



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

CARRERA AGRONOMÍA

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EFFECTO DE TRES FITOHORMONAS DE CRECIMIENTO PARA EL
DESARROLLO DE TEJIDO VEGETAL EN *Bursera Graveolens*, EN
PARROQUIA TARQUI, GUAYAQUIL**

AUTOR

CASTILLO ENDERICA BRIAN REMMY

TUTOR

ING. ALBINO DECIDERIO ÁVILA FRANCO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EFFECTO DE TRES FITOHORMONAS DE CRECIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TEJIDO VEGETAL EN *Bursera Graveolens*, EN PARROQUIA TARQUÍ**, realizado por el estudiante **CASTILLO ENDERICA BRIAN REMMY**; con cédula de identidad N° 0930705132 de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica GUAYAQUIL, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Albino Deciderio Ávila Franco
Docente Tutor

Guayaquil, 29 de junio de 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“EFECTO DE TRES FITOHORMONAS DE CRECIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TEJIDO VEGETAL EN *Bursera Graveolens*, EN PARROQUIA TARQUÍ”**, realizado por el estudiante **CASTILLO ENDERICA BRIAN REMMY**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. ARNALDO BARRETO MACÍAS, MSc
PRESIDENTE

ING. DARLYN AMAYA MÁRQUEZ, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. ANTONIO ÁLAVA MURILLO, MSc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. ALBINO AVILA FRANCO, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 29 de junio del 2026

DEDICATORIA

A mi querida hermana, por tu apoyo incondicional, tu compañía en los momentos difíciles y tu confianza en mí cuando más la necesité. Gracias por cada palabra de aliento, por celebrar mis logros y por motivarme a seguir adelante aun cuando el camino parecía complicado.

Este trabajo representa el esfuerzo de muchos años, y una parte importante de este logro te pertenece. Tu cariño, ejemplo y presencia han sido una fuente constante de fortaleza e inspiración en mi vida.

Con profundo agradecimiento y afecto, te dedico esta tesis.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada desafío y permitirme culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus enseñanzas y por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por creer en mí, por apoyarme en cada decisión y por motivarme constantemente a alcanzar mis metas.

A mi hermana, por su cariño, comprensión y apoyo a lo largo de este camino. Gracias por estar presente en los momentos más importantes y por brindarme siempre palabras de ánimo para seguir adelante.

A mi novia, quien durante estos años ha sido una compañera incondicional. Gracias por tu paciencia, comprensión, apoyo diario y por acompañarme en cada etapa de este proceso. Tu confianza, amor y motivación fueron una fuente de fortaleza que me impulsó a perseverar y alcanzar este logro.

A mi familia en general, por su afecto, consejos y respaldo constante, que contribuyeron de una u otra manera al cumplimiento de este objetivo.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la institución y a todos los docentes que formaron parte de mi desarrollo académico y profesional, por compartir sus conocimientos, experiencias y valores, contribuyendo significativamente a mi formación.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este logro.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **BRIAN REMMY CASTILLO ENDERICA**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“EFECTO DE TRES FITOHORMONAS DE CRECIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TEJIDO VEGETAL EN *Bursera Graveolens*, EN PARROQUIA TARQUI, GUAYAQUIL”** para optar el título de **INGENIERO AGRÓNOMO**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil 29 de junio del 2026

CASTILLO ENDERICA BRIAN REMMY
C.I. 0930705132

RESUMEN

El Palo Santo (*Bursera graveolens*) es una especie emblemática de los bosques secos ecuatorianos con alto valor ecológico, cultural y económico, sin embargo, su propagación vegetativa presenta limitaciones técnicas debido a la escasa información sobre métodos eficientes de multiplicación asexual. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres fitohormonas de crecimiento en el desarrollo de tejido vegetal en estacas de *Bursera graveolens* en condiciones de vivero en la parroquia Tarqui, Guayaquil. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con diez tratamientos y cinco repeticiones, se evaluó tres bioestimulantes: extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) en dosis de 3, 6 y 9 ml/L, gel de Aloe vera en concentraciones de 50, 100 y 150 ml/L, y extracto de lenteja germinada (*Lens culinaris*) en dosis de 50, 100 y 150 g/L, más un testigo absoluto. Se evaluó variables de longitud radicular, número de brotes, hojas y porcentaje de supervivencia durante 90 días. Los resultados mostraron 0% de enraizamiento y brotación en todos los tratamientos, aunque se registró 100% de supervivencia a los 15 días. El análisis químico del sustrato (pH 6.3; MO 3.7%; N 0.5%; P 491 ppm; K 4572 ppm) confirmó condiciones nutricionales adecuadas. Se concluye que *Bursera graveolens* presenta limitaciones fisiológicas intrínsecas para la propagación vegetativa mediante estacas con bioestimulantes naturales, recomendándose evaluar auxinas sintéticas, diferentes épocas de recolección y períodos de evaluación más prolongados.

Palabras clave: Bosque seco, *bursera graveolens*, enraizamiento, fitohormonas, propagación vegetativa.

ABSTRACT

Palo Santo (*Bursera graveolens*) is an emblematic species of Ecuadorian dry forests with high ecological, cultural, and economic value; however, its vegetative propagation presents technical limitations due to scarce information on efficient asexual multiplication methods. This research aimed to evaluate the effect of three growth phytohormones on plant tissue development in *Bursera graveolens* cuttings under nursery conditions in Tarqui parish, Guayaquil. A completely randomized design (CRD) with ten treatments and five replications was employed, evaluating three biostimulants: seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) at doses of 3, 6, and 9 ml/L, Aloe vera gel at concentrations of 50, 100, and 150 ml/L, and germinated lentil extract (*Lens culinaris*) at doses of 50, 100, and 150 g/L, plus an absolute control. Root length, number of shoots, leaves, and survival percentage were evaluated over 90 days. Results showed 0% rooting and sprouting in all treatments, although 100% survival was recorded at 15 days. Chemical analysis of the substrate (pH 6.3; OM 3.7%; N 0.5%; P 491 ppm; K 4572 ppm) confirmed adequate nutritional conditions. It is concluded that *Bursera graveolens* presents intrinsic physiological limitations for vegetative propagation through cuttings with natural biostimulants, recommending the evaluation of synthetic auxins, different collection seasons, and longer evaluation periods.

Keywords: *Dry forest, Bursera graveolens, rooting, phytohormones, vegetative propagation,*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
<i>1.2.1 Planteamiento del problema</i>	<i>17</i>
<i>1.2.1 Formulación del problema</i>	<i>17</i>
1.3 Justificación del problema	17
1.4 Delimitación del problema.....	18
1.5 Objetivo general	18
1.6 Objetivos específicos.....	19
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	22
<i>2.2.1 Distribución y hábitat</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2 Características y clasificación botánica</i>	<i>22</i>
<i>2.2.3 Producción vegetativa</i>	<i>23</i>
<i>2.2.4 Descripción botánica</i>	<i>23</i>
<i>2.2.5 Reproducción.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.6 Utilidad</i>	<i>24</i>
<i>2.2.7 Uso de fitohormonas.....</i>	<i>25</i>

2.2.7.1 Extractos de algas y sus compuestos bioactivos en el desarrollo vegetativo.....	25
2.2.7.2. Extractos de algas marinas y la producción de brotes en estacas de especies vegetativas forestales.....	27
2.2.7.3. Fitohormonas en el Aloe vera y su capacidad de crecimiento radicular y de brotes.....	28
2.2.7.4. Bioactivos en el extracto de lenteja y su relación con el crecimiento radicular y brotes en estacas de especies maderables. .	29
2.2.8 <i>Bioquímica</i>	30
2.2.9 <i>Economía</i>	31
2.2.10 <i>Protocolo de propagación vegetativa de B. Graveolens</i>	32
2.3 Marco legal.....	32
2.3.1 <i>Código Orgánico del Ambiente</i>	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Enfoque de la investigación	35
3.1.1 <i>Tipo investigación</i>	35
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i>	35
3.1.2.1. Investigación descriptiva	35
3.1.2.2. Investigación experimental.....	36
3.1.2.3. Unidad experimental	36
3.2 Metodología	36
3.2.1 <i>Variables</i>	36
3.2.1.1. Variables independientes	36
3.2.1.1.1. <i>Enraizante a base de algas.</i>	36
3.2.1.1.2. <i>Enraizante natural de aloe vera barbadensis mill.</i>	36
3.2.1.1.3. <i>Enraizante extracto de lenteja (Lens culinaris).</i>	37
3.2.1.1.4. <i>Testigo (agua).</i>	37
3.2.1.2. Variables dependientes.....	37
3.2.1.2.1. <i>Longitud de raíz a los 90 días (cm).</i>	37
3.2.1.2.2. <i>Número de brotes cada 30 días.</i>	37
3.2.1.2.3. <i>Número de hojas a partir 30 días.</i>	37
3.2.2 <i>Tratamientos</i>	37
3.2.4 <i>Diseño experimental</i>	38
3.2.5 <i>Recolección de datos</i>	39

3.2.5.1. Recursos técnicos	39
3.2.5.2. Recursos humanos	39
3.2.5.3. Recursos de laboratorio	40
3.2.5.4. Recursos bibliográficos	40
3.2.5.5. Recursos económicos	40
3.2.6. <i>Métodos y técnicas</i>	40
3.2.6.1. Métodos de investigación	40
3.2.6.2. Técnicas de investigación	41
3.2.6.2.1. <i>Preparación y análisis del sustrato</i>	41
3.2.6.2.2. <i>Selección y acondicionamiento de estacas</i>	42
3.2.6.2.3. <i>Preparación de tratamientos hormonales</i>	42
3.2.6.2.4. <i>Siembra y manejo en vivero</i>	42
3.2.6.2.5. <i>Protocolo de propagación vegetativa de <i>Bursera graveolens</i></i>	43
3.2.7 <i>Análisis estadístico</i>	44
3.2.7.1. Hipótesis	45
4. Resultados	46
4.1 Efecto de tres fitohormonas de crecimiento sobre el desarrollo vegetativo en estacas de <i>Bursera graveolens</i> , en condiciones controladas de vivero.....	46
4.1.1 <i>Número de brotes</i>	46
4.1.2 <i>Número de hojas</i>	46
4.1.3 <i>Evaluación radicular</i>	46
4.1.4 <i>Supervivencia estacas <i>Bursera graveolens</i></i>	46
4.1.5 <i>El análisis químico del sustrato</i>	47
4.1.6 <i>Revisión bibliográfica en comparación con otros autores</i>	48
4.2 Determinación de las dosis más efectiva mediante un modelo de regresión.....	49
4.3 Generación de protocolo para reproducción vegetativa de palo santo (<i>Bursera graveolens</i>) a nivel de vivero.....	50
4.3.1 <i>Selección del sitio</i>	50
4.3.2 <i>Diseño y dimensiones de la estructura</i>	50
4.3.3 <i>Cobertura y control de luminosidad</i>	51
4.3.4 <i>Sistema de ventilación</i>	51

4.3.5 Preparación del área interna	51
4.3.6 Sistema de riego	52
4.3.7 Condiciones microclimáticas recomendadas	52
4.3.8 Control sanitario y mantenimiento.....	52
4.3.9 Dosis empleadas del bioestimulante a base de algas marinas ..	53
5. Discusión	54
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
6.1 Conclusiones.....	53
6.2 Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos a evaluar.....	37
Tabla 2. Descripción del diseño experimental en campo	
.....	38
Tabla 3. Fuentes de variación.....	39
Tabla 4. Detalle económico.....	40
Tabla 5. Análisis químico del sustrato en <i>bursera graveolens</i>	46
Tabla 6. Comparación de propagación de <i>bursera graveolens</i>	46
Tabla 7. Respuesta fisiológica de estacas por tratamiento	48
Tabla 8. Compuestos de algas y desarrollo radicular.....	65
Tabla 9. Compuestos de algas y producción de brotes.....	66
Tabla 10. F Fitohormonas de Aloe vera y brotación.....	67
Tabla 11. Compuestos de <i>Lens culinaris</i> y crecimiento vegetal.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	1. Croquis	de
distribución.....		70
Figura	2. Construcción	de
vivero.....		70
Figura	3. Preparación	del
sustrato.....		71
Figura 4. Llenado de fundas.....		71
Figura	5. Recolección	de
estacas.....		72
Figura	6. Estacas <i>Bursera</i>	
<i>graveolens</i>		72
Figura	7. Germinación de lenteja para solución	
enraizante.....		73
Figura	8. Pesaje de germinado de lenteja para los	
tratamientos.....		73
Figura	9. Extracto	de <i>Aloe</i>
<i>vera</i>		74
Figura	10. Solución de algas	producto
comercial.....		74
Figura	11. Tratamiento a las estacas con extracto de	
lenteja.....		75
Figura	12. Tratamiento de estaca con extracto de <i>Aloe</i>	
<i>vera</i>		75
Figura 13. Tratamiento a estacas con solución comercial de alga		

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

La conservación de los bosques secos en Ecuador es fundamental para preservar la biodiversidad y salvaguardar especies emblemáticas como el Palo Santo (*Bursera graveolens*), que posee un importante valor cultural y económico. En este contexto, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica ha sumado 170 Bosques de Vegetación Protector (BVP) a nivel nacional, destacándose el nuevo BVP “Artesan EcuadorianHands”, un área de 50 hectáreas ubicada en la Comuna Joá, Jipijapa, Manabí. Este espacio, en el que predomina el Palo Santo, es un claro ejemplo del compromiso institucional para garantizar un manejo forestal sostenible que integre aspectos sociales, culturales y ambientales (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023).

Los bosques secos ecuatorianos constituyen reservorios vitales de biodiversidad, donde la variedad de especies vegetales y animales aseguran el correcto funcionamiento de los procesos ecológicos. Esta riqueza biológica nos brinda resiliencia a los ecosistemas frente a contaminaciones o desbalance en el entorno natural y permite cuidar los sistemas naturales, tales como la regulación climática, la purificación del aire y la polinización. La capacidad de estos bosques para mantener un equilibrio ecológico es crucial, no solo para la conservación de la flora y fauna, sino también para mantener el bienestar de las comunidades que dependen de ellos (Paz y Salas, 2019).

Diversos proyectos de conservación son implementados en Ecuador con el objetivo de recuperar y proteger los remanentes boscosos. Uno destacado es el Bosque y Vegetación Protector (BVP) Rumicruz, uno de los remanentes más importantes para las provincias de Azuay y Cañar, que tiene una gran diversidad de especies y fuentes hídricas cruciales para el consumo humano y la agricultura. La elaboración de planes de manejo, basados en metodologías que combinan trabajo de campo, análisis cartográfico y revisión bibliográfica, permiten identificar los impactos del avance de la frontera agrícola, la modificación del hábitat y la explotación forestal, establece estrategias para mitigar dichos efectos y promover la restauración del ecosistema (Gómez, 2020).

El Palo Santo juega un papel crucial en la estabilidad del ecosistema del bosque seco. No solo es una fuente de ingresos para las comunidades locales, sino que también contribuye de forma significativa a la reducción de la huella de carbono. Este árbol, deseado por sus propiedades medicinales y su aroma, se ha convertido en un símbolo de la interconexión entre la naturaleza y la espiritualidad. Usado en cosmetología, aceites esenciales o de uso diario comunitario como sahumerio hasta para repeler insectos, la misión es asegurar que continúe el desempeño de este rol fundamental para las generaciones futuras.

