

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE LAVANDA (*Lavandula dentata* L.)
EN BASE A FITOHORMONAS QUÍMICOS Y ORGÁNICOS, BAJO
INVERNADERO TECNIFICADO EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA.**

Por:

Jhoel Jhonatan Chavarria Vargas

EL ALTO – BOLIVIA

Septiembre, 2025

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE LAVANDA (*Lavandula dentata* L.) EN BASE A
FITOHORMONAS QUÍMICOS Y ORGÁNICOS, BAJO INVERNADERO TECNIFICADO
EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA.**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Jhoel Jhonatan Chavarria Vargas

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Ing. Juan Samuel Huarachi Llave

Tribunal Revisor:

M. Sc. Lic. Ing. Coria García Octavio Martir

Lic. Ing. Goyochea Zambrana Jaime Boris

Lic. Ing. Fernandez Molina Walter

Aprobado

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

El presente trabajo va dedicado con todo el amor para mis padres Filemón, Adela, se merecen todo mi cariño y gratitud por ser las personas que me inculcaron por el camino del bien.

A mi hermana Rilda y mis sobrinos Helen y Thiago que con su apoyo, cariño y consejos estuvieron siempre allí apoyándome en cada uno de mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, por bendecirme en cada paso que he dado, por haberme regalado inteligencia y sabiduría, y permitirme finalizar con éxito mi carrera profesional.

A la empresa ORKIDEA ANDINA por abrirme las puertas para realizar esta investigación y a todos los ingenieros y compañeros de trabajo que estuvieron a cargo y fueron parte de la presente investigación.

Agradecer también de manera profunda a la Universidad Pública De El Alto, en especial a la Facultad de Ciencias Agrícolas, por acogerme en sus aulas, donde la formación académica y profesional fortalecieron mis principios y valores, brindándome conocimientos para llegar a ser una profesional útil para la sociedad.

Mi gratitud a mis asesores de investigación M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez e Ing. Juan Samuel Huarachi LLave por la colaboración en el desarrollo y finalización de mi trabajo investigativo, por sus enseñanzas, sus consejos, su ayuda, su apoyo, sus llamadas de atención y las horas invertidas en este proyecto las cuales no fueron en vano.

A mis tribunales revisores: M. Sc. Lic. Ing. Coria Garcia Octavio Martir, Lic. Ing. Goyochea Zambrana Jaime Boris y al Lic. Ing. Fernandez Molina Walter, gracias por la revisión, corrección y sugerencia que contribuyeron a mejorar el presente trabajo de investigación.

A la empresa Mara Producciones por abrirme las puertas de trabajo con la cual di un salto más en mi estudio universitario.

A todos, pero a todos los amigos (as) que Dios me dio la dicha de conocer, que los recuerdos no se olvidan de cada momento feliz y triste que compartí con todos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Origen de la lavanda	6
2.2. Características del cultivo de lavanda	6
2.2.1. Importancia del cultivo de lavanda	7
2.2.2. Propiedades del cultivo de lavanda	7
2.2.3. Producción y rendimiento del cultivo de lavanda	8
2.2.4. Taxonomía.....	9
2.3. Enraizadores	10
2.3.1. Enraizadores orgánicos	10

2.3.1.1.	Algas marinas (Tp-36).....	10
2.3.1.1.1.	Compuestos del Tp-36.....	11
2.3.1.2.	Fosforo (Full raíz).....	12
2.3.1.2.1.	Compuestos del Full raíz	12
2.3.2.	Enraizadores sintéticos	14
2.3.2.1.	Stim-Root (IBA)	14
2.3.2.1.1.	Compuestos del Stim-Root	14
2.3.2.2.	Radp-Ormon (ANA).....	14
2.3.2.2.1.	Compuestos del Radp-Ormon	15
2.4.	Esqueje.....	15
2.4.1.	Tamaño de esqueje	16
2.4.2.	Obtención de esqueje	17
2.4.3.	Factores que influyen en la formación de plantas a partir de esquejes.....	17
2.4.4.	Características del entorno para la propagación por esqueje	18
2.5.	Métodos de propagación.....	18
2.5.1.	Propagación sexual.....	19
2.5.1.1.	Semilla	19
2.5.2.	Propagación asexual o vegetativa.....	20
2.5.2.1.	Ventajas y desventajas en la propagación asexual	22
2.5.2.1.1.	Ventajas.....	22
2.5.2.1.2.	Desventajas.....	22
2.5.2.2.	Requerimientos de agua en la propagación asexual	23
2.5.2.3.	Características del entorno para la propagación asexual	23
2.5.2.4.	Técnicas de propagación vegetativa	24
2.6.	Material vegetal	25
2.7.	Significado de hormona vegetal o fitohormonas	26

2.8. Reguladores de crecimiento o fitohormonas	28
2.8.1. Clasificación de las fitohormonas	31
2.8.1.1. Auxina.....	31
2.8.1.1.1. Función de las auxinas	32
2.8.1.1.2. Transporte de las auxinas.....	33
2.8.1.2. Giberelinas	34
2.8.1.2.1. Función de las giberelinas	35
2.8.1.3. Citoquininas.....	35
2.8.1.3.1. Funciones de las citoquininas.....	36
2.8.1.4. Etileno.....	36
2.8.1.4.1. Funciones del etileno	37
2.8.1.5. Ácido abscísico.....	38
2.8.1.5.1. Funciones del ácido abscísico	38
2.8.2. Cuándo utilizar los fitorreguladores en esquejes	39
2.9. Técnica de propagación y enraizamiento del cultivo de lavanda.....	39
2.9.1. Sustrato	39
2.9.2. Agua	40
2.10. Condiciones para el enraizamiento	40
2.11. Aclimatación de los quejes para su desarrollo en sustrato	41
2.12. Sustrato	41
2.12.1. Requisitos de un sustrato	42
2.12.2. Arena	42
2.12.3. Turba	43
2.13. Invernadero tecnificado.....	44
2.14. Análisis económico.....	44
2.14.1. Presupuesto parcial	44

2.14.2. Costos variables	44
2.14.3. Rendimiento ajustado	45
2.14.4. Precio del producto	45
2.14.5. Beneficio bruto	45
2.14.6. Beneficio neto (BN)	45
2.14.7. Análisis de dominancia	46
2.14.8. Tasa de retorno marginal (TRM)	46
2.15. Paquete estadístico.....	47
2.15.1. InfoStat	47
3. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Localización.....	48
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	48
3.1.2. Características edafoclimaticos	48
3.1.2.1. Clima.....	48
3.1.2.2. Suelo.....	49
3.2. Materiales	49
3.2.1. Material genético	49
3.2.2. Insumos	49
3.2.3. Material de gabinete.....	49
3.2.4. Materiales y equipo de campo.....	50
3.3. Metodología.....	51
3.3.1. Desarrollo del ensayo	51
3.3.1.1. Preparación del ambiente experimental	51
3.3.1.2. Selección de planta madre.....	52
3.3.1.3. Selección y recolección de esquejes.....	53
3.3.1.4. Corte y clasificación de esquejes.....	54

3.3.1.5.	Preparado de enraizadores ya establecidos	55
3.3.1.6.	Sumersión a los esquejes en los diferentes enraizadores	55
3.3.1.7.	Control de temperatura y humedad	56
3.3.1.8.	Repique	56
3.3.1.9.	Seguimiento de enraizado y toma de datos	57
3.3.2.	Diseño experimental	57
3.3.3.	Factores de estudio.....	58
3.3.3.1.	Formulación de tratamientos.....	59
3.3.4.	Variables de respuesta	59
3.3.4.1.	Porcentaje de prendimiento de los esquejes.....	59
3.3.4.2.	Longitud de la raíz.....	60
3.3.4.3.	Volumen de la raíz	60
3.3.4.4.	Tamaño del esqueje.....	60
3.3.5.	Análisis estadístico.....	60
3.3.5.1.	Análisis de varianza (ANVA).....	61
3.3.5.2.	Comparación de medias	61
3.3.5.3.	Coeficiente de correlación (r).....	61
3.3.6.	Análisis de costos parciales.....	62
3.3.6.1.	Beneficio bruto (BB)	62
3.3.6.2.	Beneficio neto (BN)	63
3.3.6.3.	Tasa de retorno marginal (TRM).....	63
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1.	Condiciones de Temperatura y Humedad registradas en el área experimental	64
4.1.1.	Temperatura.....	64
4.1.2.	Humedad.....	66
4.2.	Variables agronómicas.....	67

4.2.1. Porcentaje de prendimiento de los esquejes.....	67
4.2.2. Longitud de la raíz.....	70
4.2.3. Volumen de la raíz	73
4.2.4. Tamaño del esqueje.....	77
4.3. Análisis de costos parciales	80
4.3.1. Beneficio costo	80
4.3.2. Análisis de dominancia	81
4.3.3. Tasa de retorno marginal.....	83
5. CONCLUSIONES	85
6. RECOMENDACIONES	86
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	87
8. ANEXOS	96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación de los principales reguladores de crecimiento vegetal.	29
Cuadro 2.	Características generales de los principales sustratos que se utilizaron	43
Cuadro 3.	Enraizantes preparados: medición, proporción y corrección de pH.....	55
Cuadro 4.	Factores en estudio	58
Cuadro 5.	Interacción de los factores en estudio	59
Cuadro 6.	Análisis de varianza del porcentaje de prendimiento de los esquejes.....	67
Cuadro 7.	Prueba de Duncan para el enraizante sobre el porcentaje de prendimiento.	68
Cuadro 8.	Análisis de varianza para la variable longitud de la raíz.....	70
Cuadro 9.	Prueba de Duncan para el enraizante sobre la longitud de la raíz	71
Cuadro 10.	Prueba de Duncan para el tamaño sobre la longitud de la raíz	72
Cuadro 11.	Análisis de varianza de la variable de respuesta volumen.....	74
Cuadro 12.	Prueba de Duncan para el enraizante sobre el volumen de la de la raíz	75
Cuadro 13.	Prueba de Duncan para el tamaño sobre el volumen de la raíz	75
Cuadro 14.	Análisis de varianza de la variable de respuesta altura de esqueje.	77
Cuadro 15.	Prueba de Duncan para el enraizante sobre la altura de esqueje	78
Cuadro 16.	Prueba de Duncan para el tamaño en el crecimiento del esqueje.....	78
Cuadro 17.	Análisis del B/C de los diferentes tratamientos en estudio.	80
Cuadro 18.	Análisis de dominancia realizado para los tratamientos.....	81
Cuadro 19.	Análisis de retorno marginal.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Movimiento polar y no polar de las auxinas.....	34
Figura 2.	Área de estudio (DJI-Fly, 2025)	48
Figura 3.	Preparación del terreno.....	51
Figura 4.	Conclusión del Invernadero.....	52
Figura 5.	Área de multiplicación para esquejes de lavanda	52
Figura 6.	Planta madre de lavanda	53
Figura 7.	Selección de ramas apicales e intermedias	53
Figura 8.	Corte de 45° de los diferentes esquejes seleccionados.....	54
Figura 9.	Clasificación de esquejes de lavanda	54
Figura 10.	Envases con soluciones para la sumersión de los esquejes	56
Figura 11.	Registros de temperatura y humedad.....	56
Figura 12.	Sustrato definitivo para el desarrollo de los esquejes	57
Figura 13.	Esquema de análisis estadístico.....	60
Figura 14.	Registro de temperaturas sobre esquejes de lavanda	64
Figura 15.	Comportamiento de la humedad en el área experimental	66
Figura 16.	Comparación del porcentaje de prendimiento radicular de los tratamientos .	69
Figura 17.	Comparación de medias de la longitud de la raíz en (cm)	73
Figura 18.	Comparación de medias del volumen de la raíz en (cm ³).....	76
Figura 19.	Comparación de medias sobre el tamaño del esqueje en (cm)	79
Figura 20.	Curva de ingresos netos	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Características de la especie	97
Anexo 2.	Preparación del ambiente experimental	98
Anexo 3.	Enraizadores que se utilizaron en la investigación.....	99
Anexo 4.	Plantas madres de lavanda de donde se estrajeron los esquejes	99
Anexo 5.	Preparado de los materiales para la propagación de esquejes	100
Anexo 6.	Esquejes de lavanda listas para enraizar	100
Anexo 7.	Formación de callo	101
Anexo 8.	Brote de raíces de lavanda	101
Anexo 9.	Toma de datos de las raíces	102
Anexo 10.	Repique de esquejes.....	102
Anexo 11.	Esquejes de lavanda en desarrollo	103
Anexo 12.	Costos de producción del enraizante IBA	104
Anexo 13.	Costos de producción del enraizante ANA	105
Anexo 14.	Costos de producción del enraizante Tp-36	106
Anexo 15.	Costos de producción del enraizante Full raíz.....	107
Anexo 16.	Precio de plantines emitido por Ema Verde	108
Anexo 17.	Temperatura y humedad registrada en la investigación.....	108

ABREVIATURAS

pH	Potencial de Hidrógeno
CE	Conductividad Eléctrica
AIA	Ácido Indol-3-acético
IBA	Ácido indol-3-butirico
ANA	Ácido 1-naftalenacetico
T	Tratamiento
cm	Centímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
g	Gramos
T°	Temperatura
CV	Coefficiente de Variación
ppm	Partes por millón
DCA	Diseño completamente al azar
B/C	Beneficio costo
kg	Kilogramo
RCH	Regulador de crecimiento hormonales
RC	Regulador de crecimiento
HV	Hormonas vegetales

RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de cuatro fitorreguladores en esquejes de *Lavandula dentata* L. con longitudes de 10, 13 y 16 cm, utilizando la técnica de propagación asexual. El estudio se desarrolló en los terrenos de la Corporación Orkidea Andina, ubicada en el municipio de Achocalla pertenece a la provincia Murillo en el departamento de La Paz. Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con un esquema bifactorial 4x3, que incluyó 12 tratamientos, 3 repeticiones y un total de 180 unidades experimentales, cada tratamiento estaba compuesto por cinco esquejes. Los enraizantes utilizados fueron IBA (ácido indol-3-butírico), ANA (ácido naftalenacético), TP-36 (a base de algas marinas) y Full Raíz (rico en fósforo). Las variables evaluadas incluyeron porcentaje de prendimiento, longitud y volumen de la raíz, altura de los esquejes y aspectos económicos. Los resultados mostraron que los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) lograron un prendimiento del 100 %, evidenciando la efectividad del IBA para estimular el enraizamiento de esquejes. En cuanto a la longitud y volumen radicular, tanto IBA como ANA tuvieron una influencia significativa, superando a los enraizantes orgánicos. El IBA fue particularmente destacado al alcanzar una longitud media de raíz de 6,23 cm y un volumen de 17,67 cm³, mientras que el ANA alcanzó una longitud media de raíz de 5,37 cm y un volumen de 16,58 cm³. Aunque el tratamiento T11 (Full Raíz + 13 cm) logró una longitud de raíz de 9,62 cm y un volumen de 12,2 cm³, su tasa de prendimiento fue baja del 40 %. También se observó que las medias de esquejes de 13 cm presentaron un mejor desempeño que los de 10 o 16 cm en las diferentes variables de respuesta, lo que se atribuye a su mayor capacidad energética en función del tamaño de esqueje utilizado. Desde el punto de vista económico, los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) también fueron los más rentables, con una relación beneficio/costo (B/C) de 1,2 bolivianos, lo que significa una ganancia de 0,20 por cada boliviano invertido. Se recomienda aplicar 1000 ppm de IBA para obtener un prendimiento radicular a los 30 – 40 días posteriores a su implementación, preferentemente realizar el esquejado en temporada de verano. Se concluye que el uso de auxinas sintéticas, especialmente IBA, en esquejes de 13 cm, constituye una estrategia eficaz y rentable para la propagación vegetativa de lavanda en condiciones controladas.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the effect of four plant growth regulators on *Lavandula dentata* L. cuttings with lengths of 10, 13, and 16 cm, using the asexual propagation technique. The study was conducted on the grounds of the Orkidea Andina Corporation, located in the municipality of Achocalla, which belongs to the Murillo province in the department of La Paz. A completely randomized experimental design with a 4x3 two-factor scheme was used, which included 12 treatments, 3 replicates, and a total of 180 experimental units, with each treatment consisting of five cuttings. The rooting agents used were IBA (indole-3-butyric acid), ANA (naphthaleneacetic acid), TP-36 (seaweed-based), and Full Raíz (rich in phosphorus). The variables evaluated included percentage of rooting, root length and volume, height of the cuttings, and economic aspects. The results showed that treatments T1 (IBA + 10 cm) and T2 (IBA + 13 cm) achieved 100% rooting, demonstrating the effectiveness of IBA in stimulating rooting of cuttings. In terms of root length and volume, both IBA and ANA had a significant influence, outperforming organic rooting agents. IBA was particularly noteworthy, achieving an average root length of 6,23 cm and a volume of 17,67 cm³, while ANA achieved an average root length of 5,37 cm and a volume of 16,58 cm³. Although treatment T11 (Full Root + 13 cm) achieved a root length of 9,62 cm and a volume of 12,2 cm³, its take rate was low at 40%. It was also observed that the 13 cm cuttings performed better than the 10 or 16 cm cuttings in the different response variables, which is attributed to their greater energy capacity based on the size of the cutting used. From an economic standpoint, treatments T1 (IBA + 10 cm) and T2 (IBA + 13 cm) were also the most profitable, with a benefit/cost (B/C) ratio of 1,2 bolivianos, which means a profit of 0,20 for every boliviano invested. It is recommended to apply 1000 ppm of IBA to obtain rooting 30 – 40 days after implementation, preferably performing the cutting in the summer season. It is concluded that the use of synthetic auxins, especially IBA, in 13 cm cuttings is an effective and economically viable strategy for vegetative propagation of lavender under controlled conditions.

