.....	26
11.6. Procesamiento de datos.....	29
12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	29
Tabla 18. Tukey Para estacas con raíz a loa 90 días.....	36
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
14.1. Conclusiones .....	40
14.2. Recomendaciones.....	41
15. BIBLIOGRAFÍA .....	42
16. ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto de investigación.....	4
Tabla 2. Actividades y sistema de tareas en la relación a los objetivos planteados .....	7
Tabla 3. Taxonomía de <i>Alnus acuminata</i> .....	9
Tabla 4. <i>Operacionalización de las variables independientes</i> .....	21
Tabla 5. <i>Operacionalización de las variables dependientes</i> .....	22
Tabla 6. Tratamientos para el estudio .....	25
Tabla 7. Adeva del estudio .....	26
Tabla 8. ADEVA de la altura de brotes a los 30 días.....	29
Tabla 9. Prueba Tukey de altura de brotes a los 30 días según bioenraizante.....	30
Tabla 10. ADEVA de la altura de brotes a los 60 días.....	31
Tabla 11. ADEVA de la altura de brotes a los 90 días.....	31
Tabla 12. Tukey para altura de brotes a los 90 días .....	32
Tabla 13. Tukey para concentración de altura de brotes a los 90 días .....	33
Tabla 14. ADEVA del número de estacas con raíz a los 30 días.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ( <i>Alnus acuminata</i> ).....	10
Figura 2. Ubicación del proyecto.....	23
Figura 3. Altura media de los brotes a los 30 días .....	30
Figura 4. Altura media de los brotes a los 90 días .....	33

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del proyecto:**

Evaluación del efecto de cuatro bioenraizantes naturales en tres concentraciones sobre el enraizamiento y crecimiento de estacas de Aliso, (*Alnus acuminata*) en el vivero de Tunducama, Belisario Quevedo, Latacunga.

**Lugar de ejecución:** Vivero de Tunducama, ubicado en la Quinta Tunducama de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga.

**Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Ambiental

**Nombres de equipo de investigadores:**

**Tutor:** Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

**Lector 1:** Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

**Lector 2:** Dr. José Antonio Andrade Valencia, PhD.

**Lector 3:** Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.

**Estudiante:** Srta. Joselyn Rubi Nogales Marcalla

**Área de Conocimiento:**

Medio Ambiente, Ciencias Naturales, Ciencias Ambientales

**Línea de investigación:**

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

**Línea de vinculación:**

Flora y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales

## 2. INTRODUCCIÓN

La restauración de ecosistemas forestales degradados y la producción de plantas nativas en vivero se han consolidado como líneas estratégicas para sostener servicios ecosistémicos clave, debido a que la calidad del material vegetal determina en gran medida la supervivencia, el crecimiento inicial y la capacidad de establecimiento en campo, por lo que la optimización del enraizamiento en estacas constituye un componente técnico decisivo dentro de programas de reforestación y recuperación de cuencas (Organización de las Naciones Unidas, 2025).

En Ecuador, la dinámica reciente de la pérdida de bosque muestra la ocurrencia de dicho problema y su relación con el cambio de uso de suelo, ya que estudios de series temporales muestran una pérdida acumulativa de 239 849 hectáreas entre 2020 y 2024, con provincias que superan las decenas de miles de hectáreas, y donde se encuentran reportes de que Cotopaxi se encuentra entre las zonas con pérdidas importantes, escenario que reafirma la pertinencia de propuestas de investigación aplicada en viveros asociados a restauración local (Alvarado, 2025).

En este sentido, el vivero Tunducama de la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga muestra condiciones andinas en cuanto a altura y clima que son relevantes para la fisiología del material vegetativo, así que el uso de técnicas de enraizamiento en estacas debe someterse a control experimental para poder producir evidencias válidas en condiciones ambientales donde se desarrollará la propagación.

La especie Aliso (*Alnus acuminata*), tiene valor ecológico y productivo en sistemas andinos, ya que se le atribuye un alto potencial para reforestar y constituir arreglos agroforestales, asociado a su capacidad para contribuir a la recuperación de suelos y su idoneidad a los procesos de restauración, razón por la que la mejora de su propagación vegetativa en viveros se adecúa a necesidades reales de generación de plantas nativas para abordar la intervención de paisajes degradados (Calderón, 2025). En términos ecológicos, el empleo de esta especie constituye un mecanismo fundamental para combatir la degradación edáfica, recuperar la cobertura vegetal e incrementar la resiliencia de los ecosistemas andinos. A su vez, fomenta la conservación de la biodiversidad y el manejo adecuado del territorio, componentes cruciales para planificar y ejecutar proyectos destinados a la recuperación del medio ambiente y al desarrollo sostenible.

La multiplicación por estacas si bien cuenta con unas ventajas operativas que permitirían obtener un material uniforme, sufre variabilidad en el porcentaje de enraizamiento y en el vigor inicial, lo que ha llevado al recurso de reguladores de crecimiento sintéticos y, cada vez más, a la exploración de alternativas biológicas. Esto es así debido a que los bioestimulantes se caracterizan por mejorar la eficiencia nutricional, el estrés hídrico y los parámetros de calidad del crecimiento sin ser fertilizantes tal y como los entendemos (Zulfiqar, Moosa, Ali, Bermejo, & Munné-Bosh, 2024).

La metodología se basa en un diseño experimental de arreglo factorial 4×3 y un testigo comercial, configurado en un diseño de bloques completamente al azar, con medición de variables de enraizamiento y crecimiento a los 30, 60, y 90, días, que se plantea a partir del ANOVA y la comparación de medias para discriminar efectos del tipo de bioenraizante, las concentraciones y la interacción, permitiendo vincular directamente el problema técnico del enraizamiento con un procedimiento estadístico que respalda decisiones de manejo del vivero.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación responde a la necesidad de avanzar en el fortalecimiento de los procesos productivos de las plantas forestales nativas que serán empleadas para la implementación de programas de reforestación y restauración ecológica, dado que la calidad del enraizamiento y del crecimiento inicial determina la supervivencia y funcionalidad de las plantas en el campo. En los ecosistemas andinos, la propagación eficiente de especies como Aliso (*Alnus acuminata*) tiene una importancia particular por su valor ecológico y su utilidad en la recuperación de suelos degradados y áreas perturbadas (Obando, 2022).

En el vivero Tunducama la variabilidad en el enraizamiento de estacas y la característica de optimizar recursos técnicos, pero también económicos, en tanto que pueda identificarse en la propuesta de bioenraizantes naturales válidos y accesibles, una situación técnica aplicable a la gestión del vivero y replicable en contextos similares, lo que facilita un crecimiento de las frutas y las plantas en un contexto normal, pero que también anticipa al mismo tiempo que la propuesta reducir la utilización de insumos comerciales de origen sintético para evitar recurrir a insumos importados (Rojas, 2024).

Los resultados obtenidos del estudio pueden considerarse en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en concreto el ODS 15, el de proteger y restaurar los ecosistemas

terrestres, con lo que se apoyan las prácticas de propagación vegetal que refuerzan los procesos de reforestación con especies nativas y la gestión sostenible de los recursos naturales (ONU, 2023). De esta forma, la investigación no sólo da cumplimiento a compromisos ambientales globales, sino que también proporciona soporte a las acciones locales de restauración ecológica ancladas en las bases que proporciona la evidencia científica.

El desarrollo de este proyecto permitió generar información práctica y aplicable para mejorar la propagación vegetativa de Aliso (*Alnus acuminata*) en el vivero Tunducama ya que los resultados obtenidos permiten seleccionar bioenraizantes naturales que favorezcan el enraizamiento y el crecimiento inicial de las estacas, reduciendo la utilización de productos comerciales y promoviendo prácticas más sostenibles. Además, este estudio contribuye al fortalecimiento de los procesos de producción de plantas nativas destinadas a programas de reforestación y restauración ecológica, apoyando la conservación del suelo, la recuperación de ecosistemas degradados y el manejo responsable de los recursos naturales desde un enfoque propio ingeniería ambiental.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la tabla 1 se presentan los beneficiarios directos e indirectos:

**Tabla 1.** Beneficiarios del proyecto de investigación

Beneficiarios	Sector	Población
Directos	Parroquia Belisario Quevedo	6 359 personas
Indirectos	Agricultores de la provincia de Cotopaxi	470 210 personas

*Nota.* Información obtenida del GAD parroquial Belisario Quevedo

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El deterioro progresivo de los ecosistemas forestales andinos asociado a procesos de deforestación, cambio de uso de suelo y degradación edáfica ha incrementado la demanda de plantas nativas producidas en vivero con estándares adecuados de calidad morfológica y fisiológica, dado que la literatura reconoce que la baja calidad del material vegetal constituye una de las principales causas de fracaso en programas de reforestación y restauración ecológica, especialmente en regiones de montaña donde las condiciones ambientales imponen mayores restricciones al establecimiento inicial de las plantas (Ayala & Camacás, 2019).

la pérdida de cobertura forestal en Ecuador es una problemática relevante, con impactos directos sobre la estabilidad de los suelos, la regulación hídrica y la biodiversidad, situación que ha motivado la implementación de proyectos de restauración con especies nativas como Aliso (*Alnus acuminata*), sin embargo, estos esfuerzos se ven limitados por deficiencias técnicas en los viveros forestales, particularmente en los procesos de propagación vegetativa, donde se registran porcentajes variables de enraizamiento y crecimiento inicial insuficiente de las estacas (Jiménez W. , 2022).

El vivero Tunducama, ubicado en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, enfrenta dificultades recurrentes en la producción de plantas de Aliso (*Alnus acuminata*), mediante estacas, relacionadas con la falta de protocolos estandarizados para el uso de bioenraizantes y con la dependencia de productos comerciales de origen sintético que incrementan los costos de producción y no siempre garantizan resultados consistentes bajo las condiciones edafoclimáticas locales.

A pesar de que un estudio reciente ha demostrado el potencial de bioenraizantes naturales como alternativas sostenibles para estimular la formación de raíces adventicias y mejorar el crecimiento inicial en diferentes especies vegetales, existe una limitada disponibilidad de información científica aplicada a especies forestales nativas andinas y a concentraciones específicas de estos insumos, lo que genera una brecha de conocimiento que dificulta su adopción técnica en viveros forestales de carácter local o comunitario (Tejano, 2022).

Esta ausencia de información experimental validada impide optimizar los procesos de propagación de Aliso (*Alnus acuminata*), en el vivero Tunducama y reduce la eficiencia de los programas de reforestación asociados, lo que evidencia la necesidad de evaluar de manera sistemática el efecto de diferentes bioenraizantes naturales y sus concentraciones sobre el enraizamiento y crecimiento de estacas, con el fin de generar soluciones técnicas acordes a los principios de la ingeniería ambiental y a las estrategias de restauración ecológica sostenible.

## 6. OBJETIVOS

### 1. 6.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de tres bioenraizantes naturales aplicados en tres concentraciones sobre el enraizamiento y el crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) en el vivero Tunducama, Belisario Quevedo.

### 2. 6.2. Objetivos específicos

- Comparar el efecto de tres bioenraizantes naturales (aloe vera, extracto de papa y cáscara de plátano) sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*).
- Determinar el desarrollo radicular y aéreo de las estacas según el tipo de bioenraizante y la concentración aplicada.
- Identificar el bioenraizante y la concentración con mejor desempeño en el enraizamiento y crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*), con base en la comparación de medias y pruebas estadísticas.

## 7. ACTIVIDADES EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2.** Actividades y sistema de tareas en la relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo</b>	<b>Metodología</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados</b>
Comparar el efecto de tres bioenraizantes naturales y uno comercial sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de <i>Alnus acuminata</i> .	- Metodología experimental y descriptiva. - Técnicas de propagación vegetativa en vivero. Instrumentos: fichas de registro, regla milimétrica, balanza digital y hojas de control.	- Corte de estacas de <i>Alnus acuminata</i> . - Elaboración de los bioenraizante. - Aplicación de los tratamientos. - Siembra de estacas. - Registro de datos.	Determinación del bioenraizante que presenta mayor porcentaje de enraizamiento en estacas, generando información comparativa.
Determinar el desarrollo radicular y aéreo de las estacas según el tipo de bioenraizante y la concentración aplicada.	- Metodología experimental y descriptiva. - Método de medición directa. Instrumentos: regla graduada, balanza digital y fichas de observación.	- Medición del crecimiento aéreo y radicular. - Registro de datos por tratamiento. - Organización de la información en matrices.	Caracterización del crecimiento radicular y aéreo de las estacas tratadas, permitiendo identificar tratamientos que favorecen un desarrollo vegetal.
Identificar el bioenraizante y la concentración con el mejor desempeño en el enraizamiento y crecimiento de estacas de <i>Alnus acuminata</i> .	- Metodología experimental. - Técnicas de análisis de varianza, Statgraphics Centurion VIII mediante ANOVA y pruebas de Tukey	- Aplicación de análisis de ANOVA. - Interpretación de resultados comparativos entre tratamientos.	Identificación del tratamiento óptimo en función de la interacción bioenraizante-concentración, para la producción eficiente de <i>Alnus acuminata</i> .