Ante la creciente presión sobre los bosques secos, de manera especial en la región costera de Guayas, es urgente desarrollar métodos de reproducción rápida que permitan regenerar estos ecosistemas de manera eficiente. La implementación de técnicas avanzadas de propagación vegetativa, ya sea por semilla o estacas, no solo facilita la recuperación de áreas degradadas, sino que también impulsa la economía local mediante la diversificación de la producción forestal. Diversos estudios evalúan la eficacia de estas técnicas en otras especies, lo que resalta la necesidad de adaptar y optimizar métodos que aseguren el éxito en la reproducción de especies clave como el Palo Santo, contribuye a la conservación ambiental y al desarrollo sostenible en la región.

La propagación asexual de especies forestales permite obtener plantas idénticas en un período de tiempo más reducido. Aunque la documentación científica sobre la multiplicación asexual de *B. graveolens* es limitada, algunos estudios obtienen excelentes resultados mediante el uso de reguladores de crecimiento tipo auxina para regenerar tejido vegetal en esta especie. En una investigación realizada en el vivero forestal del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, se aplica 8000 ppm de auxina AIB junto con un sustrato compuesto por tierra de guabo y arena de río, lo que propició una mayor producción de brotes y callos, mantiene un bajo índice de mortalidad, aunque no suelen ser muy efectivos estos tratamientos ya que no enraíza. En este contexto, se plantea una iniciativa de propagación vegetativa por estacas de *B. graveolens* (Palo Santo) en condiciones de vivero, que permitirá obtener información valiosa sobre el comportamiento de la especie y servirá de base para los programas de restauración y repoblación de bosques

secos, beneficia a las generaciones presentes y futuras (Ramos et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

A pesar de la importancia ecológica, cultural y económica que representa el Palo Santo (*Bursera graveolens*) en los bosques secos ecuatorianos, la literatura científica sobre su multiplicación asexual es limitada. Esto ha impedido el desarrollo de métodos estandarizados y eficientes para la propagación vegetativa mediante estacas, lo que resulta en una baja tasa de regeneración y en la dificultad de implementar programas de restauración y repoblación en áreas degradadas. La ausencia de protocolos optimizados, sumada a la presión por la deforestación y el avance de actividades agrícolas y urbanísticas, pone en riesgo la conservación de esta especie emblemática y, por ende, la estabilidad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.

1.2.1 Formulación del problema

¿El efecto de tres fitohormonas de crecimiento puede desarrollar tejido vegetal en *Bursera graveolens*?

1.3 Justificación del problema

La conservación de los bosques secos tropicales en Ecuador es una prioridad ecológica y social, debido a su alta biodiversidad, su papel en la regulación de procesos ecológicos y su creciente vulnerabilidad frente al cambio de uso del suelo. Dentro de este ecosistema, *Bursera graveolens* (conocido como Palo Santo) representa una especie emblemática, valorada tanto por su importancia ecológica como por su alto valor cultural, medicinal y económico. Sin embargo, las crecientes presiones por deforestación, expansión agrícola y extracción no regulada, han comprometido la regeneración natural de esta especie, en especial en zonas como Guayas, donde los remanentes de bosque seco son cada vez más escasos.

Pese a su relevancia, existen limitaciones significativas en cuanto al conocimiento técnico-científico sobre su propagación vegetativa. La bibliografía actual sobre la multiplicación asexual de *B. graveolens* es escasa y poco estandarizada, lo que ha dificultado el desarrollo de programas eficaces de reforestación y restauración ecológica. En este contexto, el uso de reguladores de crecimiento representa una herramienta biotecnológica prometedora, con

potencial para mejorar el prendimiento de estacas y acelerar el desarrollo de tejido vegetal, que permite así una producción más eficiente de plantas viables para viveros forestales.

Esta investigación se justifica por la necesidad de generar conocimiento científico que contribuya a establecer protocolos técnicos para la propagación asexual de *Bursera graveolens*, utilizar reguladores de crecimiento fitohormonas. Los resultados permitirán identificar tratamientos eficaces para el enraizamiento y crecimiento de estacas, lo cual es crucial para implementar estrategias de restauración ecológica en áreas degradadas de bosque seco, como las de la región costera de Guayas.

Además, esta investigación tiene implicaciones directas en el fortalecimiento de prácticas de manejo forestal sostenible y en el desarrollo de sistemas productivos alternativos que pueden beneficiar a comunidades rurales vinculadas a la producción artesanal, apícola y maderera del Palo Santo. Con ello, se promueve no solo la conservación del patrimonio natural, sino también la sostenibilidad económica y social en territorios vulnerables.

En suma, este estudio busca ser un aporte científico, ecológico y que permita consolidar alternativas técnicas viables para la conservación y uso responsable del *Bursera graveolens*, por los esfuerzos nacionales por la restauración de ecosistemas y la resiliencia frente al cambio climático.

1.4 Delimitación del problema

- **Espacio:** El Proyecto se desarrolló en la instalación de un vivero casero, ubicado en el km 40 vía la costa en la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas, coordenadas 2°11'36. 80°03'16.
- **Tiempo:** La investigación se desarrolló en un tiempo de tres meses desde el mes de noviembre a finales de enero del 2026.
- **Población:** La investigación esta direccionada a las comunidades, productores del cultivo.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres fitohormonas de crecimiento para el desarrollo de tejido vegetal en *Bursera Graveolens*, en parroquia Tarqui, Guayaquil.

1.6 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de tres fitohormonas de crecimiento sobre el desarrollo de variables vegetativas (longitud raíz, número de brotes) en estacas de *Bursera graveolens*, en condiciones controladas de vivero.
- Determinar la dosis más efectiva mediante un modelo de regresión
- Generar protocolo para reproducción vegetativa de palo santo (*Bursera graveolens*) a nivel de vivero

1.7 Hipótesis o idea a defender

El uso de reguladores de crecimiento incrementa de forma significativa el porcentaje de prendimiento de estacas de *Bursera graveolens* en comparación con el testigo sin hormona.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Los bosques en el Ecuador son deforestados por la tala indiscriminada de árboles, estos bosques son eje principal donde se desarrolla toda la fauna, uno de los mamíferos con mayor población es el murciélago, que aunque no es de nuestro principal interés, es importante conocer que es un gran controlador de plagas y transportador de semillas, los bosques son hábitat que alberga muchas de estas especies que brindan equilibrio Ecológico, purificación en aire, agua suelo (Paz y Salas, 2019).

Las actividades agrícolas son una de las principales causas de deforestación de bosques, necesitamos buscar formas de restauración o mitigación por parte de la agricultura desmedida en el hábitat que alberga la vida. Existen 171 bosques y vegetación protegidos (BVP) a nivel nacional los cuales intenta integrar el manejo sostenible de los mismos, trata de vincular las estrategias agrícolas para mantener un equilibrio en los ecosistemas ya que muchos de estos bosques comparten los mismos afluentes de agua o se encuentran próximos. Rumicruz es uno de los remanentes boscosos más importantes de la provincia de Azuay y Cañar ya que alberga una gran diversidad de flora y fauna como fuentes hídricas representativas, que son usadas por el humano en actividades agrícolas, Desarrolla un plan de manejo para la conservación y restauración de este BVP en su área (Gómez, 2020).

El Ecuador tiene un nuevo BVP de 50 hectáreas y es el número 170 declarado por la subsecretaria de patrimonio natural ubicado en la comuna Joá en Jipijapa Manabí. El palo santo *Bursera Graveolens*, esta especie forestal es hábitat para la fauna y usado por su gran aroma, es de importancia cultural y económica, este bosque mantiene una conserva que garantiza el manejo forestal sostenible con el enfoque al bienestar a las familias del sector en ámbitos sociales, culturales y económicos, contiene áreas reforestadas y mantiene iniciativas de producción en este bosque seco (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023).

Existe muy poca información bibliográfica acerca de la reproducción asexual de *Bursera Graveolens*, sin embargo, en cierta investigación se logró un porcentaje de germinación con estacas 20 cm de longitud y 1 cm de

diámetro, también selecciono semillas en épocas florales, obtiene 20% de germinación en semillas a los ocho días y en estacas 0% de enraizamiento a los ocho días, las estacas presentan a los 90 días brotes y hojas, obtiene como resultado 0 porcentaje del desarrollo de raíz, se estima que podría ser por pérdida de resina (Ramos et al., 2022).

Se evaluó el efecto de tres enraizantes químicos Cytokin, Biotek y Newgibb 10% en la reproducción asexual de *Bursera graveolens* mediante esquejes en vivero, en el cantón Montecristi. Los resultados demuestran que el tratamiento con Biotek (5 ml/20 L) promovió el mayor desarrollo vegetativo, alcanza una longitud media de brotes de 7.79 cm y un diámetro de 1.35 mm a los 60 días, supera al testigo. Además, el tratamiento con Biotek evidenció mejores porcentajes de supervivencia en comparación con los otros enraizantes, lo que sugiere una alta eficacia en la estimulación del enraizamiento y desarrollo inicial de esta especie forestal. Este estudio resalta el potencial del uso de fitohormonas sintéticas como herramienta clave para la propagación de especies nativas de difícil reproducción sexual (Moreira y Zambrano, 2023).

El aprovechamiento económico de *Bursera graveolens* en la provincia de Manabí, en los cantones Jipijapa y Puerto López, representa una actividad productiva creciente que genera ingresos significativos para los habitantes rurales. Según el estudio, el precio de venta del aceite esencial alcanza los USD 120 por litro en el mercado local, mientras que en mercados internacionales puede superar los USD 200 por litro. Este aceite es obtenido de ramas caídas, incentiva un manejo sostenible del recurso sin recurrir a la tala. El valor agregado del producto se refleja también en la elaboración de incienso, jabones, cremas y otros derivados artesanales, lo cual dinamiza las economías locales. Asimismo, el estudio destaca que el comercio de palo santo ha contribuido al desarrollo de microempresas rurales y asociaciones comunitarias, refuerza el potencial de esta especie como un recurso forestal no maderable con alto valor de mercado (Pin, 2019).

En los últimos años, la propagación vegetativa de *Bursera graveolens* ha evidenciado importantes limitaciones en el prendimiento de estacas, asociadas principalmente a restricciones fisiológicas propias de la especie. Diversos estudios recientes indican que, aunque el uso de reguladores de crecimiento

puede estimular ciertos procesos metabólicos, su efecto sobre la rizogénesis no siempre resulta significativo. En este contexto, se ha observado que factores como el tipo de sustrato, las condiciones ambientales y el manejo del material vegetal ejercen una mayor influencia en el éxito del enraizamiento que la aplicación de auxinas. Asimismo, se reporta que la interacción entre estos factores puede condicionar la respuesta de las estacas, generando variabilidad en los resultados obtenidos. Por tanto, la propagación de esta especie continúa representando un desafío técnico en vivero (Ramos Veintimilla et al., 2022).

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Distribución y hábitat

Los bosques secos del Ecuador se distribuyen entre las provincias de Manabí, Guayas, Santa Elena, El Oro y Loja con una superficie aproximada de 28000 km² (Mendoza y Cabrera, 2021).

La especie *Bursera Graveolens* habita comúnmente en las laderas, así como en las planicies de bosques secos. Se estima que crecen entre 0 - 2 000 msnm, la mayor población de este tipo de especie forestal se encuentra en las provincias de Loja, El Oro, Guayas, Manabí, Imbabura y Galápagos (GBIF Backbone Taxonomy, 2025).

Clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Rosidales*

Familia: *Burseraceae*

Género: *Bursera*

Especie: *Bursera graveolens* (kunth) Triana & Planch.

2.2.2 Características y clasificación botánica

Las semillas presentan una forma angulosa y tonalidad marrón, constituyendo el principal medio de propagación de la especie. El fruto corresponde a una drupa de tipo abayado, de color verde con matices rojizos, forma ovoide, aproximadamente 1 cm de longitud, con tres ángulos bien definidos, de superficie lisa y con capacidad de abrirse al madurar. Las flores son de reducido tamaño, con una coloración blanco-lilácea, organizadas en inflorescencias tipo panícula de cerca de 10 cm de longitud; el periodo de

floración ocurre entre los meses de diciembre y febrero, mientras que la fructificación se presenta de abril a junio. Las hojas son compuestas, imparipinnadas y dispuestas de manera alterna, alcanzando hasta 20 cm de longitud, agrupadas hacia el extremo de las ramas; los folíolos, en número variable entre 5 y 9, poseen textura membranosa, forma lanceolada a oblonga, ápice acuminado, bordes aserrados y ligera pubescencia, con un raquis alado generalmente acanalado (Aguirre, 2012).

2.2.3 Propagación vegetativa

Esta determinada por la potencia de enraizamiento del esqueje, muchas veces por el tamaño de la rama se sabrá su capacidad de enraizamiento, este factor de esta influenciado por su contenido de carbohidratos, así como de sustancias que inhiban o favorezcan el enraizamiento presentando variaciones en su crecimiento tanto en la técnica para estimular los tejidos meristemáticas radiculares, así como el lapso de tiempo para que surja su efecto (Santos, 2014).

Así mismo (Sánchez, 2011), manifiesto que:

La propagación vegetativa permite mantener el genotipo intacto y asegurar la conservación de germoplasma valioso, además de multiplicar genotipos superiores y aumentar la ganancia genética en periodos muy cortos al utilizar tanto los componentes aditivos como los no aditivos de la varianza genética total. El éxito de la propagación vegetativa a través del enraizamiento de esquejes juveniles en cámaras de subirrigación depende de la minimización del déficit hídrico, optimización de la fotosíntesis, así como del empleo de sustratos adecuados y reguladores de crecimiento que favorezcan la formación y desarrollo de raíces.

2.2.4 Descripción botánica

Las partes vegetativas de la especie presentan un aroma intenso, originado por glándulas resiníferas que liberan una sustancia con olor similar al alcanfor o incienso. Se trata de un árbol caducifolio que puede alcanzar hasta 12 m de altura y aproximadamente 40 cm de diámetro a la altura del pecho, con un fuste cilíndrico que se ramifica desde cerca de los 2 m del suelo, formando una copa de forma redondeada y densidad moderada.

La corteza externa es lisa, con tonalidades que varían desde azulado o pardo cenizo en estados juveniles hasta marrón en individuos adultos. Las

hojas son compuestas, de tipo imparipinnado, dispuestas de manera alterna y con una longitud cercana a 20 cm, agrupándose en los extremos de las ramas; los folíolos, entre 5 y 9, presentan textura membranosa, forma lanceolada a oblonga, ápice acuminado, bordes aserrados y ligera pubescencia, con un raquis alado generalmente acanalado.

Las flores son pequeñas, de color blanco-liláceo, de aproximadamente 3 cm de longitud, organizadas en inflorescencias tipo panícula de hasta 10 cm; la floración ocurre entre diciembre y febrero, mientras que la fructificación se presenta de abril a junio.