1. INTRODUCCIÓN

La lavanda es un arbusto perenne, leñoso y robusto, que puede alcanzar o superar ligeramente el metro de altura. Pertenece a la familia de las Lamiaceae y suele crecer en zonas áridas con suelos calcáreos y llenos de piedras. Este grupo de plantas destaca por su uso frecuente en jardines como ornamentales, así como en el ámbito medicinal, entre otros. Su cultivo es sencillo y se propaga con facilidad, además de mostrar gran resistencia a la sequía y a la intensa exposición solar, lo que aumenta su valor. También sobresale por su elevada concentración de aceites vegetales de interés comercial, lo que ha impulsado múltiples investigaciones sobre su aplicación en diversas áreas (Hernández, 2017; Ferrer, 2022).

En Bolivia, la lavanda se cultiva principalmente en los departamentos de Cochabamba y Tarija. La demanda tanto de esta planta como de sus derivados, especialmente los aceites esenciales, va en aumento. Aunque el mercado de aceites esenciales muestra signos de expansión, la producción nacional de lavanda todavía no logra cubrir por completo las necesidades del país. Dado que Bolivia no es reconocida como un productor importante de esta especie, gran parte del aceite esencial que se consume proviene del extranjero. Actualmente, la elaboración de aceite esencial de lavanda en Bolivia se encuentra en fase de desarrollo, con un enfoque en la investigación y perfeccionamiento de sus técnicas de producción (EMR, 2025).

Las plantas de lavanda pueden reproducirse tanto sexualmente, a través de semillas, como de forma asexual mediante esquejes. Sin embargo, el método por semillas se utiliza muy poco, ya que no garantiza que las nuevas plantas sean idénticas en desarrollo y rendimiento a la planta original. Esta especie destaca como una de las más valiosas dentro del conjunto de plantas medicinales, aromáticas y culinarias, y tiene gran relevancia comercial, siendo cultivada con fines industriales (Agexport, 2019). El enraizamiento por esquejes representa el principal medio de propagación en cultivos ornamentales, incluida la lavanda, debido a su simplicidad y a la posibilidad de obtener rápidamente plantas uniformes y de alta calidad para el mercado (INTA, 2018).

En algunas especies, el proceso de formación de raíces ocurre con facilidad; sin embargo, en otras resulta más complejo y lento, lo que hace necesario el uso de sustancias que estimulen su desarrollo. Una manera efectiva de asegurar un buen enraizamiento durante la propagación es mediante el empleo de fitohormonas, siendo las más comunes las

auxinas, como el ácido indol-3-butírico (IBA) y el ácido 1-naftalenacético (ANA), entre otras. Estas hormonas son conocidas por su capacidad para inducir el crecimiento de raíces, favoreciendo las divisiones celulares en la radícula. Además de las auxinas, se pueden aplicar tratamientos con hormonas orgánicas, microorganismos que impulsan el crecimiento vegetal y compuestos bioactivos, los cuales han demostrado ser altamente beneficiosos en agricultura. Cabe destacar que, en la propagación asexual, es fundamental elegir plantas madre sanas, libres de plagas y enfermedades, y con condiciones adecuadas de nutrición y sanidad que garanticen una producción de alta calidad y rendimiento (Lopez *et al.*, 2019).

1.1. Antecedentes

Castillo (2023) realizó un estudio en el cultivo de lavanda en el que se obtuvieron resultados favorables al emplear enraizadores naturales como la canela, el laurel y el sauce. Estos fueron aplicados en tres tipos de sustrato: fibra de coco, cascarilla de arroz y compost. Entre ellos, el compost destacó por presentar el mayor porcentaje de prendimiento (66 %) y el desarrollo más significativo en longitud de raíz (6,39 cm). En cuanto al efecto de los enraizadores, la infusión de sauce favoreció una mayor ramificación de las raíces. Además, se identificó que la combinación más eficiente desde el punto de vista económico fue la de infusión de canela con compost, alcanzando una relación beneficio/costo de 1,40 bolivianos.

Masetto (2010) destaca que el ácido indol-3-butírico (IBA) actúa como un eficaz regulador del crecimiento vegetal, que estimula eficientemente el enraizamiento. La investigación tuvo como propósito analizar cómo distintas concentraciones de IBA influyen en la formación de raíces en esquejes de *Lavandula dentata*. Para ello, se utilizaron esquejes de aproximadamente 10 cm de longitud, conservando cerca de un tercio de sus hojas, y se sumergieron durante 30 segundos en soluciones con concentraciones de 0 (grupo control), 500, 1.000, 2.000 y 3.000 ppm de IBA diluido en agua desmineralizada. Posteriormente, fueron colocados en bandejas de poliestireno con sustrato comercial y mantenidos bajo un sistema de nebulización intermitente. Los resultados mostraron que las dosis de 2.000 y 3.000 ppm lograron incrementar tanto el porcentaje de esquejes que lograron enraizar como el número medio de raíces por esqueje. A partir de estos datos, se elaboró una regresión cuadrática que indicó que la dosis óptima estimada para el máximo desarrollo radicular fue de 2.100 ppm. Sin embargo, a partir de los 3.000 ppm, se observó

una leve disminución en la formación de raíces, lo que sugiere una posible toxicidad asociada a concentraciones elevadas de IBA.

Bona *et al.*, (2012) desarrollaron una investigación con el fin de determinar cuál es el tipo y longitud de esqueje más eficiente para la propagación vegetativa de *Lavandula dentata*. En el estudio, se utilizaron esquejes de 5, 8, 10 y 13 cm de largo, extraídos tanto de las porciones apicales como basales de los tallos de plantas madre. Estos fueron ubicados en bandejas de poliestireno rellenas con el sustrato comercial Plantmax, y mantenidos bajo un sistema de nebulización intermitente durante un periodo de dos meses. Los resultados indicaron que los esquejes apicales alcanzaron un nivel de enraizamiento superior (97,9 %) y un promedio de 13,2 raíces por unidad, en comparación con los esquejes basales, que mostraron un enraizamiento del 93,7 % y un promedio de 2,98 raíces. Con base en estos datos, se concluyó que los esquejes apicales de entre 10 y 13 cm de longitud son los más recomendables para obtener mejores resultados en la propagación por esqueje de *L. dentata*.

Caughey *et al.*, (2021) llevaron a cabo un estudio enfocado en comparar dos tipos de sustratos, suelo y pet moss para el cultivo de esquejes de lavanda. Los resultados mostraron que el enraizamiento fue significativamente más eficaz en esquejes plantados en suelo, con una tasa 4,14 veces superior respecto a los que se cultivaron en pet moss. Además, los esquejes cultivados en suelo presentaron un incremento en altura de 1,06 veces y un mayor diámetro de cobertura de 1,08 cm en comparación con los cultivados en pet moss. El estudio también reveló que la longitud de las raíces está directamente relacionada con el tamaño inicial del esqueje, y que el desarrollo de la raíz principal fue influenciado por el número de raíces secundarias generadas. Los esquejes empleados en esta investigación tenían una longitud aproximada de entre 10 y 12 cm.

Escalante *et al.*, (2024) investigaron los impactos de distintos reguladores de crecimiento, tanto hormonales como naturales, en la propagación de esquejes de lavanda. En el estudio se evaluaron tres tratamientos: Hormonagro (a base de ácido naftalenacético – ANA), Stimplex (derivado de extractos de algas) y mucílago de sábila. Los resultados mostraron que el mucílago de sábila fue el más eficaz en la promoción del desarrollo de raíces y brotes, lo que indica que este insumo orgánico puede representar una alternativa prometedora para mejorar la reproducción de lavanda mediante esquejes.

1.2. Planteamiento del problema

La propagación vegetativa de la lavanda (*Lavandula dentata* L.) mediante esquejes presenta limitaciones en cuanto a su eficacia, principalmente por factores como la variabilidad genética de las plantas madre, el tipo de material vegetal seleccionado, las condiciones del sustrato para el enraizamiento, el ambiente de multiplicación y el uso de reguladores de crecimiento. Aunque existen múltiples fitohormonas disponibles, tanto químicas como orgánicas, el conocimiento sobre su efectividad específica en la inducción de raíces adventicias y el establecimiento exitoso de nuevas plantas es escaso. Esta carencia de información técnica y científica dificulta la toma de decisiones óptimas sobre qué fitohormonas emplear, en qué dosis y bajo qué condiciones. Así, se plantea la necesidad de investigar y definir estrategias que permitan seleccionar, dosificar y aplicar adecuadamente estas sustancias para mejorar la tasa de prendimiento, acelerar el enraizamiento y garantizar el desarrollo vigoroso de nuevas plantas en un tiempo corto, especialmente en un entorno controlado como un invernadero tecnificado en el municipio de Achocalla.

1.3. Justificación

La lavanda es una especie aromática de alto valor económico y ecológico, utilizada en cosmética, medicina natural y jardinería. Sin embargo, su reproducción vegetativa enfrenta limitaciones técnicas, lo que reduce su potencial de cultivo a escala comercial. La falta de estudios específicos sobre el efecto de fitohormonas en el prendimiento y desarrollo de esquejes de *Lavandula dentata* limita la adopción de tecnologías que optimicen su producción. Este estudio pretende generar conocimientos aplicables que contribuyan a mejorar las técnicas de propagación en condiciones controladas, fortaleciendo la agricultura local en Achocalla y promoviendo cultivos con valor agregado y sostenibilidad ambiental.

La investigación titulada “Propagación vegetativa de lavanda (*Lavandula dentata* L.) en base a fitohormonas químicos y orgánicos, bajo invernadero tecnificado en el municipio de Achocalla” se enfoca en evaluar el uso de fitohormonas como estrategia para mejorar el enraizamiento por esquejes, conservando las características genéticas de la planta madre. Dado que la eficacia de productos enraizantes sobre esta especie aún no ha sido suficientemente analizada, el estudio busca optimizar métodos de propagación en condiciones controladas, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y eficientes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la propagación vegetativa de lavanda (*Lavandula dentata* L.) en base a fitohormonas químicas y orgánicas, bajo invernadero tecnificado en el municipio de Achocalla.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto de los enraizadores químicos y orgánicos en el desarrollo radicular de los esquejes de lavanda.
- Evaluar el efecto de los diferentes tamaños de esquejes, en respuesta a los dos tipos de enraizadores.
- Comparar los costos parciales de los diferentes tratamientos en estudio.

1.5. Hipótesis

Ho: La aplicación de fitohormonas no influirá en el prendimiento, enraizamiento y sobrevivencia de esquejes de lavanda

Ha: La aplicación de fitohormonas influirá en el prendimiento, enraizamiento y sobrevivencia de esquejes de lavanda

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen de la lavanda

La lavanda *dentata*, también conocida como lavanda francesa, tiene su origen en diversas regiones del Mediterráneo, incluyendo países como Francia, España e Inglaterra, así como áreas cálidas del norte de África, Eritrea, Etiopía, Yemen y la península Arábiga. Gracias a su fragancia atractiva, esta planta ha sido incorporada en distintos lugares alrededor del mundo (Westlake, 2020).

2.2. Características del cultivo de lavanda

La *Lavandula dentata* puede crecer hasta alcanzar aproximadamente un metro de altura, tiene una notable resistencia a la sequía, lo que le permite desarrollarse en suelos salinos y pedregosos, siempre que cuente con alta exposición lumínica. La lavanda necesita entre 6 y 8 horas diarias de luz solar directa para mantenerse saludable, prefiere climas cálidos y moderadamente secos, con inviernos suaves y veranos soleados, las temperaturas óptimas para su desarrollo oscilan entre los 15 °C y 25 °C, aunque es capaz de tolerar heladas de hasta -7 °C. Las hojas son opuestas y lanceoladas, con bordes dentados, lobulados o hendidos, y dientes romos o redondeados, a veces algo curvados en el apice, presentan una tonalidad verde intensa en el haz y un color más blanquecino en el envés, con una textura más o menos pilosa, las dimensiones de las hojas pueden variar entre de 2 y 5 cm de longitud, sus hojas son de borde crenado – dentado y es una característica distintiva que la diferencia de otras especies de lavanda. Las inflorescencias miden entre 2,1 y 6,5 cm, pudiendo alcanzar hasta 8 cm y están compuestas por 3 a 6 verticilastros, cada uno con 8 a 12 flores. Las flores tienen un tono violeta azulado y crecen agrupadas en espigas largas, su detalle floral cuenta con un pedicelo de 1 – 2 mm, cáliz: 5,5 – 7 mm, corola de 7 mm de color púrpura y lóbulos superiores de 2 mm, muy pilosos en la parte externa. Los tallos presentan entrenudos visibles, y están recubiertos por una textura tomentosa o lanuda, la superficie del tallo está cubierta por pelos dentados y estrellados, contribuyendo a su apariencia vellosa. Su floración es prolongada y muy aromática, ocurriendo desde finales de primavera hasta el otoño (Hernández, 2017).

Las plantas de lavanda tienen la capacidad de desarrollarse en una amplia variedad de suelos, tolerando niveles de pH que oscilan entre 5,5 y 8. No obstante, para lograr una producción óptima, se recomienda cultivarlas en terrenos ligeros y arenosos, con un buen

sistema de drenaje y un pH ideal que esté entre 6,7 y 7,3, ya que el exceso de humedad en el suelo puede dificultar su desarrollo y favorecer la aparición de enfermedades radiculares como la pudrición (Rosser, 2021).

En cuanto a la siembra, tanto las plántulas como los esquejes enraizados pueden establecerse durante el otoño, preferentemente en los meses de septiembre y octubre. Se sugiere realizar el cultivo con una separación de 100 cm entre hileras y entre 50 y 75 cm entre plantas dentro de cada hilera, lo que permite alcanzar una densidad de plantación de entre 13.000 y 20.000 plantas por hectárea. Esta densidad puede ajustarse según la calidad del suelo: en suelos menos fértiles se recomienda plantar más densamente, mientras que en suelos ricos se puede optar por un espaciado mayor. El diseño del cultivo debe considerar factores como la humedad del terreno, la especie de lavanda utilizada, el tamaño disponible y la posibilidad de implementar sistemas mecanizados de cultivo y cosecha. La lavanda es una especie perenne que puede mantenerse en el mismo terreno durante un período de 8 a 15 años, llegando incluso a durar entre 20 y 30 años si se realiza una poda adecuada y periódica que preserve su vigor (Muntean, 2017).

2.2.1. Importancia del cultivo de lavanda

La lavanda es reconocida como una de las especies más valiosas dentro del grupo de plantas medicinales, aromáticas y culinarias, gracias a su relevancia comercial y su aprovechamiento industrial. Su cultivo se realiza principalmente por las cualidades que aportan sus aceites esenciales, los cuales se obtienen mediante procesos como la destilación, o bien al emplearse como planta ornamental para perfumar espacios. El cultivo de lavanda representa una alternativa atractiva para sistemas agrícolas de secano, particularmente en áreas con baja productividad. Además, presenta una notable tolerancia frente a plagas y enfermedades en comparación con otras especies ornamentales (Agexport, 2019).

2.2.2. Propiedades del cultivo de lavanda

El aroma de la lavanda ha sido reconocido a lo largo de la historia por sus efectos relajantes, cicatrizantes y antisépticos. Su aceite esencial se emplea para disminuir el estrés, calmar la ansiedad y favorecer el descanso, especialmente en casos de insomnio. Además, contribuye a disminuir procesos inflamatorios y facilita la recuperación de heridas leves o quemaduras (Vásquez, 2019). Este aceite contiene aproximadamente 300

compuestos distintos, entre los que destacan el linalol, el terpinen-4-ol, el acetato de linalilo, el ocimeno, el acetato de lavandulol y el cineol. Gracias a sus capacidades antibacterianas y antioxidantes, la lavanda resulta eficaz en el tratamiento de afecciones cutáneas como el acné, la psoriasis y el eczema, entre otras (Khan *et al.*, 2024).

2.2.3. Producción y rendimiento del cultivo de lavanda

En Bolivia, la producción de lavanda se concentra principalmente en los departamentos de Cochabamba y Tarija, donde el aceite esencial se obtiene mediante métodos artesanales. El rendimiento de esta extracción varía entre el 1% y el 2% del peso total de la planta, lo que implica que se requieren entre 50 y 100 kilogramos de flores para obtener un litro de aceite esencial. Es importante mencionar que la producción de aceite esencial de lavanda en Bolivia se encuentra en una etapa de desarrollo, con énfasis en la investigación y mejora de métodos de producción. En cuanto al valor de mercado, la cotización internacional para Bolivia indica que el precio mayorista de la lavanda oscila entre 6,72 y 26,88 dólares por kilogramo, lo que equivale a aproximadamente entre 7,65 y 30,60 dólares por litro. A nivel minorista, los precios son más elevados, con rangos que van de 9,60 a 38,40 dólares por kilogramo, lo que representa entre 10,90 y 43,60 dólares por litro. En tiendas especializadas de Santa Cruz, se comercializan presentaciones pequeñas de 10 ml con precios que van desde Bs 44 hasta Bs 99, mientras que envases de 100 ml pueden alcanzar hasta Bs 242, equivalente a unos 35 dólares por litro (EMR, 2023).