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

## **8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA**

### **3. 8.1. Bases conceptuales de la restauración ecológica**

#### **8.1.1. Restauración ecológica**

La restauración ecológica, entendida como un proceso de intervención planificada para reencauzar ecosistemas degradados hacia trayectorias de recuperación funcional en condiciones idiosincráticas, forma parte del ámbito de la ingeniería ambiental a partir de la articulación de diagnóstico de la degradación, diseño de soluciones basadas en la naturaleza, gestión de riesgos ecosistémicos y verificación de resultados mediante indicadores ecológicos y de desempeño, siguiendo el enfoque de la recuperación de funciones y de la resiliencia y no simplemente la revegetación del área (Madroñero-Palacios & Muñoz-Guerrero, 2024).

Las intervenciones de restauración en bosques y pastizales pueden alterar los procesos biogeoquímicos con efectos medibles a escala ecosistema, comenzando por mejoras de propiedades del suelo asociadas a una mayor captura de metano, en estudios provenientes de revisiones actuales (He, Ding, Cheng, & al., 2024), lo que posiciona a la restauración como una línea de trabajo en coherencia con fines de sostenibilidad y de mitigación climática que requieren soporte metodológico y de escalabilidad y seguimiento operativo (Werden, Cole, Schonhofer, & al., 2024).

#### **8.1.2. Rol de la reforestación con especies nativas**

La reforestación con especies nativas es uno de los pilares de la restauración activa ya que tendría mayores beneficios para la biodiversidad cuando se aplican con mezclas más heterogéneas y con estructuras más semejantes a la composición local (Angulo & Chillagana, 2018), que posteriormente es avalado por el meta-análisis de evidencias que destaca que las plantaciones de especies nativas mixtas tienen ventajas consistentes frente a las plantaciones simplificadas, el hecho es de interés para regiones andinas donde la restauración busca recuperar la estructura, el hábitat, la funcionalidad ecosistémica (Wang, Zhang, Li, & Wu, 2021).

El vínculo entre la reforestación y la sostenibilidad ambiental se consolida teniendo en cuenta que la continuidad del sistema, la regulación hidrológica o la disminución de la erosión depende tanto de la existencia de cobertura forestal como de decisiones técnicas en especie, densidad y calidad del material de plantación, puesto que un estudio reciente en hidrología de

cuencas hace hincapié en la influencia de la existencia de cobertura de los factores en sí, en la disponibilidad de agua y en la capacidad de infiltración sedimentación (François, y otros, 2024), mientras que otro estudio reciente conduciendo a calidad de plántulas confirma que la calidad del plantín condiciona el rendimiento de campo; en este sentido, queda justificado que la producción de material vegetal a edificar en vivero de alta calidad sea considerada como un requisito técnico para el éxito de la reforestación con especies nativas (Guimarães, Da Silva, & Ferreira, 2024).

#### 4. 8.2. Generalidades de *Alnus acuminata*

##### 8.2.1 Taxonomía y clasificación botánica de Aliso (*Alnus acuminata*)

*Alnus acuminata* Kunth es un árbol que pertenece al reino *Plantae*, *phylum* *Tracheophyta* y clase *Magnoliopsida*, en el orden Fagales y la familia *Betulaceae*. De este modo, (*Alnus acuminata*) se encuentra clasificada dentro de un grupo de angiospermas leñosas en el cual se observa la presencia de hojas simples alternas, flores en amentos y frutos secos alados que favorecen la dispersión anemócora. Esta especie se caracteriza por su hábito arbóreo y su intenso crecimiento rápido alcanzando hasta 20 m en condiciones naturales, con tronco cilíndrico y corteza escamosa y con lenticelas a simple vista, hojas alternas, simples, con ápice acuminado y frutos tipo Samara con alas membranosas que favorecen la dispersión (Fondo Golfo de México, 2020).

**Tabla 3.** Taxonomía de *Alnus acuminata*

Clasificación	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Fagales
<b>Familia</b>	Betulaceae
<b>Género</b>	<i>Alnus</i>
<b>Especie</b>	<i>Alnus acuminata</i>
<b>Nombre común</b>	Aliso blanco

*Nota.* Tomado de (Lao, 1969)

**Figura 1.** (*Alnus acuminata*)



Nota. Tomado de <https://inaturalist-open-data.s3.amazonaws.com/photos/217267995/original.jpg>

### 8.2.2. Distribución geográfica y ecología de Aliso (*Alnus acuminata*)

La especie Aliso (*Alnus acuminata*), es originaria de América Central y América del Sur, desde el centro de México hasta el norte de Argentina; crece principalmente en los bosques montanos y zonas de montaña, distribuyéndose a lo largo de una altitud de 1200 – 3500 m.s.n.m. y condiciones de precipitación anual de 1000-3000 mm (Conabio, 2020). Esta extensa distribución geográfica coloca a *Alnus acuminata* como una especie importante en los ecosistemas andinos y mesoamericanos, dado su papel como pionera en áreas perturbadas, márgenes de flujos hídricos y taludes, con alta resistencia a suelos pobres y ácidos, favoreciendo así la colonización y estabilización del suelo en áreas degradadas (Obando, 2022).

Desde la perspectiva ecológica, la especie tiene una importancia importante para aumentar la fertilidad del suelo y curar paisajes degradados, gracias a su relación con los microorganismos fijadores de nitrógeno y su crecimiento rápido, lo que aumenta la materia orgánica y mejora las propiedades físico-químicas del suelo (Saucedo-Urriarte, Oliva-Cruz, Maicelo-Quintana, Meléndez-Mori, & Collazos-Silva, 2022). De igual forma, según Añazco et al. (2023), la especie es importante como elemento estructural y funcional dentro de los bosques nubosos y los bosques del Yunga, proporcionando hábitat, y recursos a una diversidad de hongos ectomicorrícicos y otras asociaciones simbióticas que influyen en la dinámica de los ecosistemas.

### 8.2.3. Importancia ecológica de *Alnus acuminata*

**8.2.3.1. Características botánicas y distribución.** *Alnus acuminata* es una especie forestal perteneciente a la familia *Betulácea*, conocida comúnmente como aliso andino, que presenta un denso porte arbóreo de entre 8 y 30 m de altura, poseyendo un sistema radical muy evolucionado que hace que sus raíces se aferren fuertemente a suelos con pronunciadas pendientes y con distintas condiciones de humedad, lo que le confiere una ventaja competitiva a esta especie en la zona montana andina (Valencia, 2018). Esto se traduce en su estructura fenológica caracterizada por hojas simples, alternas y serradas; flores en amentos y frutos secos alados que favorecen la dispersión por viento y agua, lo que, desde el punto de vista fenológico y taxonómico, determina su posibilidad de obtener el estatus de especie perenne en los diferentes microambientes que corresponden a la montaña y su potencial para la recuperación ecológica en localidades perturbadas (Aguiluzaca, 2021). Esta amplia distribución en la zona de montaña se encuentra, además, con una buena adaptación a suelos con textura edáfica y distintas condiciones de humedad, convirtiéndose en una especie de importancia ecológica y económica en la zona montana andina y, por lo tanto, sirve como base para la elección de esta especie en estudios sobre propagación vegetativa y restauración ecológica (Vistin, Herrera, Basantes, & Sánchez, 2023).

**8.2.3.2. Funciones ecosistémicas y usos en restauración.** Dentro de las múltiples funciones ecosistémicas que tiene *Alnus acuminata* destaca la capacidad de formar simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Frankia*, permitiéndole con ello enriquecer la disponibilidad de nitrógeno en suelos pobres o degradados (Calderón, 2025); en las que ha sido comprobada tanto en estudios experimentales como en estudios de restauración, lo que supone una ventaja funcional para aumentar la fertilidad de suelos forestales, pudiendo facilitar la sucesión ecológica a otras especies vegetales en sistemas degradados (Wicaksono, y otros, 2017).

En la misma línea, un estudio de dinámica en nutrientes ha señalado que Aliso (*Alnus acuminata*) provoca un impacto diferente sobre las relaciones de nutrientes y la estructura del suelo en comparación a especies exóticas como *Pinus patula*, afirmando que el uso de *Alnus acuminata* mejora el proceso de restauración de suelos degradados en ambientes andinos dado que favorece la ciclación de nutrientes, incrementando así la fertilidad y la estructura del perfil del suelo; lo que argumenta su aplicación en prácticas de restauración ecológica y de manejo sostenible de cuencas forestales (Quichimbo, Jiménez, Veintimilla, & al., 2020).

## **5. 8.3. Propagación vegetal en especies forestales**

### **8.3.1. Propagación sexual y vegetativa**

La propagación de las especies vegetales de los árboles consiste en un componente técnico fundamental dentro de la silvicultura y la ingeniería ambiental, ya que define la existencia, calidad genética y comportamiento fisiológico del material vegetal que se aplica en los programas de reforestación y restauración ecológica (Gergoff, Rusciatti, & Gimenez, 2023). La propagación sexual, que se basa en el uso de semillas, mantiene la variabilidad genética de las poblaciones y favorece los procesos adaptativos en el largo plazo, aunque ampliamente se observa que su implementación práctica puede verse condicionada por una heterogeneidad en la germinación, por latencia seminal o la heterogeneidad en crecimiento inicial, a pesar de que ellas vayan muchas veces ligadas a especies nativas de ecosistemas andinos en el que la existencia de semilla viable puede ser estacional o limitada (Koch & Kaplan, 2022).

A diferencia de la propagación vegetativa, que se apoya en la regresión de tejidos somáticos a partir de los cuales se generan individuos genéticamente equilibrados y con las características deseables previamente seleccionadas, lo que permite disminuir el tiempo de producción de los ejemplares en el vivero y favorecer la eficiencia operativa (Suárez, 2020). Para continuar, un experimento llevado a cabo en viveros forestales demostró que este tipo de propagación supone ciertas ventajas en las especies nativas en lo que respecta a restauración, pues permite evadir limitaciones reproductivas, alcanzar homogeneidad morfológica o responder mejor a objetivos de manejo ambiental y solo, siempre que el origen del material vegetal y las condiciones de propagación están controladas (Gondim, Nolasco, & Araujo, 2019).

### **8.3.2. Propagación por estacas en viveros forestales**

La propagación por estacas es una de las técnicas vegetativas más utilizadas en viveros forestales debido a su simplicidad operativa y a la posibilidad de producir grandes cantidades de plantas en periodos relativamente cortos, lo que la convierte en una alternativa estratégica para programas de restauración a escala local y regional (Cordova, 2023). Desde el punto de vista técnico, esta metodología se basa en la inducción de raíces adventicias a partir de segmentos de tallo, proceso que depende de factores fisiológicos, anatómicos y ambientales, así como de prácticas de manejo relacionadas con el sustrato, la humedad y la aplicación de

sustancias estimulantes del enraizamiento (Guallpa-Calva, Noboa-Silva, & Carpio-Coba, 2022).

No obstante, la eficiencia del enraizamiento por estacas presenta limitaciones asociadas a la variabilidad biológica del material madre, a la edad fisiológica de los tejidos y a la sensibilidad de las estacas a condiciones micro climáticas inadecuadas, aspectos que pueden traducirse en bajos porcentajes de enraizamiento o en un desarrollo radicular deficiente (Bautista-Ojeda, Vargas-Hernández, Jiménez-Casas, & López-Peralta, 2022). Una investigación en viveros forestales ha señalado que la estandarización de protocolos técnicos y la evaluación de alternativas biológicas para estimular el enraizamiento constituyen elementos clave para mejorar la calidad de las plantas producidas, reforzando la necesidad de estudios experimentales que permitan optimizar esta técnica en especies forestales nativas bajo condiciones específicas de sitio (Morocho & Morocho, 2025).

## **6. 8.4. Fisiología del enraizamiento adventicio**

### **8.4.1. Conceptualización**

El enraizamiento adventicio es un proceso fisiológico en el que estructuras radiculares surgen de órganos vegetales que normalmente no desarrollan raíces (tallos, hojas), y se constituye como un proceso fundamental para la propagación vegetativa de plantas ornamentales, agrícolas y forestales (Geiss, Gutierrez, & Bellini, 2018). Desde una óptica morfo fisiológica, el enraizamiento adventicio significa la reprogramación de células somáticas, desde determinados sitios del tejido cortical o del parénquima de tallo, hasta una trayectoria de desarrollo radicular; proceso que se desarrolla en fases bien definidas de inducción, iniciación y diferenciación celular, y que se encuentra influido por señales hormonales, condiciones ambientales y la edad fisiológica del material (Roussos, 2023). Por eso mismo, el enraizamiento adventicio no solo es un atributo de supervivencia de la planta, sino que es también una herramienta de manejo técnico para aumentar la eficiencia del proceso de propagación de especies de importancia ecológica y productiva como el *Alnus acuminata*, permitiendo la producción de plantas homogéneas y vigorosas para programas de reforestación y restauración ecológica.

### **8.4.2. Formación de raíces adventicias**

La creación de raíces adventicias en esquejes consiste en un proceso de organogénesis post embrionaria que se pone en marcha a partir de la reprogramación del destino de las

células diferenciales del tallo cuando están en condiciones de iniciar el proceso para dar primordios radiculares (Adem, Sharma, Sinhg, Safranek, & Jásik, 2024). A partir de aquí se establece la señalización hormonal que regula la diferenciación, la división celular localizada y la posterior organización de los tejidos conductores que unen el nuevo sistema radicular con la xilema del esqueje, en el que participan de forma relevante las redes de señalización de auxinas y su regulación transcripcional en la inducción temprana del enraizamiento (Wang, y otros, 2025).