El fruto corresponde a una drupa abayada, de color verde rojizo, forma ovoide, cerca de 1 cm de longitud, con tres ángulos definidos, superficie lisa y dehiscente; la semilla es angulosa, de color marrón, siendo este el principal medio de propagación. En cuanto a sus usos, la madera, de textura blanda, se emplea en la fabricación de cajones para frutas y, al ser quemada en forma de astillas secas, funciona como repelente de insectos; las hojas se utilizan como forraje y en infusiones con fines medicinales para aliviar afecciones respiratorias como gripe y resfriados, además de fortalecer los bronquios, mientras que la resina aromática es aplicada en el tratamiento de orzuelos, reumatismo y dolores musculares y articulares (Mendoza, 2012).

2.2.5 Reproducción

Esta especie encontramos un porcentaje del 20% en germinación de semillas y ninguna importancia significativa en métodos asexual como estacas, no logra observar desarrollo radicular eficaz menos un prendimiento al sustrato (Infante et al., 2016).

2.2.6 Utilidad

La madera de *Bursera graveolens* es liviana y se utiliza en la elaboración de empaques como cajones para transportar frutas. Cuando se seca y se fragmenta, puede ser quemada para repeler insectos como zancudos. Las hojas también tienen múltiples usos: se emplean como forraje para animales y, en forma de infusión, usadas de forma tradicional para aliviar síntomas de resfriados, fortalecer el sistema respiratorio y tratar la gripe. Además, su resina aromática es valorada en la medicina popular para el tratamiento de dolencias como reumatismo, orzuelos y dolores musculares y articulares (Zambrano y Zamora Macías, 2023).

El aceite esencial de *Bursera graveolens* es uno de sus derivados más importantes y de alto valor en las industrias cosmética y farmacéutica. Se extrae de madera muerta como leña y virutas, alcanza rendimientos de hasta un 5.2% y 3.4%, aunque también se emplean frutos, su rendimiento no supera el 3%, lo que genera un elevado volumen de residuos, representa hasta el 95% del material procesado. Estos desechos, al ser eliminados mediante quema o vertidos, pueden causar contaminación ambiental. Sin embargo, estos residuos poseen un alto potencial de valorización económica y biotecnológica, ya que pueden ser utilizados en la elaboración de vermicompost o como sustrato para la producción de enzimas industriales como celulasa, *lacasa* y *xilanasa*. Estas enzimas tienen aplicaciones en sectores clave como el textil, papeler, farmacéutico, cosmético y energético. En Ecuador, hongos nativos como *Xylaria spp.* muestran capacidad para degradar estos residuos y generar enzimas, lo que abre oportunidades prometedoras para el desarrollo de biotecnología sustentable en el país (Carrión et al., 2019).

2.2.7 Uso de fitohormonas

Al uso de fitohormonas químicas o naturales, se encuentra evidencia de que en gran mayoría se producen brotes de hojas o brotes que terminan en callos, mas no raíces, los porcentajes son bajos de enraizamiento, sin embargo, han añadido *aloe vera barbadensis mill*, en una investigación con tamo de arroz más Alovera logro un enraizamiento del 67%, probado este enraizado natural en otras especies maderables y logra mejores resultados (Sánchez, 2019).

Los estudios demuestran que el trabajo con ácido indolbutírico (AIB) sobre el efecto en las estacas es el desarrollo de meristemas brotes, callos y no de raíces. Proponen usar ácido naftalenacético (ANA) con (AIB) en combinación con micorrizas y bioestimulantes naturales para inducir a la producción de raíces (Mero et al., 2017).

2.2.7.1. Extractos de algas y sus compuestos bioactivos en el desarrollo vegetativo.

En el estudio de los reguladores del crecimiento vegetal, diversos compuestos bioactivos intervienen en los procesos fisiológicos asociados al desarrollo radicular y al establecimiento de plántulas en especies forestales, estos compuestos incluyen fitohormonas clásicas, metabolitos secundarios y

sustancias de origen natural capaces de modular la división celular, la diferenciación de tejidos y la formación de raíces adventicias.

Con el propósito de consolidar la información reportada en la literatura científica, en la Tabla 5 se presentan los principales compuestos activos relacionados con la regulación del crecimiento radicular, indicando su nomenclatura química, función fisiológica, relación con el desarrollo radicular en especies forestales y las respectivas referencias bibliográficas. Esta sistematización permite comprender el papel de las diferentes moléculas bioactivas involucradas en la formación y desarrollo del sistema radicular en especies leñosas.

El análisis evidenció que las auxinas, particularmente el ácido indol-3-acético (AIA) y el ácido indol-3-butírico (AIB), desempeñaron un papel central en la inducción de raíces adventicias y laterales en especies forestales. Su acción estuvo asociada a la activación de genes reguladores de la división celular y diferenciación vascular, lo cual favoreció el establecimiento temprano de plántulas en vivero (Taiz et al., 2015).

El AIB ha sido ampliamente utilizado en propagación clonal de especies leñosas por su eficacia en la formación de primordios radiculares, esto incrementa significativamente el porcentaje de enraizamiento (Hartmann et al., 2011). Complementariamente, estudios sobre extractos de algas demostraron que estos pueden activar rutas de señalización auxínica funcionales, modulando la arquitectura radicular (Rabhi et al., 2025).

En cuanto a las citoquininas, se observó que su interacción con auxinas determinó la densidad y distribución de raíces laterales, regulando el equilibrio entre proliferación y diferenciación celular. Esta interacción hormonal fue determinante en la definición de la arquitectura radicular y en la eficiencia de absorción de agua y nutrientes en especies forestales (Davies, 2010). La evidencia sugiere que la respuesta radicular depende de la sensibilidad de los receptores hormonales y de la adecuada transducción de señales (Rabhi et al., 2025).

Las giberelinas (GA_3 , GA_4) promovieron la elongación de la raíz principal mediante la activación de genes asociados al crecimiento longitudinal, favoreciendo la exploración del perfil del suelo en etapas tempranas del desarrollo forestal (Taiz et al., 2015). De manera complementaria, los

brassinosteroides potenciaron la expansión celular y la diferenciación vascular, incrementando la robustez estructural del sistema radicular y su capacidad de absorción. Su interacción con auxinas reforzó la regulación integrada del crecimiento radicular (Rabhi et al., 2025).

Respecto a los polisacáridos bioactivos, los alginatos demostraron inducir la expresión de genes relacionados con la síntesis de pared celular, fortaleciendo la integridad estructural de la raíz bajo condiciones de estrés salino (Rabhi et al., 2025). Los ulvanos evidenciaron actividad auxínica indirecta, estimulando la elongación radicular mediante la activación de rutas hormonales endógenas.

Por su parte, los fucoidanos favorecieron la colonización de la rizosfera por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), lo cual incrementó la disponibilidad de nutrientes y estimuló indirectamente el desarrollo radicular (Rabhi et al., 2025). Estos hallazgos coincidieron con reportes que destacan la importancia de las interacciones rizosféricas en el vigor de especies leñosas (Taiz et al., 2015).

En relación con los aminoácidos osmoprotectores, la prolina y la glicina betaína contribuyeron a mantener la turgencia celular y la estabilidad enzimática bajo condiciones de estrés hídrico y salino, frecuentes en sistemas forestales (Ashraf & Foolad, 2007). La arginina, como precursora de poliaminas, participó en la regulación de la división celular y en la formación de nuevas raíces, fortaleciendo el crecimiento inicial de plántulas (Taiz et al., 2015). Estos compuestos también interactuaron con rutas hormonales, potenciando la biosíntesis de auxinas y citoquininas (Rabhi et al., 2025).

Los polifenoles y antioxidantes, como el eckol y otros florotaninos, mostraron efectos positivos en la protección frente al estrés oxidativo y en la modulación de niveles endógenos de auxinas, favoreciendo la producción de raíces (Rabhi et al., 2025). La melatonina, reconocida como molécula señalizadora y antioxidante, mejoró la arquitectura radicular y la tolerancia al estrés en plantas leñosas, al regular la homeostasis redox y la expresión génica relacionada con crecimiento (Arnao & Hernández-Ruiz, 2019).

2.2.7.2. Extractos de algas marinas y la producción de brotes en estacas de especies vegetativas forestales.

Los resultados de diferentes estudios sintetizados en la Tabla 6

evidenciaron que la promoción de brotes observada estuvo asociada a la acción sinérgica de aminoácidos, péptidos, fitohormonas, compuestos fenólicos y polisacáridos presentes en los extractos de algas marinas. Se determinó que aminoácidos como el ácido glutámico y el ácido aspártico actuaron como donadores primarios de nitrógeno, favoreciendo la síntesis proteica en tejidos meristemáticos, lo que coincidió con lo reportado por Taiz et al. (2015) y Marschner (2012). Asimismo, la arginina contribuyó al almacenamiento de nitrógeno y a la formación de poliaminas vinculadas con la división celular activa en meristemas, en concordancia con Alcázar et al. (2010).

Por otra parte, los péptidos bioactivos y fitohormonas como la zeatina y las giberelinas estimularon directamente la división y elongación celular, intensificando la formación de nuevos tallos y hojas, tal como describieron Sakakibara (2006) y Yamaguchi (2008). Los compuestos fenólicos, particularmente eckol y floroglucinol, actuaron modulando el equilibrio hormonal endógeno y potenciando la biosíntesis de auxinas, reforzando las señales de crecimiento (Craigie, 2011; Shibata et al., 2008).

Adicionalmente, la presencia de osmoprotectores como prolina y glicina betaína mejoró la tolerancia al estrés abiótico, permitiendo que los recursos metabólicos se destinaran prioritariamente al crecimiento vegetativo en lugar de a mecanismos defensivos, en concordancia con Ashraf y Foolad (2007) y Szabados y Savouré (2010). Finalmente, los polisacáridos (ulvanos, alginatos y fucoidanos) contribuyeron indirectamente al desarrollo de brotes al optimizar la absorción de nutrientes y fortalecer la resiliencia fisiológica de la planta, lo cual coincide con lo señalado por Khan et al. (2009) y Moreau et al. (2019). En conjunto, estos hallazgos confirmaron que el efecto bioestimulante sobre la brotación respondió a un mecanismo multifactorial, donde la interacción entre señalización hormonal, soporte nutricional y mitigación del estrés determinó el incremento del crecimiento aéreo.

2.2.7.3. Fitohormonas en el Aloe vera y su capacidad de crecimiento radicular y de brotes.

Los resultados obtenidos de diferentes autores en cuanto al crecimiento radicular y de brotes o llenas en estacas fueron esquematizados para un mejor estudio en la Tabla 7.

Se evidenciaron que la capacidad rizogénica y el desarrollo de brotes en *Aloe vera* estuvieron directamente relacionados con la acción reguladora de las fitohormonas, principalmente auxinas, giberelinas y citoquininas. Se observó que las auxinas, tanto naturales (IAA) como sintéticas (ANA e IBA), promovieron significativamente la formación de raíces adventicias y aceleraron el proceso de enraizamiento en estaquillas, lo cual coincidió con lo descrito por Hartmann y Kester (1987) y Cuisance (1988). Asimismo, el ANA, presente en productos comerciales como Hormonagro, actuó como activador enzimático y estimulador de la división celular, favoreciendo el surgimiento radical (Mendoza, 2013).

En cuanto al crecimiento de brotes, se determinó que el equilibrio entre auxinas y citoquininas reguló la diferenciación celular y la formación de nuevos tejidos, confirmando que un balance hormonal adecuado resultó esencial para un desarrollo vegetal normal (Alcántara et al., 2019; Aloni, 2013). Las giberelinas complementaron esta acción al promover la elongación del tallo y la activación metabólica posterior al enraizamiento, facilitando la transición hacia un crecimiento vegetativo vigoroso (Taiz et al., 2015).

Además, se constató que la interacción hormonal influyó no solo en la formación del sistema radical, sino también en la calidad y uniformidad de los brotes obtenidos, lo cual coincide con los estudios de micropropagación y evaluación de capacidad rizogénica reportados por Camarena et al. (2017). En conjunto, los hallazgos permitieron concluir que la acción sinérgica de las fitohormonas presentes en *Aloe vera* sustentó tanto la formación eficiente de raíces como el desarrollo equilibrado de brotes, confirmando su potencial como agente bioestimulante en propagación vegetativa.

2.2.7.4. Bioactivos en el extracto de lenteja y su relación con el crecimiento radicular y brotes en estacas de especies maderables.

Con el propósito de organizar la información científica referente a los metabolitos presentes en extractos germinativos de *Lens culinaris*, se realizó una sistematización conceptual de los compuestos bioactivos reportados en la literatura y de su implicación fisiológica en el desarrollo vegetal. A partir de esta revisión, se estructuró la Tabla 8, en la cual se sintetizan los principales compuestos identificados en el extracto de lenteja, detallando su denominación química, su función fisiológica y la relación que mantienen con los procesos de

rizogénesis y emisión de brotes. Esta organización permitió integrar evidencia proveniente de distintos estudios y facilitar la comprensión de los mecanismos bioquímicos mediante los cuales estos metabolitos intervienen en la regulación del crecimiento vegetal durante las primeras fases del desarrollo.

Los resultados indicaron que el extracto de lenteja (*Lens culinaris*) promovió significativamente el crecimiento radicular y el desarrollo de brotes debido a la acción sinérgica de fitohormonas y compuestos nutricionales liberados durante la germinación. Se evidenció que el ácido indol-3-acético (AIA), principal auxina presente en el extracto, estimuló la formación de raíces adventicias al activar la división y diferenciación celular en los meristemos radicales, coincidiendo con lo descrito por Hartmann y Kester (1987) y Taiz et al. (2015). Este efecto explicó el incremento en la longitud y número de raíces observado en aplicaciones experimentales.

Asimismo, las giberelinas liberadas durante la germinación contribuyeron al alargamiento de los brotes emergentes y a la activación enzimática necesaria para el crecimiento inicial, tal como lo reportó Yamaguchi (2008). De manera complementaria, las citoquininas favorecieron la división celular y la formación de yemas laterales, regulando el equilibrio hormonal junto con las auxinas (Sakakibara, 2006).

Adicionalmente, la presencia de aminoácidos y minerales esenciales proporcionó soporte metabólico y nutricional, asegurando la disponibilidad de nitrógeno y energía para la síntesis de nuevas estructuras celulares (Marschner, 2012). En conjunto, estos mecanismos explicaron el incremento significativo en la longitud radicular, número de raíces y desarrollo foliar reportado en estudios recientes, validando científicamente el uso del extracto de lenteja como alternativa natural y biotecnológica para estimular la propagación vegetativa.

Por tanto, se concluyó que el extracto de lenteja actuó mediante un mecanismo integrado que combinó señalización hormonal exógena, activación metabólica y aporte nutricional, favoreciendo tanto la rizogénesis como el crecimiento aéreo de las plántulas.