La producción de flores frescas de lavanda por hectárea puede variar considerablemente, pero en términos generales se estima un rendimiento de entre 2.000 y 5.000 kilogramos. A partir de esta cantidad, es posible extraer entre 12 y 35 kilogramos de aceite esencial. Estos valores están condicionados por diversos factores como el tipo de cultivo utilizado, las condiciones climáticas de la región, la densidad de siembra y las prácticas agronómicas aplicadas. El rendimiento promedio de aceite esencial, calculado sobre el peso de los tallos florales secos, se aproxima al 1,5%. Con base en esta proporción, se espera que una hectárea bien gestionada, con plantas saludables y maduras cultivadas por agricultores experimentados, genere en promedio unos 14 kg de aceite esencial anualmente. Para obtener un solo kilogramo de este aceite, se requiere aproximadamente 66,67 kg de materia seca. La producción evoluciona gradualmente: durante el primer año suele alcanzar apenas 3,78 kg por hectárea; en el segundo, aumenta a unos 14,99 kg; en

el tercer año llega a 17,69 kg; y en el cuarto, puede alcanzar 20,99 kg. Es normal que en los primeros años el rendimiento sea limitado, en comparación con lo que se obtiene posteriormente. Por ello, es fundamental ajustar cuidadosamente las técnicas de cultivo para lograr resultados sostenibles y rentables (Agexport, 2019; Giannoulis *et al.*, 2020).

Hasta el año 2018, el mercado mundial de aceites esenciales obtenidos de plantas de lavanda registró un crecimiento notable, logrando un valor anual de aproximadamente 7.500 millones de dólares. Dentro de esta industria en expansión, el aceite esencial de lavanda se destaca por su alto valor económico y por presentar una fuerte demanda a nivel internacional. Su producción ronda las 1.500 toneladas anuales (Wells, 2018). Entre los principales países productores de este aceite se encuentran Francia, Bulgaria, Reino Unido, Australia, Rusia, Ucrania, Moldavia, Rumania, Hungría, Polonia, Italia, España, Turquía, Marruecos, Estados Unidos, Sudáfrica y China. En cuanto a su valor en el mercado internacional, el precio del litro de aceite esencial de lavanda puede oscilar entre 20 y 80 dólares, dependiendo de la calidad y el método de extracción. No obstante, los productos con estándares superiores o certificación orgánica pueden alcanzar precios que superan los 100 dólares por litro. Esta variabilidad en los precios demuestra la gran competitividad del sector y abre oportunidades comerciales tanto para grandes exportadores como para productores emergentes (Adamuchio, 2017).

2.2.4. Taxonomía

De acuerdo con BDBC (2025), la clasificación taxonómica de la lavanda es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Spermatophyta

Subdivisión: Magnoliophytina

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Género: *Lavandula*

Especie: *Lavandula dentata* L.

Nombre común: Lavanda

2.3. Enraizadores

Según Guamán (2019) y Campos (2020), citados por Quiroz (2021), menciona que los enraizantes son sustancias empleadas para facilitar el crecimiento de nuevas plantas. Su función principal es estimular el desarrollo de raíces en esquejes, además de protegerlos contra hongos y enfermedades que podrían aparecer tras el proceso de corte. El propósito de estos productos es promover tanto el surgimiento de raíces principales como el incremento de raíces secundarias en las partes vegetales que se buscan propagar. Estos productos, aplicados en la base del esqueje, favorecen la formación de raíces nuevas, tanto en cantidad como en calidad, lo que a su vez mejora la absorción de agua y nutrientes.

No todas las especies vegetales generan raíces por sí solas, por lo que en algunos casos es necesario el uso de enraizadores hormonales que inducen su formación. En este sentido, las auxinas, que son hormonas encargadas de regular el crecimiento de las plantas, desempeñan un papel fundamental. En pequeñas cantidades, estas sustancias intervienen en diversos procesos fisiológicos y favorecen el enraizamiento de los esquejes. Entre ellas se encuentran las de origen natural como el ácido indolacético (AIA), así como las sintéticas, como el ácido indolbutírico (IBA) y el ácido naftalenacético (ANA), todas las cuales impulsan la creación y desarrollo de raíces cuando se aplican en la base de las estacas (Arrieta *et al.*, 2017).

2.3.1. Enraizadores orgánicos

2.3.1.1. Algas marinas (Tp-36)

TP-36 es un fertilizante líquido formulado específicamente para potenciar el crecimiento de las raíces y el desarrollo integral de las plantas, gracias a su rica composición de algas marinas, fósforo y ácido giberélico. Estos ingredientes, junto con otros elementos secundarios cuidadosamente seleccionados, favorecen el fortalecimiento radicular y estimulan procesos fisiológicos clave. Este producto está diseñado para su uso en cultivos frutales, forestales, ornamentales y hortalizas. Además de proporcionar nutrientes esenciales directamente a las raíces, TP-36 mejora notablemente la capacidad de las plantas para absorber y aprovechar eficazmente los elementos nutritivos disponibles, optimizando así su desempeño general en condiciones variables de cultivo (TodoAgro, 2025).

2.3.1.1.1. Compuestos del Tp-36

– **Algas marinas**

Los extractos de algas marinas representan una alternativa accesible como fuentes naturales de reguladores del crecimiento vegetal. Estos extractos pueden utilizarse para estimular el desarrollo de raíces en esquejes, funcionando como bioestimulantes en prácticas agrícolas. Se considera que los compuestos reguladores presentes de forma natural en los extractos y concentrados de algas marinas favorecen el crecimiento de las plantas y mejoran su productividad. Diversas fitohormonas y reguladores contenidos en estos extractos pueden incrementar el rendimiento y mejorar las propiedades de los cultivos cuando se aplican externamente. Los fertilizantes líquidos elaborados a partir de algas marinas son eficaces para aumentar la producción agrícola, ya que incluyen hormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, etileno, betaína y poliaminas, así como oligoelementos, vitaminas, aminoácidos, antibióticos y micronutrientes. Además, contribuyen a una mejor absorción de nutrientes y fortalecen la resistencia de las plantas frente al estrés (Panda, 2021).

– **Fósforo (P)**

El fósforo (P) desempeña un papel fundamental en los procesos vitales de las plantas, ya que es parte esencial de fosfolípidos, vitaminas, ácidos nucleicos y coenzimas como NAD y NADP. Además, forma parte del ATP, el compuesto responsable del almacenamiento de energía en los vegetales. Por esta razón, se le considera un nutriente clave en el desarrollo vegetal. Este elemento es especialmente necesario durante las fases iniciales de crecimiento, en aquellas zonas donde se da una intensa actividad celular. En estos casos, el fósforo se moviliza desde áreas de reserva hacia nuevos puntos de desarrollo, favoreciendo la formación de raíces y facilitando una mejor absorción de los nutrientes esenciales. Su aplicación en esquejes resulta ventajosa, ya que contribuye al crecimiento sano y vigoroso de las plantas, sobre todo en sus primeras etapas de vida (Tamayo, 2015).

– **Ácido giberélico (Ga3)**

El ácido giberélico (Ga3) es una fitohormona de gran importancia en el ámbito de la propagación vegetal, ya que posee la capacidad de estimular el

alargamiento de los entrenudos y favorecer la formación tanto de brotes como de raíces en los esquejes. Esta acción fisiológica permite que las plantas se desarrollen con mayor rapidez, vigor y uniformidad, lo que resulta especialmente útil cuando se busca acelerar la producción en ciclos agrícolas controlados. Su aplicación adecuada puede ser una herramienta valiosa para optimizar el rendimiento de los esquejes, aumentar la tasa de prendimiento y mejorar la eficiencia en sistemas de producción intensiva. No obstante, el uso del ácido giberélico debe administrarse con precaución, ya que una dosificación inadecuada podría provocar efectos contraproducentes, como un crecimiento desordenado o debilidad estructural en los tejidos vegetales. Por ello, es esencial seguir las recomendaciones específicas basadas en el tipo de cultivo, la etapa de desarrollo de la planta madre y las condiciones ambientales particulares en las que se realiza el enraizamiento (Sharia *et al.*, 2015).

2.3.1.2. Fosforo (Full raíz)

Se trata de un fertilizante de alta solubilidad en agua, integrado por fósforo (proveniente de compost), tiamina, macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes entre los que destacan azufre, magnesio, hierro, cobre, zinc, boro y molibdeno. También contiene fitohormonas y aditivos inertes. El fósforo, como componente principal, favorece la absorción de los enraizantes y su distribución efectiva a través del sistema radicular de la planta, lo que lo hace especialmente apto para el cultivo de especies ornamentales (JOHN'S, 2024).

2.3.1.2.1. Compuestos del Full raíz

- **Fosforo (compost)**

El lixiviado de compost, gracias a su alto contenido de nutrientes como el fósforo, puede emplearse para favorecer el crecimiento de esquejes, ya sea aplicándolo directamente en el sustrato o sobre el follaje. Es fundamental monitorear la reacción de los esquejes tras la aplicación, a fin de ajustar la cantidad o frecuencia en el tratamiento según sea necesario (Buechel, 2020).

- **Tiamina**

Aunque la tiamina no funciona directamente como un enraizante, puede contribuir al proceso de enraizamiento de los esquejes al actuar como un

cofactor. Su acción favorece la asimilación y el aprovechamiento de otros nutrientes esenciales por parte de la planta, lo que indirectamente apoya el desarrollo radicular (Subki *et al.*, 2018).

– **Macronutrientes**

Durante el proceso de propagación por esquejes, la incorporación de macronutrientes resulta esencial para favorecer la formación de raíces y garantizar un crecimiento vigoroso de la nueva planta. Para lograr un desarrollo óptimo, es fundamental suministrar estos nutrientes en dosis equilibradas, ya que tanto la carencia como el exceso pueden afectar negativamente el enraizamiento y la evolución del esqueje (Sela, 2023).

– **Micronutrientes**

Micronutrientes como zinc, hierro, manganeso, boro y cobre cumplen funciones clave en los procesos enzimáticos y metabólicos de las plantas. Aunque se necesitan en menor cantidad en comparación con los macronutrientes, su falta puede obstaculizar el adecuado desarrollo de los esquejes. Usualmente, se aplican mediante aspersiones foliares o mediante la inmersión en soluciones que incluyen micronutrientes quelatados, lo cual mejora su absorción. Algunos productos enraizantes disponibles en el mercado ya incorporan estos nutrientes para estimular el crecimiento de las raíces. Es fundamental controlar la dosis administrada, ya que una cantidad excesiva podría provocar efectos adversos en las plantas (Sela, 2023).

– **Fitohormonas**

Las fitohormonas, también conocidas como reguladores del crecimiento vegetal, son sustancias que al ser aplicadas en esquejes favorecen el proceso de enraizamiento y potencian el desarrollo general de las plantas (Díaz, 2017).

– **Coadyuvantes**

Durante la propagación vegetativa mediante esquejes, los coadyuvantes desempeñan un papel importante al facilitar la absorción y potenciar la efectividad de hormonas enraizantes y otros tratamientos complementarios aplicados. Su uso contribuye significativamente al fortalecimiento del enraizamiento y al crecimiento adecuado de los esquejes. Estos compuestos suelen emplearse junto con sustancias como las auxinas, conocidas por estimular la formación de raíces, con el fin de mejorar su asimilación y acción en la planta (INTAGRI, 2017).

2.3.2. Enraizadores sintéticos

2.3.2.1. Stim-Root (IBA)

Stim-Root es una hormona enraizante ideal para las plantas leñosas, madera, flores, árboles frutales, ornamentales. El éxito de su compuesto que es el del ácido indol-3-butírico (IBA), en una concentración del 0,8%, es una hormona efectiva. Su éxito radica en su capacidad para acelerar el enraizamiento de esquejes y gajos. Aunque este compuesto no genera raíces por sí mismo, mejora notablemente la habilidad natural de la planta para desarrollarlas, al proporcionarle las hormonas vegetales necesarias para estimular dicho proceso (PlantProd, 2023)

2.3.2.1.1. Compuestos del Stim-Root

- **Ácido indol-3-butírico**

El ácido indol-3-butírico (IBA), una auxina sintética perteneciente al grupo de las fitohormonas reguladoras del crecimiento vegetal, es ampliamente utilizado en el enraizamiento de esquejes en especies ornamentales y forestales. Su acción principal consiste en promover la formación rápida y abundante de raíces adventicias, lo que mejora la capacidad de propagación vegetativa en condiciones controladas o de campo. Además de su efecto rizogénico, él IBA también se emplea en distintos cultivos para estimular tanto la floración como el desarrollo de los frutos, lo que contribuye a elevar el rendimiento productivo. promover la formación rápida y abundante de raíces adventicias, lo que mejora la capacidad de propagación vegetativa en condiciones controladas o de campo Los esquejes tratados con concentraciones adecuadas de IBA muestran una mayor tasa de éxito en la emisión de raíces, lo que les permite establecerse como plantas independientes, con mayor vigor y capacidad de adaptación al medio (ClinisCiencias, 2016).

2.3.2.2. Radp-Ormon (ANA)

RadipOrmon está formulado con ácido 1-naftalenacético, un compuesto sintético similar a las auxinas, que favorece el transporte descendente de las hormonas dentro de la planta. Este proceso estimula la acumulación de auxina en la base de los esquejes, lo que contribuye a la generación de las primeras raíces. Gracias a esta acción, el producto es

especialmente recomendado para esquejes de tipo herbáceo, leñoso, arbustivo y también para aquellos provenientes de vides (Kollant, 2025).

2.3.2.2.1. Compuestos del Radp-Ormon

- **Ácido 1-naftalenacético**

El ácido naftalenacético (ANA), considerado una auxina sintética, replica la función de las auxinas naturales presentes en las plantas. Al aplicarse sobre los esquejes, este compuesto promueve la división de células y su alargamiento en la zona basal, lo que favorece el desarrollo de raíces (Yan *et al.*, 2018).

2.4. Esqueje

Un esqueje es una porción de una planta, generalmente obtenida como un corte del tallo de una planta adulta y sana, con el propósito de reproducirla o injertarla en otra para permitir su desarrollo (FGN, 2020). Este método de propagación aprovecha la capacidad de ciertos vegetales para regenerarse a partir de un fragmento de tejido, dando origen a una nueva planta completa, con raíces y yemas propias. Este tipo de reproducción, conocida como asexual, también ocurre de manera natural. Los esquejes pueden derivarse del tallo, la hoja o la raíz, y cuando se colocan en un entorno adecuado, pueden transformarse en individuos idénticos a la planta madre. Durante este proceso regenerativo, las raíces que surgen de un trozo de tallo, hoja o yema se llaman raíces adventicias o inducidas. Para que esto ocurra, un conjunto de células en crecimiento (meristemos), usualmente cercanas al tejido vascular encargado de transportar la savia, se transforma en células radicales que darán lugar a las yemas radicales y, posteriormente, a las raíces adventicias. Esta técnica es ampliamente utilizada en la producción de plantas ornamentales; por ejemplo, los esquejes de *Lavandula dentata* con hojas enraízan con rapidez y en gran cantidad (Osuna *et al.*, 2016; Benedetto, 2024).

La lavanda se reproduce con mayor eficacia mediante esquejes de madera blanda extraídos de plantas maduras, con al menos un año de edad. Este método permite obtener resultados óptimos en poco tiempo, garantizando estabilidad genética. Puede aplicarse en una amplia variedad de cultivos vegetales, y su efectividad se incrementa al emplear sustancias que favorecen el enraizamiento (López, 2019; Agexport, 2019). Por su parte, Chi (2021) explica que los esquejes se clasifican según su edad, grosor y nivel de lignificación. Los brotes ideales para la propagación proceden de meristemos juveniles,

que son delgados y no lignificados. Cuando se aplican enraizadores adecuados, se puede estimular el crecimiento en múltiples tipos de plantas. Los esquejes tienen la ventaja de ser fáciles, económicos y rápidos, y simplemente implican colocar el fragmento de tallo en un medio con reguladores de crecimiento para estimular el enraizamiento y luego dejarlo en un medio húmedo (probablemente tierra) para enraizar y propagar toda la planta.

2.4.1. Tamaño de esqueje

En el proceso de propagación por esquejes semileñosos de lavanda, se recomienda emplear tallos de madurez intermedia, es decir, aquellos que no sean excesivamente tiernos ni totalmente leñosos. La longitud ideal del esqueje debe ubicarse entre los 10 y 15 cm, ya que este rango asegura una adecuada relación entre masa vegetal y capacidad de retener humedad y nutrientes, lo cual favorece el desarrollo de raíces. Sin embargo, en ciertas especies o variedades particulares podría ser necesario ajustar la longitud, empleando esquejes más largos o más cortos según sus características específicas. Se debe elegir ramas con crecimiento vertical, debido a que poseen una mayor capacidad para movilizar nutrientes hacia la base del tallo. Estas ramas deben tener entre 8 y 10 nudos, considerando que los nudos son puntos clave para la formación de raíces. Es necesario eliminar las hojas inferiores para facilitar la colocación del esqueje en el medio de enraizamiento, y asegurarse de que el segmento vegetal conserve al menos 3 o 4 nudos con hojas activas. Estas hojas contribuirán con la fotosíntesis, lo que permite a la planta generar los recursos esenciales para sostener y estimular el crecimiento inicial (Cauguey *et al.*, 2021). En la propagación asexual, el tamaño del esqueje puede influir significativamente en su capacidad para enraizar y desarrollarse de manera eficiente. Los esquejes más largos suelen tener mayores reservas de nutrientes y un número superior de nudos, lo que favorece la formación de raíces, aunque también pueden ser más susceptibles a la deshidratación, al estrés fisiológico y a enfermedades fúngicas. Por otro lado, los esquejes más cortos son más fáciles de manejar y menos propensos a problemas fitosanitarios, pero pueden disponer de menos energía acumulada para iniciar el crecimiento. La longitud ideal del esqueje depende de la especie vegetal y de las condiciones específicas de cultivo, aunque generalmente se recomienda un rango de 5 a 30 cm con al menos dos nudos activos. El tamaño del esqueje es, por tanto, un factor importante en la propagación asexual, y se deben considerar no solo la longitud, el grosor y el número de nudos, sino también las características fisiológicas del material vegetal, así

como las necesidades particulares de la especie y las condiciones ambientales del entorno para lograr los mejores resultados en el proceso de multiplicación (Chi, 2021).