A lo largo del avance del proceso, la inducción es completada por etapas de iniciación, desarrollo y emergencia, donde la coordinación entre el transporte hormonal, la regulación genética y la disponibilidad metabólica mantiene la formación y elongación de raíces mientras que su arquitectura final es dependiente de la capacidad del tejido en cuanto a la sostenibilidad de la diferenciación vascular y la expansión celular (Tahir, y otros, 2022), que en las especies leñosas puede verse restringida por la madurez fisiológica y la recalcitrancia al enraizamiento, por lo que los estudios en la actualidad en torno a mecanismos reguladores en las plantas leñosas constituyen una base directa para establecer tratamientos que tiendan a incrementar la competencia rizo génica en el vivero (Liu, Gao, Zhang, Gao, & al., 2025).

#### **8.4.3. Rol de las fitohormonas en el enraizamiento**

El fenómeno de la formación de raíces adventicias en estacas de plantas es un fenómeno fisiológico complejo y profundamente controlado por las fitohormonas, las cuales actúan como las señales endógenas clave en la inducción, la diferenciación o la formación de nuevas raíces fuera de la raíz principal (da Costa, y otros, 2013). Las hormonas implicadas en la regulación del enraizamiento en estacas son muchas, entre las cuales las auxinas han sido descritas como el componente central del proceso de enraizamiento, ya que son capaces de iniciar la reprogramación celular para desarrollar raíces adventicias en los cortes de tallo (Ricci, y otros, 2023). Las auxinas, junto con las otras hormonas relacionadas como el etileno, las giberelinas o las cito cininas interactúan y modulan los efectos de las auxinas y son capaces de coordinar la transición entre la inducción, la iniciación y la expresión del enraizamiento en función de las descripciones obtenidas en estudios moleculares y fisiológicos de especies vegetales (Díaz-Sala, 2021). Por tanto, la aplicación exógena de auxinas o de otros compuestos que modulen la señalización y el transporte de auxinas puede alterar de forma significativa la capacidad de enraizamiento de las estacas, lo que pone de

manifiesto la importancia de las hormonas vegetales en la propagación vegetativa de plantas leñosas y forestales (Pop, Pamfil, & Bellini, 2021).

#### **8.4.4. Auxinas naturales y su función**

Las auxinas son un grupo de fitohormonas naturales que regulan múltiples procesos de crecimiento y desarrollo en plantas, siendo la formación de raíces adventicias uno de los más importantes en términos de propagación vegetativa (Alcantara-Cortes, Acero, Alcántara-Cortés, & Sánchez, 2019). El ácido indol-3-acético (IAA) es la auxina natural más abundante en los tejidos vegetales y participa en la división celular y en la elongación y diferenciación celular en meristemos, organizando las señales que dan lugar a la formación de raíces adventicias (Vega-Calderón, Canchignia, González, & Seeger, 2016). Recientes estudios han puesto de manifiesto que la acumulación local de auxina en la base de los cortes puede inducir la expresión de genes relacionados con la respuesta a auxinas, lo que desencadena la formación de primordios radiculares y la posterior elongación de raíces en tallos preparados para el enraizamiento (Adem, Sharma, Sinhg, Safranek, & Jásik, 2024). La generación, el transporte polar y los gradientes de auxina en los tejidos de la estaca son esenciales ya que la polaridad de la auxina regula las fases de la inducción y la diferenciación de las células madre de las raíces, son mecanismos complejos, pero todos han sido bien documentados como determinantes en el enraizamiento eficiente en especies forestales y hortícolas (Ombrosi, 2023).

#### **8.4.5. Factores internos y externos que influyen en el enraizamiento**

El éxito del enraizamiento está determinado por factores internos de tipo fisiológico del material vegetal, puesto que el equilibrio hormonal endógeno, la disponibilidad adicional de carbohidratos y compuestos fenólicos, el potencial antioxidante y el metabolismo del nitrógeno (Tahir, y otros, 2022), están ligados a la forma en que se expresarán las respuestas rizo génicas y a la forma de la que se da el paso entre los estados de enraizamiento, pudiendo así la variabilidad de las plantas madre y el momento de recolección dar lugar a diferencias en los porcentajes de las estacas enraizadas y en la calidad del sistema radicular formado (Sae- Tang, Heuvelink, Kohlen, Argiry, & al., 2024).

En el componente externo, el microclima del vivero y la toma de decisiones en el manejo determinan la habilidad de la estaca para mantener su balance hídrico y permitir procesos de organogénesis, dado que la radiación, temperatura y humedad relativa regulan la

transpiración, fotosíntesis y asignaciones de recursos hacia la base del esqueje, en tanto que el sustrato, el grado de aireación y retención hídrica afectan la concentración de oxígeno y la disminución de pudriciones (Martini, Bertouklis, Vlachou, & Papafotiou, 2025), por lo que una investigación reciente en propagación por esquejes detalla que el control fino de la humedad ambiental, de luz y temperatura, sumado a la selección del sustrato adecuado, constituye un determinante operativo para maximizar el enraizamiento y la calidad de raíces en condiciones de producción (Kim, Hahm, Lee, Bok, & Park, 2025).

## **7. 8.5. Reguladores de crecimiento vegetal**

### **8.5.1. Reguladores de crecimiento sintéticos**

Los reguladores sintéticos de crecimiento vegetal son sustancias químicas de carácter artificial que intentan replicar o utilizar las propias acciones de las fitohormonas naturales, con la pretensión de modificar los procesos fisiológicos como la división celular, la elongación, la diferenciación de tejidos, el enraizamiento en las plantas cultivadas, así como en los plantines obtenidos desde viveros forestales (Alcantara-Cortes, Acero, Alcántara- Cortés, & Sánchez, 2019). Los tipos de reguladores más empleados en técnicas de horticultura y propagación vegetativa son, entre otros, auxinas sintéticas como el ácido indol-3-butírico (IBA) y el ácido naftalenacético (NAA), citoquininas, giberelinas, entre otras sustancias que, mediante dosis controladas, pueden inducir respuestas de crecimiento específicas de acuerdo a la etapa del desarrollo de la planta cultivada utilizada (Small & Degenhardt, 2018).

Sin embargo, el uso de reguladores sintéticos tiene algunas limitaciones desde una perspectiva ambiental y de producción sostenible, dado que su uso continuado y frecuente puede provocar residuos persistentes en el suelo o agua, alterar las interacciones ecológicas entre las plantas y los microorganismos del sustrato, o requerir un manejo específico para evitar fitotoxicidad y/o efectos indeseados en el crecimiento de las raíces y de los brotes, de forma particular en especies forestales nativas menos estudiadas (Yadav, Bohra, & Giri, 2023). Las consideraciones anteriores han suscitado un enfoque creciente en la evaluación crítica de las dosis, formulaciones y alternativas biológicas en los viveros forestales para tratar de minimizar los impactos ambientales, sin comprometer eficiencia en los procesos de propagación vegetativa (Brunoni, Vielba, & Sánchez, 2022).

### **8.5.2. Bioestimulantes y bioenraizantes naturales**

Los bioestimulantes y bioenraizantes naturales son una opción ecológica para sustituir los reguladores químicos, ya que se obtienen de materias orgánicas o biológicas que incluyen compuestos con actividad fisiológica y que son capaces de inducir los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, pero no son nutrientes ni fitosanitarios de tipo químico (Torres-Rodríguez, y otros, 2025). Estas sustancias que van desde extractos vegetales, compuestos fenólicos, hormonas naturales y microorganismos promotores del crecimiento han demostrado en diferentes estudios ser capaces de inducir la germinación, el vigor del sistema radicular y la tolerancia a las condiciones de estrés abiótico en plántulas y esquejes, además de mostrar una disminución en el uso de insumos químicos sintéticos para la producción de plantas en vivero (Jasso, Ramírez, Ramírez, Villareal, & al., 2024).

La práctica de la aplicación de productos bioestimulantes y bioenraizantes de origen natural, como una estrategia de producción limpia y favorable al manejo sostenible de los viveros, que contempla que dichos productos serán capaces de contribuir a mejorar la eficiencia fisiológica de las plantas, economizar en agua y nutrientes y fomentar el crecimiento de sistemas radicales más desarrollados, sin el consiguiente riesgo de los residuos químicos (Ardisana, y otros, 2020), tal y como puede ser especialmente importante en especie forestales nativas y capaces de ser empleadas en restauraciones ecológicas, en las que la compatibilidad con los procesos biológicos del lugar de implantación se puede ver facilitada, lo cual plantea una ventaja técnica y ambiental.

## **8. 8.6. Bioenraizantes naturales de origen vegetal**

### **8.6.1. Extractos vegetales ricos en compuestos bioactivos**

Los extractos vegetales que provienen de residuos orgánicos como los descartes de cáscaras de plátano y las diferentes partes de tubérculos como la papa (*Solanum tuberosum*), son ricos en carbohidratos, azúcares solubles, macro y micronutrientes y compuestos bioactivos que pueden funcionar como fuentes naturales en el estímulo fisiológico del crecimiento de las plantas, lo cual incluye también la potenciación de la absorción de agua, la disponibilidad de nutrientes o la facilitación de los procesos de división y elongación celular en tejidos de enraizamiento, que ayudan a sustentar su consideración como bioenraizantes naturales en sistemas de producción de vivero sostenible (Moreno-Guerrero, Ramirez, Ojeda- Salgado, Pérez-Mercado, & Trejo-Téllez, 2024). Otro estudio orientado a otros cultivos ha

encontrado que los extractos vegetales de plátano aplicados en diferentes dosis aumentan de forma significativa variables de crecimiento como la longitud de raíces y la materia seca radical en las plantas climatizadas, lo que revela el efecto promotor del desarrollo radicular que se le puede atribuir a la composición nutrimental y fitoquímica de estos (Blanco, Linares, Guédez, Hernández, & Rincón, 2014).

A su vez, el uso de bioenraizantes naturales de otras partes de las plantas, que un estudio recientemente realizado en la propagación de papas nativas ha puesto a punto, puede incluir la presencia de compuestos bioactivos, siendo algunos de estos azúcares, fitohormonas naturales y otras de las sustancias se obtienen de manera secundaria en los metabolitos. Por tanto, podría ser que la incorporación de extractos de papa o de plátano en uno de los tratamientos de enraizamiento en los viveros forestales pueda ser una alternativa técnica aplicable de una especie nativa en un contexto de producción sostenible, aunque, en este caso, debe ser concretada específicamente por especie y por las condiciones del cultivo. (Vallejo, 2024)

### **8.6.2. Principales bioenraizantes**

**8.6.2.1. Hormonagro.** Es un regulador comercial de crecimiento vegetal muy utilizado en viveros, para inducir la formación de raíces adventicias en estacas, cuyo principio activo depende en distinta medida de auxinas sintéticas como el ácido indol butírico (AIB) o el ácido naftalenacético (ANA) (Colinagro, 2025). Se trata de un célebre compuesto que muestra un claro efecto en la estimulación de la diferenciación celular en el cambium y tejido parenquimatoso, facultando la iniciación de primordios radiculares y acelerando el enraizamiento por propagación vegetativa (Vaca, 2025).

**8.6.2.2. Aloe vera.** El Aloe vera, más conocido como sábila, posee un gel mucilaginoso dentro de sus hojas que contiene una mezcla compleja de polisacáridos (como acemannan), aminoácidos, vitaminas y compuestos fenólicos que han sido asociados con efectos bioestimulantes sobre el crecimiento vegetal y la formación radicular cuando se aplican sobre tejidos vegetativos en propagación, lo que sugiere que su composición química puede activar respuestas fisiológicas que favorecen la formación de raíces adventicias en distintos cultivos y condiciones experimentales (Pérez, Minjares, Martínez, Baez, & Candelas, 2019). Un estudio aplicado ha documentado que el uso de gel de Aloe vera mejora variables de cultivo como longitud radicular, número de raíces y vigor general de las plantas en

propagación por estacas o enraizamiento de esquejes comparado con controles sin tratamiento, lo que respalda su potencial como fuente de compuestos bioactivos en procesos de propagación vegetativa (Mirihağalla & Fernando, 2020).

**8.6.2.3. Extracto de papa.** El extracto de papa (*Solanum tuberosum*) contiene altas concentraciones de carbohidratos, azúcares solubles, aminoácidos, minerales y compuestos bioactivos que pueden actuar como fuente de energía metabólica y señalización fisiológica que resulta envolvente durante el proceso de enraizamiento. Estos elementos favorecen la división celular y el crecimiento de tejidos meristemáticos, lo que supone una etapa clave en la formación de raíces adventicias en estacas en propagación vegetativa (Ramírez, 2015).