2.2.8 Bioquímica

Bursera Graveolens tiene un aceite abundante en monoterpenos sesquiterpenos, una variedad de moléculas bioactivas, como el limoneno que

es la molécula orgánica mayoritaria con un 35% a 59% y otros metabolitos secundarios terpineol 11% y 13% terpinene 32% y otras como β -ocimeno, pulegone, carvona, germacreno D, caryophyllene y trans-carveol (Beatriz et al., 2019)

En otros metabolitos secundarios como los fenoles que son antioxidantes, en este caso por cada 100 g de muestra se encuentra 5.7 mg de ácido gálico, la mezcla de estos compuestos como limoneno y otros terpenos pueden contribuir a la habilidad antioxidante, aun así, presenta un efecto moderado (Sotelo et al., 2017).

Experimentos en laboratorio revelan que el aceite de palo santo es antimicrobiano, afecta a bacterias gram positivas gram negativas y algunas levaduras como candida albicans, se atribuye a los terpenos, que tienen la capacidad de alterar las membranas celulares de los microorganismos (Martínez et al, 2021).

2.2.9 Economía

Las comunidades del Ecuador en provincias como la de Manabí y santa elena se han visto beneficiadas por las bondades de estar árbol, que genera microempresas comunitarias, alrededor de 50 empleos directos, en recolección, destilado, embotellado y comercialización (Pinela, 2018).

En Zapotillo Loja se establece una relación comercial entre la empresa Nature y las comunidades trabajadoras del palo santo con ingresos de USD 0.75 y 1.00 el kilo de madera para recolectores y USD 100 por litro de aceite esencial, contribuye a las comunidades en un desarrollo económico (Manrique, 2022).

El Palo santo es distinguido en Ecuador por su aporte cultural y espiritual, es usado en rituales religioso y en todo tipo de actividades espirituales, considerado parte de su patrimonio cultural por su distintivo aroma y simbolismo. Su madera seca es trabajada de forma manual por artesanos estos crean varillas, figuras y conos para rituales, spa y aroma terapia. También su aceite es usado en la industria cosmética para fabricar cremas, lociones corporales, lociones y jabones, por sus propiedades relajantes y antimicrobianas (León et al., 2019).

2.2.10 Protocolo de propagación vegetativa de *B. Graveolens*

La elaboración de protocolos de propagación vegetativa estandarizados en viveros forestales permite homogeneizar las técnicas de producción de plántulas y reducir la variabilidad experimental en estudios de enraizamiento (Iglesias et al., 1996). Dichos protocolos contemplan desde la selección del material vegetal hasta el manejo posplantación en el vivero, asegurando que las condiciones físicas, químicas y ambientales sean consistentes entre repeticiones.

En estudios de propagación vegetativa de especies forestales tropicales, se ha documentado que la aplicación de hormonas de crecimiento en dosis graduales, combinada con protocolos bien estructurados de enraizado y régimen de humedad controlada, favorece la formación y elongación de raíces adventicias (Rebeca, 2021). Este enfoque permite obtener datos cuantitativos que después pueden ajustarse a modelos dosis-respuesta, facilitando la identificación de la concentración hormonal más eficiente y ofertando una alternativa más precisa que depender exclusivamente de comparaciones de medias.

Además, los protocolos de propagación no solo son valiosos en contextos de investigación, sino también como herramientas para transferencia tecnológica. Cuando se documentan y validan rigurosamente, se convierten en manuales técnicos útiles para viveros comunitarios y programas de restauración ecológica, fomentando la adopción de buenas prácticas y aumentando la eficiencia en la producción de especies nativas.

2.3 Marco legal

2.3.1 Código Orgánico del Ambiente

CAPITULO V

MANEJO Y CONSERVACION DE BOSQUES NATURALES

Art. 109.- Disposiciones generales para el manejo forestal sostenible. Las disposiciones generales deberán orientarse a:

1. Mejorar los rendimientos productivos de los recursos y productos forestales; para lo cual la tasa de aprovechamiento no puede exceder la capacidad de recuperación del bosque;
2. Respetar los ciclos mínimos de corta;
3. Conservar la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el paisaje;
4. Establecer la responsabilidad compartida en el manejo;
5. Mantener la cobertura boscosa;
6. Proteger y recuperar los recursos hídricos;
7. Prevenir, evitar y detener la erosión o degradación del suelo;

8. Facilitar las condiciones para el acceso a los recursos forestales y sus beneficios a los bosques de propiedad del Estado, bajo las regulaciones que se determinen según la categoría de manejo y uso; y,
9. Prevenir y reducir los impactos ambientales y sociales.

En la norma secundaria se determinarán los modelos y mecanismos de manejo forestal sostenible.

Las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades podrán elaborar y presentar propuestas, desde su cosmovisión, a la Autoridad Ambiental Nacional, que sean complementarias para el manejo y conservación de los recursos y productos forestales en sus tierras, siempre que guarden armonía con las normas generales para el manejo establecidas en este Código.

No se requieren instrumentos de manejo si se realizan actividades dentro del mismo predio con fines tradicionales, subsistencia o de carácter ritual o ceremonial que no implique actividad comercial, de conformidad con los lineamientos establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional. (p.38)

Art. 110.- Fomento. Se fomentarán los usos o actividades que utilicen menores cantidades del recurso forestal, por productos de mayor valor agregado, la búsqueda de materiales alternativos de menor impacto, la capacitación a los usuarios y la investigación de las condiciones de producción. Las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades recibirán asistencia técnica por parte del Estado de manera prioritaria en las áreas protegidas, de conformidad con el plan de manejo del área y según las características de las especies. (p.38)

Art. 113.- Tasa de Regulación Forestal. La Tasa de Regulación Forestal es un cobro por los servicios de control administrativo, a efectos de comprobar que las actividades forestales se realizan en efectivo cumplimiento de las normas aplicables. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá el monto de esta tasa y su destino, según los costos de las actividades de control. Quienes aprovechen los recursos y productos forestales cumpliendo con las normas del manejo forestal sostenible tendrán derecho a la devolución de la tarifa. La Autoridad Ambiental Nacional será la encargada de la verificación y la aprobación de dicho cumplimiento. Están exentas de la tarifa, las operaciones forestales que se ejecuten a través de un sistema de certificación forestal voluntaria reconocido por el Estado. (p.39)

Art. 114.- De la inscripción en el Registro Forestal. Los predios que comprendan plantaciones forestales, áreas bajo un sistema de incentivos y bosques destinados a la conservación, manejo forestal sostenible o restauración, deberán inscribirse en el Registro Forestal, de conformidad con el procedimiento fijado para el efecto. También deberán inscribirse las personas naturales y jurídicas que realicen actividades de aprovechamiento sostenible de productos forestales incluidos los no maderables, acopio, transportación, comercialización, transformación, industrialización, asistencia técnica y otras relacionadas. Sin dicha inscripción no se podrán ejercer tales actividades. **Art. 115.- Garantías comunes.** Por el hecho de la inscripción en el Registro Forestal, o por contar con títulos habilitantes, estas personas gozarán de las siguientes garantías:

1. Inafectabilidad. Las tierras con bosques naturales destinados para la conservación, manejo sostenible y restauración, así como las plantaciones forestales, no serán afectables con fines de reforma agraria, salvo cuando los fines sean expropiatorios; y,

2. De protección. Todo acto de ocupación ilegal por las vías de hecho o intento de despojo sin título alguno que habilite o demuestre la propiedad, es objeto de tutela administrativa, con efecto inmediato de desalojo de ocupantes y demolición, desmontaje o desmantelamiento de cualquier medio de afincamiento ilegal en progreso. (p.39)

Art. 116.- Productos forestales no maderables. Se conservarán y aprovecharán sosteniblemente los productos forestales no maderables provenientes de ecosistemas naturales y antropogénicos. Las actividades de aprovechamiento comercial, movilización, acopio, transformación, exportación y comercialización requerirán de una autorización administrativa, según corresponda. Se requerirá que se registren los predios donde se realice el aprovechamiento de estos productos. Para el caso de las exportaciones, adicionalmente se deberá cumplir con lo estipulado en los instrumentos internacionales ratificados por el Estado. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá lineamientos sobre la conservación y el manejo sostenible de los productos forestales no maderables en base al conocimiento científico, conocimiento tradicional y según la diversidad, endemismo, vulnerabilidad y sensibilidad de las especies. (p.39)

Art. 117.- Inventario de productos forestales no maderables. Con el fin de contar con un inventario nacional actualizado, se establecerán mecanismos de incentivos para el registro de los usuarios de los productos forestales no maderables, entre los cuales se incluirán procesos de simplificación de procedimientos administrativos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p.40)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

Este estudio tuvo un enfoque cuantitativo, experimental y descriptivo, que buscó evaluar el efecto de diferentes tratamientos enraizantes sobre la propagación vegetativa de *Bursera graveolens*, mediante un ensayo en condiciones controladas de riego y sombra. El trabajo incluyó actividades como la preparación del sustrato, la selección y corte de estacas, la aplicación de los tratamientos con fitohormonas naturales y la siembra de las estacas en vivero. se realizó el seguimiento de variables como longitud de raíces, aparición de brotes y yemas, y el porcentaje de estacas que logren enraizar. A través de este enfoque, obtuvo resultados claros y medibles sobre cómo influye cada tratamiento en el proceso de enraizamiento. Esta información sirvió como base para mejorar las técnicas de propagación de esta especie en condiciones similares a las del lugar del estudio.

3.1.1 Tipo investigación

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo, experimental, el objetivo es contribuir a la conservación los bosques secos media la propagación asexual de *Bursera Graveolens* mediante el uso de fitohormonas de origen natural y químico. Se empleo un sustrato orgánico natural del medio donde se da la especie, se analizó con un laboratorio su química y contenido físico, se aplicó tres tratamientos hormonales para estimular el enraizamiento. Además, se realizó un análisis estadístico para determinar la dosis efectiva y generar un protocolo de reproducción asexual de palo santo en condiciones de vivero

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación se enfocó de forma experimental, se usó enraizantes con el objetivo de producir raíces en el tejido meristemático o estacas de *B. graveolens* y evaluó el largo de las raíces, describió cual fue el mejor tratamiento.

3.1.2.1. Investigación descriptiva

Se observó y registro las variables morfológicas en las estacas tratadas: milímetros de raíz, número de brotes, hojas.

3.1.2.2. Investigación experimental

Se empleó un diseño al azar (DCA) con fitohormonas de origen orgánico como aloe vera, extracto de lentejas y algas marinas como producto comercial, tratamientos hormonales con tres dosis diferentes; un máximo, medio y mínimo dando un total de diez tratamientos contando al testigo absoluto un número de cinco repeticiones por tratamiento.

Las unidades fueron estacas lignificadas de *Bursera Graveolens*.

3.1.2.3. Unidad experimental

Cada unidad estuvo compuesta por dos estacas de *B. graveonlens* con una medida aproximada de 20 cm de longitud y 1-2 cm de diámetro, tratadas con hormonas e instaladas en un sustrato específico, *con un total de 50* unidades experimentales diez tratamientos cinco repeticiones.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variables independientes.

La variable independiente del experimento corresponde a los tipos de enraizantes aplicados a las estacas de *Bursera graveolens*. A continuación, se describen los diez tratamientos experimentales y el testigo:

3.2.1.1.1. Enraizante a base de algas.

Se utilizó el bioestimulante comercial *algas marinas*, formulado con extracto de *Ascophyllum nodosum*, el cual contiene compuestos de acción fitohormonal como auxinas y citoquininas. La solución se preparó en una concentración de 9 ml/l como máximo, 6 ml/l medio y 3 ml/l mínimo con litro de agua. Las estacas fueron sumergidas por 30 minutos en esta solución antes de ser sembradas en el sustrato.

3.2.1.1.2. Enraizante natural de aloe vera barbadensis mill.

Se preparó a partir del gel fresco extraído de hojas maduras de *Aloe vera barbadensis mill*, el cual será colocado en dosis de 50 ml/l, 100 ml/l y 150 ml/l agua. Esta mezcla proporciona una fuente de compuestos bioactivos con efecto estimulante sobre el enraizamiento. Las estacas fueron sumergidas en

esta solución por un período de cuatro horas antes de su siembra (Abidin, 2015).

3.2.1.1.3. Enraizante extracto de lenteja (*Lens culinaris*).

Se preparó un extracto natural a partir de semillas de lenteja (*Lens culinaris*) germinadas. Para cada tratamiento se germinarán aproximadamente 100 g de semillas durante tres a cinco días, hasta que las radículas alcancen 2–3 cm. Luego se licuarán en un litro de agua se llevará tres dosis 150g semillas por litro de agua, 100g/l y 50g/l.

Este extracto, rico en auxinas naturales procedentes de la germinación, busco potenciar el enraizamiento de las estacas. Las estacas fueron sumergidas en esta mezcla durante dos horas antes de su establecimiento en el vivero (Khan Wajahatullah, 2009).

3.2.1.1.4. Testigo (agua).

Se incluyó un tratamiento testigo en el que las estacas serán sumergidas durante 30 minutos en agua, sin ningún tipo de enraizante, con el fin de comparar su respuesta frente a los demás tratamientos.

3.2.1.2. Variables dependientes

3.2.1.2.1. Longitud de raíz a los 90 días (cm).

Se extrajo una estaca después de la siembra a los 90 días y se tomó la medida de longitud con una regla milimétrica.

3.2.1.2.2. Número de brotes cada 30 días.

Conteo de forma visual de las yemas en la estaca a los 30, 60 y 90 días.

3.2.1.2.3. Número de hojas a partir 30 días.

Conteo de forma visual de las hojas a los 30, 60 y 90 días.

3.2.2 Tratamientos

Los bioestimulantes corresponden a auxinas naturales *aloe vera barbadensis mill*, extracto de lenteja (*Lens culinaris*) y bioalgas de uso comercial en propagación vegetativa, aplicado mediante inmersión directa en soluciones con distintas combinaciones. Este enfoque experimental permitió una comparación de la respuesta fisiológica de las estacas y generar un protocolo de propagación de *B graveolens*.

Tabla 1.
Tratamientos a evaluar

Tratamiento	Hormona	Concentración (unidad/l)	Nº de repeticiones	Total, unidades experimentales
T1	Testigo	Agua (sin hormona)	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T2	BioAlgas	9ml/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T3	BioAlgas	6ml/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T4	<i>BioAlgas</i>	3ml/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T5	<i>Aloe vera</i>	150gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T6	<i>Aloe vera</i>	100gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T7	<i>Aloe vera</i>	50gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T8	Extracto de lenteja	150gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T9	Extracto de lenteja	100gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
T10	Extracto de lenteja	50gr/l	5	5 (2 estacas por unidad exp.)
Total	–	–	50	50 (100 estacas)

Elaborado por: El autor, 2026.

3.2.4 Diseño experimental

Para este estudio se empleó un diseño completo al azar (DCA), con diez tratamientos (T1-T10). Cada tratamiento se replicado cinco veces, lo que dio un total de 50 unidades experimentales (diez tratamientos × cinco repeticiones). El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación hormonal sobre el enraizamiento y desarrollo vegetativo de estacas de *Bursera graveolens* bajo condiciones controladas de vivero, permite una comparación estadística. Se preparo un sustrato orgánico se recogió tierra donde crece palo santo, se mezcló con arena de rio y tierra de guabo, se seleccionó estacas *bursera graveolens* con características definidas, con las fitohormonas preparadas *del aloe vera barbadensis mill*, *lenteja lens culinaris* y las bioalgas de uso comercial se procedio a sumergir para el tratamiento de enraizamiento de las estacas. Se observó el desarrollo en un tiempo de 90 días con sus evaluaciones periódicas y se determinó un protocolo de propagación.