2.4.2. Obtención de esqueje

La primavera y el otoño son las estaciones más apropiadas para recolectar brotes, ya que las temperaturas moderadas y la humedad ambiental favorecen la formación de raíces antes de que las plantas sufran deshidratación. Estas condiciones climáticas también coinciden con una mayor actividad vegetal, lo que facilita la generación de brotes y raíces. Es recomendable realizar la obtención de brotes durante las primeras horas de la mañana o al final de la tarde (antes de las 10 a.m. o después de las 4 p.m.), evitando así las horas de mayor radiación solar, que pueden aumentar la pérdida de agua (FGN, 2020).

2.4.3. Factores que influyen en la formación de plantas a partir de esquejes

Según lo planteado por Benedetto (2024), la formación de esquejes está influenciada tanto por elementos internos del organismo vegetal (endógenos) como por condiciones externas del entorno (exógenos):

a) Factores Endógenos:

- **Genética de la especie:** Las características hereditarias de la variedad vegetal determinan su capacidad para desarrollar raíces según la técnica empleada.
- **Estado fisiológico de la planta madre:** Los esquejes obtenidos de plantas jóvenes tienen mayor facilidad para enraizar en comparación con aquellos de plantas más envejecidas. Es esencial evitar que las plantas madre estén sometidas a estrés hídrico, térmico, lumínico o nutricional.
- **Tipo de material recolectado:** El tipo de material vegetal recolectado influye directamente en el éxito del enraizamiento. Se recomienda utilizar ramas en estado vegetativo en lugar de aquellas que se encuentran en fase de floración, ya que presentan un balance hormonal y nutricional más propicio para la formación de raíces. En numerosas especies, la sección media del tallo suele ofrecer mejores resultados que las zonas basales o apicales, debido a su adecuada proporción entre carbono y nitrógeno, así como al estado fisiológico de las yemas. Sin embargo, en determinadas especies, todas las secciones del tallo pueden ser igualmente efectivas para la propagación.

- **Momento de recolección:** La lignificación del material varía durante el año, especialmente en especies leñosas. Para plantas con dificultades de enraizamiento, lo ideal es recolectar estacas durante la primavera o el verano.
- **Estado sanitario del esqueje:** Es fundamental que el material esté sano para garantizar una propagación vegetativa exitosa.

b) Factores Exógenos:

- **Temperatura:** La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento de estacas sin hojas está entre 5 y 10 °C, mientras que para estacas con hojas oscila entre 21 y 26 °C durante el día. Por la noche, se recomienda mantenerla entre 15 y 21 °C.
- **Humedad relativa:** Es esencial evitar la pérdida de agua en los esquejes, ya que la ausencia de raíces impide una absorción efectiva, lo que puede provocar deshidratación por exceso de transpiración. Para conservar la turgencia de las células formadoras de raíces, se pueden usar coberturas plásticas (con o sin ventilación), microaspersores o sistemas de niebla.
- **Luz:** En esquejes con hojas, la luz es importante porque permite que las hojas continúen realizando la fotosíntesis, lo cual contribuye al desarrollo del esqueje.

2.4.4. Características del entorno para la propagación por esqueje

La propagación por estacas consiste en cortar un segmento del tallo de una planta, colocarlo en un ambiente propicio y estimular la formación de raíces para generar una nueva planta. El lugar destinado para el enraizamiento debe mantenerse fresco y con sombra. La temperatura ideal para este proceso se sitúa entre los 20 y 25 °C. Si la temperatura supera los 30 °C, es indispensable que la humedad relativa en el aire sea muy elevada (superior al 90%), ya que una baja humedad en condiciones tan cálidas podría provocar un exceso de transpiración en la planta, llevando al marchitamiento (Arrieta *et al.*, 2017).

2.5. Métodos de propagación

La reproducción de plantas aromáticas y medicinales puede llevarse a cabo mediante dos métodos principales: la propagación sexual y la asexual. La vía sexual utiliza semillas para generar nuevas plantas, mientras que la asexual se basa en partes vegetativas como

esquejes, acodos, división de matas o hijuelos (Cullen, 2017; Vega, 2024). La distinción esencial entre ambas técnicas radica en el resultado genético: la reproducción asexual permite obtener individuos con características genéticas idénticas a la planta madre, mientras que la sexual genera diversidad genética. Por esta razón, al utilizar semillas, es crucial seleccionar plantas vigorosas que presenten buen porte y gran cantidad de flores.

No obstante, la multiplicación por semilla se emplea con menor frecuencia, ya que no garantiza plantas idénticas en términos de desarrollo y rendimiento. Por lo tanto, la elección del método de propagación depende en gran medida del tipo de especie y los objetivos productivos definidos (Agexport, 2019; Jiménez *et al.*, 2023).

En el caso de la lavanda, se puede propagar tanto por semilla como mediante técnicas asexuales. Sin embargo, las plántulas derivadas de semillas presentan una germinación lenta y pueden manifestar diferencias genéticas que afectan su ritmo de crecimiento y la composición de su aceite esencial (Brandstetter *et al.*, 2020).

2.5.1. Propagación sexual

La reproducción sexual es una de las técnicas más empleadas para propagar plantas cultivadas, ya que permite conservar la diversidad genética y el progreso evolutivo de las especies (Arrieta *et al.*, 2017).

Este método se realiza a través de semillas que se generan por la fecundación de un óvulo con un grano de polen, y resulta especialmente útil para producir híbridos mediante el cruce entre diferentes variedades o especies. Para lograr una germinación exitosa, se recomienda colocar las semillas en bandejas o camas pequeñas, dentro de espacios con condiciones controladas, utilizando malla raschel que proporcione un 80% de sombra y un sustrato compuesto por materiales apropiados para la propagación (Vega, 2024).

2.5.1.1. Semilla

La semilla es el medio por el cual las plantas se reproducen y dispersan, y su éxito en establecer una nueva planta depende en gran parte de sus propiedades fisiológicas y bioquímicas. Aunque el potencial de la semilla es crucial, factores externos como el tipo de suelo, el clima, la competencia con otras especies o la acción de depredadores pueden dificultar su establecimiento. La capacidad de una semilla para responder a su entorno, junto con las reservas internas que posee (como carbohidratos, lípidos y proteínas), es

esencial hasta que la plántula logra desarrollarse de forma autónoma utilizando luz solar. Además, la variabilidad genética de las semillas permite que las plantas se adapten a una gran diversidad de ambientes sobre la superficie terrestre. El ciclo de vida de una semilla comienza con la fecundación y su desarrollo en la planta madre, y culmina en el proceso de germinación. Esta última se inicia con la absorción de agua (imbibición) y termina con la extensión del eje embrionario —generalmente la radícula— a través de la cubierta de la semilla. Durante este proceso, ocurren múltiples eventos: hidratación de moléculas, cambios en la estructura celular, respiración, síntesis de macromoléculas y expansión de las células. La germinación se divide en tres etapas principales: a) absorción de agua (imbibición), b) activación del metabolismo, c) crecimiento embrionario. Los principales factores requeridos para la germinación son: agua, temperatura, humedad y oxígeno; la luz también es un factor que puede intervenir en el proceso. Los principales factores internos que determinan el que una semilla germine son la viabilidad y la longevidad (el tiempo que la semilla puede permanecer viable). La genética de la planta de origen también afecta directamente la duración de la vida útil de la semilla (Osuna *et al.*, 2017).

Las semillas de *Lavandula dentata* presentan una latencia compleja, lo que limita su uso en procesos de multiplicación. La reproducción de esta especie mediante semillas se realiza con poca frecuencia, dado que resulta técnicamente inviable obtener plantas con un desarrollo y rendimiento idénticos a los de la planta madre. Este método se considera poco confiable, en parte por su bajo porcentaje de prendimiento y porque las plántulas resultantes tienden a crecer más lentamente que aquellas obtenidas mediante propagación asexual, como los esquejes o los acodos. Para lograr una germinación adecuada, las semillas requieren condiciones ambientales precisas, incluyendo luz, humedad y temperatura específicas. Aunque es posible obtener nuevas plantas por esta vía, las que emergen suelen presentar variaciones genéticas, consecuencia de la polinización cruzada (Agexport, 2019).

2.5.2. Propagación asexual o vegetativa

En la naturaleza, algunas plantas pueden reproducirse de forma asexual. Casi siempre la nueva planta es genéticamente idéntica al progenitor (un clon), aunque ocasionalmente se pueden dar mutaciones menores. Este tipo de reproducción se enfoca en obtener copias idénticas de la planta original aprovechando su capacidad natural para regenerarse a partir de tejidos vegetales como raíces, tallos, hojas, brotes o semillas apomícticas. De

este modo, se preservan características específicas—ya sean morfológicas como el tipo de hojas o flores, o adaptativas a condiciones particulares de suelo y clima. Esta técnica permite la propagación en un espacio pequeño, con la ventaja de adquirir suficiente material a partir de una sola planta, se realiza en un ambiente que ofrezca las condiciones favorables para la formación de raíces adventicias en una cama almaciguera, macetas o en bolsas de polietileno. Es recomendable aplicar un enraizador que estimule la formación de callos y raíces mediante un tratamiento de inmersión en la base de los esquejes (UNLP, 2024 y Vega, 2024). La lavanda puede multiplicarse por diversas técnicas como esquejes, división, acodo o cultivo de tejidos. De todas, el método más común es el uso de esquejes, empleado tanto en viveros como en cultivos a gran escala. Esta técnica permite obtener plantas clónicas que cumplen con los estándares necesarios para su cultivo, y son utilizadas como fuente biológica para la producción de aceites esenciales (Giannoulis *et al.*, 2020). Para lograr una reproducción asexual exitosa en lavanda, es esencial contar con condiciones óptimas de luz, nutrientes y reguladores de crecimiento (Brandstetter *et al.*, 2020). La reproducción asexual es un proceso que se produce de forma natural en las plantas como es el caso de los rizomas, tubérculos, bulbos, estolones y cormos, así como en la reproducción asexual artificial que, a diferencia de la anterior, sólo es posible con manejo agronómico. Dentro de las técnicas de propagación vegetativa artificial encontramos el esqueje, el acodo y el injerto. Estas técnicas se basan en separar o no un fragmento de la planta que queremos multiplicar, que a partir de ese fragmento se desarrolle un individuo nuevo e idéntico, esto debido a que cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar una planta nueva, esta característica se conoce como totipotencia celular. Pueden así multiplicar un buen número de plantas a partir de un simple ejemplar y mantener en los vástagos características del original, estos procesos se suelen acompañar con la utilización de hormonas vegetales que serán de gran ayuda en procesos de diferenciación tales como el enraizamiento. Cabe recalcar que el injerto se utiliza para unir más de una variedad en un mismo patrón, obteniendo así un único ejemplar que produce frutos o flores de varias características diferentes. La reproducción asexual artificial se caracteriza por la ausencia de la fusión de gametos, y la misma permite a un organismo producir descendientes rápidamente, en poco tiempo y bajo costo. (Osuna *et al.*, 2016). No olvidar que las diferentes formas de propagación vegetativa, dan plantas exactamente iguales a las progenies, con toda sus cualidades y defectos (Cullen, 2017). En el ámbito agrícola, la propagación asexual adquiere gran relevancia porque permite conservar genotipos con

cualidades excepcionales, como una elevada productividad, excelente calidad o resistencia frente a condiciones adversas provocadas por organismos patógenos o factores ambientales. Esta técnica resulta clave para garantizar que estas características deseables se mantengan y se transmitan de manera estable entre generaciones (Arrieta *et al.*, 2017).

2.5.2.1. Ventajas y desventajas en la propagación asexual

2.5.2.1.1. Ventajas

Una de las principales ventajas biológicas de la reproducción asexual radica en su rapidez y simplicidad, dado que no implica la producción de gametos ni el consumo energético vinculado a los mecanismos previos a la fecundación. Esta modalidad permite que un solo organismo sea capaz de originar numerosos descendientes de manera autónoma, sin requerir la participación de otros individuos (Reyes, 2015).

Según Benedetto (2024), la propagación asexual presenta diversas ventajas, entre ellas:

- Permite conservar clones con características específicas, asegurando uniformidad genética en las nuevas plantas.
- Facilita la multiplicación de especies que presentan dificultades para germinar a partir de semillas.
- Ayuda a reducir o evitar los largos períodos juveniles que muchas plantas atraviesan antes de alcanzar su madurez productiva.
- Posibilita la combinación de distintos clones, lo que puede mejorar ciertas características agronómicas o productivas.

2.5.2.1.2. Desventajas

La reproducción clonal da lugar a organismos que comparten la misma información genética, generando una descendencia homogénea sin diversidad genética. Al ser genéticamente idénticos al progenitor y entre sí, la selección natural no puede favorecer a individuos con características más adaptativas, ya que todos presentan el mismo nivel de adaptación. Esta uniformidad genética implica que, ante cambios ambientales adversos, los individuos clonales podrían no sobrevivir, al carecer de la variabilidad necesaria para responder evolutivamente. En consecuencia, la especie corre el riesgo de extinguirse, a

menos que exista algún ejemplar con una combinación genética que le permita adaptarse al nuevo entorno (Reyes, 2015).

No obstante, Benedetto (2024) señala que la propagación asexual también implica algunas limitaciones, tales como:

- **Propagación de enfermedades:** al utilizar material vegetal de una planta madre, cualquier patógeno presente puede transmitirse directamente a los nuevos ejemplares.
- **Falta de diversidad genética:** al generar individuos genéticamente idénticos, se reduce la capacidad adaptativa frente a cambios ambientales o nuevas amenazas biológicas.

2.5.2.2. Requerimientos de agua en la propagación asexual

Según Agexport (2019), las plantas jóvenes de lavanda, ya sean cultivadas mediante semillas o esquejes, demandan una mayor cantidad de agua en comparación con las plantas adultas, con el objetivo de establecer un sistema de raíces vigoroso y saludable. Durante los primeros dos años de crecimiento, es necesario proporcionarles riego adicional; en cambio, los ejemplares ya desarrollados pueden subsistir únicamente con el agua de lluvia, siempre que esta supere los 450 mm anuales. No obstante, esta necesidad hídrica puede variar dependiendo de factores como la composición del suelo y el nivel de humedad ambiental. Es crucial evitar el exceso de agua, ya que la lavanda es susceptible a la pudrición radicular y a enfermedades causadas por hongos en ambientes demasiado húmedos. El intervalo óptimo de humedad relativa se encuentra entre el 40 % y el 50 %. En términos generales, se calcula que la lavanda requiere entre 500 y 1.100 mm de agua al año para alcanzar un crecimiento adecuado.

2.5.2.3. Características del entorno para la propagación asexual

Un ambiente propicio para la propagación vegetativa debe garantizar la hidratación constante de los esquejes, minimizar los efectos de factores abióticos adversos, prevenir enfermedades y estimular el desarrollo acelerado del sistema radicular adventicio, el cual es esencial para sostener la transpiración de la planta. En condiciones ideales, numerosas especies herbáceas logran formar raíces en un lapso de 2 a 3 semanas. Durante este periodo, es crucial mantener una alta presión de vapor de agua para reducir

la pérdida de humedad por transpiración. Además, se recomienda que la luz solar sea moderada y difusa, lo que contribuye a evitar el alargamiento excesivo de los entrenudos. En cuanto a la temperatura, el rango óptimo para favorecer el enraizamiento se sitúa entre los 22 °C y 26 °C (Benedetto, 2024).

2.5.2.4. Técnicas de propagación vegetativa

Según lo señalado por Osuna *et al.*, (2016), existen tres métodos fundamentales dentro de las técnicas artificiales de propagación vegetativa: el esqueje, el acodo y el injerto. Estos procedimientos permiten multiplicar plantas utilizando partes de ejemplares ya maduros, sin requerir el uso de semillas. Cada técnica posee características específicas que la distinguen.

- **Esqueje:**

Es una técnica de propagación vegetativa ampliamente empleada tanto en agricultura como en jardinería, debido a su sencillez, efectividad y bajo costo. Este método consiste en cortar una porción de la planta madre, generalmente una rama, tallo, hoja o incluso una raíz. Que, cuando se coloca bajo condiciones óptimas de humedad, temperatura y luz, tiene la capacidad de desarrollar raíces propias. Con el tiempo, esta porción puede convertirse en una planta completamente independiente, conservando las características genéticas de la planta original y permitiendo su multiplicación en menor tiempo y con mejores resultados productivos.