**8.6.2.4. Extracto de cáscara de plátano.** Las cáscaras de plátano constituyen una fuente rica en potasio, fósforo, calcio, carbohidratos, azúcares y compuestos fenólicos, todos los cuales influyen directamente en los procesos de división celular, elongación de raíces y activación metabólica durante la fase de enraizamiento. Estos elementos hacen que los extractos de plátano actúen como bioestimulantes naturales para mejorar la absorción de agua y nutrientes en las estacas enraizadas (Kumari, Gaur, & Tiwari, 2023).

## 9. 8.7. Concentración de bioenraizantes y respuesta fisiológica

### 8.7.1. Relación dosis-respuesta en fisiología vegetal

La relación dosis-respuesta es un principio fisiológico básico que evidencia la manera en la cual un organismo vegetal es capaz de responder a cambios de cantidad o concentración en un estímulo químico o bioactivos, el que se presenta en variaciones estadísticamente significativas de los parámetros de crecimiento, de desarrollo o de función biológica, y es utilizado en muchos tipos de investigación que exploran el efecto de la acción de fitohormonas, de bióticos y otros insumos biológicos para incrementar formas de enraizamiento en estacas y esquejes (Anguiano & Montagna, 2010). Este tipo de trabajo permite además establecer concentraciones de umbral donde una respuesta positiva es inducida, así como niveles donde los resultados pueden ser pasivos o incluso inhibitorios. Esto pone en evidencia el hecho de que las dosis deben ser calibradas para maximizar eficiencias al momento de aplicarlas y minimizar la aparición de fitotoxicidad y/o de efectos colaterales negativos sobre los tejidos vegetales (Yoon, Eui, Young, & Gyeong, 2021).

El concepto de dosis-respuesta también es aplicable al uso de compuestos bioactivos naturales, dado que la efectividad de estos insumos depende de la concentración con la que se presentan a los tejidos vegetales y de la sensibilidad fisiológica de la especie evaluada (Yoon, Eui, Young, & Gyeong, 2021); en propagación vegetativa, respuestas óptimas a determinados niveles de auxinas u otros bioestimulantes se han registrado con mayores porcentajes de enraizamiento, mayor número de raíces y mayor longitud radicular, mientras que concentraciones más altas o bajas que el óptimo pueden reducir la eficiencia de enraizamiento o generar respuestas fisiológicas sub óptimas (Vallejos, 2025).

### **8.7.2. Efectos de la concentración en el desarrollo radicular y aéreo**

La concentración de bioenraizantes o reguladores aplicados a esquejes no solo determina la proporción de estacas que enraízan, sino que influye directamente en las características del sistema radicular y el crecimiento aéreo de las plantas, ya que niveles apropiados pueden estimular la división celular en los sitios de formación de raíces adventicias y promover la elongación de raíces y brotes en etapas tempranas, mejorando el vigor general de la planta, lo que es un criterio de calidad técnica en producción de vivero (Jiménez E. , 2022). Un estudio con diferentes concentraciones de auxinas ha demostrado que concentran mayores efectos positivos sobre la longitud de la raíz, el número de raíces y variables de crecimiento que tratamientos sin reguladores o con dosis subóptimas, lo que respalda la importancia de seleccionar niveles de aplicación adecuados para cada especie y tipo de insumo (Bautista, 2024).

Asimismo, la respuesta de las estacas a variaciones en la concentración puede mostrar una interacción compleja entre efecto estimulador y efecto inhibitor si se exceden los umbrales fisiológicos tolerables, dado que altas concentraciones de compuestos bioactivos o reguladores pueden alterar el balance hormonal endógeno del tejido, reducir la elongación radicular o cambiar el destino del crecimiento hacia brotes en detrimento de la formación de raíces, lo que justifica razones metodológicas para evaluar varias concentraciones en diseños experimentales destinados a identificar tratamientos óptimos para la producción de material vegetal con calidad técnica (Gergoff, Rusciatti, & Gimenez, 2023).

## 9. HIPÓTESIS

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** El uso de bioenraizantes naturales no produce efectos significativos en el enraizamiento ni en el crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*), independientemente del tipo y la concentración aplicada.

**Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):** Al menos uno de los bioenraizantes naturales, aplicado en una concentración determinada, mejora significativamente el enraizamiento y el crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) en comparación con el testigo.

**Tabla 4.** Operacionalización de las variables independientes

Variable	Definición operativa	Indicador	Unidad	Técnica e instrumento
Tipo de bioenraizante (Factor A)	Producto natural o comercial aplicado a estacas para estimular formación radicular	4 categorías: Bioenraizante comercial, Aloe vera, Extracto de papa, Cáscara de plátano	A1=Comercial; A2=Aloe; A3=Papa; A4=Plátano	Registro en libreta de campo y rotulado de unidades
Concentración del bioenraizante (Factor B)	Proporción (%) del bioenraizante aplicada según tratamiento	3 niveles: 25%, 50%, 75%	B1=25; B2=50; B3=75	Preparación de soluciones y registro en libreta de campo

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

La operacionalización de las variables independientes permitió delimitar con precisión los factores experimentales evaluados, asegurando su correcta aplicación y control dentro del diseño del estudio.

**Tabla 5.** Operacionalización de las variables dependientes

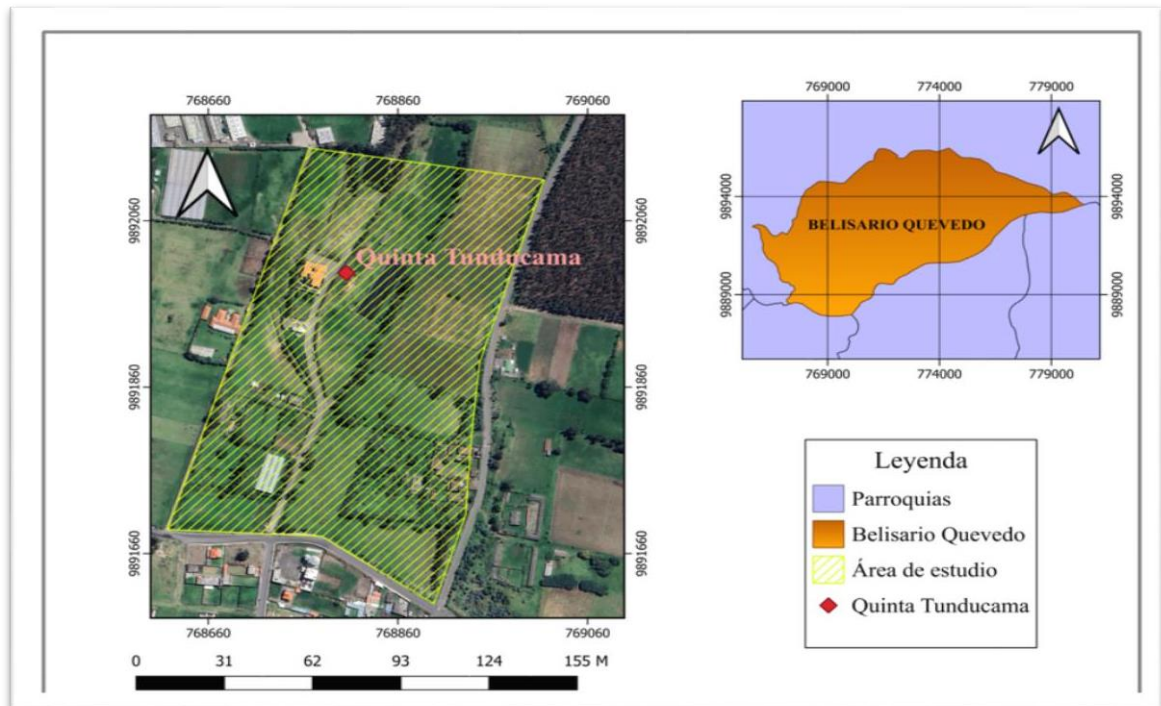
Variable	Definición operativa	Indicador	Unidad	Instrumento	Momento de medición
Porcentaje de enraizamiento	Proporción de estacas que desarrollan raíces respecto al total por unidad experimental	(No. estacas enraizadas / No. estacas evaluadas)	%	Conteo visual directo de estacas con raíces	Día 30, 60 y 90
Número de raíces secundarias	Cantidad de raíces laterales formadas por estaca (según criterio de conteo)	Conteo de raíces secundarias por estaca (y promedio por unidad)	No.	Observación directa y registro en ficha	Día 30, 60 y 90
Longitud de la raíz principal	Longitud (cm) de la raíz primaria desde el punto de inserción hasta el ápice	Medición directa por estaca (y promedio por unidad)	cm	Calibrador eléctrico	Día 30, 60 y 90
Altura del brote	Longitud (cm) del brote desde la base hasta el ápice	Medición directa por estaca (y promedio por unidad)	cm	Calibrador eléctrico	Día 30, 60 y 90

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

La operacionalización de las variables dependientes garantizó la medición objetiva y cuantificable de la respuesta de las estacas frente a los tratamientos aplicados.

## 10. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el vivero de Tunducama, ubicado en la Quinta Tunducama de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, a 2 850 msnm. Clima templado-frío con temperatura media anual aproximada de 13 °C y precipitación anual entre 500 y 1,000 mm, se encuentra en un entorno andino de altura (entre 2 700 y 3 900 msnm) que facilita la producción tanto en zonas frías como templadas (Prefectura Cotopaxi, 2025).

**Figura 2.** Ubicación del proyecto

Nota. Elaborado por Nogales (2025)

La zona se caracteriza por su localización en un entorno andino, con altitudes propios de ecosistemas de montaña, lo que influye directamente en las condiciones climáticas y ecológicas del área (Prefectura Cotopaxi, 2025). El vivero constituye un espacio estratégico para la producción de especies forestales nativas destinadas a programas de restauración ecológica, razón por la cual resulta pertinente para el desarrollo del presente estudio orientado a la germinación de Aliso (*Alnus acuminata*).

## 11. METODOLOGÍA

### 11.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarcó dentro de una investigación de tipo experimental, ya que se manipularon de manera deliberada las variables independientes con el propósito de evaluar su efecto sobre el enraizamiento y el crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*). La investigación se desarrolló bajo condiciones controladas, permitiendo establecer relaciones de causa-efecto a través de la aplicación de tratamientos y el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

### **11.2. Método cuantitativo**

El método cuantitativo es una aproximación de investigación que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con ayuda de instrumentos de medición para responder preguntas de la investigación y probar hipótesis (Cavazos, Hernández, Garrido, & Rodríguez, 2024). El método cuantitativo permitió cuantificar y comparar estadísticamente la respuesta de las estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) frente a los bioenraizantes y concentraciones evaluadas.

### **11.3. Método destructivo**

El método destructivo se utilizó para la evaluación directa de las variables morfológicas radiculares y aéreas de las estacas de (*Alnus acuminata*). Este método consiste en la extracción física de las unidades vegetales desde el sustrato para posteriormente observar y medir de forma exacta las estructuras internas o subterráneas que resultan difíciles de evaluar mediante métodos no invasivos. Acorde a (Bosch, 2023), los métodos destructivos en los estudios de propagación vegetal permiten conseguir mediciones más exactas del sistema radicular, sobre todo en las etapas de fase inicial del enraizamiento adventicio, donde la evaluación superficial resulta insuficiente.

En el estudio presente, se utilizó el método destructivo mediante la elección aleatoria de cinco estacas, por unidad experimental y por tiempo de evaluación (30, 60 y 90 días). Debido a que las estacas fueron extraídas meticulosamente del sustrato para impedir, de esta manera, la existencia de daños mecánicos en las raíces, se permitía la medición de la longitud de la raíz principal, el número de raíces secundarias y la altura del brote, para sumar posteriormente los datos promediados, por unidad experimental, para el análisis estadístico posterior.

### ***Nivel de investigación***

El presente estudio corresponde a un nivel de investigación explicativo, debido a que buscó determinar la relación de causa-efecto entre las variables independientes (tipo de bioenraizante y concentración) y su influencia sobre el enraizamiento y el crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*), a partir de la aplicación de tratamientos controlados y el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

#### 11.4. Diseño experimental

El presente estudio se estructuró bajo un diseño factorial 4×3 completamente al azar (DBCA) bajo 3 repeticiones, que permitió evaluar simultáneamente el efecto de dos factores sobre el enraizamiento y crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*):

##### Factor A: Tipo de bioenraizante natural

- A1: Aloe vera
- A2: Extracto de papa
- A3: Extracto de cáscara de plátano
- A4: Testigo

##### Factor B: Concentración de aplicación

- B1: 25%
- B2: 50%
- B3: 75%

##### Tratamientos propuestos

Las combinaciones de los factores generan nueve tratamientos y tres testigos:

**Tabla 6.** Tratamientos para el estudio

Tratamiento	Codificación	Bioenraizante	Concentración (%)
T1	A1B1	Hormonagro	25
T2	A1B2	Hormonagro	50
T3	A1B3	Hormonagro	75
T4	A2B1	Aloe vera	25
T5	A2B2	Aloe vera	50
T6	A2B3	Aloe vera	75
T7	A3B1	Extracto de papa	25
T8	A3B2	Extracto de papa	50
T9	A3B3	Extracto de papa	75
T10	A4B1	Cáscara de plátano	25
T11	A4B2	Cáscara de plátano	50
T12	A4B3	Cáscara de plátano	75

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

## Esquema del ADEVA

**Tabla 7.** Adeva del estudio

Fuente de variación	Fórmula	gl
Bloques (Repetición)	$r - 1$	$3 - 1 = 2$
Factor A: Bioenraizante	$a - 1$	$4 - 1 = 3$
Factor B: Concentración	$b - 1$	$3 - 1 = 2$
Interacción A×B	$(a - 1)(b - 1)$	$3 \times 2 = 6$
Error	$(ab - 1)(r - 1)$	$(12 - 1) \times 2 = 22$
<b>Total</b>	<b><math>abr - 1</math></b>	<b><math>36 - 1 = 35</math></b>

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

### 10. 11.5. Técnicas de investigación

#### *Observación científica*

La observación científica se utilizó como técnica principal para evaluar de manera sistemática el comportamiento de las estacas durante el proceso de enraizamiento y crecimiento. Esta observación se realizó bajo criterios previamente definidos, permitiendo identificar la presencia de raíces, el desarrollo del brote y las características visibles del crecimiento vegetal en cada unidad experimental.