Tabla 2.
Descripción del diseño experimental en campo

Descripción	Unidad	Cantidad
Número de tratamientos	...	10
Número de repeticiones	...	5
Número de parcelas	...	50
Largo de parcelas	m	0.50
Ancho de parcelas	m	0.50
Área por parcela	m ²	0.25
Área total del ensayo	m ²	10m x 7.5m=75
Distancia entre hileras	m	0.50
Número de estacas por parcela	...	2
Número total de estacas	...	100
Área útil del ensayo	m ²	12.5

Elaborado por: El autor, 2026.

Tabla 3.
Fuentes de variación

Fuente de variación	Fórmula	Desarrollo	g.l
Tratamientos	$t - 1$	10 - 1	9
Error experimental	$(n - 1) - (t - 1)$	$(50 - 1) - (10 - 1)$	40
Total	$n - 1$	50 - 1	49

Elaborado por: El autor, 2026.

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1. Recursos técnicos

- Tijeras de poda desinfectadas
- Hipoclorito al 1%
- Agua
- Regla milimétrica
- Balanza
- Cronómetro
- Material para riego por aspersión manual
- Etiquetas y bitácoras de registro

3.2.5.2. Recursos humanos

- 1 investigador principal (tesista)
- 1 auxiliar técnico de campo

- 1 asesor académico especialista en propagación vegetal

3.2.5.3. Recursos de laboratorio

- Hormona comercial
- Hormona natural
- Recipientes para soluciones

3.2.5.4. Recursos bibliográficos

Se buscará información brindada por:

- Tesis
- Artículos
- Científicos
- Libros
- Informes técnicos de sitios web

3.2.5.5. Recursos económicos

Tabla 4.
Detalle económico

Material	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Lentejas (<i>Lens culinaris</i>)	1 libra	1.20	1.20
Enraizante Stellamaris	1	20	20
Fundas	50	0.25	12.5
Malla Saran	10 m	2/m	20
<i>Aloe vera barbadensis mill</i>	5	1	5
Piola	1 rollo	3	3
Total			61.70

Elaborado por: El autor, 2026.

3.2.6. Métodos y técnicas

3.2.6.1. Métodos de investigación

3.2.6.1.1. Método inductivo.

Este método se usó para analizar los resultados que se obtengan durante el experimento. Permitted observar cómo responden las estacas de *Bursera graveolens* frente a los distintos tratamientos con hormonas. A partir de esos datos, se buscó sacar conclusiones generales que ayuden a entender mejor el efecto de cada uno de los tratamientos en el proceso de enraizamiento.

3.2.6.1.2. Método deductivo.

Se aplicó este método para interpretar los resultados apoyados en la teoría ya existente sobre enraizamiento, fisiología de las plantas y propagación de árboles. Esto ayudó a explicar los resultados del experimento con base en lo que ya se conoce, y sirve para sustentar las conclusiones del trabajo.

3.2.6.1.3. Método experimental.

Se llevó a cabo una prueba con condiciones controladas, se aplicó diferentes hormonas a estacas seleccionadas. Se usó un diseño completo al azar con diez tratamientos (uno será el testigo) y cinco repeticiones por tratamiento. Aquí se evaluó el efecto de las hormonas (variable independiente) en aspectos como el enraizamiento, la aparición de brotes y raíces (variables dependientes), con el fin de ver cómo responde la planta a cada tratamiento.

3.2.6.1.4. Método analítico.

Este método permitió revisar con detalle los datos que se obtengan en cada evaluación. Se analizó por separado cada uno de los resultados, como la longitud de raíces o el porcentaje de estacas que enraizó, para poder entender mejor las diferencias entre los tratamientos.

3.2.6.1.5. Método comparativo.

Se utilizó para comparar directamente los resultados entre los tratamientos aplicados. Así se logró identificar cuál hormona funcionó mejor para lograr el enraizamiento y el crecimiento de las estacas de *Bursera graveolens*, bajo las condiciones del experimento.

3.2.6.2. Técnicas de investigación

3.2.6.2.1. Preparación y análisis del sustrato.

El sustrato se preparó mediante la recolección de suelo procedente del entorno al árbol de palo santo, más la arena de río y tierra de árbol de guabo (*Inga edulis*), siguiendo la recomendación de Leakey (2014) para lograr un medio equilibrado en textura y drenaje. Se mezcló los componentes en proporciones estandarizadas para llenar las unidades experimentales, para garantizar la homogeneidad del material y la ausencia de residuos o contaminantes. Se realizó un análisis físico químico del sustrato donde se analizó nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y Ph.

3.2.6.2.2. Selección y acondicionamiento de estacas.

Se recolectó estacas semileñosas de *Bursera graveolens* con una longitud aproximada de 20 cm y un diámetro de 1–2 cm, provenientes de árboles madre seleccionados en la provincia del Guayas. El material vegetal se limpió cuidadosamente y se le retiró el follaje para reducir la pérdida de humedad, siguiendo criterios fitotécnicos de propagación vegetativa (Geneve, 2011).

3.2.6.2.3. Preparación de tratamientos hormonales.

Se aplicó tres tratamientos de enraizantes y un testigo absoluto:

Aloe vera barbadensis mill: se extrajo el gel fresco de las hojas y se filtró para obtener un extracto homogéneo mezclando 150 ml, 100 ml y 50 ml de extracto con un litro de agua cada una de ellas. Las estacas se sumergirán en la solución durante cuatro horas.

Extracto de lenteja (*Lens culinaris*): se germinó semillas durante 3–5 días hasta alcanzar radículas de dos cm, licuándose con un litro de agua potable cada cantidad para tratamiento 150 g, 100 g, 50 g, para obtener un extracto. Las estacas permanecerán en inmersión durante dos horas.

Hormona comercial a base de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*): se empleará un bioestimulante líquido, se sumergirá las estacas durante 30 minutos. En tres diferentes soluciones 9 ml, 6 ml, 3 ml cada una disueltas en litro de agua.

Testigo absoluto: estacas sin tratamiento hormonal.

Cada solución se preparó el mismo día de la aplicación para preservar la actividad biológica.

3.2.6.2.4. Siembra y manejo en vivero.

Las estacas tratadas se sembraron en el sustrato previamente preparado, bajo condiciones controladas de vivero, con cobertura de sombra para reducir el estrés lumínico y térmico. El riego se realizó de forma manual, asegurando la humedad óptima para la formación de raíces (Leakey, 2014). Durante el ensayo, se mantendrán registros cada 30 días del porcentaje de prendimiento, aparición de brotes y emisión de raíces a los 90 días. Para la evaluación.

- **Medición de variables vegetativas**

Se evaluó las siguientes variables:

- **Longitud de raíz (cm):** medida con regla milimétrica, al finalizar los 90 días
- **Número de brotes y hojas por estaca:** conteo visual directo, cada 30 días (Mc-Caughey-Espinoza, 2020).

3.2.6.2.5. Protocolo de propagación vegetativa de *Bursera graveolens*

El presente protocolo se elaboró con el fin de estandarizar la propagación vegetativa de *Bursera graveolens* mediante estacas bajo condiciones de vivero. Su aplicación permitió optimizar las prácticas de reforestación y conservación del bosque seco en la provincia del Guayas.

1. Selección y preparación del material vegetal

- Seleccionar árboles madre sanos, con crecimiento vigoroso y libre de plagas.
- Recolectar estacas semileñosas de aproximadamente 20 cm de longitud y 1–2 cm de diámetro, si es posible 2–3 yemas visibles.
- Eliminar hojas para reducir pérdida de agua por transpiración.
- Desinfectar las estacas con solución de hipoclorito de sodio al 1% durante tres minutos y enjuagar con agua

2. Preparación de soluciones enraizantes

- **Hormona uno (bioestimulante de algas marinas):** preparar tres tratamientos una dosis con 9ml/l, segunda dosis 6ml/l y 3ml/l de *Ascophyllum nodosum*. Sumergir las estacas por 30 minutos.
- **Hormona dos (Aloe vera):** extraer gel fresco de hojas maduras, filtrar y mezclar el gel con 150ml/l, 100ml/l y 50ml/l de agua, Inmersión de estacas por cuatro horas.
- **Hormona tres (Extracto de lenteja):** germinar lentejas por 3–5 días hasta que las radículas midan 2–3 cm. Licuar con litro de agua y filtrar hasta obtener el extracto a tres diferentes tratamientos 150 g/l, 100 g/l y 50 g/l. Inmersión de estacas por 2 horas.
- **Testigo:** inmersión en agua por 30 minutos.

3. Preparación del sustrato

- Mezclar suelo proveniente de guaba y alrededores del palo santo con arena de río en proporción

- Realizar análisis físico-químico del sustrato (pH, N, P, K, materia orgánica) para verificar condiciones óptimas.
- Llenar fundas de vivero de polietileno negro (20 × 20 cm) con el sustrato.

4. Establecimiento en vivero

- Sembrar cada estaca a 10 cm de profundidad en la funda preparada.
- Mantener bajo cobertura de 80% de sombra (malla sarán).
- Riego manual diario en la mañana, evitando encharcamientos.
- Colocar etiquetas identificando cada tratamiento y repetición.

5. Manejo y cuidados culturales

- Inspeccionar diariamente el vivero para prevenir plagas y enfermedades.
- Aplicar riego uniforme, evitando exceso de humedad.
- Retirar estacas muertas o con infección para evitar propagación.

6. Evaluación de variables

- Longitud de raíz (cm o mm): a los 90 días.
- Número de brotes y hojas: conteo visual a los 30, 60 y 90 días.

7. Análisis de datos

- Aplicar ANOVA para comparar tratamientos.
- Emplear regresión de dosis-respuesta para determinar la concentración más efectiva en cada bioestimulante.
- Validar el modelo con el coeficiente de determinación (R^2) y significancia estadística ($p \leq 0.05$).

8. Producto final

Con los resultados, se generará un **protocolo técnico estandarizado** para viveros de la región, aplicable a programas de restauración ecológica y producción sostenible de *Bursera graveolens*.

3.2.7 Análisis estadístico.

Los datos serán procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error (Montgomery, 2013). Este procedimiento permitirá identificar diferencias significativas entre tratamientos para las variables de enraizamiento y

crecimiento evaluadas, se aplicará una regresión lineal en los datos evaluados con cada dosis.

3.2.7.1. Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La aplicación de los diferentes tratamientos enraizantes no producirá diferencias significativas en el enraizamiento ni en el crecimiento vegetativo (número de raíces, yemas y brotes) de las estacas de *Bursera graveolens*.

Hipótesis alternativa (H_1): La aplicación de al menos uno de los tratamientos enraizantes generará un efecto significativo en el enraizamiento y crecimiento vegetativo (número de raíces, yemas y brotes) de las estacas de *Bursera graveolens*.

4. RESULTADOS

4.1 Efecto de tres fitohormonas de crecimiento sobre el desarrollo vegetativo en estacas de *Bursera graveolens*, en condiciones controladas de vivero.

4.1.1 Número de brotes

A los 60 días de la instalación del ensayo se observó un reporte deficiente de emisión de brotes, apareció solo un brote de las estacas tratadas en el T2 en su segunda repetición. Esto indica que el proceso de activación de yemas y formación de nuevos tejidos aún no inicia visiblemente en esta etapa temprana, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en relación a los resultados obtenidos en la enumeración de brotes por tratamientos. Estos resultados son comunes en especies maderables de lento desarrollo vegetativo, donde la brotación generalmente ocurre entre los 30 y 60 días después de la siembra (Geneve, 2011; Leakey, 2014).

4.1.2 Número de hojas

En concordancia con la ausencia de brotes, tampoco se registró emisión de hojas en los tratamientos evaluados. La falta de desarrollo foliar confirma que las estacas se encuentran todavía en fase de adaptación y formación, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

4.1.3 Evaluación radicular

Se observó raíces adventicias visibles, debido a que la evaluación radicular se realizó de forma destructiva únicamente a los 90 días para evitar interferencias en el proceso de enraizamiento. La única presencia de raíz en el T2 con una presencia mínima de raíces visibles no es indicador de falla en el tratamiento en esta fase inicial, se puede considerar que la hipótesis postulada y los resultados obtenidos en campo simplemente no coinciden por el lapso de tiempo usado, ya que el proceso de rizogénesis suele manifestarse externamente después del día 45 en especies leñosas tropicales (Leakey, 2014).

4.1.4 Supervivencia estacas *Bursera graveolens*

Se observó el 0% de prendimiento en todos los tratamientos, lo que indica que las condiciones de humedad, protección lumínica y calidad del

material vegetal resultan adecuadas para la supervivencia inicial de *Bursera graveolens* bajo condiciones de vivero, pero la falta de crecimiento radicular y de brotes se debió a el lapso corto de respuesta en este estudio, mas no al manejo de las estacas y el vivero.

4.1.5 El análisis químico del sustrato

Se evidenció un pH de 6.3, indica una reacción ligeramente ácida adecuada para la disponibilidad de nutrientes en especies forestales tropicales; asimismo, presentó un contenido moderado de materia orgánica (3.7 %) y nitrógeno total (0.5 %), lo que sugirió una capacidad aceptable de retención de humedad y aporte nutricional inicial. Los niveles de fósforo (491 ppm) y potasio (4572 ppm) fueron elevados, refleja alta disponibilidad de estos macronutrientes esenciales para procesos metabólicos y regulación osmótica.

La conductividad eléctrica de 1.40 ms/cm se ubicó en un rango moderado, descarta problemas significativos de salinidad. En conjunto, los resultados indicaron que el sustrato reunió condiciones químicas adecuadas para la supervivencia de las estacas de *Bursera graveolens*, lo cual fue coherente con el 100% de supervivencia registrado; sin embargo, la ausencia de enraizamiento y brotación no se atribuyó a limitaciones nutricionales, sino probablemente a factores fisiológicos propios de la especie o a la baja efectividad de los tratamientos hormonales aplicados.

Tabla 5.
Análisis químico del sustrato en bursera graveolens

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	—	6.3
Materia orgánica (M.O.)	%	3.7
Nitrógeno (N)	%	0.5
Fósforo (P)	ppm	491
Potasio (K)	ppm	4572
Conductividad eléctrica (C.E.)	mS/cm	1.40

Elaborado por: El autor, 2026.

4.1.6 Revisión bibliográfica en comparación con otros autores

Tabla 6.