- **Acodos:**

La principal diferencia entre el acodo y la técnica de estacado (esquejes) radica en que en el acodo la parte destinada a formar raíces permanece unida a la planta madre hasta que desarrolla su propio sistema radicular. Durante ese tiempo, la rama sigue recibiendo nutrientes a través de los vasos conductores de la planta original. Esta técnica presenta dos variantes acodo terrestre y acodo aéreo. En el acodo terrestre, se selecciona una rama de una planta herbácea, se practican pequeñas incisiones cerca de los nudos o zonas meristemáticas, la rama se dobla hasta tocar el suelo y se cubre con tierra, una vez que el área herida genera raíces, se separa de la planta madre y se trasplanta en un recipiente adecuado como una maceta. Para el acodo aéreo, se realiza un corte en forma de anillo en diversas ramas, exponiendo el tejido de la xilema y en el área anillada se aplica un

enraizador en polvo, luego, se cubre con un sustrato húmedo (tierra o bagazo de coco), a la misma vez el sustrato se sostiene con una envoltura de polietileno, permitiendo el desarrollo de raíces sin necesidad de contacto directo con el suelo.

– **Injertos:**

Parafraséame el siguiente texto: Se entiende por injerto, al traslado de una yema a la rama de una planta (patrón), donde ésta se inserta y se ata para fijarla y asegurar la concrecencia de los tejidos que deben quedar unidos al prender el injerto hecho. El propósito de un injerto es combinar el vigor (como por ejemplo la resistencia a las enfermedades y/o sequía) de una raíz (patrón), con el fruto, flor o follaje de interés ornamental y/o alimenticio de otra planta. Para lograr los injertos se debe tener en cuenta que las especies deben ser afines, por lo general no es posible injertar individuos de especies distintas, no obstante, existen excepciones como los géneros: Citrus y Rosa.

Estas técnicas no solo permiten la multiplicación eficiente de especies vegetales, sino que también ayudan a conservar las características genéticas deseadas, mejorar la resistencia a condiciones adversas y optimizar la producción agrícola (Osuna *et al.*, 2016).

2.6. Material vegetal

Para la propagación, el material a seleccionar se debe considerar las plantas madres que estén libres de enfermedades e insectos, debe estar en condiciones sanitarias y de nutrición optimizada. La planta madre de la cual procederá la progenie debe cumplir con características deseables que garanticen un alto rendimiento y calidad en la producción (López *et al.*, 2019). Para lograr una óptima multiplicación del material vegetal y favorecer el enraizamiento de los explantes se debe tener en cuenta: a) ausencia de luz en la zona donde se formarán las raíces, b) aplicación de reguladores del crecimiento (Cullen, 2017).

Las plantas donantes deben ser vigorosas, sanas y estar sujetas a un buen manejo para asegurar la producción continua y prolongada de un gran número de estacas de fácil enraizamiento. Se pueden cosechar brotes de una misma planta donante cada dos o tres meses, pero no se recomienda hacer cosechas muy frecuentes, pues se afectarían las reservas alimenticias de la planta, su sistema radicular y la fertilidad del suelo. La planta donante debe ser fertilizada con regularidad y mantener por lo menos una rama con hojas que pueda continuar fotosintetizando y que de esta manera sirva como brote alimentador para la planta donante. También debe mantenerse en la sombra, al menos por unas

semanas, lo cual favorecerá el futuro enraizamiento de las estacas, ya que en esta situación la planta no padece estrés hídrico (Mendoza, 2012). Es conveniente poseer una plantación de plantas madres como proveedora exclusiva de esquejes, se elegirán las plantas más vigorosas, con mayor número de tallos florales por planta y de flores por tallo, cuyo porte facilite la recolección de los esquejes (Luna, 2020).

La capacidad genética de las plantas progenitoras para producir raíces adventicias determinará los cuidados necesarios para que los esquejes enraícen. Además, la condición de los progenitores influye en la calidad del esqueje enraizado. El material procedente de plantas jóvenes, especialmente cuando se encuentran en plena etapa de crecimiento, tiene más probabilidades de enraizar. Es conveniente regar las plantas progenitoras unas pocas horas antes, de forma que el tejido esté turgente, en especial si se van a realizar esquejes foliares. La higiene también resulta esencial si se desea evitar el riesgo de enfermedades en un esqueje al realizar un corte o manipularlo. Se debe esterilizar y mantener limpio la superficie, el material y las herramientas para obtener esquejes, las tijeras de podar deben mantenerse lo más afiladas posibles, con el fin de evitar causar daño en las células durante la operación (Osuna *et al.*, 2016).

2.7. Significado de hormona vegetal o fitohormonas

Las plantas necesitan luz solar, agua, oxígeno, minerales para su crecimiento y desarrollo. Aparte de los factores externos, hay algunos factores intrínsecos que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos se llaman hormonas vegetales o "fitohormonas". El término "hormona" se usó originalmente de forma restringida para referirse a sustancias secretoras generadas por órganos, glándulas, tejidos o células particulares en animales que se transportaban por venas (u otros tejidos comparables) a tejidos más o menos específicos y tenían algún efecto en su metabolismo (Park, 2017). Sin embargo, la terminología ahora se usa siempre para referirse a las señales móviles de los seres vivos y se usa con frecuencia con un encabezado para indicar el tipo de seres vivos, como hormonas animales, hormonas vegetales, hormonas de insectos, etc. Cada especie viva tiene hormonas que con frecuencia son exclusivas de esa especie y reflejan los rasgos de sus ocurrencias biológicas. El peculiar fenómeno de crecimiento conocido como plasticidad del desarrollo, en el cual una planta forma continuamente nuevos órganos y tejidos a lo largo de su ciclo de vida, puede atribuirse, al menos en parte, a las características de las fitohormonas. Las fitohormonas son un grupo de sustancias

químicas orgánicas de origen natural que, cuando están presentes en pequeñas cantidades, afectan las funciones fisiológicas. El crecimiento, la diferenciación y el desarrollo son los principales procesos afectados, mientras que otros procesos, como el movimiento estomático, también pueden verse afectados. Aunque el término "fitohormonas" no se usa comúnmente, también se ha hecho referencia a las fitohormonas como tales (Vaishnav, 2023).

Las hormonas vegetales son compuestos químicos presentes en concentraciones muy bajas en las plantas. Son derivados del indol (auxinas), terpenos (giberelinas), adenina (citoquininas), carotenoides (ácido abscísico) y gases (etileno). Estas hormonas se producen en casi todas las partes de la planta y se transmiten a diversas partes de ella. Pueden actuar de forma sinérgica o individual. Las funciones de las diferentes hormonas pueden ser complementarias o antagónicas. Las hormonas desempeñan un papel importante en procesos como la vernalización, el fototropismo, la germinación de las semillas, la latencia, etc., junto con factores extrínsecos. Existen dos tipos de fitohormonas: sintéticas y naturales. Las fitohormonas sintéticas se aplican exógenamente para la producción controlada de cultivos. Charles Darwin fue el primero en observar el fototropismo en los coleóptilos del alpiste y F. W. Went fue el primero en aislar la auxina de los coleóptilos de plántulas de avena. Las fitohormonas (fitohormonas) son sustancias químicas producidas por las plantas que regulan su crecimiento, desarrollo, procesos reproductivos, longevidad e incluso su muerte. Las hormonas vegetales controlan cada fase del ciclo de vida de la planta. En general, más de una hormona influye en la actividad biológica de la planta, por lo tanto, los fenómenos biológicos con frecuencia representan las interacciones combinadas de múltiples hormonas distintas. Cuando las plantas se enfrentan a presiones bióticas y abióticas, solo pueden sobrevivir alterando varios procesos biológicos, a diferencia de los animales que pueden huir de situaciones adversas. En estas circunstancias, las hormonas vegetales también trabajan juntas para alterar las reacciones biológicas para el establecimiento y mantenimiento de la tolerancia al estrés de la planta. La transducción de señales extracelulares o intracelulares en respuestas celulares es un proceso conocido como transducción de señales. Los procesos de transducción de señales están involucrados en el funcionamiento de las hormonas. Las hormonas son compuestos que funcionan en bajas concentraciones que circulan a través de algunos o todos los seres vivos para señalar y regular la respuesta, el crecimiento y el desarrollo de esos organismos (Totaro, 2018).

2.8. Reguladores de crecimiento o fitohormonas

Las fitohormonas son sustancias químicas producidas por las plantas que regulan su crecimiento, desarrollo, reproducción, longevidad e incluso su muerte. Estas pequeñas moléculas se derivan del metabolismo secundario y son responsables de la adaptación de las plantas a los estímulos ambientales. Las plantas están sujetas a un entorno en constante cambio y requieren estas fitohormonas para responder adecuadamente. Una sola fitohormona puede regular numerosos procesos celulares y de desarrollo, mientras que, al mismo tiempo, múltiples hormonas suelen influir en un solo proceso (Peres *et al.*, 2019).

En la actualidad existen una serie de insumos que mejoran el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Entre los insumos usados frecuentemente, por los agricultores, se encuentran los biorreguladores o reguladores de crecimiento (RC) que son definidos como: “compuestos naturales o sintéticos que afectan los procesos metabólicos” (Borjas *et al.*, 2020).

Los reguladores vegetales son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos y son, en general, mucho más potentes que los análogos naturales y cuyo principal efecto se produce a nivel celular, cambiando los patrones de crecimiento de los vegetales y permitiendo su control, por lo que su uso ha aumentado en los últimos años. Es necesario tener en cuenta aspectos críticos como oportunidad de aplicación, dosis, sensibilidad de la variedad, condición de la planta, etc., ya que cada planta requerirá de unas condiciones específicas de crecimiento que pueden afectarse por la concentración de ellos en el medio (Alcantara *et al.*, 2019). Con la finalidad de acortar los tiempos de generación de raíces y brotes fotosintéticos en esquejes, se ha recurrido al uso de las fitohormonas para promover la multiplicación y propagación de nuevas plantas en gran cantidad de diversas especies, principalmente leñosas, estimulando la división celular y la iniciación de raíces (Hernández, 2017 y López *et al.*, 2019).

Entre los principales compuestos que regulan los procesos metabólicos de las plantas tenemos a las fitohormonas o hormonas vegetales (HV), que hasta el momento son diez: Auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, ácido salicílico, poliaminas, ácido jasmónico, brasinoesteroides, y estrigolactonas), siendo las cinco primeras denominadas “hormonas clásicas” cuyos descubrimientos se remontan a más de medio siglo atrás, en el Cuadro 1 veremos algunas de sus funciones. Estas hormonas clásicas

tienen diversas funciones en el desarrollo de las plantas, así, la auxina está relacionada con la división y elongación celular, las giberelinas en la maduración del polen y el desarrollo de flores, frutos y semillas, el etileno en la expansión y división celular, el ácido abscísico (ABA) regula la abertura y cierre de estomas, mientras que las citoquininas están envueltas en la división celular y la morfogénesis en los tejidos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este conocimiento ha hecho que la aplicación de reguladores de crecimiento hormonales (RCH) (sintéticos) sea de uso común en cultivos hortícolas, plantas ornamentales, cultivos de uso industrial y árboles forestales (Takehara y Ueguchi, 2018). Todas estas hormonas se producen en prácticamente todas las regiones de la planta y se distribuyen por toda la planta, estas hormonas son responsables de traducir la señal externa en cambios adaptativos que ayudan a la planta a sobrevivir mejor. Por lo tanto, estas fitohormonas regulan diversas actividades biológicas, desde el crecimiento y el desarrollo hasta las respuestas bióticas y abióticas (Vaishnav, 2023). La integración de los reguladores de crecimiento en la agricultura ofrece una serie de ventajas, tanto desde el punto de vista agronómico como ambiental, utilizándolos de manera responsable y amigable con el ambiente, se pueden obtener cultivos más productivos y sostenibles. El uso de reguladores de crecimiento, puede ser una estrategia efectiva para mejorar el enraizamiento y el crecimiento de las plantas de lavanda a través de esquejes (Escalante *et al.*, 2024).

Cuadro 1. Clasificación de los principales reguladores de crecimiento vegetal con sus principales funciones.

Hormona	Donde se produce	Función principal
Auxina (IAA)	Los meristemos apicales de los brotes y las hojas jóvenes son el sitio principal de síntesis de auxina; el meristemo apical de la raíz también produce auxina; además, la raíz depende del brote para obtener gran parte de su auxina. Las semillas y frutos en desarrollo contienen altos niveles de auxina, pero no está claro si se sintetiza recientemente o se transporta desde los tejidos maternos.	Estimula la elongación del tallo (sólo en baja concentración); promueve la formación de raíces laterales y adventicias; regula el desarrollo del fruto: mejora las dominancias apicales; actúa en el fototropismo y gravitropismo; promueve la diferenciación vascular; retarda la abscisión de las hojas.

Hormona	Donde se produce	Función principal
Citoquininas	Estos se sintetizan principalmente en las raíces y se transportan a otros órganos, aunque también existen muchos sitios menores de producción.	Regular la división celular en brotes y raíces; modificar la dominancia apical y promover el crecimiento de yemas laterales; facilitar el transporte de nutrientes hacia las partes que los necesitan como ser los tejidos receptores; estimular el proceso de germinación de las semillas; retrasar la senescencia (envejecimiento) de las hojas.
Giberelinas	Los meristemos de la yema apical y las raíces, las hojas jóvenes y las semillas en desarrollo son los sitios principales de producción.	Favorecen el alargamiento del tallo, apoyan la formación del polen y el desarrollo del tubo por el cual viaja, impulsan el crecimiento de los frutos y contribuyen tanto al desarrollo como a la germinación de las semillas. Además, intervienen en la definición del sexo y en el cambio de etapa de juvenil a adulta en las plantas.
Ácido abscísico (ABA)	Casi todas las células vegetales tienen la capacidad de sintetizar ácido abscísico, y su presencia se ha detectado en todos los órganos y tejidos vivos principales; puede transportarse en el floema o el xilema.	Inhibe el crecimiento; promueve el cierre estomático durante el estrés por sequía; promueve la latencia de las semillas e inhibe la germinación temprana; promueve la senescencia de las hojas; promueve la tolerancia a la desecación.

Etileno	Esta hormona gaseosa puede ser producida por la mayoría de las partes de la planta. Se produce en altas concentraciones durante la senescencia, la abscisión de las hojas y la maduración de algunos frutos. La síntesis también se ve estimulada por heridas y estrés.	Promueve la maduración de muchos tipos de frutos, la abscisión de hojas y la triple respuesta en plántulas (inhibición de la elongación del tallo, promoción de la expansión lateral y crecimiento horizontal); mejora la tasa de senescencia; promueve la formación de raíces y pelos radiculares; promueve la floración en la familia de la piña.
---------	---	---

Fuente: Vaishnav, (2023)

2.8.1. Clasificación de las fitohormonas

Los reguladores de crecimiento pueden ser clasificados según su estructura molecular, su actividad a nivel vegetal, sus efectos inhibitorios o estimulantes, entre otras clasificaciones. Algunas fitohormonas se clasifican en familias, por ejemplo, las auxinas, en donde encontramos varios compuestos con estructura y actividad similar. Los reguladores de crecimiento se clasifican principalmente en cinco grupos principales: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno. Cada uno de estos grupos tiene funciones específicas en el crecimiento, desarrollo y respuesta al medio ambiente de las plantas (Alcantara *et al.*, 2019).

2.8.1.1. Auxina

La primera hormona del crecimiento en ser identificada fue la auxina. Fueron descubiertas debido a las observaciones de Charles Darwin y su hijo, Francis Darwin. El coleóptilo (vainita protectora) del alfiler se desarrolla y se dobla en la dirección de la fuente de luz, como lo vieron los Darwin. Esto se conoce como "fototropismo". Además, su investigación demostró que la punta del coleóptilo era el lugar donde ocurría la curvatura. Como resultado, FW Went pudo aislar la primera auxina de la punta del coleóptilo de plántulas de avena (Hajnóy *et al.*, 2020). El meristemo apical de los brotes, hojas jóvenes y semillas es donde se produce principalmente la auxina. Desde el punto de producción, la auxina se

mueve hacia abajo de manera unidireccional o polar. El gradiente de concentración de auxina producido por el tránsito polar impulsa respuestas específicas. Las proteínas de transporte específicas de auxina de la membrana plasmática regulan cómo la auxina sale de la célula. Las hormonas vegetales funcionan a través de la transducción de señales, desencadenando varias respuestas celulares. La auxina se une a receptores relacionados con enzimas, lo que favorece la catálisis de la reacción. Los principales puntos de acción se encuentran a nivel celular. Esta suele encontrarse muy bien distribuida en la mayoría de las células y tejidos vegetales, por lo que puede interferir en procesos de división, elongación, diferenciación unicelular, pluricelular o incluso tener acción en los diferentes tejidos vegetales. La proteína represora de ciertos genes (el gen de respuesta a la auxina) se une a la ubiquitina cuando la auxina se une a un receptor. Esto provoca la degradación de la proteína represora y la transcripción de los genes de respuesta a la auxina, lo que promueve el crecimiento y el desarrollo celular (Chandler, 2016).