#### *Registro de datos*

El registro de datos se efectuó mediante fichas de campo diseñadas específicamente para el estudio, en las cuales se consignaron de forma ordenada y periódica los valores obtenidos para cada variable evaluada en los tiempos establecidos (30, 60 y 90 días). Este procedimiento aseguró la trazabilidad de la información y la consistencia de los datos utilizados en el análisis estadístico.

#### *Medición*

La medición se llevó a cabo utilizando instrumentos adecuados, tales como calibrador eléctrico, con el fin de cuantificar variables como la longitud de la raíz principal y la altura del brote. Estas mediciones permitieron obtener datos numéricos precisos, necesarios para el tratamiento estadístico y la validación de los resultados del estudio.

### ***Datos a evaluar***

- **El porcentaje de enraizamiento (%):** se determinó mediante conteo directo del número de estacas que presentaron formación de raíces respecto al total de estacas evaluadas en cada unidad experimental. Este indicador fue registrado a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación de los tratamientos, expresándose como porcentaje de estacas enraizadas por unidad experimental.
- **Promedio de la longitud de la raíz principal (cm):** se evaluó a los 30, 60 y 90 días mediante un método destructivo. Para ello, se seleccionaron cinco estacas al azar por unidad experimental, las cuales fueron extraídas cuidadosamente del sustrato. La medición se realizó desde el punto de inserción de la raíz hasta el ápice radicular, utilizando un calibrador/regla milimétrica, registrándose posteriormente el valor promedio por unidad experimental.
- **Promedio del número de raíces secundarias:** se cuantificó también mediante método destructivo, utilizando las mismas cinco estacas seleccionadas al azar por unidad experimental en cada tiempo de evaluación (30, 60 y 90 días). La medición consistió en el conteo directo de raíces laterales visibles por estaca, obteniéndose un valor promedio por unidad experimental para el análisis estadístico.
- **Promedio de la altura del brote (cm):** se determinó a los 30, 60 y 90 días mediante un método destructivo, seleccionando cinco estacas al azar por unidad experimental. La medición se realizó desde la base del brote hasta, empleando un calibrador eléctrico, y los datos obtenidos fueron promediados para cada unidad experimental.

### **Preparación de Aloe vera**

1. Primero tener 9 hojas de sábila previamente lavadas
2. Segundo cortar la sábila en cuadritos medianos y partir por la mitad para proceder a raspar el gel en un recipiente.
3. Una vez obtenido el gel, se procede a su dilución con agua potable para alcanzar las concentraciones deseadas.
4. Finalmente para la solución al 25 %, se mezclan 25 ml de extracto de aloe vera con 75 ml de agua, obteniendo un volumen total de 100 ml. En el caso de la concentración al 50 %, se combinan 50 ml de extracto con 50 ml de agua, mientras

que para la concentración al 75 % se utilizan 75 ml de extracto y 25 ml de agua. La mezcla debe homogenizarse suavemente.

### **Preparación del extracto de papa**

1. Primero lavar la papa y luego pelar
2. Luego proceder a licuar para obtener el extracto de papa
3. Después de licuar debemos pasar por un colador
4. Una vez obtenido el extracto debemos mezclar con agua potable hasta obtener la solución deseada
5. Finalmente para preparar la solución al 25 %, se mezclan 25 ml de extracto de papa con 75 ml de agua, alcanzando un volumen final de 100 ml. Para la concentración al 50 %, se combinan 50 ml de extracto con 50 ml de agua, y para la solución al 75 % se mezclan 75 ml de extracto con 25 ml de agua.

### **Preparación del extracto de plátano**

1. Primero debemos tener 6 cascaras de plátano previamente lavadas
2. Luego debemos picar en partes pequeñas para llevar a licuar
3. Después de haber licuado debemos pasar por un colador
4. Una vez obtenido el extracto debemos mezclar con agua potable hasta obtener la solución deseada
5. Finalmente para una dilución al 25 %, se mezclan 25 ml de extracto de plátano con 75 ml de agua; para una concentración al 50 %, se combinan 50 ml de extracto con 50 ml de agua; y para la solución al 75 %, se mezclan 75 ml de extracto con 25 ml de agua, obteniendo siempre un volumen total de 100 ml.

### **Preparación del Hormonagro**

1. Se diluye en agua antes de su aplicación para regular su concentración y evitar efectos Fito tóxicos. Para una solución al 25 % se mezclan 25 ml de Hormonagro con 75 ml de agua; para el 50 % se combinan 50 ml de Hormonagro con 50 ml de

agua; y para el 75 % se utilizan 75 ml de Hormonagro y 25 ml de agua, obteniendo en todos los casos un volumen final de 100 ml Hormonagro.

### 11. 11.6. Procesamiento de datos

- Los datos fueron procesados en Statgraphics Centurion VIII mediante ANOVA para un DBCA con arreglo factorial 4×3, considerando los factores: tipo de bioenraizante (A), concentración (B) y su interacción (A×B), con tres bloques.
- Para identificar diferencias entre medias se aplicó la prueba Tukey con  $\alpha = 0,05$ .
- Se calculó el coeficiente de variación (CV) como medida de homogeneidad experimental por variable y por tiempo de evaluación (30, 60 y 90 días).

## 12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- a) Comparar el efecto de tres bioenraizantes naturales (aloe vera, extracto de papa y cáscara de plátano) sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*).

### Altura de brotes a los 30 días

**Tabla 8.** ADEVA de la altura de brotes a los 30 días

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	275.70	91.90	8.92	<b>0.000377</b>
Concentración (B)	2	14.65	7.33	0.71	0.501168
A × B	6	93.53	15.59	1.51	0.216343
Error	24	247.24	10.30		
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>631.12</b>			

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

### **Coefficiente de variación (CV): 19.45 %**

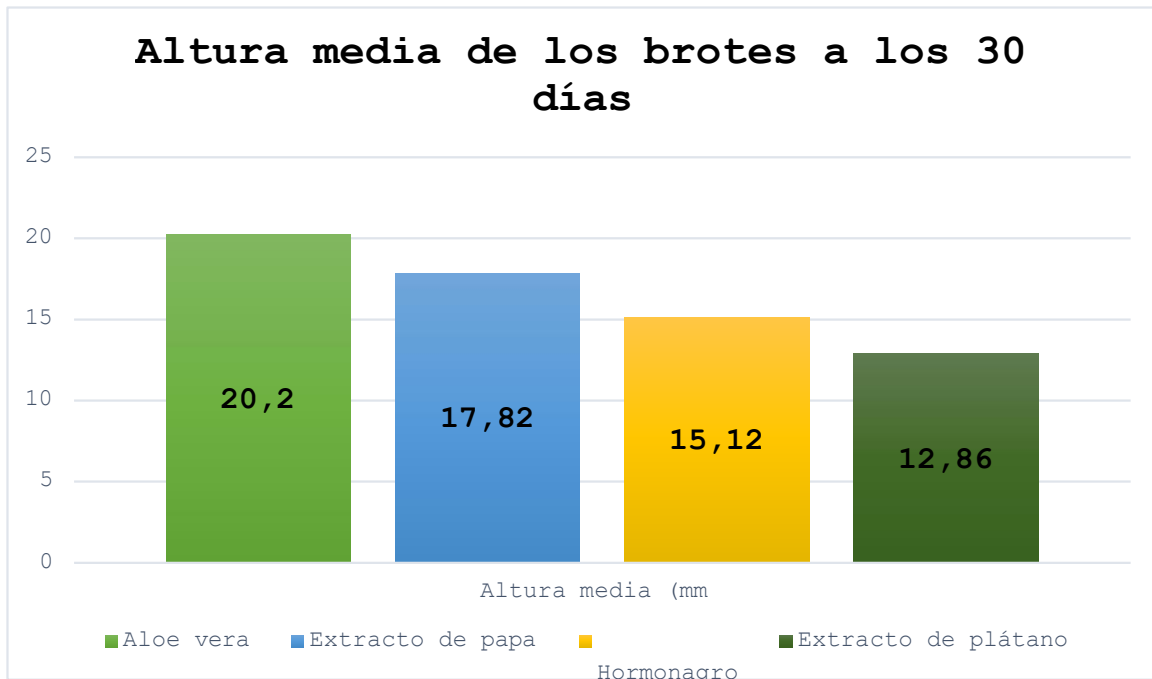
El análisis de varianza para la altura de brotes a los 30 días evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los bioenraizantes evaluados ( $p < 0.05$ ), mientras que la concentración y la interacción bioenraizante x concentración no mostraron efectos significativos. El coeficiente de variación obtenido para esta variable fue de 19.45 %, valor que indica una precisión experimental aceptable y una adecuada homogeneidad entre las unidades experimentales.

**Tabla 9.** Prueba Tukey de altura de brotes a los 30 días según bioenraizante

Bioenraizante	Altura media (mm)	Grupo
Aloe vera	20.20	A
Extracto de papa	17.82	a b
Hormonagro	15.12	b c
Extracto de plátano	12.86	c

*Nota.* Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

El análisis de medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 9) permitió identificar que Aloe vera alcanzó la mayor altura promedio de brotes, diferenciándose estadísticamente del extracto de plátano, el cual presentó los valores más bajos. Por su parte, el extracto de papa y Hormonagro mostraron comportamientos intermedios, sin diferencias estadísticas definidas frente a Aloe vera ni frente al extracto de plátano, lo que refleja una respuesta de crecimiento moderada durante los primeros 30 días de evaluación. Este comportamiento puede estar asociado al efecto bioenraizante del Aloe vera, cuyo contenido de polisacáridos y compuestos fenólicos favorece la hidratación del tejido y el establecimiento inicial del esqueje, lo que ha sido reportado en estudios similares sobre enraizamiento vegetativo (Pop, Pamfil, & Bellini, 2021).

**Figura 3.** Altura media de los brotes a los 30 días

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

En la (Figura 3) se puede observar que el tratamiento de Aloe vera fue el más bueno ya que presentó el mayor crecimiento de los brotes alcanzando 20,2 cm lo que demuestra que fue el más efectivo para estimular el desarrollo del brote aéreo. En segundo lugar está el extracto de papa con 17,82 cm mostrando también buenos resultados, el Hormonagro tuvo un crecimiento intermedio de 15,12 cm mientras que el extracto de plátano registró la menor altura con 12,86.

### Altura de brotes a los 60 días

**Tabla 10.** ADEVA de la altura de brotes a los 60 días

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	122.64	40.88	0.56	0.649055
Concentración (B)	2	34.25	17.12	0.23	0.793962
A × B	6	265.63	44.27	0.60	0.725761
Error	24	1764.17	73.51		
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>2186.68</b>			

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

### Coefficiente de variación (CV): 29.83 %

El análisis de varianza ADEVA (Tabla 10), para la altura de brotes a los 60 días muestra que no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las variables evaluadas. Lo que indica que el tipo de bioenraizante, la concentración y la interacción de A × B no influyeron de manera determinada en el crecimiento de los brotes.

Además el coeficiente de variación (CV) fue de 29.83 % lo que indica una variabilidad alta en los datos experimentales es decir hubo diferencias considerables entre las plantas evaluadas dentro del mismo tratamiento.

### Altura de brotes a los 90 días

**Tabla 11.** ADEVA de la altura de brotes a los 90 días

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	440.7251	146.9084	5.3009	<b>0.006017</b>
Concentración (B)	2	332.1400	166.0700	5.9923	<b>0.007747</b>
A × B	6	115.5534	19.2589	0.6949	0.656065
Error	24	665.1288	27.7137		
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>1553.5473</b>			

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

### **Coefficiente de variación (CV): 10.04 %**

Para la altura a los 90 días, el análisis de varianza ADEVA (Tabla 11), evidenció efectos estadísticamente significativos tanto del bioenraizante ( $p < 0.05$ ) como de la concentración ( $p < 0.05$ ), mientras que la interacción bioenraizante  $\times$  concentración no fue significativa ( $p > 0.05$ ). Esto indica que las diferencias observadas se explican por los efectos principales de cada factor y que el comportamiento relativo de los bioenraizantes se mantiene independiente del nivel de concentración evaluado.