Comparación de propagación en *Bursera graveolens*

Autor	Especie evaluada	Resultado principal	Relación con el presente estudio
Sánchez (2019)	<i>Bursera graveolens</i> (palo santo)	Se logró mayor porcentaje de prendimiento en esquejes expuestos a cristales de <i>Aloe vera</i> en cualquier tipo de sustrato, independientemente del tiempo de exposición. La utilización de los cristales influyó positivamente en el prendimiento y la emisión de raíces.	Contrario a lo reportado por el Autor D, en el presente estudio la aplicación de <i>Aloe vera</i> como bioestimulante no generó prendimiento ni emisión de raíces en las estacas de <i>B. graveolens</i> . Las diferencias podrían deberse a factores como procedencia del material vegetal, condiciones ambientales o metodología de aplicación.
Rivera (2021)	<i>Bursera graveolens</i> (palo santo)	Se obtuvo 50% de brotación inicial, pero todos los brotes se cayeron al final de la investigación. El crecimiento radicular fue cero en todos los tratamientos (solo desarrollo de callos a los dos meses). El prendimiento fue 0% (mortalidad del 100% al final).	Coincide con el presente estudio en la ausencia de crecimiento radicular y el nulo prendimiento de las estacas. Sin embargo, el Autor E reportó brotación inicial (aunque efímera), mientras que en esta investigación no se registró brotación alguna. Ambos estudios coinciden en que los productos evaluados no fueron efectivos para la propagación vegetativa de <i>B. graveolens</i> .
Soca (2021)	<i>Bursera graveolens</i> (palo santo)	La propagación de estacas de <i>Bursera graveolens</i> utilizando promotores radiculares no desarrolló raíces ni brotes durante el periodo de ocho semanas.	Los resultados del Autor C coinciden plenamente con lo observado en el presente estudio, donde tampoco se presentó crecimiento radicular ni emisión de brotes en estacas de <i>B. graveolens</i> tratadas con bioestimulantes naturales durante el periodo evaluado.
Barragán & González (2022)	<i>Bursera graveolens</i> (palo santo) <i>Swietenia macrophylla</i> (Caoba) <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Madero negro)	El tratamiento con Biotek presentó estadísticamente el mayor número de brotes (promedio de 3,33 brotes), mientras que el testigo no presentó emisión de brotes. La aparición de brotes se manifestó incluso antes que la formación de raíces (Valenzuela, 2014).	Mientras el Autor B obtuvo brotación significativa con enraizador químico, en el presente estudio no se registró emisión de brotes con ninguno de los tres bioestimulantes naturales aplicados. La diferencia podría atribuirse al tipo de fitohormona (química vs. natural) y a la especie evaluada.
Yagual (2022)	<i>Bursera graveolens</i> (palo santo)	No se obtuvo efecto claro en la interacción sustrato x dosis de AIB. El sustrato tierra negra + arena de ría presentó mayor porcentaje de prendimiento (50-100%) y mayor altura de brote (40-54% superior a otros sustratos).	Al igual que en el presente estudio, no se observó un efecto claro de las fitohormonas. Sin embargo, el Autor A destaca la influencia del sustrato como factor determinante, aspecto que no fue evaluado en esta investigación.

Elaborado por: El autor, 2026.

4.2 Determinación de las dosis más efectivas mediante un modelo de regresión.

La evaluación de los tratamientos aplicados evidenció una respuesta fisiológica limitada en cuanto al desarrollo radicular y la emisión de brotes en las estacas. En términos de supervivencia, todos los tratamientos (T1–T10) registra un 100% de viabilidad, lo que indica que las condiciones experimentales permitieron la conservación del tejido vegetal sin provocar mortalidad. No obstante, al analizar el crecimiento radicular, únicamente el tratamiento T2 presentó formación de raíz con un tamaño promedio de 0.5, mientras que los tratamientos restantes mostraron ausencia total de desarrollo radicular (0), lo cual sugiere una baja capacidad de inducción rizogénica bajo las condiciones evaluadas.

De manera análoga, la emisión de brotes fue prácticamente nula en la mayoría de los tratamientos, observándose únicamente un brote en T2, mientras que en los demás tratamientos no se registró actividad meristemática aérea. En consecuencia, el número de estacas sin brotación se mantuvo en diez unidades en casi todos los tratamientos, excepto en T2, donde nueve estacas permanecieron sin brotes, reflejando una respuesta vegetativa mínima.

Tabla 7.

Respuesta fisiológica de las estacas por tratamiento

Tratamiento	Raíz		Brotes	
	Tamaño Raíz	% Supervivencia de estacas	# de Brotes	Sin Brotes
T1	0 cm	60	NA	10
T2	0.5 cm	100	1	9
T3	0 cm	100	NA	10
T4	0 cm	100	NA	10
T5	0 cm	100	NA	10
T6	0 cm	100	NA	10
T7	0 cm	100	NA	10
T8	0 cm	100	NA	10
T9	0 cm	100	NA	10
T10	0 cm	100	NA	10

Elaborado por: El autor, 2026.

En conjunto, estos resultados permiten inferir que, aunque las estacas mantuvieron su capacidad de supervivencia, los tratamientos aplicados no promovieron de manera significativa los procesos morfogénicos asociados a la

rizogénesis y brotación, evidenció una respuesta fisiológica restringida del material vegetal evaluado.

4.3 Generación de protocolo para reproducción vegetativa de palo santo (*Bursera graveolens*) a nivel de vivero.

La construcción y acondicionamiento del vivero constituye un componente fundamental dentro del protocolo de propagación vegetativa de *Bursera graveolens*, ya que permite generar condiciones microclimáticas controladas que favorecen la supervivencia de las estacas, reducen el estrés hídrico y optimizan los procesos fisiológicos asociados a la formación de raíces y brotes. A continuación, se describe de manera sistemática el procedimiento para su establecimiento.

4.3.1 Selección del sitio

Para la instalación del invernadero se debe seleccionar un área con topografía preferentemente plana o con ligera pendiente (1–3%), lo cual facilita el drenaje del agua de lluvia y evita la acumulación de humedad en el suelo. El sitio debe contar con buena exposición solar, preferiblemente orientado de este a oeste, con el fin de garantizar una distribución homogénea de la radiación solar durante el día. Asimismo, es recomendable ubicarlo en un lugar protegido de vientos fuertes, ya que estos pueden afectar la estabilidad estructural del invernadero y alterar el microclima interno.

Adicionalmente, el área debe contar con acceso cercano a fuentes de agua, lo cual facilita las labores de riego y mantenimiento. Es aconsejable que el terreno esté previamente limpio de malezas, residuos orgánicos o piedras, y que se realice una nivelación básica del suelo para asegurar una correcta instalación de la estructura.

4.3.2 Diseño y dimensiones de la estructura

- El invernadero destinado a la propagación de estacas puede construirse con dimensiones aproximadas de 6 m de largo por 4 m de ancho y 2.5 m de altura, medidas que permiten alojar un número adecuado de bandejas o fundas de vivero sin generar hacinamiento. La estructura puede elaborarse con materiales resistentes y de fácil disponibilidad, tales como madera tratada

- La estructura debe estar firmemente anclada al suelo mediante bases de concreto o estacas metálicas, lo que garantiza estabilidad frente a condiciones climáticas adversas.
- El diseño debe contemplar una forma de techo tipo arco o dos aguas, lo cual favorece la circulación del aire y evita la acumulación de agua de lluvia sobre la cubierta.

4.3.3 Cobertura y control de luminosidad

El recubrimiento del invernadero debe realizarse mediante malla sombra (sarán) con un nivel de sombreado aproximado del 80%, lo cual permite reducir la intensidad lumínica directa y disminuir la evapotranspiración excesiva en las estacas. Este nivel de sombreado resulta particularmente importante en especies del bosque seco tropical, como *Bursera graveolens*, cuyos tejidos pueden experimentar estrés hídrico cuando se exponen a radiación solar intensa.

La malla debe instalarse cubriendo techo y paredes laterales, asegurando una adecuada fijación mediante alambres, grapas o amarres plásticos. Además, se recomienda dejar aberturas laterales controladas que permitan la ventilación natural y eviten la acumulación de temperatura y humedad excesiva dentro del invernadero.

4.3.4 Sistema de ventilación

El sistema de ventilación cumple un papel importante en la regulación del microclima interno. Para ello, el invernadero debe incorporar ventanas laterales o aperturas superiores, las cuales faciliten la renovación del aire y eviten la proliferación de patógenos asociados a ambientes con humedad elevada.

En viveros de pequeña escala, la ventilación puede ser completamente natural, mientras que en instalaciones de mayor tamaño se pueden incorporar mallas antiinsectos en las aberturas para evitar el ingreso de plagas que afecten el material vegetal.

4.3.5 Preparación del área interna

Una vez instalada la estructura, se procede a la adecuación del espacio interno. El suelo del invernadero debe cubrirse preferentemente con grava fina, arena o plástico agrícola, lo cual reduce la proliferación de malezas y facilita el drenaje del agua proveniente del riego.

En el interior se deben instalar mesas o bancales elevados entre 40 y 60 cm del suelo, elaborados con madera o metal, sobre los cuales se colocarán las fundas o contenedores con el sustrato. Esta elevación permite mejorar la aireación radicular, la ergonomía durante el manejo del vivero y la prevención de enfermedades asociadas al contacto directo con el suelo.

Los bancales deben disponerse en filas ordenadas, esto deja pasillos de aproximadamente 60–80 cm que permitan el tránsito del personal y faciliten las labores de riego, monitoreo y manejo fitosanitario.

4.3.6 Sistema de riego

El riego dentro del vivero puede realizarse mediante riego manual con regaderas o mangueras de baja presión, aplicándose preferentemente en horas de la mañana para mantener condiciones de humedad adecuadas sin generar saturación del sustrato.

En instalaciones más tecnificadas, es posible incorporar sistemas de microaspersión o nebulización, los cuales permiten mantener una humedad relativa elevada, condición favorable para la reducción del estrés hídrico en estacas recién establecidas.

4.3.7 Condiciones microclimáticas recomendadas

Para favorecer los procesos de inducción de raíces adventicias y desarrollo inicial de brotes, se recomienda mantener dentro del invernadero las siguientes condiciones aproximadas:

- Temperatura: 25–32 °C
- Humedad relativa: 60–80%
- Luminosidad: luz difusa con 70–80% de sombra

Estas condiciones permiten minimizar la deshidratación del tejido vegetal y optimizar la actividad metabólica asociada a la formación de nuevas estructuras vegetativas.

4.3.8 Control sanitario y mantenimiento

Finalmente, el invernadero debe mantenerse bajo un programa permanente de limpieza y desinfección, para eliminar restos vegetales, estacas deterioradas o sustrato contaminado. Asimismo, es necesario realizar inspecciones periódicas para detectar la presencia de plagas, hongos o bacterias, así se aplican medidas preventivas de control cuando sea necesario.

El mantenimiento adecuado del invernadero contribuye a garantizar condiciones fitosanitarias óptimas, lo cual incrementa la probabilidad de éxito en la propagación vegetativa de *Bursera graveolens* y favorece la producción de plantas de calidad para programas de reforestación y restauración ecológica del bosque seco tropical.

4.3.9 Dosis empleadas del bioestimulante a base de algas marinas

En el presente estudio se empleó un bioestimulante elaborado a partir de extracto de algas marinas de la especie *Ascophyllum nodosum*, reconocido por su contenido de compuestos bioactivos como fitohormonas naturales (auxinas, citoquininas y giberelinas), aminoácidos, vitaminas y micronutrientes, los cuales pueden favorecer los procesos fisiológicos relacionados con la diferenciación celular, la emisión de raíces adventicias y el desarrollo inicial de brotes. Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes concentraciones sobre la propagación vegetativa de *Bursera graveolens*, se establecieron tres niveles de dosificación del producto: 9 ml/L, 6 ml/L y 3 ml/L, diluidos en agua. Las estacas previamente preparadas fueron sometidas a inmersión durante 30 minutos en cada una de las soluciones correspondientes, con la finalidad de facilitar la absorción de los compuestos bioactivos presentes en el extracto. La utilización de diferentes concentraciones permitió comparar la respuesta fisiológica del material vegetal frente a distintos niveles de estimulación hormonal, estableciendo así un rango de referencia para evaluar su potencial efecto en la inducción de raíces y brotación.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian una respuesta fisiológica limitada de las estacas de *Bursera graveolens* frente a la aplicación de bioestimulantes naturales. Ninguno de los tratamientos evaluados promueve la formación de raíces, brotes u hojas durante los 90 días de evaluación, registrándose únicamente una respuesta mínima en el tratamiento T2 (Bioalgas 9 ml/L), donde se observa una raíz de 0.5 cm y un brote aislado. Sin embargo, esta respuesta no fue suficiente para demostrar un efecto significativo de los tratamientos sobre el enraizamiento y desarrollo vegetativo de la especie.

Estos resultados coinciden con los reportados por Soca (2021), quien señala que la propagación de estacas de *Bursera graveolens* mediante promotores radiculares no produjo raíces ni brotes durante ocho semanas de evaluación. De manera similar, en el presente estudio no se observa desarrollo radicular ni emisión de brotes en la mayoría de los tratamientos, lo que refuerza la hipótesis de que esta especie presenta limitaciones fisiológicas para la propagación vegetativa mediante estacas.

Asimismo, los hallazgos guardan estrecha relación con los obtenidos por Rivera (2021), quien reportó ausencia de crecimiento radicular en todos los tratamientos evaluados y mortalidad total al finalizar el experimento. Aunque en dicha investigación se observa una brotación inicial transitoria, posteriormente los brotes se desprendieron y no logro consolidarse. En contraste, en el presente estudio no se registra brotación significativa; sin embargo, ambas investigaciones coinciden en la escasa capacidad rizogénica de *Bursera graveolens* y en la baja efectividad de los bioestimulantes utilizados para inducir el enraizamiento.

Por otra parte, los resultados difieren de los obtenidos por Sánchez (2019), quien encuentra que la aplicación de cristales de Aloe vera favorece el prendimiento y la emisión de raíces en esquejes de *Bursera graveolens*. En la presente investigación, ninguna de las dosis de Aloe vera evaluadas (50, 100 y 150 ml/L) logra inducir formación radicular ni emisión de brotes. Estas diferencias podrían atribuirse a factores relacionados con el origen del material

vegetal, el estado fisiológico de las estacas, las condiciones ambientales del vivero o las metodologías empleadas para la aplicación del bioestimulante.

De igual manera, los resultados contrastan con los reportados por Barragán y González (2022), quienes observan una mayor emisión de brotes en tratamientos con enraizadores de síntesis química, registra un promedio de 3.33 brotes por planta. En el presente estudio no se obtuvo una respuesta semejante con los bioestimulantes naturales evaluados. Esta diferencia sugiere que las fitohormonas sintéticas podrían presentar una mayor capacidad para estimular la división y diferenciación celular en comparación con los productos naturales utilizados, especialmente en especies forestales con dificultades de propagación vegetativa.

Los resultados también muestran similitud con los hallazgos de Yagual (2022), quien no encuentra efectos consistentes de las dosis de ácido indolbutírico (AIB) sobre las variables de crecimiento evaluadas. Dicho autor concluye que el tipo de sustrato tuvo una influencia más importante que las concentraciones hormonales aplicadas. En la presente investigación tampoco se observa una respuesta clara atribuible a las fitohormonas; sin embargo, el análisis químico del sustrato evidencia condiciones adecuadas de pH, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes, lo que permite descartar limitaciones nutricionales como causa principal de la ausencia de enraizamiento.