2.8.1.1.1. Función de las auxinas

La auxina juega un papel crucial en la regulación del crecimiento y el desarrollo. El ácido indol-3-acético (AIA), el ácido indol-3-butírico (IBA) y el ácido 4-cloro-indol-3-acético son miembros de esta familia de hormonas que se encuentran en la naturaleza. Los niveles de auxina varían drásticamente dentro del cuerpo de la planta y a lo largo del ciclo de vida de la planta, formando gradientes complejos que parecen ser un componente central de su actividad reguladora para el desarrollo de la planta. Para controlar los niveles de auxina en tejidos particulares en respuesta a factores ambientales y de desarrollo cambiantes, las plantas han desarrollado redes complejas con flexibilidad adaptativa, así como redundancia genética y bioquímica (Lavy, 2016). El ácido indol-3-acético (AIA) es la auxina principal en la mayoría de las plantas (auxina natural), donde se encuentra en mayores concentraciones en zonas de crecimiento como los ápices del vástago o de la raíz. Aunque también se conocen otros tipos de auxinas que son producidas de manera sintética como el ácido indol - butírico (IBA) y el ácido α - naftalen - acético (ANA). Dichas sustancias promueven la iniciación de raíces y se les ha atribuido la capacidad de estimular las divisiones celulares en la radícula. La aplicación de RC, con base en auxinas, en la agricultura, se concentra básicamente en aprovechar su capacidad como enraizante, así puede usarse para la propagación de diversos materiales genéticos, por ejemplo, en frutales y plantas ornamentales (López *et al.*, 2019).

Dadas las funciones que posee esta hormona es considerada como un tipo de morfógeno capaz de inducir la diferenciación celular de órganos como raíces, tallos y hojas, y así mismo, dar origen a ellos. Dentro de las características más relevantes de las auxinas se encuentran su capacidad para inducir la producción de diferentes raíces adventicias sobre los tejidos de hojas y tallos recién cortados, también se encuentran relacionadas con la elongación y división celular, la diferenciación de tejidos y la respuesta a la luz y la gravedad (tropismos), disminución de la abscisión de los órganos, inducción de la diferenciación vascular y el estímulo de la dominancia apical (Vega *et al.*, 2016 y Alcantara *et al.*, 2019).

El objeto de tratar esquejes y/o estacas con reguladores del crecimiento del tipo auxina, es aumentar el porcentaje de estacas que formen raíces, acelerar la formación de las mismas, aumentar el número y la calidad de las raíces formadas en cada estaca y uniformar el proceso de enraizamiento. Las hormonas de enraizamiento se venden en el comercio bajo dos formas: baja concentración (1% activo) y alta concentración (95% activo). Los materiales químicos sintéticos de mejor resultado para estimular la producción de raíces adventicias de las estacas, son los ácidos indolbutírico (IBA) y naftalén acético (ANA), debido a que no son tóxicos en una amplia gama de concentraciones y son eficaces para estimular el enraizamiento de un gran número de especies de plantas (Osuna *et al.*, 2016).

2.8.1.1.2. Transporte de las auxinas

Respecto al transporte de auxinas, esta puede ser de dos tipos: de larga distancia (transporte rápido) y de corta distancia (transporte lento). En la primera de ellas, la auxina se transporta por los conductos del floema, mientras que en la segunda el movimiento de la auxina es de célula a célula, siendo esta última especialmente relevante para la formación del eje embrionario, la respuesta a los tropismos, la filotaxia, la dominancia apical y los procesos de la morfogénesis de la raíz, flor y fruto. El transporte a corta distancia o transporte polar requiere una serie de proteínas transportadoras y de energía para poder desarrollarse (transporte activo), y tanto en el tallo como en la raíz es basipétala, aunque puede haber un movimiento lateral (observado en el tallo). Una vez que la auxina llega a la base del tallo (desde el ápice superior), la hormona pasa a la raíz llegando hasta el ápice y posterior mente regresa a la base del tallo (movimiento basipétalo) (Borjas *et al.*, 2020).

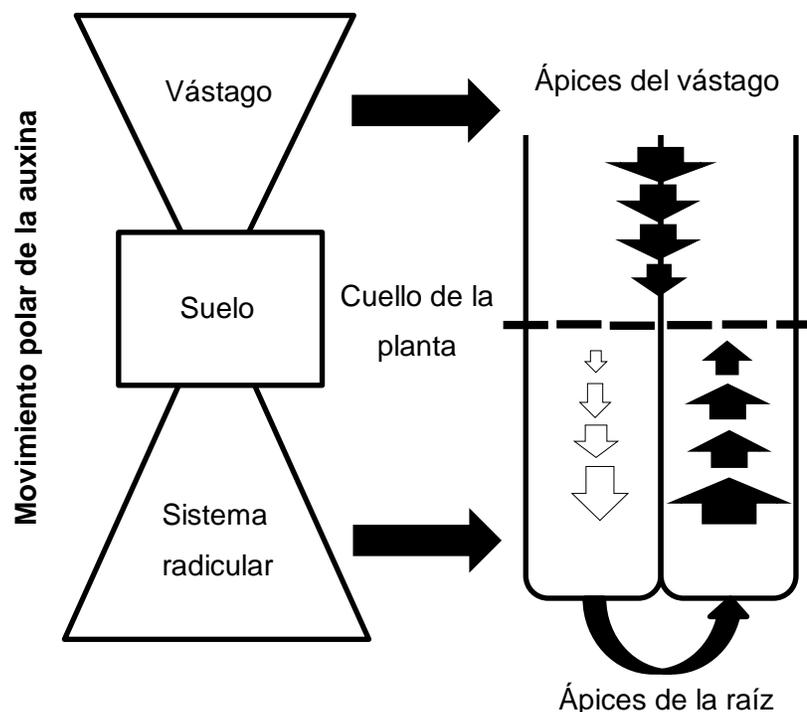


Figura 1. Movimiento polar y no polar de las auxinas (Borjas *et al.*, 2020)

Las auxinas, transportadas a través de un sistema polar, son esenciales para la formación de raíces adventicias en esquejes de lavanda, permitiendo que se desarrollen nuevas plantas a partir de estos esquejes mediante un proceso de enraizamiento eficiente. Las auxinas sintéticas pueden aplicarse por pulverización, inmersión rápida, inmersión completa o por succión, adaptándose a las necesidades y estrategias particulares de cada propagador (NBHA, 2023).

2.8.1.2. Giberelinas

Las giberelinas son reguladores del crecimiento vegetal que controlan el crecimiento y tienen un impacto en una variedad de procesos de desarrollo, incluyendo la elongación del tallo, la germinación, la floración, la inducción de enzimas, etc. El efecto más pronunciado de las giberelinas en el desarrollo de la planta es la elongación del tallo. Cuando se administra a un arbusto en baja concentración, el tallo comienza a crecer. Las restricciones genéticas de diferentes tipos enanos se superan a través de las giberelinas. Se han aislado más de 70 giberelinas. Los números son GA1, GA2, GA3, etc. El regulador del crecimiento vegetal más ampliamente investigado es GA3, o ácido giberélico. Las giberelinas son una familia de hormonas vegetales con alrededor de 135 miembros que se clasifican como diterpenoides con una estructura básica de giberelina (Torii *et al.*, 2018).

2.8.1.2.1. Función de las giberelinas

Según Agudelo *et al.*, (2021). Las funciones de las giberelinas son las siguientes:

- **Germinación de semillas**

En ausencia de luz solar, algunas semillas sensibles a la luz, como la lechuga y el tabaco, germinan mal. Si las semillas se exponen directamente a la luz solar, la germinación comienza de inmediato debido a la activación de mecanismos fotosensibles. La necesidad de luz se puede cubrir si se aplican a las semillas un tratamiento con ácido giberélico.

- **Dormancia de las yemas**

Los brotes formados en otoño permanecen latentes hasta la primavera debido a factores fisiológicos y ambientales. Administrarles giberelina puede ayudarles a salir de su letargo, estimulando su reactivación metabólica y promoviendo el inicio del crecimiento activo.

- **Crecimiento de la raíz**

Las giberelinas apenas tienen efecto directo en el desarrollo radicular. Sin embargo, algunas plantas pueden experimentar una leve inhibición del crecimiento con dosis mayores, especialmente si se altera el equilibrio hormonal natural involucrado en la formación de raíces.

2.8.1.3. Citoquininas

Los derivados de adenina conocidos como citoquininas tienen la capacidad de estimular la proliferación celular en cultivos de tejidos. La ocurrencia natural más común de citoquininas en plantas es la zeatina. La citoquinina es transportada a través del xilema desde las raíces hasta los brotes. Las inyecciones exógenas de citoquininas estimulan la división celular en cultivos de tejidos cuando la auxina está presente. Las citoquininas promueven la iniciación de brotes en musgo; las citoquininas inducen la formación de brotes Crecimiento de brotes laterales. Las aplicaciones de citoquininas, o el aumento de los niveles de citoquininas en plantas transgénicas con genes para una síntesis mejorada de citoquininas, pueden causar la liberación de brotes laterales de la dominancia apical. Los ejemplos naturales de hormonas vegetales citoquininas son la isopentenil adenina y la zeatina (granos de maíz, leche de coco), mientras que las sintéticas son: benciladenina, kinetina, tidiazurón y difenilurea (Yamaguchi *et al.*, 2016).

2.8.1.3.1. Funciones de las citoquininas

De acuerdo con Camara *et al.*, (2018), las funciones de la citoquinina son:

- Las citoquininas promueven el crecimiento de brotes laterales y adventicios y se utiliza en cultivo para iniciar la producción de brotes.
- Ayuda a resolver el dominio apical inducido por auxina.
- Estimula la producción de cloroplastos en las hojas.
- Favorecer la movilización de nutrientes y retardar la senescencia de las hojas.
- La citoquinina ayuda a estimular el crecimiento y la división celular de las plantas. Utilizada por los agricultores para aumentar la producción de los cultivos incluso en condiciones de sequía, tiene un efecto positivo en las plántulas de algodón, aumentando su emergencia entre un 5% y un 10%. Al promover la resistencia a ciertas bacterias patógenas, desempeña un papel importante en la patogénesis de las plantas.

2.8.1.4. Etileno

La importante hormona etileno controla y media ciclos complejos en las plantas que afectan su crecimiento, desarrollo y capacidad de supervivencia a lo largo de su ciclo vital. La capacidad del etileno para inducir la maduración de frutos y provocar senescencia representa su principal uso fisiológico y área prioritaria de estudio científico. El potencial para acelerar la maduración en frutos donde el etileno actúa como hormona clave, como en el tomate y el plátano, ha sido uno de los principales objetivos de los biotecnólogos de alimentos. Al regular la producción y acción de la hormona etileno, los biotecnólogos de alimentos esperan poder controlar con mayor precisión los tiempos de maduración y mejorar la calidad postcosecha de los productos hortofrutícolas. Para comprender su función, primero debemos comprender cómo se secreta el etileno en los tejidos de una planta. El proceso metabólico que lo produce consta de dos etapas. Comienza con una sustancia llamada SAM (S-adenosil-L-metionina). La enzima ACS contribuye a la conversión de SAM en ACC (ACC sintasa). La ACO es una enzima que convierte ACC en etileno (ACC oxidasa). Es importante darse cuenta de que las enzimas ACS y ACO son liberadas por varias familias codificantes de genes en sincronía entre sí cuando ocurren condiciones como sequías, inundaciones, heridas, presión externa y ataque de patógenos (Shanthi, 2021).

2.8.1.4.1. Funciones del etileno

En las plantas, el etileno se utiliza para diversos fines. La germinación de semillas, el crecimiento de brotes y raíces, el desarrollo radicular, la abscisión de hojas y frutos, la formación de raíces adventicias, la senescencia de hojas y flores, y la determinación del sexo son algunas de las funciones cruciales que desempeña el etileno. Por ejemplo, en el tejido vegetal, el etileno estimula el desarrollo de cavidades llenas de aire, conocidas como aerénquima, durante las inundaciones, lo que favorece la oxigenación de las plantas. Sin embargo, la maduración de frutas climatéricas, como melocotones, plátanos, manzanas y tomates, es su función más importante. Por ejemplo, colocar un plátano maduro en una bolsa de aguacates verdes aceleraría su maduración. La acumulación de etileno en la bolsa es la responsable de esto (Vaishnav, 2023). En resumen, los usos importantes del etileno son los siguientes:

- La generación de flores femeninas en una planta macho.
- Producir crecimiento de raíces para mejorar la capacidad de la raíz para absorber más agua y minerales. Esto evoca un fenómeno llamado epinastia. La epinastia es un comportamiento complejo que se observa en las plantas cuando las raíces se inundan. Durante las inundaciones, la capa superior de las hojas crece más que la inferior. Esto induce la caída de las hojas y, en lugar de ser horizontales, se vuelven más verticales. Esto es inducido especialmente por el etileno cuando se convierte en ACC y se transporta desde el xilema hasta los tejidos de las hojas en la parte superior.
- El etileno promueve el geotropismo negativo, lo que asegura que el crecimiento de las raíces se dirija hacia el suelo. Por lo tanto, una mayor superficie radicular en el suelo indica una fácil absorción de minerales.
- Se puede determinar el sexo de una flor.
- Influye en la germinación de las semillas.
- Tiene un papel importante en la iniciación del crecimiento de las raíces y la polinización.
- Rompe la latencia de yemas, semillas y órganos de almacenamiento de las plantas.
- El etileno aumenta la latencia de las yemas laterales y mejora la dominancia apical al inhibir su desarrollo y reforzar el crecimiento prioritario del brote principal, lo que contribuye a la arquitectura vertical de la planta.

2.8.1.5. Ácido abscísico

Según Vaishnav, (2023), el ácido abscísico es la hormona del estrés vegetal (ABA). Inhibe el desarrollo de la planta y regula la abscisión y la latencia. El ácido abscísico natural es dextrógiro (+), pero el ABA sintetizado disponible comercialmente es una combinación racémica. El ABA es transportado por las células del xilema, el floema y el parénquima. El descubrimiento del ABA tuvo lugar entre 1950 y 1960, los científicos tenían la corazonada de que cuando las hormonas endógenas estimulantes del crecimiento están presentes en la célula vegetal, las hormonas inhibitoras del crecimiento que causan la senescencia o abscisión de los frutos deben ser gobernadas por otras hormonas, como ser el ácido abscísico (ABA). La síntesis ocurre en hojas y tallos maduros, así como en frutos y semillas en desarrollo. El ácido abscísico se considera una hormona del estrés, ya que su producción se ve favorecida por factores ambientales como la sequía y el anegamiento. Es crucial para la tolerancia al estrés abiótico.

2.8.1.5.1. Funciones del ácido abscísico

Según Agudelo *et al.*, (2021) el ABA es importante en diversos procesos fisiológicos y de desarrollo, entre ellos:

- El ABA provoca el cierre de las estomas ante la salinidad excesiva y el estrés hídrico, y reduce la pérdida de agua por transpiración. Para estimular el cierre estomático, el ABA interactúa con otras fitohormonas como los jasmonatos, el óxido nítrico y moléculas señalizadoras.
- El ABA provoca latencia en las semillas, permitiéndoles tolerar la desecación y otros factores de crecimiento desfavorables. Las semillas pueden almacenarse durante un período prolongado.
- El ABA es esencial para el desarrollo y la modificación radicular en condiciones de privación de nitrógeno y sequía. Controla la expresión génica, necesaria para el desarrollo radicular, su mantenimiento y la absorción de agua.
- ABA afecta los genes codificadores de proteínas, así como la producción de lípidos y proteínas de almacenamiento.
- El ABA es necesario para la vía de transducción de señales durante la respuesta al estrés, ya que actúa como modulador clave en la activación de mecanismos adaptativos frente a condiciones, tales como la sequía, la salinidad o el frío.

- El ácido abscísico participa en la producción de deshidrinas, osmoprotectores y proteínas protectoras.

2.8.2. Cuándo utilizar los fitorreguladores en esquejes

Se utilizan los fitorreguladores para:

- **Promover el enraizamiento**

Los fitorreguladores, especialmente las auxinas, son útiles para estimular la formación de raíces adventicias en esquejes ya que, al desarrollar un buen sistema radicular, pueden absorber mejor los nutrientes. Se sintetizan en las regiones del meristemo del ápice de los tallos, y se desplazan desde allí hacia otras zonas de la planta, principalmente hacia la base donde se da el inicio de las raíces adventicias (Probelte, 2020).

- **Facilitar la propagación**

Si se desea propagar una planta a través de esquejes, los fitorreguladores pueden ayudar a asegurar un mejor enraizamiento y establecimiento de las nuevas plantas (Lopez *et al.*, 2019).

- **Especies difíciles de enraizar**

Algunas especies vegetales son más difíciles de propagar por esquejes. Los fitorreguladores pueden ayudar a superar esta dificultad, mejorando la tasa de enraizamiento (Quilambaqui, 2016).

2.9. Técnica de propagación y enraizamiento del cultivo de lavanda

Las técnicas de propagación y enraizamiento más comunes para realizar esquejes son en:

2.9.1. Sustrato

La tierra o el sustrato en el que se propagara un esqueje, debe ser de buena calidad. Debe ser porosa para la aireación y el drenaje de las raíces, pero también tiene que tener la capacidad de retener agua y nutrientes. Para que una planta desarrolle un nuevo sistema radicular, debe tener un suministro constante de humedad en la superficie del corte. El oxígeno, por supuesto, es necesario para todas las células vivas. Los sustratos de textura gruesa suelen cumplir estos requisitos. La mayoría de las mezclas comerciales se denominan artificiales, lo que significa que no contienen tierra. Los ingredientes

básicos de estas mezclas son turba de esfagno y vermiculita, generalmente libres de enfermedades, semillas de malezas e insectos. Los esquejes no son susceptibles al marchitamiento fúngico, pero sí son atacados por otros hongos y bacterias que puedan encontrarse en el sustrato, por ende, los sustratos para la propagación asexual deben estar limpias y esterilizadas. El sustrato debe tener un bajo contenido de fertilizante, un exceso de fertilizante dañará o inhibirá el desarrollo de nuevas raíces (Relf *et al.*, 2025).