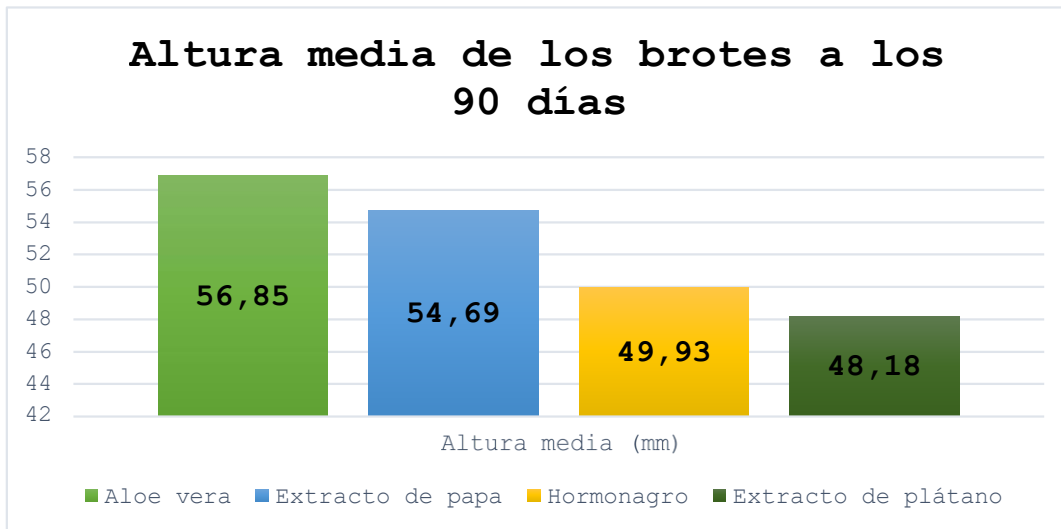
El coeficiente de variación fue de (CV = 10.04 %) lo que indica que tiene una baja variabilidad en los datos pero tiene una buena determinación experimental lo que demuestra que las condiciones de la investigación fueron homogéneas.

**Tabla 12.** Tukey para altura de brotes a los 90 días

Bioenraizante	Media (mm)	Grupo
Aloe vera	56.8520	a
Hormonagro	54.6940	a
Extracto de papa	49.9302	a
Extracto de plátano	48.1824	b

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) permitió identificar que Aloe vera, Hormonagro y el extracto de papa conformaron un grupo estadísticamente homogéneo, sin diferencias significativas entre sí mientras que el extracto de plátano presentó una altura de brotes significativamente menor. Esto sugiere que estos tres bioenraizantes promovieron un desarrollo aéreo similar a los 90 días de evaluación.

**Figura 4.** Altura media de los brotes a los 90 días

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

Estos resultados sugieren que, una vez consolidado el sistema radicular, los efectos del bioenraizante se reflejan de forma más clara en el crecimiento aéreo, lo cual concuerda con el principio fisiológico de que un mayor desarrollo radicular favorece la absorción de agua y nutrientes, potenciando el crecimiento del brote (Justamante, y otros, 2022).

**Tabla 13.** Tukey para concentración de altura de brotes a los 90 días.

Concentración	Media (mm)	Grupo
0.75	56.3623	a
0.50	51.9075	a
0.25	48.9742	b

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

En cuanto al efecto de la concentración, el nivel 0.75 alcanzó las mayores alturas promedio de brotes, diferenciándose estadísticamente del nivel 0.25, lo que evidencia un efecto positivo del incremento de concentración sobre el crecimiento a largo plazo. El nivel 0.50 presentó un comportamiento intermedio, sin diferencias estadísticas respecto a los niveles extremos, lo que indica una respuesta gradual del crecimiento frente al aumento de la concentración.

b) Determinar el desarrollo radicular y aéreo de las estacas según el tipo de bioenraizante y la concentración aplicada.

## Número de estacas con raíz a los 30 días

**Tabla 14.** ADEVA del número de estacas con raíz a los 30 días

Fuente de variación	GL	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	16.84	<b>0.000004</b>
Concentración (B)	2	2.98	0.070021
A × B	6	0.79	0.587254
Error	24		
<b>Total</b>	<b>35</b>		

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

### Coefficiente de variación (CV): 5.80 %

El análisis de varianza ADEVA (Tabla 14) para el número de estacas con raíz a los 30 días indicó que el factor de bioenraizante presentó una diferencia estadística altamente significativa ( $p < 0,05$ ), lo que indica que uno de los bioenraizantes aplicados en los tratamientos fue más efectivo que otro para estimular el crecimiento de las raíces. En cambio el factor de concentración y el factor de interacción A × B no presentaron diferencias significativas. El coeficiente de variación bajo (CV = 5.80 %) confirma una adecuada homogeneidad y precisión experimental.

**Tabla 15.** Tukey para estacas con raíz a los 30 días.

Bioenraizante	Media (mm)	Grupo
Aloe vera	35.78	a
Hormonagro	34.44	a
Extracto de papa	32.11	b
Extracto de plátano	27.67	c

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

En la prueba de comparación de medias de Tukey para estacas con raíz a los 30 días se muestran diferencias significativas entre los bioenraizantes evaluados en donde muestra que Aloe vera y Hormonagro están en el grupo (a) siendo los mejores bioenraizantes para el crecimiento de las raíces mientras que Extracto de papa está en el grupo (b) y Extracto de plátano está en el grupo (c) presentando la media más baja.

### Número de estacas con raíz a los 60 días

**Tabla 16.** ADEVA del número de estacas con raíz a los 60 días

Fuente de variación	GL	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	1.41	0.264120
Concentración (B)	2	0.28	0.757308
A × B	6	0.07	0.998582
Error	24		
<b>Total</b>	<b>35</b>		

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

#### **Coefficiente de variación (CV): 14.44 %**

Para el número de estacas con raíz a los 60 días, el análisis de varianza no detectó diferencias estadísticamente significativas asociadas al bioenraizante, la concentración ni a su interacción ( $p > 0,05$ ). Los resultados reflejan una respuesta homogénea del enraizamiento en esta etapa del ensayo. El coeficiente de variación de 14,44 % se considera aceptable y consistente con la ausencia de diferencias estadísticas.

### Número de estacas con raíz a los 90 días

**Tabla 17.** ADEVA del número de estacas con raíz a los 90 días

Fuente de variación	GL	F	p-valor
Bioenraizante (A)	3	26.84	< <b>0.0000001</b>
Concentración (B)	2	0.24	0.791735
A × B	6	0.48	0.818702
Error	24		
<b>Total</b>	<b>35</b>		

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

#### **Coefficiente de variación (CV): 5.07 %**

El análisis de varianza ADEVA (Tabla 17) para el número de estacas con raíz a los 90 días mostro que el factor de bioenraizante presentó una diferencia altamente significativa ( $p > 0,05$ ) lo que nos permite determinar que algún bioenraizante fue más efectivo que el otro influyendo directamente en el enraizamiento de las estacas por lo contrario el factor de concentración como el de interacción A × B no presentaron diferencias significativas.

**Tabla 18.** Tukey Para estacas con raíz a los 90 días

Bioenraizante	Media (mm)	Grupo
Aloe vera	82.67	a
Hormonagro	80.56	a
Extracto de papa	77.22	b
Extracto de plátano	71.00	c

Nota. Elaborado por Nogales (2025)

La prueba Tukey a los 90 días para estacas con raíz mostro que existen diferencias significativas entre los bioenraizantes evaluados en donde el tratamiento de Aloe vera y Hormonagro pertenecen al mismo grupo (a) mientras que el Extracto de papa se encuentra en el grupo (b) y por último el extracto de plátano estando en el grupo (c) presentando la media más baja y diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos.

**Tabla 19.** Resumen integrado de las variables evaluadas

Variable	A (Bioenraizante)	B (Concentración)	A×B	CV (%)
Estacas con raíz - 30 días	<b>0.000004</b>	0.070021	0.587254	5.80
Estacas con raíz - 60 días	0.264120	0.757308	0.998582	14.44
Estacas con raíz - 90 días	<b>&lt; 0.0000001</b>	0.791735	0.818702	5.07

Nota. Elaborado por Nogales (2025)

El número de estacas con raíz mostró un comportamiento dependiente del tiempo de evaluación. A los 30 y 90 días se detectaron diferencias altamente significativas entre bioenraizantes ( $p < 0.05$ ), mientras que la concentración y la interacción no presentaron efectos significativos. En ambas evaluaciones, los coeficientes de variación fueron bajos ( $< 6\%$ ), lo que evidencia una alta precisión experimental y respalda la confiabilidad de las diferencias observadas. En contraste, a los 60 días no se registraron diferencias estadísticas significativas, coincidiendo con un incremento del coeficiente de variación, lo que sugiere una mayor variabilidad biológica durante esta etapa del desarrollo. El desempeño superior de Aloe

vera y Hormonagro en estas evaluaciones coincide con lo descrito para tratamientos que aportan auxinas o compuestos bioactivos capaces de inducir la formación de raíces adventicias, proceso clave para el establecimiento exitoso del esqueje (Justamante, y otros, 2022).

c) Identificar el bioenraizante y la concentración con mejor desempeño en el enraizamiento y crecimiento de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*), con base en la comparación de medias y pruebas estadísticas.

### Bioenraizante con mejor desempeño

**Tabla 20.** Estadística integrada

Variable	Resultado estadístico	Bioenraizante con mejor desempeño
Altura de brotes (30 días)	A significativo ( $p < 0.05$ )	Aloe vera
Altura de brotes (90 días)	A significativo ( $p < 0.05$ )	Aloe vera / Hormonagro
Estacas con raíz (30 días)	A significativo ( $p < 0.001$ )	Aloe vera / Hormonagro
Estacas con raíz (90 días)	A altamente significativo	Aloe vera / Hormonagro
Largo de raíz (90 días)	A significativo ( $p < 0.05$ )	Hormonagro

*Nota.* Elaborado por Nogales (2025)

- Aloe vera mostró el mejor desempeño global en crecimiento aéreo y enraizamiento.
- Hormonagro destacó particularmente en el desarrollo radicular (largo de raíz).
- Extracto de papa tuvo comportamiento intermedio.
- Extracto de plátano presentó los valores más bajos en la mayoría de variables.

Con base en la comparación de medias y las pruebas estadísticas realizadas, se identificó que el bioenraizante Aloe vera presentó el mejor desempeño general en el enraizamiento y crecimiento de estacas de *Alnus acuminata*, destacándose por mayores alturas de brote y mayor número de estacas con raíz. Asimismo, Hormonagro mostró un efecto favorable en el desarrollo radicular, reflejado en un mayor largo de raíz a los 90 días. En cuanto a la concentración, el nivel 0.75 evidenció el mejor desempeño para el crecimiento aéreo tardío, mientras que para las variables de enraizamiento no se detectaron diferencias significativas entre concentraciones.

### **Aloe vera con mejor desempeño global (crecimiento aéreo y enraizamiento)**

En propagación vegetativa por estacas, la formación de raíces adventicias suele mejorar cuando el tejido basal dispone de compuestos que favorecen la inducción y el establecimiento de raíces, lo que posteriormente se refleja en mejor brotación y crecimiento aéreo. En un ensayo con estacas de pitahaya (*Hylocereus sp.*), el tratamiento con Aloe vera produjo altos valores de número y longitud de raíces, reportándose un desempeño comparable al tratamiento con IBA en variables de enraizamiento y crecimiento (Poudel, Gautam, Shrestha, & al., 2022).

De forma adicional, en un estudio experimental de propagación por estacas en té (*Camellia sinensis*), se evaluaron agentes naturales (incluyendo Aloe vera gel y jugo de papa) frente a un bioenraizante con IBA, encontrándose que el bioenraizante con IBA alcanzó los valores más altos, pero que Aloe vera se considera una alternativa viable en el contexto de sustitución de sustancias químicas (Vidanapathirana, Rifnas, & Sumanasekara, 2023).

### **Hormonagro destacando en desarrollo radicular (largo de raíz)**

El resultado (mayor longitud de raíz con Hormonagro) es coherente con lo que se documenta para auxinas exógenas (p. ej., IBA), que son ampliamente usadas en propagación por estacas para estimular la formación de raíces adventicias y mejorar atributos del sistema radicular (incluyendo aparición más temprana y mejoras en indicadores de enraizamiento). En un estudio controlado sobre formación de raíces adventicias con aplicación de indole-3- butírico (IBA), se reporta un efecto significativo del tratamiento con IBA en la dinámica de formación de callo y raíces adventicias (Justamante, y otros, 2022).

### **Extracto de papa con comportamiento intermedio**

Cuando se usan extractos “caseros” o naturales como alternativas, su desempeño suele ser más variable y dependiente del tipo de extracto, estabilidad, y especie evaluada. En el ensayo de té (*Camellia sinensis*), el jugo de papa fue incluido como agente inductor, pero el enraizante con IBA logró los mejores valores de desempeño; el trabajo discute el uso de alternativas naturales, sin reportar que el jugo de papa supere al producto hormonal (Vidanapathirana, Rifnas, & Sumanasekara, 2023).