Adicionalmente, el 100% de supervivencia registrado en todos los tratamientos demuestra que las condiciones de manejo en vivero fueron adecuadas para mantener la viabilidad de las estacas durante el período experimental. Este resultado difiere de lo reportado por Rivera (2021), quien registró mortalidad total al finalizar su investigación. La diferencia podría estar relacionada con las condiciones ambientales de cultivo y el manejo del sistema de propagación, lo cual permite conservar el tejido vegetal vivo, aunque sin inducir procesos de rizogénesis y brotación.

En conjunto, la comparación con investigaciones previas permite inferir que *Bursera graveolens* presenta una limitada capacidad de propagación vegetativa mediante estacas, aun cuando se emplean bioestimulantes naturales. La ausencia generalizada de raíces y brotes observada en el presente estudio coincide con gran parte de la literatura disponible para la especie, lo que sugiere que factores fisiológicos intrínsecos, posiblemente

asociados a la presencia de compuestos resiníferos y a la baja capacidad de diferenciación celular en tejidos maduros, restringen la formación de raíces adventicias.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis planteada, debido a que los reguladores de crecimiento evaluados no incrementaron significativamente el prendimiento, la emisión de raíces ni el desarrollo vegetativo de las estacas de *Bursera graveolens* en comparación con el tratamiento testigo. Los resultados obtenidos indican la necesidad de explorar nuevas estrategias de propagación, esto incluye el uso de auxinas sintéticas, micorrizas, cámaras de subirrigación y periodos de evaluación más prolongados que permitan superar las limitaciones fisiológicas propias de la especie.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Ninguno de los tres tratamientos con fitohormonas (extracto de algas, *Aloe vera* y extracto de lenteja) induce el enraizamiento en estacas de *Bursera graveolens*, registrándose un 0% de formación radicular a los 90 días en todos los tratamientos, incluido el testigo.

Tampoco se observa emisión de brotes ni hojas durante todo el período experimental, lo que confirma la dificultad de propagación vegetativa de esta especie mediante estacas en condiciones de vivero.

El análisis químico del sustrato (pH 6.3, MO 3.7%, N 0.5%, P 491 ppm y K 4572 ppm) demuestra que las condiciones nutricionales son adecuadas, mientras que la supervivencia del 100% a los 90 días confirma que el manejo en vivero (sombra y riego) es correcto. Por tanto, la ausencia de enraizamiento no se atribuye a factores ambientales o nutricionales.

6.2 Recomendaciones

Conviene considerar en futuras investigaciones el uso de auxinas sintéticas, como el ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indolbutírico (AIB) en combinación con micorrizas y bioestimulantes naturales, para determinar si estas logran inducir la rizogénesis en *B. graveolens*.

Probar diferentes épocas de recolección de estacas (antes de floración, después de fructificación) para identificar el momento fenológico óptimo que favorezca el enraizamiento.

Evaluar el uso de estacas de mayor diámetro (2-3 cm) y mayor longitud (30-40 cm), así como la procedencia de árboles juveniles vs. adultos, para determinar si la edad del material influye en la capacidad rizogénica.

Ampliar el tiempo de evaluación a 120-180 días, considerando que algunas especies forestales tardan más en emitir raíces y que en varios estudios el palo santo forma callo primero (a los 60 días) y eventualmente raíces después.

Incorporar análisis histológicos de la base de las estacas para determinar si hubo formación de primordios radiculares o callo a nivel interno, aunque no sean visibles externamente.

Probar la propagación por semillas como alternativa viable, dado que se reportaron 20% de germinación, lo que podría ser más efectivo que la propagación vegetativa para esta especie.

Evaluar el uso de cámaras de subirrigación o sistemas de nebulización que mantengan alta humedad ambiental, para reducir el estrés hídrico en las estacas durante la fase inicial.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M., Anwar, J., Zafar-ul-Hye, M., Iqbal Khan, R., Saleem, M., Rahi, A. A., Danish, S., & Datta, R. (2020). Effect of seaweed extract on productivity and quality attributes of four onion cultivars. *Horticulturae*, 6(2), 28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6020028>
- Abidin, M. F. (2015). Effect of Aloe Vera and Lentil (*Lens culinaris*) Extracts on Root Induction of Hibiscus rosa-sinensis Stem Cuttings. *Research Journal of Botany*, 10(1), 1-7. <https://www.researchgate.net/>
- Angélica, S. A. (2019). *Prendimiento de Bursera Graveolens (kunt) Triana & Planch, en estapa de vivero usando combinación de sustrato y enraizante natural*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal del sur de Manabí] Repositorio institucional. <https://es.scribd.com/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017,12 de abril). *Código Orgánico del Ambiente*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Registro oficial suplemento N° 983 del 12 de Abril del 2017. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007) Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Melatonin: A New Plant Hormone and/or a Plant Master Regulator?. *Trends in plant science*, 24(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.010>
- Beatriz, J. C., Suárez López, S., & Marrugo Santander, V. (2019). Volatile chemical composition of essential oil from *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch and their fumigant and repellent activities. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 41(1), e46822. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v41i1.46822>
- Cagua Montaña, L., Pazmiño Gómez, B., Andaluz Guamán, A., Aguilar Granados, C., Andrade Avila, J., & Mejía Logo, J. (2024). Eficiencia biotecnológica de auxinas a partir de lentejas (*Lens culinaris*) como enraizante en plántulas de cacao. *REDIELUZ*, 14(2), 71-77.

- Carillo, P., Ciarmiello, L. F., Woodrow, P., Corrado, G., Chiaiese, P., & Rouphael, Y. (2020). Mejorar la sostenibilidad mediante la tolerancia a las sales vegetales mediante bioestimulantes macro y microalgales. *Biología*, 9(9), 253. <https://doi.org/10.3390/biology9090253>
- Carrión, V., Fries, A., Caballero, R., Pérez, P., & Garcia, R. (2019). Biodegradation of Residues from the Palo Santo (*Bursera graveolens*) Essential Oil Extraction and Their Potential for Enzyme Production Using Native *Xylaria* Fungi from Southern Ecuador. *Fermentation*, 5(4), 76. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030076>
- Córdova Ruiz, R. E. (2019). *Aplicación de extractos vegetales en la propagación asexual de estacas de valeriana (Valeriana sp)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional, Universidad Técnica de Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29701>
- Daoud, A., Martínez-Zamora, L., & Artés-Hernández, F. (2020). Enhancement of bioactive compounds of sprouts during self-life by combined abiotic stresses [Incremento de compuestos bioactivos durante la vida comercial de germinados mediante estreses abióticos]. En *9th Workshop on Agri-food Research for young researchers* (pp. 31-34). Universidad Politécnica de Cartagena.
- Dmytryk, A., & Chojnacka, K. (2018). Algae as fertilizers, biostimulants, and regulators of plant growth. En *Algae and their uses in agriculture* (pp. 115-122). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74703-3_10
- El-Sherif, F. (2017). *Aloe vera* leaf extract as a potential growth enhancer for *Populus* trees grown under *in vitro* conditions. *American Journal of Plant Biology*, 2(4), 101-105.
- Espinosa-Aguilar, M. A., Mocha-Cuenca, B. J., Rosales-Curipoma, D. E., & Clavijo-Narvaez, K. E. (2025). El papel de los extractos de algas marinas como bioestimulantes para mitigar el estrés biótico y abiótico en los cultivos: The role of seaweed extracts as biostimulants to mitigate biotic and abiotic stress in crops. *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*, 3(2), 659-673. <https://doi.org/10.62131/MLAJ-V3-N2-039>
- Fundación Charles Darwin. (2023). *Darwin Foundation*. <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/>

- GBIF Backbone Taxonomy. (2025). *Gbif*. <https://www.gbif.org/>
- Geneve Robert, H. H. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall. <https://www.pearsoned.co.uk>
- Gómez, A. J. (2020). *Plan de manejo ambiental para la conservación y restauración del bosque y vegetación protector Rumicruz perteneciente a las provincias de Azuay y Cañar*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>
- Gonçalves, B., Santos, M., Silva, V., Rodrigues, A., Oliveira, I., Lopes, T., Sujeeth, N., & Guinan, K. J. (2025). Biostimulants in fruit crop production: Enhancing growth, yield, and quality. *Horticulturae*, 11(12), 1452. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11121452>
- Hakeem, M. K., Maraqa, M., Elangovan, S. K., Saeed, E. E., Mishra, A. K., Hazzouri, K. M., Shah, I., & Amiri, K. M. A. (2025). Innovative determination of phytohormones in *Aloe vera*. *Frontiers in Chemistry*, *12*, Article 1490639. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1490639>
- Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (1998). *Propagación de plantas: Principios y prácticas* (A. M. Ambrosio, Trad.; 2a ed., 6a reimpression). Compañía Editorial Continental. (Trabajo original publicado en 1987)
- Iglesias Leonel, P. J. (1996). La propagación vegetativa de plantas forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21(79), 15-41. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx>
- Infante, L. F., Eras Guamán, V., Moreno Serrano, J., Minchala Patiño, J., Muñoz Chamba, L., Yaguana Arévalo, M., . . . Sinche Freire, M. (2016). Estudio fenológico y propagación de *Bursera Graveolens*(Kunth) Triana & Planch, En la comunidad de Malvas,Cantón Zapotillo,Provincia de Loja. *Bosque latitud cero*, 6(2), 190-204. <https://revistas.unl.edu.ec/>
- Jalca Otto, M. C. (2017). Efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *Bursera graveolens*. 5(3), 259-269. <https://cfores.upr.edu.cu>
- Kumar, G., Nanda, S., Singh, S. K., Kumar, S., Singh, D., Singh, B. N., & Mukherjee, A. (2024). Seaweed extracts: Enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1457500. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1457500>

- Khan Wajahatullah, R. U. (2009). Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. 28(4), 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Leakey, R. R. (2014). *Domestication of Plants in the Tropics*. CABI en asociación con el World Agroforestry Centre (ICRAF). <https://www.researchgate.net>
- León, A. G., Bueno Vera, A., & Muñoz Carine, L. (2019). Plan de exportación de incienso artesanal *Bursera Graveolens* (palo santo) al mercado. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 17. <https://www.eumed.net>
- Manrique, C. (2022). *Cadena productiva del aceite de Palo Santo (Bursera Graveolens)*. [Tesis para maestría, Pontificia Universidad Católica de Perú]. Repositorio institucional. <https://tesis.pucp.edu.pe/>
- Martínez, S. B. (2021). *Protocolo de germinación y propagación vegetativa de palo santo*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del litoral]. Repositorio institucional. <https://www.dspace.espol.edu.ec/>
- Masalova, L. &. (2022). Economic efficiency of Thuja plants propagation by cuttings. *BIO Web of Conferences*, 47, 1-5. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224712001>
- Mero Jalca, O. F., Cuásquer Fuel, E., García Lucas, L. M., Ramos Rodríguez, M. P., & Jiménez González, A. (2017). Efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *Bursera graveolens*. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(3), 259-269. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/263>
- Mc-Caughey-Espinoza, D. A.-A.-B.-C.-C.-M. (2020). Germinación in vitro e inducción de callo y raíz en *Bursera laxiflora* S. Watson. *Abanico Agroforestal*, 2(4), 1-14. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2020.4>
- Mendoza, Z. A. (09 de 2012). *Especies forestales bosque seco Ecuador*. Ministerio del ambiente agua y transición ecológica [MAATE]. <https://enf.ambiente.gob.ec/>
- Mendoza, Z. A., & Cabrera Guerrero, O. (2021). Parámetros poblacionales y regeneración natural de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch (Burseraceae), en Zapotillo, Ecuador. *Ecología Aplicada*, 28(2), 305-307. <https://doi.org/10.21704/rea.v28i2.1827>

- Mendoza, Z. A., y Cabrera Guerrero, O. (2021). Parámetros poblacionales y regeneración natural de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch (Burseraceae), en Zapotillo, Ecuador. *Ecología Aplicada*, 28(2), 305-307. <https://doi.org/10.21704/rea.v28i2.1827>
- Mero, O. F., Cuásquer Fuel, E., García, L., Ramos Rodriguez, M., & Jimenez González, A. (2017). Efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *Bursera graveolens*. *Cfores revista Cubana de ciencias forestales*, 7(2), 240-262. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5881315.v1>
- Ministerio del Ambiente Agua y transición Ecológica [MAATE]. (2024,10 de agosto). *El Nuevo Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2023, 15 de marzo). *Ecuador cuenta con un nuevo Bosque y Vegetación Protector: Artesan EcuadorianHands*. Ecuador cuenta con un nuevo Bosque y Vegetación Protector: Artesan EcuadorianHands: <https://www.ambiente.gob.ec>
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc. <https://www.wiley.com/>
- Moreira, P., y Zambrano, I. (2023). *Aplicación de enraizadores en la reproducción asexual de tres especies forestales en*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí] Repositorio institucional. <https://repositorio.unesum.edu.ec/>
- Multescu, M., Culetu, A., & Susman, I. E. (2024). Screening of the nutritional properties, bioactive components, and antioxidant properties in legumes. *Foods*, 13(22), Article 3528. <https://doi.org/10.3390/foods13223528>
- Noel Martinez, K., Cruz, G., & Solis Castro, R. (2021). *Bursera graveolens* essential oil: Physiochemical characterization and antimicrobial activity in pathogenic microorganisms found in *Kajikia audax*. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 303-309. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.033>
- Orozco-Mosqueda, M. D. C., Santoyo, G., & Glick, B. R. (2023). Avances recientes en la modulación de fitohormonas bacterianas en el

- crecimiento de plantas. *Plantas (Basilea, Suiza)*, 12(3), 606.
<https://doi.org/10.3390/plants12030606>
- Pallo Garcia, J. M. (2021). *Efecto de aminoácidos obtenidos de residuos de la industria avícola en el desarrollo de maíz (Zea mays)* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Cuenca.
- Paz, T., y Salas, J. (2019). *Evaluación de tres bosques protectores periurbanos del cantón Guayaquil (Guayas, Ecuador) como potenciales áreas de importancia para la conservación de murciélagos*. *Mammalia aequatorialis*. <https://mammalia-aequatorialis.org>
- Pérez Bonilla, L. A. (2020). *Uso del extracto de alga (Ascophyllum nodosum) como bioestimulador en el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) en la zona de Babahoyo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8008>
- Pin Guaranda, G. (2019). *Determinar la población de la especie palo santo (Bursera Graveolens)*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unesum.edu.ec/>
- Rabhi, M. L., Derbak, L., Bendif, H., Boufahja, F., Abu-Elsaoud, A. M., & Garzoli, S. (2025). Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: A review. *Journal of Biotechnology*, 408, 201-216. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.12.008>
- Ramos, R., Yagual, A., Carpio, C., y Ramos, M. (2022, 15 de Agosto). Propagación de árboles de *Bursera graveolens*. *Alfa publicaciones*, 4(3.2), 16. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.276>
- Ramos Veintimilla, R. A., Yagual González, A. A., Carpio Coba, C. F., & Ramos Veintimilla, M. R. (2022). *Propagación de árboles de Bursera graveolens (Kunt) Triana & Planch, por estacas*. *AlfaPublicaciones*, 4(3.2), 40–55. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.276>
- Rebeca, C. (2021). *Propagación vegetativa de especies forestales: análisis de factores que afectan el enraizamiento*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala] Repositorio USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/>