2.9.2. Agua

El sistema de enraizamiento utilizando agua como sustrato es menos conocido. Este sistema de enraíce se ha desarrollado para algunas especies que se adaptan al mismo y que soportan mantener la parte basal del esqueje en inmersión en agua durante un periodo más o menos prolongado, según la especie. El sistema de enraizamiento en agua es mucho más sencillo en el manejo, control y toma de datos, es un método utilizado para propagar esquejes usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. Las raíces deben recibir una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos esenciales para el desarrollo de las raíces adventicias (Ruiz, 2020).

Relf *et al.*, (2025), menciona que los esquejes en agua es una técnica de propagación empleada para cultivar nuevas plantas. Consiste en tomar una pequeña porción de una planta madre (generalmente un tallo, una hoja o una raíz) y colocarla en un vaso o recipiente con agua. Se debe cambiar el agua de los esquejes cada 2 o 3 días, para prevenir la acumulación de bacterias y hongos que puedan dañar las raíces en formación. Igualmente, al renovar el agua con esta frecuencia, se asegura un entorno limpio y oxigenado, favoreciendo un enraizamiento saludable.

2.10. Condiciones para el enraizamiento

Una vez seleccionado el sustrato adecuado, su prioridad es que las raíces se desarrollen lo más rápido posible. Un enraizamiento lento puede provocar la muerte del esqueje, ya que depende de sus limitadas reservas de agua. El agua es necesaria para las principales reacciones químicas de las plantas, que se detendrán en su ausencia. Aunque las células expuestas en la superficie del esqueje suelen transportar agua por toda la planta, no están preparadas para absorberla adecuadamente del sustrato. La temperatura del aire y del sustrato debe estar entre los 21 y 24 °C. Las temperaturas más altas favorecen el crecimiento, pero las temperaturas excesivamente altas impiden que la fotosíntesis se

mantenga al ritmo de la descomposición de los alimentos en la respiración celular. Otro de las condiciones para el enraizamiento radicular es la circulación de aire alrededor de los esquejes para evitar el crecimiento de hongos, a la misma vez colocar en un lugar luminoso, pero sin luz directa. Una forma de proporcionar buenas condiciones ambientales para la propagación asexual por esquejes es mediante el uso de un lecho de nebulización. Este sistema rocía una fina capa de agua sobre los esquejes cada pocos minutos, y el tiempo es ajustable. Debe funcionar solo durante el día ya que el funcionamiento nocturno mantendría el sustrato demasiado húmedo y favorecería la pudrición. La nebulización inhibe la transpiración y obliga a la planta a conservar agua mientras desarrolla nuevas raíces. Si no se dispone de un sistema de nebulización. Cada planta requiere un tiempo de enraizamiento diferente, así que no espere que todos enraícen al mismo tiempo (Relf *et al.*, 2025)

2.11. Aclimatación de los quejes para su desarrollo en sustrato

Dado que los esquejes enraizados provienen de un ambiente con poca demanda de transpiración, se debe realizar la “aclimatación” de los esquejes enraizados del ambiente de enraizamiento de forma gradual, a ambientes con mayor exigencia (mayor demanda de transpiración), debido a que sus estructuras para regular la transpiración (estomas) no están activas y sus raíces no han tenido la necesidad de transportar agua a un flujo constante. Por lo tanto, no tienen la capacidad de frenar la pérdida de agua ante un ambiente más seco, con circulación de aire y bajo una insolación mayor. Se requiere prestar mucha atención durante los primeros días debido a la mayor demanda de riego (INTA, 2018).

2.12. Sustrato

Los sustratos son materiales sólidos o soportes físicos diferente al suelo, que pueden ser de origen orgánico (turba, cáscara de arroz, fibra de coco, corteza de árboles compostada y compost de residuos orgánicos de diversas fuentes) o mineral (perlita, vermiculita, piedra pómez, zeolitas, arena, entre otros.), que facilitan el anclaje del sistema radicular de las plantas, sirven para la retención de agua, nutrientes y es un lugar donde los gases y los nutrientes se intercambian, la porosidad de un medio de cultivo debe ser equilibrada. Los poros de menor tamaño poseen la capacidad de retener agua y los de medio o mayor tamaño permiten drenar el agua excedente y proporcionan aireación. Estas características físicas están determinadas por los componentes que se usan y la proporción en la que se

encuentran en la mezcla. Los esquejes requieren un sustrato bien drenado que no contenga una gran cantidad de nutrientes (Chi, 2021 y Benedetto, 2024).

Existen numerosos sustratos que pueden utilizarse como medios de enraizamiento, y los criterios para seleccionarlos se basan en que cumplan las características anteriormente mencionadas que se puedan obtener fácilmente y que tengan buena calidad, definida por un tamaño uniforme de las partículas, ausencia de impurezas y un pH entre 5.5 y 6.5 (Osuna *et al.*, 2016).

2.12.1. Requisitos de un sustrato

Calvo (2016), menciona que los requisitos de un sustrato son los siguientes:

- Las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior a 0,5 y no superior a 7 milímetros, así se garantiza un óptimo drenaje
- Retengan una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua que pudieran caer con el riego o con la lluvia
- No retengan mucha humedad en su superficie
- No se descompongan o se degraden con facilidad-mayor vida útil
- Tener preferiblemente coloración oscura
- No contengan elementos nutritivos, así no incorporan nutrientes al cultivo que no se deseen
- No contengan micro organismos perjudiciales a la salud de las plantas
- No contengan residuos industriales o humanos
- Ser abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar
- Ser de bajo costo.
- Ser livianos

2.12.2. Arena

Según Osuna *et al.*, (2016), la arena es una de las sustancias más utilizada en la mezcla de sustratos, aunque se emplea en pequeñas cantidades. La arena mejora la estructura del sustrato, pero aporta peso al mismo. El grano no debe ser grueso. La arena de río, que es la mejor, debe estar limpia para ser utilizada en sustratos. La arena utilizada en construcción no es buena porque lleva mucha arcilla y se compacta. Es relativamente poco costosa y fácil de obtener. Sin embargo, la arena no retiene la humedad como lo

hacen otros medios para enraizamiento y necesita regarse con más frecuencia. La arena debe ser lo suficientemente fina como para retener algo de humedad alrededor de las estacas y lo bastante gruesa como para permitir que el agua se drene fácilmente a través de ella. Las estacas de algunas especies que enraízan en arena producen una raíz larga, no ramificada y quebradiza, en contraste con los sistemas radicales fibrosos y ramificados que se desarrollan en otros medios. Una opción para obtener mejores resultados, es mezclarla con otros sustratos como es la turba.

2.12.3. Turba

Se utiliza principalmente como componente de sustratos para el cultivo de plantines, debido a su notable capacidad para retener agua y nutrientes, lo que mejora significativamente el desarrollo de las raíces y el crecimiento general de las plantas. Además, posee una excelente porosidad y es buena receptora de soluciones nutritivas, proporcionando una gran aireación al sistema radicular, lo que evita problemas relacionados con la compactación del sustrato. La turba es un medio altamente eficaz para el enraizado de las estacas de la mayoría de las especies vegetales, promoviendo condiciones óptimas para la emisión de raíces adventicias y constituye la base de diferentes combinaciones sustrato-arenosas, especialmente al mezclarse con arena para ajustar textura, drenaje y capacidad de retención hídrica (Osuna *et al.*, 2016). En el Cuadro 2 veremos algunas de las características generales de los sustratos utilizados.

Cuadro 2. Características generales de los principales sustratos que se utilizaron en el ensayo

	TURBA	ARENA
Densidad	60-300 g/L	1700 g/L
Retención de humedad	48%	15%
Aire	20%	35%
Materia solida	32%	50%
Esterilidad	Media	Media
Durabilidad	1 año	Indeterminada
Composición	Fibra vegetal	mineral
pH	Acido	Neutro
CIC	Baja	Baja

Fuente: Osuna *et al.*, (2016)

2.13. Invernadero tecnificado

Un "invernadero tecnificado" se refiere a un invernadero que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar el cultivo de plantas. Esto incluye sistemas automatizados de control ambiental (temperatura, humedad, luz, aireación, ventilación, etc.), riego y fertilización, así como sensores y software para monitorear y gestionar las condiciones internas del invernadero. El objetivo es mejorar la productividad, eficiencia y rentabilidad de la producción agrícola (Ortega et al., 2017).

Hay que controlar ciertos parámetros fundamentales para que el invernadero cumpla bien su función y garantice así un desarrollo armonioso de las plantas cultivadas en él, lo cual implica a la vez unos conocimientos botánicos, técnicos y prácticos sin los cuales sería imposible mantener el equilibrio dentro del lugar (Laurent, 2020).

2.14. Análisis económico

2.14.1. Presupuesto parcial

CIMMYT (1988), menciona que el presupuesto parcial es un método para organizar los datos experimentales, económicos importantes. Esto con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos y así poder compararlos entre si logrando realizar los análisis posteriores.

2.14.2. Costos variables

Según CIMMYT (1988), los costos variables son aquellos que fluctúan directamente con el nivel de producción o actividad. Estos costos cambian a medida que cambia la cantidad de bienes producidos o servicios prestados. En otras palabras, si la producción aumenta, los costos variables también aumentan, y viceversa. Estos pueden ser: mano de obra, insumos agrícolas, la maquinaria, equipos especiales, materiales empleados, costos de transporte; mismos que varían de un tratamiento a otro.

Para calcular los costos variables según Perrin *et al.*, (1995), es necesario multiplicar el costo variable unitario por la cantidad de unidades producidas o vendidas. La fórmula básica es:

$$\text{Costo Variable Total} = \text{Costo Variable Unitario} \times \text{Cantidad Producida}$$

2.14.3. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado de cada tratamiento es el valor promedio reducido en un cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el dato experimental y el del agricultor que podría lograr con ese tratamiento. Los rendimientos que se obtienen en condiciones experimentales a menudo son mayores a los que el agricultor lograría con los mismos tratamientos (CIMMYT, 1988).

$$\text{Rendimiento ajustado} \left(\frac{Kg}{m^2} \right) = \text{Rendim. prom.} \left(\frac{Kg}{m^2} \right) - (10\% \text{ del Rendim. prom.} = \left(\frac{kg}{m^2} \right))$$

2.14.4. Precio del producto

Según CIMMYT (1988), el precio de campo del productor se define como: el valor que tiene el agricultor una unidad adicional de producción en el campo, antes de la cosecha.

2.14.5. Beneficio bruto

El beneficio bruto son las ganancias obtenidas por los agricultores después de deducir los costos directos de producción, como semillas, fertilizantes y mano de obra. Es decir, es el ingreso que queda después de cubrir los costos de producción directamente relacionados con el cultivo, se calcula multiplicando el precio de campo del producto por el rendimiento ajustado y se expresa en unidades monetarias por rendimiento (CIMMYT, 1988).

Según Perrin *et al.*, 1995. Los beneficios brutos (BB) resultan de multiplicar la producción total por el precio del producto unitario, determinando el beneficio bruto.

$$BB = R \times P$$

Dónde:

BB = Beneficio bruto (Bs/ha)

R = Rendimiento (tn/ha)

P = Precio (Bs)

2.14.6. Beneficio neto (BN)

El beneficio neto se calcula restando el total de los costos que varían, del beneficio bruto del campo. De esta manera se tiene la cantidad monetaria que se obtiene de una determinada actividad económica (CIMMYT, 1988).

$$BN = BB - CT$$

Dónde:

BN = Beneficio neto (Bs/ha)

BB = Beneficio bruto (Bs/ha)

CT = Costo total de producción (Bs)

2.14.7. Análisis de dominancia

Según CIMMYT (1988), un análisis de dominancia se efectúa primero ordenando los tratamientos de menor a mayor costo. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos iguales o incluso inferiores a los de un tratamiento de menor costo, lo que refleja una elección menos eficiente desde el punto de vista económico y, por tanto, no recomendable dentro del conjunto de opciones evaluadas.

2.14.8. Tasa de retorno marginal (TRM)

La tasa de retorno marginal se calcula dividiendo el cambio en el beneficio neto (ganancia) entre el cambio en los costos total con la adopción de un tratamiento más avanzado en comparación con un tratamiento base. Si la TRM es mayor que una tasa de retorno mínima aceptable, entonces se considera que el cambio tecnológico o la inversión adicional es económicamente viable. El TRM se refiere al cálculo de la ganancia adicional que se obtiene al aumentar la inversión en un tratamiento específico, comparado con otro tratamiento de menor costo, dentro del contexto de investigaciones agrícolas, se utiliza este análisis para evaluar la rentabilidad de diferentes prácticas agrícolas y determinar si vale la pena adoptar tecnologías más costosas (CIMMYT,1988).

$$TRM = \frac{\Delta IN}{\Delta ACT} * 100 = \frac{IN_2 - IN_1}{CT_2 - CT_1} * 100$$

Dónde:

TRM =Tasa de retorno marginal

ΔIN = Beneficio neto marginal

ΔCT = Costo total marginal

2.15. Paquete estadístico

2.15.1. InfoStat

Es un paquete estadístico, desarrollado para análisis de datos en diversas áreas como investigación y enseñanza. Es un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. InfoStat permite desde análisis descriptivos básicos hasta métodos avanzados de modelado estadístico y multivariado (Balzarini *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Corporación Orkidea Andina, tal como se muestra en la Figura 2. Esta se encuentra localizada en el municipio de Achocalla, perteneciente a la provincia Murillo del departamento de La Paz. Está situada a una distancia de 25 kilómetros del centro urbano de la ciudad, específicamente entre las coordenadas $16^{\circ}35'47''$ de latitud sur y $68^{\circ}08'39''$ de longitud oeste, a una altitud de 3.764 metros sobre el nivel del mar (Google Earth, 2025).



Figura 2. Área de estudio (DJI-Fly, 2025)

3.1.2. Características edafoclimaticos

3.1.2.1. Clima

La Corporación Orkidea Andina está situada en una zona de cabecera de valle húmedo, caracterizada por un clima continental moderado con marcada influencia tropical. Esta región presenta dos estaciones bien definidas: una seca y otra lluviosa. Las temperaturas promedio oscilan entre los 15°C y los 29°C , mientras que la humedad relativa se mantiene alrededor del 25 % (GAMA, 2016).

3.1.2.2. Suelo

Los suelos de esta zona presentan una variedad de texturas, entre las que predominan las combinaciones franco-arcilloso-limoso, arcillo-arenoso, franco-limoso y franco-arcillo-arenoso. Estas características los hacen especialmente adecuados para el cultivo de hortalizas como zanahoria, lechuga, cebolla, haba, nabo, arveja, maíz, cebada y papa. En cuanto al nivel de acidez, el pH promedio del suelo se encuentra entre 7 y 8, lo que indica condiciones neutras a ligeramente alcalinas. La vegetación más representativa de la región incluye especies como ciprés, eucalipto, chillca, tarwi silvestre, kikuyo y retama (GAMA, 2016).

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético

Se emplearon esquejes provenientes de plantas madre de lavanda (*Lavandula dentata* L.), los cuales fueron recolectados en las instalaciones de la Corporación Orkidea Andina.

3.2.2. Insumos

En este estudio se emplearon cuatro tipos de enraizadores, tanto de origen químico como orgánico como ser:

Enraizadores químicos:

- IBA (Ácido indol-3-butírico)
- ANA (Ácido 1-naftalenacético)

Enraizadores orgánicos:

- Algas marinas (TP-36)
- Fosforo (Full Raíz)

3.2.3. Material de gabinete

- Impresora
- Computadora
- Hojas Bond De 75g

- Lápiz
- Bolígrafo
- Calculadora
- Regla
- Goma
- Memoria de USB
- Planillas de Campo

3.2.4. Materiales y equipo de campo

- Pala
- Picota
- Carretilla
- Manguera
- Cordel
- Estacas
- Atomizadores
- Bolsas de repique
- Calibradores
- Marbetes
- Tijera de podar
- Bañadores
- Baldes
- Vaso precipitado
- Cuchara de goma
- Jeringas
- Bolígrafo
- Marcadores indelebles
- Flexómetro
- Embaces de plástico
- Jarras
- Libreta de Campo
- Guardapolvo
- MasKing

- Termohigrómetro
- Peachimetro
- Balanza digital de precisión
- Cámara fotográfica digital
- Alcohol
- Hipoclorito de sodio

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Preparación del ambiente experimental

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Corporación Orkidea Andina. Como parte del proceso experimental, y según se muestra en las figuras 3, 4 y 5, se inició con la selección y la construcción de un ambiente controlado destinado a la propagación de esquejes de lavanda. Este espacio cuenta con dimensiones de 15 metros de largo por 8 metros de ancho, y está sostenido por 18 estructuras de acero galvanizado de 2,90 metros de altura, abarcando una superficie total de 120 m². Para asegurar una adecuada ventilación y regulación térmica, se incorporaron cinco ventanas. Adicionalmente, se habilitó dentro del invernadero un área específica para la multiplicación de esquejes, con medidas de 5 metros de largo por 1,60 metros de ancho, cubriendo 8 m². Este espacio fue revestido con malla antiafido y malla semisombra con el propósito de generar condiciones óptimas para el crecimiento de los esquejes de lavanda.