### **Extracto de plátano con los valores más bajos**

La literatura científica suele ubicar a la cáscara de plátano más cerca de un insumo tipo biofertilizante/nutricional que de un “inductor hormonal” de raíces, y su efectividad depende fuertemente del método de preparación y del tiempo de liberación de nutrientes (frecuentemente asociado a procesos de descomposición o formulaciones específicas). Una revisión reciente sobre biofertilizantes a partir de cáscaras de plátano reporta que, aunque puede mejorar parámetros de crecimiento en distintos cultivos, hay casos en los que variables como altura pueden resultar no significativas y la respuesta depende del modo de aplicación y de la disponibilidad real de nutrientes (Khanyile, Dlamini, Masenya, Madlala, & Shezi, 2024).

### **Concentración con mejor desempeño**

El análisis estadístico evidenció que la concentración del bioenraizante influyó de manera significativa únicamente en la altura de brotes a los 90 días ( $p < 0,05$ ), mientras que para las variables asociadas al enraizamiento y desarrollo radicular no se detectaron diferencias estadísticas atribuibles a este factor. La prueba de Tukey mostró que la concentración 0.75 promovió un crecimiento aéreo significativamente mayor en comparación con 0.25, mientras que el nivel 0.50 presentó un comportamiento intermedio, sin diferir estadísticamente de los otros dos niveles. Estos resultados indican que el incremento de concentración favorece el crecimiento aéreo en etapas tardías del desarrollo, sin generar efectos diferenciados sobre la formación de raíces.

La ausencia de interacción significativa entre bioenraizante y concentración ( $A \times B$ ) en todas las variables evaluadas indica que los efectos observados responden a los factores principales de manera independiente, por lo que la identificación del mejor desempeño se fundamenta en el análisis individual del tipo de bioenraizante y de la concentración, y no en combinaciones específicas entre ambos factores.

En este contexto, el tipo de bioenraizante se identificó como el factor determinante del desempeño global de las estacas de Aliso (*Alnus acuminata*). Aloe vera presentó el mejor comportamiento integral, al registrar consistentemente mayores alturas de brote y un mayor número de estacas con raíz a los 30 y 90 días de evaluación. Por su parte, Hormonagro mostró un efecto favorable sobre el desarrollo radicular, reflejado en un mayor largo de raíz a los 90 días, lo que lo posiciona como un bioenraizante complementario cuando el objetivo es potenciar el sistema radicular.

En síntesis, los resultados confirman que el enraizamiento y el crecimiento de las estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) dependen principalmente del tipo de bioenraizante aplicado, mientras que la concentración adquiere relevancia únicamente cuando se busca maximizar el crecimiento aéreo en etapas avanzadas, siendo el nivel 0.75 el más eficiente bajo las condiciones del presente estudio. La consistencia de los resultados y los coeficientes de variación bajos a moderados respaldan la precisión experimental y la validez de las conclusiones obtenidas.

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 14.1. Conclusiones

En lo que respecta al desarrollo radicular y aéreo, se puede concluir que el tipo de bioenraizante fue el que más influyó sobre el crecimiento de las estacas, observándose, en concreto, un mejor desarrollo aéreo en Aloe vera y un mejor crecimiento radicular en el bioenraizante comercial. La concentración aplicada fue baja, ya que sólo se observó predisposición alguna en la altura del brote a los 90 días, lo que implicaría que el crecimiento vegetal dependió más del insumo que de la concentración del mismo.

De acuerdo con la comparación de medias y las pruebas estadísticas se encontró que Aloe vera es el bioenraizante natural que presenta el mejor desarrollo, tanto en enraizamiento como en el crecimiento aéreo de las estacas de Aliso (*Alnus acuminata*); por su parte, la concentración 75 % es la más eficaz para potenciar el crecimiento aéreo en etapas más avanzadas. En cuanto a la interacción entre bioenraizante y concentración, también se brinda evidencia en la ausencia de esta, lo que confirma que los efectos que se descubrieron son estables y permite la elección del tratamiento más propicio para la aplicación en viveros forestales.

Por último, de acuerdo con el objetivo general, se concluye que el tipo de bioenraizante aplicado incide de forma relevante en el enraizamiento y en el crecimiento de las estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) en el vivero Tunducama, evidenciándose respuestas diferentes en los tratamientos que se han evaluado y que en definitiva acabaron por confirmar que el desempeño fisiológico de las estacas se puede ver alterado por la aplicación de bioenraizantes, sean estos técnicos o naturales, y que de esta forma la eficacia de estos productos puede ser evaluada bajo condiciones locales de vivero.

## **14.2. Recomendaciones**

Se recomienda considerar el tipo de bioenraizante como el principal criterio técnico para favorecer el desarrollo radicular y aéreo de las estacas, y aplicar concentraciones elevadas solo cuando se busque potenciar el crecimiento aéreo en etapas avanzadas del cultivo.

Se propone emplear Aloe vera en una concentración del 75 % como alternativa técnica viable para la producción de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) y desarrollar estudios complementarios que permitan validar su aplicación a mayor escala en viveros forestales.

Se recomienda incorporar el uso de bioenraizantes evaluados como parte de los protocolos técnicos del vivero Tunducama, con el fin de mejorar la eficiencia del enraizamiento y crecimiento inicial de estacas de Aliso (*Alnus acuminata*) bajo condiciones locales.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Adem, M., Sharma, L., Sinhg, G., Safranek, M., & Jásik, J. (2024). Auxin signaling, transport, and regulation during adventitious root formation. *Current Plant Biology*, 40. doi:10.1016/j.cpb.2024.100385
- Agualzaca, D. (2021). *Evaluación del vigor vegetal de Alnus acuminata Kunth (ALISO) aplicando dos métodos no destructivos: índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) e índice de robustez (IR)*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/b53bfb2a-7b1f-4527-9a5e-79ba56cf0fe1/content>
- Alcantara-Cortes, J., Acero, J., Alcántara-Cortés, J., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702019000200109](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109)
- Alvarado, A. (20 de 11 de 2025). *Ecuador: entre 2020 y 2024, se deforestó un área equivalente a la superficie de Luxemburgo*. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2025/11/ecuador-deforestacion-area-equivalente-superficie-luxemburgo/>
- Anguiano, O., & Montagna, C. (2010). *Clasificación y toxicología de plaguicidas*. Obtenido de Universidad Nacional del Comahue: <https://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/18708/toxicología%20final%20mauricio%20-%20copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Angulo, S., & Chillagana, M. (2018). *Desarrollo de una estrategia para la restauración ecológica con especies nativas en el área disturbada de la Estación Biológica Kutukú*.

Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15232/1/UPS%20-%20ST003439.pdf>

Añazco, M., Vallejos, H., & Erazo, N. (2023). *Aliso de Nepal Alnus nepalensis D. Don. en el Ecuador*. CIDE Editorial. doi:10.33996/cide.ecuador.AN2636454

Ardisana, E., Torres, A., Fosado, O., Peñarrieta, S., Solórzano, J., & Jarre, V. (2020).

Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 41(4), e02. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1932/193266197002/html/>

Ayala, B., & Camacás, M. (2019). *Efectividad de estrategias de restauración ecológica en el ecosistema bosque nublado en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe Coca, Ecuador*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte:

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9257/1/03%20RNR%20314%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Bautista, D. (2024). *Evaluación del efecto de dos hormonas en el enraizamiento de esquejes de cuatro especies del género Passiflora presentes en las estribaciones del bosque Andino, Azuay*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/43649/1/Trabajo-de-Titulación.pdf>

Bautista-Ojeda, G., Vargas-Hernández, J., Jiménez-Casas, M., & López-Peralta, M. (2022).

Manejo de planta y aplicación de AIB en el enraizado de estacas de Pinus patula. *Madera y bosques*, 28(1). doi:10.21829/myb.2022.2812060

Blanco, G., Linares, B., Guédez, R., Hernández, J., & Rincón, C. (2014). Efecto de diferentes dosis de extractos de plátano sobre el crecimiento de plantas in vitro del mismo cultivo en aclimatización. *Agronomía Tropical*, 64(3-4). Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2014000200005&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2014000200005&script=sci_arttext)

- Brunoni, F., Vielba, J. M., & Sánchez, C. (2022). Plant Growth Regulators in Tree Rooting. *Plants*, 11(6), 805. doi:10.3390/plants11060805
- Calderón, N. (2025). *Efecto de Alnus acuminata Kunth en la restauración forestal y fijación del nitrógeno en la parroquia Cacha, provincia de Chimborazo*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/24154>
- Cavazos, Y., Hernández, G., Garrido, A., & Rodríguez, D. (2024). *Enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto*. Obtenido de Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamulipas.
- Colinagro. (2025). *Ficha técnica: Hormonagro I*. Obtenido de [https://colinagro.com/wp-content/uploads/2025/02/Hormonagro\\_1\\_Ficha.pdf](https://colinagro.com/wp-content/uploads/2025/02/Hormonagro_1_Ficha.pdf)
- Conabio. (2020). *Alnus acuminata*. Obtenido de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf)
- Cordova, L. (2023). *Métodos de propagación del cultivo de Teca (Tectona grandis L.)*. Obtenido de Universidad Técnica de Babahoyo:  
<https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/343492b8-b9ae-4671-beb5-0cede50390be/content>
- da Costa, C. T., de Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Schwambach, J., Maraschin, F. S., & Fetto, A. G. (2013). When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in plant science*, 4, 133. doi:10.3389/fpls.2013.00133
- Díaz-Sala, C. (2021). Adventitious Root Formation in Tree Species. *Plants*, 10(3), 486. doi:10.3390/plants10030486

- FAO. (2025). *La deforestación mundial se desacelera, pero los bosques siguen bajo presión, según informe de la FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/ru/c/1744504/>
- Fondo Golfo de México. (2020). *Fichas de reproducción de árboles clave para la restauración*. Obtenido de Ilite *Alnus acuminata*:  
[https://revivemx.org/Recursos/Fichas\\_propagacion/FichaPropagacion\\_F1\\_Alnus\\_acuminata\\_Ilite\\_v2.pdf](https://revivemx.org/Recursos/Fichas_propagacion/FichaPropagacion_F1_Alnus_acuminata_Ilite_v2.pdf)
- François, M., de Aguiar, T. R., Mielke, M. S., Rousseau, A. N., Faria, D., & Mariano-Neto, E. (2024). Interactions Between Forest Cover and Watershed Hydrology: A Conceptual Meta-Analysis. *Water*, 16(23), 3350. doi:10.3390/w16233350
- Geiss, G., Gutierrez, L., & Bellini, C. (2018). *Adventitious Root Formation: New Insights and Perspectives*. In Annual Plant Reviews online, J.A. Roberts.  
doi:10.1002/9781119312994.apr0400
- Gergoff, G., Rusciatti, M., & Gimenez, D. (2023). *Introducción a la propagación vegetal*. Universidad Nacional de la Plata. Obtenido de  
<https://files.core.ac.uk/download/597602003.pdf>
- Gondim, E., Nolasco, J., & Araujo, F. (2019). Propagation Strategies for Native Species in Forest Restoration: Efficiency of Substrates and Hormonal Treatments. *Australian herbal Insight*, 2(1), 1-6. doi:10.25163/ahi.2120751328300919
- Gualpa-Calva, M., Noboa-Silva, V., & Carpio-Coba, C. (2022). *Establecimiento y manejo de un vivero forestal*. Casa Editora del Polo. Obtenido de  
[https://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2025-08-28-134246-Libro\\_ESTABLECIMIENTO%20Y%20MANEJO%20DE%20UN\\_compressed.pdf](https://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2025-08-28-134246-Libro_ESTABLECIMIENTO%20Y%20MANEJO%20DE%20UN_compressed.pdf)

- Guimarães, Z., Da Silva, D., & Ferreira, M. (2024). Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. *iForest*, *17*, 80-89. doi:10.3832/ifor4317-016
- He, T., Ding, W., Cheng, X., & al., e. (2024). Meta-analysis shows the impacts of ecological restoration on greenhouse gas emissions. *Nat Commun*, *15*, 2668. doi:10.1038/s41467-024-46991-5
- Jasso, D., Ramírez, C., Ramírez, H., Villareal, A., & al., e. (2024). Bioestimulantes de plantas del semidesierto en el crecimiento radicular y aéreo de plántulas de tomate. *Ecosist. Recur. Agropec*, *11*(3), e4145. doi:10.19136/era.a11n3.4145
- Jiménez, E. (2022). *Efecto de enraizadores orgánicos en plántulas de cacao (Theobroma cacao L.) en condiciones semicontroladas*. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador:  
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ%20BUSTOS%20ERICKA%20LISBETH.pdf>
- Jiménez, W. (2022). *Evaluación de tres tipos de sustratos en la propagación sexual de aliso (Alnus acuminata) en el cantón El Tambo, provincia del Cañar*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/0de6afeb-0b8c-4cac-9080-bd96e31d8120/content>
- Justamante, M. S., Mhimdi, M., Molina-Pérez, M., Albacete, A., Moreno, M. Á., Mataix, I., & Pérez-Pérez, J. M. (2022). Effects of Auxin (Indole-3-butyric Acid) on Adventitious Root Formation in Peach-Based Prunus Rootstocks. *Plants*, *11*(7), 913. doi:10.3390/plants11070913