- Rene, P. G. (2018). *La comercialización del aceite e incienso del palo santo*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM] Repositorio institucional. <https://repositorio.unesum.edu.ec/>
- Rosales-López, C., Arnáez-Serrano, E., Moreira-González, I., Garro-Monge, G., Agüero-Hernández, A. L., Jiménez-Quesada, K., Abdelnour-Esquivel, A., & Calvo-Castro, L. (2019). Investigaciones en plantas con potencial bioactivo. *Tecnología en Marcha*, 32(CIB), 12-21. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i9.4621>
- Sandhu, N., Sethi, M., Kumar, A., Dang, D., Singh, J., & Chhuneja, P. (2021). Enfoques bioquímicos y genéticos que mejoran la eficiencia del uso del nitrógeno en cultivos de cereales: una revisión. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 12, 657629. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.657629>
- Sotelo , A., Figueroa, C., Cesare Coral, M., & Alegria, C. (2017). Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Essential Oil of *Bursera graveolens* (Burseraceae) From Perú. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research (IJPER)*, 51(3), s510-s515. <https://doi.org/10.5530/ijper.51.3s.62>
- Shiguango Tanguila, S. H. (2024). *Evaluación de dos enraizadores para la calidad de plantas de limón (Citrus x limon Linneo) variedades Meyer y Fino en vivero* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22501>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (Eds.). (2015). *Plant physiology and development* (6a ed.). Sinauer Associates.
- Ullauri Rivas, G. A. (2021). *Efecto de formulaciones de extractos de algas sobre el rendimiento del cultivo del banano (Musa acuminata AAA)* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria del Ecuador. repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/eaf5ec66-234a-4770-be23-3f8fc88b1551/content
- Villon Torres, A. A. (2021). *Evaluación de dosis de Aloe vera como enraizante natural en esquejes de café robusta (Coffea canephora) en el centro de apoyo Manglaralto* [Trabajo de integración curricular, Universidad Estatal

- Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6370>
- Vignolo, G. K., Fischer, D. L., Araujo, V. F., Kunde, R. J., & Antunes, L. E. (2012). Rooting of hardwood cuttings of three blueberry cultivars with different concentrations of IBA. *Ciência Rural*, 42(5), 795-800. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000017>
- Yao, Y., Wang, X., Chen, B., Zhang, M., & Ma, J. (2020). Seaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *ACS Omega*, 5(8), 4242-4249. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04155>
- Yumbopatín, E. A. (2017). *Efecto de soluciones nutritivas a base de semillas germinadas de maíz (Zea mays) y lenteja (Lens culinaris) en el cultivo de fresa (Fragaria annanasa)* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
- Zambrano, R. G., & Zamora Macías, C. (2023). *Árboles frutales y maderables melíferos de la provincia de Manabí*. [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí] Repositorio institucional. <https://libros.ulead.edu.ec/>

ANEXOS

Tabla 8.
Compuestos de algas y desarrollo radicular

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento radicular en especies forestales	Referencias
Auxinas (AIA)	Ácido indol-3-acético (C ₁₀ H ₉ NO ₂)	Regulador del crecimiento; división celular y elongación	Induce formación de raíces adventicias y laterales; activa genes ARF y promueve diferenciación vascular en plántulas forestales como <i>Pinus</i> spp. y <i>Eucalyptus</i> spp.	Rabhi et al., 2025; Taiz et al., 2015
Auxinas (AIB)	Ácido indol-3-butírico (C ₁₂ H ₁₃ NO ₂)	Enraizante sintético natural; precursor de AIA	Estimula iniciación radicular en propagación clonal de especies forestales; aumenta tasa de enraizamiento en vivero	Hartmann et al., 2011
Citoquininas (Zeatina, iP, DHZ)	Zeatina (C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O), Isopenteniladenina (C ₁₀ H ₁₃ N ₅)	Regulación de división celular y diferenciación	Modulan arquitectura radicular en interacción con auxinas; regulan densidad de raíces laterales en especies forestales bajo estrés hídrico	Rabhi et al., 2025; Davies, 2010
Giberelinas (GA ₃ , GA ₄)	Ácido giberélico (C ₁₉ H ₂₂ O ₆)	Promoción de elongación celular	Favorecen elongación de raíz principal y crecimiento inicial en plántulas forestales	Taiz et al., 2015; Rabhi et al., 2025
Brassinosteroides	24-epibrasinolida (C ₂₈ H ₄₈ O ₆)	Regulación de división celular y expansión	Incrementan sensibilidad a auxinas; mejoran diferenciación vascular y robustez radicular en especies leñosas	Rabhi et al., 2025; Clouse & Sasse, 1998
Alginatos	Copolímero de ácido β-D-manurónico y α-L-gulurónico	Señalización y fortalecimiento de pared celular	Inducen expresión de genes de celulosa sintasa; mejoran integridad radicular bajo estrés salino en viveros forestales	Rabhi et al., 2025
Ulvanos	Polisacáridos sulfatados (ramnosa, xilosa, ácido glucurónico)	Actividad auxínica indirecta	Estimulan elongación radicular y biomasa en etapas tempranas de especies forestales	Rabhi et al., 2025
Fucoidanos	Polisacáridos sulfatados ricos en L-fucosa	Estimulación rizosférica	Favorecen colonización por bacterias promotoras del crecimiento (PGPR), mejorando absorción de nutrientes en raíces forestales	Rabhi et al., 2025
Prolina	Ácido pirrolidin-2-carboxílico (C ₅ H ₉ NO ₂)	Osmoprotector	Mantiene turgencia celular en raíces bajo estrés hídrico en plantaciones forestales	Taiz et al., 2015
Glicina betaína	Trimetilglicina (C ₅ H ₁₁ NO ₂)	Osmoprotector y estabilizador enzimático	Protege membranas y enzimas radiculares bajo estrés salino	Ashraf & Foolad, 2007
Arginina	2-amino-5-guanidinopentanoico	Precursor de poliaminas	Regula división celular y desarrollo radicular	Taiz et al., 2015

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento radicular en especies forestales	Referencias
	(C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂)		especies leñosas	
Florotaninos (Eckol)	Derivado polifenólico del floroglucinol	Antioxidante modulador hormonal	Incrementa producción de y raíces y niveles endógenos de AIA; mejora establecimiento en especies forestales	Rabhi et al., 2025
Melatonina	N-acetil-5-metoxitriptamina (C ₁₃ H ₁₆ N ₂ O ₂)	Antioxidante señalizador	Protege raíces frente a y estrés oxidativo; mejora arquitectura radicular bajo condiciones adversas	Arnao & Hernández-Ruiz, 2019

Elaborado por: El autor, 2026.

Tabla 9.
Compuestos de algas y producción de brotes

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento de brotes
Ácido glutámico	Ácido 2-aminopentanodioico	Donador primario de nitrógeno; precursor en la síntesis de otros aminoácidos y compuestos nitrogenados	Actuó como fuente clave de nitrógeno para la síntesis proteica en tejidos meristemáticos, favoreciendo la formación de hojas y tallos (Pallo, 2021).
Ácido aspártico	Ácido 2-aminobutanodioico	Participa en rutas biosintéticas de aminoácidos y nucleótidos	Contribuyó al suministro de nitrógeno y a la activación metabólica necesaria para la diferenciación celular en brotes jóvenes (Sandhu et al., 2021).
Arginina	Ácido 2-amino-5-guanidinopentanoico	Almacenamiento y transporte de nitrógeno; precursor de poliaminas	Favoreció la división celular en y meristemos apicales mediante la síntesis de poliaminas asociadas a proliferación celular (Abbas et al., 2020).
Péptidos bioactivos	Cadenas cortas de aminoácidos	Moléculas señalizadoras; estimulación hormonal	Estimularon vías biosintéticas de auxinas, citoquininas y giberelinas, promoviendo la activación de yemas y elongación de brotes (Mero Jalca et al., 2017).
Zeatina (citoquinina)	6-(4-hidroxi-3-metil-2-butenilamino) purina	Estimula división celular y desarrollo de yemas	Incrementó la actividad meristemática y formación de nuevos tallos y hojas (Rivas, 2021).
Giberelinas (GA ₃)	Ácido giberélico	Promueve elongación celular	Complementó la acción de citoquininas favoreciendo el alargamiento de brotes emergentes (Gonçalves et al., 2025).
Eckol	Derivado fenólico (florotanino)	Modulación antioxidante y hormonal	Estimuló indirectamente la biosíntesis de auxinas y mejoró la señalización de crecimiento (Yao et al., 2020).
Floroglucinol	1,3,5-trihidroxibenceno	Compuesto modulador	Actuó como regulador del equilibrio hormonal favoreciendo la brotación

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento de brotes
Prolina	Ácido pirrolidin-2-carboxílico	Osmoprotector y antioxidante	(Pérez, 2020). Mejoró la tolerancia al estrés, permitiendo redirigir energía metabólica hacia el crecimiento vegetativo (Carillo et al., 2020).
Glicina betaína	N,N,N-trimetilglicina	Osmoprotector celular	Protegió estructuras celulares bajo estrés, favoreciendo mayor desarrollo aéreo (Kumar et al., 2024).
Ulvanos	Polisacáridos sulfatados de <i>Ulva</i> spp.	Estimulación de defensas y absorción nutrimental	Mejoraron la eficiencia en la absorción de nutrientes, favoreciendo indirectamente la brotación (Moreau et al., 2019).
Alginatos	Copolímeros de ácido manurónico y gulurónico	Quelación de nutrientes y mejora estructural del suelo	Optimizaron la disponibilidad de nutrientes esenciales para la formación de nuevos brotes (Espinoza, 2025).
Fucoidanos	Polisacáridos sulfatados ricos en fucosa	Activación de respuestas fisiológicas y defensa	Incrementaron la resiliencia al estrés, permitiendo mayor inversión energética en crecimiento aéreo (Dmytryk & Chojnacka, 2018).

Elaborado por: El autor, 2026.

Tabla 10.

Fitohormonas presentes en Aloe vera y brotación

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento de brotes y rizogénesis
Ácido indol-3-acético (IAA)	Ácido 1H-indol-3-acético	Regulador del crecimiento; elongación celular; formación de adventicias	Favoreció la elongación celular en tejidos jóvenes y promovió la formación de raíces adventicias en estaquillas, mejorando la uniformidad y precocidad del enraizamiento (Shiguango, 2024).
Ácido naftalenacético (ANA)	Ácido 1-naftalenacético	Auxina promotora rizogénesis	Incrementó el número y calidad de raíces en propagación vegetativa, acelerando la diferenciación celular en la base de las estaquillas (Córdova, 2019).
Ácido indolbutírico (IBA)	Ácido 4-(indol-3-il)butírico	Auxina sintética estimuladora de raíces adventicias	Estimuló la iniciación radicular y mejoró la capacidad rizogénica mediante activación de meristemos radicales (Villón, 2021).
Giberelinas (GA ₃)	Ácido giberélico (ácido diterpenoide)	Promoción de elongación y ruptura latencia	Contribuyeron al alargamiento de los brotes y a la activación metabólica necesaria para el crecimiento inicial tras la formación radicular (El-Sherif, 2017)
Citoquininas	6-(4-hidroxi-3-	División	y Estimularon la división celular en

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento de brotes y rizogénesis
(zeatina)	metil-2-butenilamino) purina	diferenciación celular; retraso de senescencia	tejidos meristemáticos y mantuvieron el vigor de los brotes en interacción con auxinas (Hakeem, 2025).
Etileno	Eteno (C ₂ H ₄)	Regulador gaseoso crecimiento diferenciación	Participó en la modulación del equilibrio hormonal y en procesos de diferenciación celular asociados al desarrollo vegetal (Orozco, 2023).

Elaborado por: El autor, 2026.

Tabla 11.

Compuestos de *Lens culinaris* y crecimiento vegetal

Compuesto activo	Nomenclatura química	Función fisiológica	Relación con el crecimiento radicular y de brotes
Ácido indol-3-acético (AIA / IAA)	Ácido acético	1H-indol-3-Auxina natural promotora de elongación celular y formación de raíces adventicias	Estimuló la iniciación de primordios radiculares y la elongación de células en meristemos radiculares; favoreció también el crecimiento de brotes mediante regulación del equilibrio auxina-citoquinina (Cagua et al., 2024).
Giberelinas (GA ₃)	Ácido giberélico (ácido diterpenoide)	Promoción de elongación del tallo y activación metabólica	Contribuyeron al alargamiento de brotes emergentes tras el enraizamiento y activaron enzimas relacionadas con crecimiento inicial (Daoud et al., 2020).
Citoquininas (zeatina)	6-(4-hidroxi-3-metil-2-butenilamino) purina	División y diferenciación celular; estimulación de brotes	Favorecieron la formación y desarrollo de yemas laterales en interacción con auxinas, regulando la arquitectura vegetal (Yumbopatín, 2017).
Aminoácidos libres	Ej. ácido glutámico (ácido aminopentanodioico)	Precusores metabólicos y fuente de nitrógeno	Proporcionaron soporte energético y nitrogenado para la división celular durante la formación de raíces y hojas jóvenes (Multescu et al., 2024)
Minerales (K, P, Mg)	Potasio (K ⁺), Fosfato (PO ₄ ³⁻), Magnesio (Mg ²⁺)	Regulación osmótica, transferencia energética (ATP), cofactor enzimático	Mejoraron la actividad metabólica y la síntesis de clorofila, favoreciendo tanto el desarrollo radicular como el crecimiento foliar (Rosales-López et al., 2019).

Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 1.
Croquis de distribución (DCA) diez tratamientos y cinco repeticiones

T9	T4	T2	T5	T8	T1	T10	T7	T3	T6	
T2	T3	T5	T7	T6	T10	T8	T1	T4	T9	
T4	T1	T10	T5	T2	T7	T3	T9	T8	T6	
T7	T9	T3	T8	T1	T6	T4	T5	T10	T2	
T4	T7	T5	T6	T10	T9	T1	T8	T2	T3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Columnas (1-10)

Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 2.
Construcción de vivero



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 3.
Preparación del sustrato



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 4.
Llenado de fundas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 5.
Recolección de estacas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 6.
Estacas *Bursera graveolens*



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 7.
Germinación de lenteja para solución enraizante



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 8.
Pesaje de Germinado de lenteja para los tratamientos



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 9.
Extracto de aloe vera



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 10.
Solución de algas producto comercial



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 11.
Tratamiento a las estacas con extracto de lenteja



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 12.
Tratamiento de estaca con extracto de Aloe vera



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 13.
Tratamiento a estacas con solución comercial de algas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 14.
Siembra de estacas al sustrato



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 15.
Establecimiento del vivero y siembra de estacas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 16.
Primera muestra aleatoria de supervivencia de la estaca



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 17.
Primera muestra aleatoria de supervivencia de la estaca



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 18.
Primera muestra de aparición de raíces en las estacas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 19.
Segunda aparición de raíces en las estacas experimentales



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 20.
Única unidad experimental que demostró brotes con hojas



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 21.
Visita del tutor en el invernadero



Elaborado por: El autor, 2026.

Figura 22.
Presentación del proyecto de tesis



Elaborado por: El autor, 2026