- Khanyile, N., Dlamini, N., Masenya, A., Madlala, N. C., & Shezi, S. (2024). Preparation of Biofertilizers from Banana Peels: Their Impact on Soil and Crop Enhancement. *Agriculture*, *14*(11), 1894. doi:10.3390/agriculture14111894
- Kim, B., Hahm, S., Lee, Y., Bok, G., & Park, J. (2025). Light, Temperature, and Relative Humidity Influence the Adventitious Rooting of Cannabis Stem Cuttings. *Horticultural Science and Technology*, *43*(4), 480-493. Obtenido de <https://cdn.apub.kr/journalsite/sites/kshts/2025-043-04/N020250043/N020250043.pdf>
- Koch, A., & Kaplan, J. (2022). Tropical forest restoration under future climate change. *Nature Climate Change*, *12*, 279-283. doi:10.1038/s41558-022-01289-6
- Kumar, M., Kotiyal, A., & Ahmadi, F. (2024). Banana Peel Waste as an Eco-Friendly Nutrient Medium for Improving Rooting Success in Plum (*Prunus salicina*) Cuttings. *J Soil Sci Plant Nutr*, *24*, 4829-4841. doi:10.1007/s42729-024-01875-x
- Kumari, P., Gaur, S. S., & Tiwari, R. K. (2023). El plátano y sus subproductos: una revisión exhaustiva de su composición nutricional y beneficios farmacológicos. *eFood*, *4*(5), e110. doi:10.1002/efd2.110
- Lao, R. (1969). Catálogo preliminar de las especies forestales del Perú. *Revista Forestal del Perú*, *3*(1). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/348701725/ALNUS-ACUMINATA>
- Liu, J., Gao, L., Zhang, R., Gao, A., & al., e. (2025). ARF4 acting upstream of LBD16 promotes adventitious root formation in peach. *Horticultural Plant Journal*, *11*(1), 145-161. doi:10.1016/j.hpj.2023.07.004
- Madroñero-Palacios, S., & Muñoz-Guerrero, D. (2024). Principios conceptuales de la restauración ecológica. *Tecnología en marcha*, *37*(3), 88-100. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v37n3/699878490010.pdf>

- Martini, A. N., Bertouklis, K., Vlachou, G., & Papafotiou, M. (2025). Investigating the Rooting of Stem Cuttings of Five Mediterranean *Salvia* spp., as a Means for Their Wider Exploitation in Sustainable Horticulture. *Sustainability*, 17(20), 8999. doi:10.3390/su17208999
- Mirihagalla, M., & Fernando, K. (2020). Effect of Aloe vera Gel for Inducing Rooting of Stem Cuttings and Air layering of Plants. *Journal of Dry Zone Agriculture*, 6(1), 13-26. Obtenido de <http://repo.lib.jfn.ac.lk/ujrr/handle/123456789/3081>
- Molina, Y. (2019). La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas. *Revista Científica*, 4(13), 182-199. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5636/563659492010/html/>
- Moreno-Guerrero, D. E., Ramirez, S. M., Ojeda-Salgado, H. L., Pérez-Mercado, C. A., & Trejo-Téllez, L. I. (2024). Extractos vegetales en el crecimiento y concentración nutrimental de hojas de lechuga (*Lactuca sativa*). *Biotecnia*, 26, e1929. doi:10.18633/biotecnia.v26.1929
- Morocho, V., & Morocho, M. (2025). *Propagación asexual de tres especies de plantas nativas para la protección de fuentes hídricas en la comunidad de Rañas del cantón Nabón*. Obtenido de Universidad del Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/15984/1/21499.pdf>
- Obando, B. (2022). *Efecto de la Sombra de *Alnus acuminata* Kunth sobre la Producción y Calidad de Biomasa de Pasturas en un Arreglo Silvopastoril en el Trópico Alto de Nariño*. Obtenido de Universidad de Nariño: <https://sired.udenar.edu.co/17031/1/2022249.pdf>
- Ombrosi, D. (2023). *La biosíntesis local de auxinas regula el desarrollo de las plantas en respuesta a señales ambientales*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:

<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/c173dc55-4546-4369-a216-965156ac5582/content>

ONU. (2023). *Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad*. Obtenido de

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

Organización de las Naciones Unidas. (05 de 12 de 2025). *Deforestation - Definition and Facts*. Obtenido de <https://indonesia.un.org/en/306589-deforestation-definition-and-facts>

Pérez, V., Minjares, J., Martínez, J., Baez, J., & Candelas, M. (2019). Composición Química, Propiedades Físicas y Reológicas del mucílago de Aloe barbadensis Miller.

*Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 902-906.

Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/23677/1/52.pdf>

Pop, T., Pamfil, D., & Bellini, C. (2021). Auxin Control in the Formation of Adventitious Roots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 307-316.

doi:10.15835/nbha3916101

Poudel, S., Gautam, I., Shrestha, S., & al., e. (2022). Effects of natural and synthetic rooting substances on rooting and shooting performance in dragon fruit (*Hylocereus S.P.*).

*DOAJ*, 123(3), 83-88. Obtenido de

<https://doaj.org/article/fbefabe9207b45a4aa9222e4ea503732>

Prefectura Cotopaxi. (2025). *Canton Latacunga*. Obtenido de

<https://cotopaxi.gob.ec/test.cotopaxi.gob.ec/index.php/latacunga/>

Quichimbo, P., Jiménez, L., Veintimilla, D., & al., e. (2020). Nutrient dynamics in an Andean forest region: a case study of exotic and native species plantations in southern

Ecuador. *New Forests*, 51, 313-334. doi:10.1007/s11056-019-09734-9

- Ramírez, E. (2015). *Efecto del extracto acuoso de la papa nativa Solanum tuberosum "puca simi" sobre enzimas de detoxificación de fase II en un modelo de hiperbilirrubinemia*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor San Marcos:  
[https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/01/877400/efecto-del-extracto-acuoso-de-la-papa-nativa-solanum-tuberosum-\\_w4U7rcI.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/01/877400/efecto-del-extracto-acuoso-de-la-papa-nativa-solanum-tuberosum-_w4U7rcI.pdf)
- Ricci, A., Polverini, E., Bruno, S., Dramis, L., Ceresini, D., Scarano, A., & Diaz-Sala, C. (2023). New Insights into the Enhancement of Adventitious Root Formation Using N,N'-Bis(2,3-methylenedioxyphenyl)urea. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(20), 3610. doi:10.3390/plants12203610
- Rojas, R. (2024). *Efecto de dos enraizadores naturales en la propagación vegetativa de aliso (Alnus acuminata Kunth) en vivero, Amazonas - Perú*. Obtenido de Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas:  
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3798/Ramy%20Hanmer%20Rojas%20Briceño%20-%20FICA.pdf>
- Roussos, P. A. (2023). Adventitious Root Formation in Plants: The Implication of Hydrogen Peroxide and Nitric Oxide. *Antioxidants*, 12(4), 862. doi:10.3390/antiox12040862
- Sae-Tang, W., Heuvelink, E., Kohlen, W., Argiry, E., & al., e. (2024). Effect of far-red and blue light on rooting in medicinal cannabis cuttings and related changes in endogenous auxin and carbohydrates. *Scientia Horticulturae*, 325. doi:10.1016/j.scienta.2023.112614
- Saucedo-Uriarte, J., Oliva-Cruz, S., Maicelo-Quintana, J., Meléndez-Mori, J., & Collazos-Silva, R. (2022). Arreglos silvopastoriles con *Alnus acuminata* y su efecto sobre parámetros productivos y nutricionales del componente forrajero. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(2). doi:10.22319/rmcp.v13i2.5007

- Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy*, *11*(7), 1297. doi:10.3390/agronomy11071297
- Small, C., & Degenhardt, D. (2018). Plant growth regulators for enhancing revegetation success in reclamation: A review. *Ecological Engineering*, *118*(1), 43-51. doi:10.1016/j.ecoleng.2018.04.010
- Suárez, I. (2020). *Cultivo de Tejidos Vegetales*. Montería Colombia. Obtenido de <https://files.core.ac.uk/download/pdf/288339333.pdf>
- Tahir, M. M., Mao, J., Li, S., Li, K., Liu, Y., Shao, Y., . . . Zhang, X. (2022). Insights into Factors Controlling Adventitious Root Formation in Apples. *Horticulturae*, *8*(4), 276. doi:10.3390/horticulturae8040276
- Tejano, P. (2022). *Bioestimulantes para la brotación y el enraizamiento de esquejes en dos variedades de caña de azúcar*. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/TEJENA%20INDIO%20PABLO%20ABELARDO.pdf>
- Torres-Rodríguez, J., Rivero, M., Reyes-Pérez, J., Marín, C., Gutiérrez, E., & Rueda-Puente, E. (2025). Bioestimulantes orgánicos como alternativa ecológica sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz. *Bioagro*, *37*(2), 189-198. doi:10.51372/bioagro372.5
- Tucuch-Haas, C., Cen, J., Kancab, R., & Tucuch, J. (2022). Uso de gel de Aloe vera en la producción de plántulas de *Capsicum chinense*. *Biotechnia*, *24*(1). doi:10.18633/biotechnia.v24i1.1542
- Vaca, R. (2025). *Evaluación de sustratos y estimulantes para el enraizamiento de patrones de rosas (Rosa sp.) var. natal brier, guachalá cayambe*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte:

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/17549/2/03%20AGP%20488%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Valencia, D. (2018). *Evaluación de la toxicidad del agua del río Pita mediante bioensayos con Alnus Acuminata*. Obtenido de UDLA:

<https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10284/1/UDLA-EC-TIAM-2018-51.pdf>

Vallejo, O. (2024). *Evaluación de enraizantes en esquejes de dos variedades de papas nativas, chaucha amarilla (Solanum Phureja), Mora Azul (Solanum Tuberosum) en la estación INIAP-2024*. Obtenido de Universidad Técnica de Cotopaxi:

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/383ab079-9e47-400a-8e5b-1a27e21846eb/content>

Vallejos, H. (2025). *Efecto de hormonas de enraizamiento en propagación vegetativa De Juglans Neotrópica Diels, en el campus Yuyucocha*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/17136>

Vega-Calderón, P., Canchignia, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Revisión bibliográfica. Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacteri. *Cultivos Tropicales*, 37, 33-39. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193246189005.pdf>

Vidanapathirana, N., Rifnas, L., & Sumanasekara, H. (2023). Effects of Different Root Inducing Agents on Cutting Propagation of Tea (Camellia Sinensis). *Annual Research & Review in Biology*, 38(6), 30-37. doi:10.9734/arrb/2023/v38i630590

Vistin, D., Herrera, G., Basantes, E., & Sánchez, H. (2023). *Restauración Ecológica del Bosque Siempre Verde Montano Alto en los Andes Tropicales del Ecuador*. Puerto Madero Editorial Académica. Obtenido de [https://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2025-08-21-153959-Libro\\_Restauración%20Ecológica%20del%20Bosque%20Siempre%20Verde.pdf](https://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2025-08-21-153959-Libro_Restauración%20Ecológica%20del%20Bosque%20Siempre%20Verde.pdf)

- Wang, C., Zhang, W., Li, X., & Wu, J. (2021). A global meta-analysis of the impacts of tree plantations on biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 31(3), 576-587. doi:10.1111/geb.13440
- Wang, X., Li, Y., Li, Z., Gu, X., Wang, Z., Qin, X., & Li, Q. (2025). Investigating the Mechanisms of Adventitious Root Formation in Semi-Tender Cuttings of *Prunus mume*: Phenotypic, Phytohormone, and Transcriptomic Insights. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(6), 2416. doi:10.3390/ijms26062416
- Werden, L., Cole, R., Schonhofer, K., & al., e. (2024). Assessing innovations for upscaling forest landscape restoration. *One Earth*, 7(9), 1515-1528. doi:10.1016/j.oneear.2024.07.011
- WFO. (2026). *Alnus acuminata* Kunth. Obtenido de <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000944034>
- Wicaksono, C., Aguirre Guterrez, J., Nouhra, E., Pastor, N., Raes, N., & al., e. (2017). Contracting montane cloud forests: a case study of the Andean alder (*Alnus acuminata*) and associated fungi in the Yungas. *Wiley Blackwell Publishing*, 49(2), 141-152. doi:10.1111/btp.12394
- World Agroforestry. (2025). *Alnus acuminata*. Obtenido de Agroforestry Database: <https://apps.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=194>
- Yadav, A., Bohra, N., & Giri, V. (2023). Study the Effect of Plant Growth Regulators on Seed Germination of Various Tree Species of Rajasthan. *Asian Journal of Basic Science & Research*, 5(3), 94-100. Obtenido de <https://files01.core.ac.uk/download/pdf/586552845.pdf>
- Yoon, A., Eui, H., Young, S., & Gyeong, Y. (2021). Plant growth regulators and rooting substrates affect growth and development of *Salix koriyanagi* cuttings. *Rhizosphere*, 20, 100347. doi:10.1016/j.rhisph.2021.100437

Zulfiqar, F., Moosa, A., Ali, H., Bermejo, N., & Munné-Bosh, S. (2024). Biostimulants: A sufficiently effective tool for sustainable agriculture in the era of climate change? *Plant Physiology and Biochemistry*, 211. doi:10.1016/j.plaphy.2024.108699