Figura 3. Preparación del terreno



Figura 4. Conclusión del Invernadero



Figura 5. Área de multiplicación para esquejes de lavanda

3.3.1.2. Selección de planta madre

Se seleccionaron plantas madre ya establecidas dentro de los terrenos de la Corporación Orkidea Andina, eligiéndose aquellas que presentaban características favorables para el desarrollo de la investigación. Desde el 16 de diciembre hasta el 31 de enero, un periodo de aproximadamente mes y medio, se aplicaron tratamientos de fertilización, riego y fumigación a estas plantas, con el propósito de obtener ejemplares vigorosos, saludables, bien lignificados y con un crecimiento óptimo, como se aprecia en la figura 6. Además, se consideró necesario contar con múltiples individuos de la especie para evitar comprometer su integridad durante el proceso de toma de esquejes.



Figura 6. Planta madre de lavanda

3.3.1.3. Selección y recolección de esquejes

Una vez identificada la planta madre, se procedió a la extracción de esquejes durante la mañana, específicamente entre las 7:45 y 9:30 a.m., momento en el cual la temperatura y humedad ambiental fluctuaban alrededor de 14 °C y 82 %, respectivamente. La obtención del material vegetativo se realizó mediante tijeras de poda, seleccionando ramas lignificadas de tipo apical e intermedio, con longitudes de 10, 13 y 16 cm, y diámetros de entre 4 y 5 mm. Para evitar la deshidratación de los esquejes, estos fueron colocados inmediatamente en recipientes que contenían soluciones preparadas con los enraizadores definidos en el ensayo, tal como se evidencia en la Figura 7. Se seleccionaron esquejes que presentaban entre 5 y 8 nudos, considerados apropiados para el proceso de enraizamiento. Además, se implementó un protocolo de desinfección utilizando alcohol al 75 % para sanitizar las tijeras de poda cada cinco cortes y tras cada intervención sobre la planta madre, con el propósito de evitar la contaminación del material vegetal.



Figura 7. Selección de ramas apicales e intermedias

3.3.1.4. Corte y clasificación de esquejes

Después de haber recolectado todos los esquejes, se procedió a realizar cortes diagonales de 45° en su base con el fin de mejorar la absorción de los distintos enraizadores utilizados en el experimento. Posteriormente, los esquejes fueron organizados en recipientes plásticos, agrupados según su longitud: 10, 13 y 16 centímetros. Para facilitar el proceso de enraizamiento, se eliminó aproximadamente un tercio de las hojas en cada esqueje. Este procedimiento se encuentra ilustrado en las figuras 8 y 9.



Figura 8. Corte de 45° de los diferentes esquejes seleccionados



Figura 9. Clasificación de esquejes de lavanda

3.3.1.5. Preparado de enraizadores ya establecidos

Para este estudio se prepararon cuidadosamente soluciones de cuatro enraizadores: IBA, ANA, Tp-36 y Full Raíz. Cada uno fue medido con precisión empleando una balanza digital y jeringas, y disuelto en una jarra de un litro, utilizando una proporción de 1 mililitro o gramo de producto por cada litro de agua tratada. Posteriormente, se monitoreó y reguló el pH de cada mezcla, ajustándolo entre 6 y 6,5 mediante la adición controlada de gotas de ácido fosfórico para disminuirlo o pequeñas cantidades de cal hidratada (hidróxido de calcio) para elevar el pH. Finalmente, las soluciones fueron almacenadas en un ambiente fresco y oscuro hasta el momento de realizar la inmersión de los esquejes. Se puede observar en el Cuadro 3 la medición, dosificación y ajuste del pH de los diferentes enraizadores utilizados en el ensayo.

Cuadro 3. Enraizantes preparados: medición, proporción y corrección de pH

Enraizante	Cantidad	pH inicial	Ácido fosfórico (-)	Cal hidratada (+)	pH final
IBA	1g/L	7,91 – 8,85	2 – 4 gotas	-	6 - 6,5
ANA	1g/L	8,43 – 9,2	2 – 5 gotas	-	6 - 6,5
Tp-36	1ml/L	2,33 – 2,86	-	2 – 3,5 gramos	6 - 6,5
Full Raíz	1ml/L	2,75 - 3,75	-	2 – 3,5 gramos	6 - 6,5

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.6. Sumersión a los esquejes en los diferentes enraizadores

Luego de obtener y clasificar los esquejes, en la Figura 10 se muestra como se prepararon los materiales necesarios para el proceso de multiplicación. Los enraizadores previamente formulados fueron colocados en envases plásticos transparentes, los cuales se forraron con una base negra para impedir el paso de luz y así favorecer el enraizamiento. En cada recipiente se vertieron 40 mililitros de la solución correspondiente y se sumergieron cinco esquejes por tratamiento. Estos permanecieron en el líquido hasta que se realizó el reemplazo de la solución. Durante el periodo comprendido entre la inmersión inicial y el trasplante, se realizó el cambio de agua cada 2 a 3 días con el

objetivo de evitar la descomposición del material vegetal y asegurar una adecuada oxigenación.



Figura 10. Envases con soluciones para la sumersión de los esquejes

3.3.1.7. Control de temperatura y humedad

En la Figura 11 se presenta un termohigrómetro, instrumento diseñado para medir simultáneamente la temperatura y la humedad ambiental. Este dispositivo fue empleado durante el ensayo para llevar a cabo un seguimiento continuo de las condiciones de multiplicación asexual del cultivo de lavanda, ya que dichos factores influyen directamente en el desarrollo, vitalidad y éxito del enraizamiento de los esquejes.



Figura 11. Registros de temperatura y humedad

3.3.1.8. Repique

Se acondicionaron bolsas de repique utilizando sustratos desinfectados de turba y arena en proporción 1:1. Tal como se muestra en la figura 12, se obtuvieron esquejes con raíces de aproximadamente 5 a 6 cm, los cuales fueron trasplantados con sumo cuidado al suelo definitivo para facilitar su desarrollo. El procedimiento de repique se realizó en horario

vespertino, entre las 17:00 y las 18:30 horas, con el fin de minimizar el estrés térmico y la deshidratación de las plantas. Esta precaución contribuyó a que las raíces se adaptaran mejor al nuevo medio sin verse afectadas por la exposición solar directa. El 29 de abril se extrajeron los esquejes correspondientes a los distintos tratamientos del ensayo, y cada uno fue colocado cuidadosamente en las bolsas de repique. Una vez concluido el trasplante, se procedió al riego del área circundante para favorecer la compactación del sustrato y evitar la pérdida de humedad. Los esquejes permanecieron en la zona de multiplicación hasta la última toma de datos, durante la cual se les fue exponiendo gradualmente a luz solar directa. Cabe destacar que las raíces en esta etapa son extremadamente frágiles, por lo tanto, es indispensable aplicar técnicas cuidadosas al momento de repicarlos.



Figura 12. Sustrato definitivo para el desarrollo de los esquejes

3.3.1.9. Seguimiento de enraizado y toma de datos

Se llevó a cabo el monitoreo del desarrollo, establecimiento y crecimiento de los esquejes de lavanda aplicados en los distintos tratamientos, en el periodo comprendido entre el 14 de febrero y el 19 de mayo. Durante este tiempo, se realizaron las mediciones de manera sistemática y con enfoque analítico. La información obtenida fue registrada en el cuaderno de campo y posteriormente organizada digitalmente utilizando herramientas de Microsoft Office, como Word y Excel.

3.3.2. Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial 4x3, compuesto por 12 tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental incluyó cinco esquejes, lo que sumó un total de 180 unidades distribuidas aleatoriamente. Esta metodología

permitió evaluar con rigor la influencia de los factores estudiados sobre las variables consideradas, asegurando que cada tratamiento se desarrollara bajo las mismas condiciones ambientales. Para el procesamiento de los datos obtenidos, se utilizará la prueba de rango múltiple de Duncan, la cual permite comparar las medias de los distintos tratamientos con un nivel de significancia del 5 %, identificando diferencias estadísticamente significativas entre ellos, conforme a lo establecido por Ochoa (2019).

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij}	=	Una observación cualquiera de la variable de respuesta
μ	=	Media general del experimento
α_i	=	Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor enraizador
β_j	=	Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor tamaño de esquejes
$\alpha_i \cdot \beta_j$	=	interacción entre enraizador y tamaño de esqueje
ε_{ijk}	=	Error experimental

3.3.3. Factores de estudio

Los factores de estudio se aprecian en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Factores en estudio

Factor A: Tipos de Enraizadores	Factor B: Tamaño de esquejes
Enraizadores sintéticos	b1: 10 cm
a1: IBA (Ácido indol-3-butírico)	
a2: ANA (Ácido 1-naftalenacético)	b2: 13 cm
Enraizadores orgánicos	
a3: Tp-36 (Algas marinas)	b3: 16 cm
a4: Full Raíz (Fosforo)	

3.3.3.1. Formulación de tratamientos

En base a los factores se formulan los siguientes tratamientos que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Interacción de los factores en estudio

N° DE TRATAMIENTOS	CODIGO	FACTORES	
		Factor A = Enraizador	Factor B = Longitud de esquejes
T1	a1b1	IBA	10 cm
T2	a1b2	IBA	13 cm
T3	a1b3	IBA	16 cm
T4	a2b1	ANA	10 cm
T5	a2b2	ANA	13 cm
T6	a2b3	ANA	16 cm
T7	a3b1	Tp-36	10 cm
T8	a3b2	Tp-36	13 cm
T9	a3b3	Tp-36	16 cm
T10	a4b1	Full Raíz	10 cm
T11	a4b2	Full Raíz	13 cm
T12	a4b3	Full Raíz	16 cm

3.3.4. Variables de respuesta

3.3.4.1. Porcentaje de prendimiento de los esquejes

El cálculo del porcentaje de prendimiento se efectuó considerando la proporción de esquejes que se mantuvieron vivos respecto al total empleado en el experimento. Esta variable fue analizada mediante observación directa, durante un intervalo de 30 a 40 días, reconocido como el período óptimo para determinar el éxito de prendimiento en los distintos tratamientos aplicados.

$$\% P = \frac{NEV}{NET} \times 100\%$$

Dónde:

%P = Porcentaje de prendimiento

NEV = Número de esquejes vivas

NET = Número de esquejes totales

3.3.4.2. Longitud de la raíz

La obtención de datos para esta variable se realizó empleando un vernier como herramienta de medición. Las mediciones se llevaron a cabo en intervalos de 7, 14, 21 y 28 días posteriores a la aparición inicial de la raíz. Para cada uno de los tratamientos experimentales, se eligieron cinco plantas representativas como muestra. El procedimiento de medición consistió en determinar la distancia desde el punto de origen de la raíz hasta el extremo apical del sistema radicular en cada ejemplar.

3.3.4.3. Volumen de la raíz

La evaluación de esta variable se efectuó durante la fase conclusiva del estudio, empleando un vaso precipitado de 250 ml junto con una muestra de 150 ml de agua para realizar la medición. Para cada tratamiento, se tomaron cinco plantas como referencia, asegurando el cumplimiento de medidas preventivas orientadas a evitar cualquier alteración o daño en los ejemplares analizados.

3.3.4.4. Tamaño del esqueje

Esta variable fue evaluada utilizando una regla con graduación en centímetros como instrumento de medición. Se seleccionaron cinco plantas representativas para cada tratamiento. La medición registrada abarcó la distancia entre la base del esqueje y la parte más alta del follaje en cada ejemplar.

3.3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico cuantitativo se basó en las directrices sugeridas por Hernández, según lo citado por Coria (2021). Asimismo, se adoptó la estructura metodológica representada en la Figura 13 como referencia para el desarrollo del procedimiento analítico.

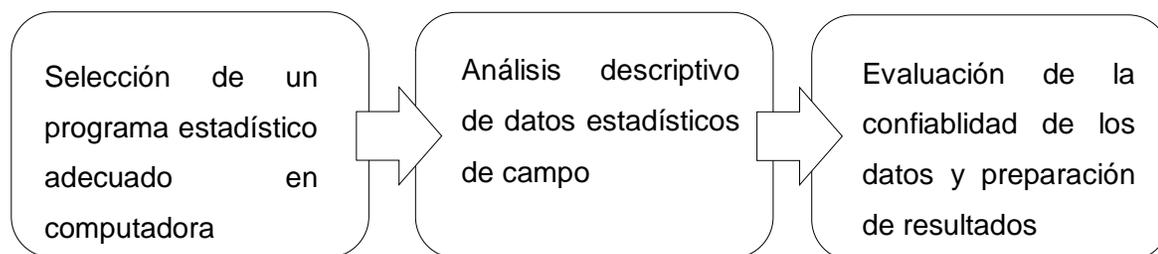


Figura 13. Esquema de análisis estadístico

3.3.5.1. Análisis de varianza (ANVA)

Una vez finalizada la recopilación de los datos obtenidos directamente en el campo, se llevó a cabo el análisis de varianza (ANVA), utilizando el software estadístico InfoStat como herramienta principal para procesar y examinar detalladamente cada una de las variables de respuesta contempladas en el estudio.

3.3.5.2. Comparación de medias

En el presente estudio, se realizó la comparación de las medias correspondientes a los distintos tratamientos mediante la aplicación de la prueba de rango múltiple de Duncan, utilizando un nivel de significancia del 5 % para garantizar la confiabilidad de los resultados. Esta técnica estadística, originalmente desarrollada por Rodríguez (1991) y citada por Coria (2021), se empleó conforme a la siguiente fórmula que permite identificar diferencias significativas entre grupos, facilitando así una interpretación más precisa de los efectos observados en cada tratamiento evaluado.

$$RMS = R_{\alpha} * S_X$$

Dónde:

RMS = Rango múltiple de Duncan

R_{α} = Es el valor extraído de una tabla especial de un rango “estudiantizado” con los grados de libertad del error y con la disposición relativa de las medias en el arreglo. Rendimiento P = Precio del producto ajustado.

S_X = Es el producto de $\sqrt{s^2/r}$ donde: S^2 es el cuadrado medio del error y r = es el número de repeticiones.

3.3.5.3. Coeficiente de correlación (r)

Para determinar el nivel de asociación entre las características promedio de las variables de respuesta, se calcularon los coeficientes de correlación simple. Este procedimiento analítico se desarrolló utilizando fórmulas fundamentadas en las sumas de cuadrados y productos de las variables X e Y, siguiendo la metodología establecida por Steel y Torrie (1992).

$$r = \frac{\delta(X_i, X_j)}{\sqrt{\delta_2(X_i)\delta_2(X_j)}}$$

Dónde:

r = Coeficiente de correlación i

$\delta(X_i, X_j)$ = Covarianza entre caracteres

$\delta_2(X_i)$ = Varianza de componete de carater X_i .

$\delta_2(X_j)$ = Varianza de componete de carater X_j .

3.3.6. Análisis de costos parciales

El estudio económico de los tratamientos se llevó a cabo tomando como referencia los valores promedio de rendimiento obtenidos en el cultivo durante el proceso experimental. Para calcular dichos valores, se consideraron los precios vigentes en el mercado al momento del análisis, aplicando la metodología propuesta por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en el año 1988, la cual ha sido ampliamente utilizada en investigaciones agrícolas por su enfoque práctico y confiable.

3.3.6.1. Beneficio bruto (BB)

Para calcular el beneficio bruto de cada tratamiento, se tomó como base el precio establecido en campo o mercado que son 21 bolivianos por plantín, según lo señalado en el anexo 17 y se lo multiplicó por el rendimiento ajustado obtenido en el experimento. Luego, dicho rendimiento fue representado en función del porcentaje de prendimiento registrado en cada tratamiento.

$$BB = R * P$$

Dónde:

BB = Beneficio bruto (Bs/ha)

R = Rendimiento (tn/ha)

P = Precio (Bs)

3.3.6.2. Beneficio neto (BN)

Se determinó el beneficio neto a partir de la diferencia entre el beneficio bruto y el total de los costos de producción, expresando el resultado en bolivianos por hectárea (Bs/ha).

$$BN = BB - CT$$

Dónde:

BN = Beneficio neto (Bs/ha)

BB = Beneficio bruto (Bs/ha)

CT = Costo total de producción (Bs)

3.3.6.3. Tasa de retorno marginal (TRM)

La Tasa de Retorno Marginal (TRM) se determina dividiendo el beneficio neto producido por un tratamiento entre su costo variable, y multiplicando el resultado por 100 para expresarlo en porcentaje. Este parámetro facilita la comparación de rentabilidad entre distintos tratamientos, al indicar el retorno económico adicional generado por cada unidad monetaria adicional invertida. Una TRM alta refleja una mayor eficiencia económica del tratamiento evaluado, mientras que una TRM baja señala que el incremento en la inversión no se ve compensado por el beneficio obtenido. Este indicador es particularmente útil para fundamentar decisiones orientadas a optimizar recursos en estudios agronómicos y análisis comparativos, de acuerdo con la metodología del CIMMYT (1988).

$$TRM = \left(\frac{BN2 - BN1}{CV2 - CV1} \right) * 100\%$$

Dónde:

TRM = Tasa de retorno marginal

BN = Beneficio neto (Bs/ha)

CV = Costo variables (Bs/ha)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se exponen los resultados obtenidos y el análisis correspondiente desarrollado en el marco del presente estudio de investigación.

4.1. Condiciones de Temperatura y Humedad registradas en el área experimental

4.1.1. Temperatura

La presente investigación dio inicio el 14 de febrero de 2025 en las instalaciones de la Corporación Orkidea Andina, coincidiendo con un periodo caracterizado por temperaturas altas y lluvias abundantes. Estas condiciones climáticas resultaron favorables para el proceso de enraizamiento de los esquejes de lavanda. A continuación, se detalla el comportamiento térmico registrado durante dicha etapa.

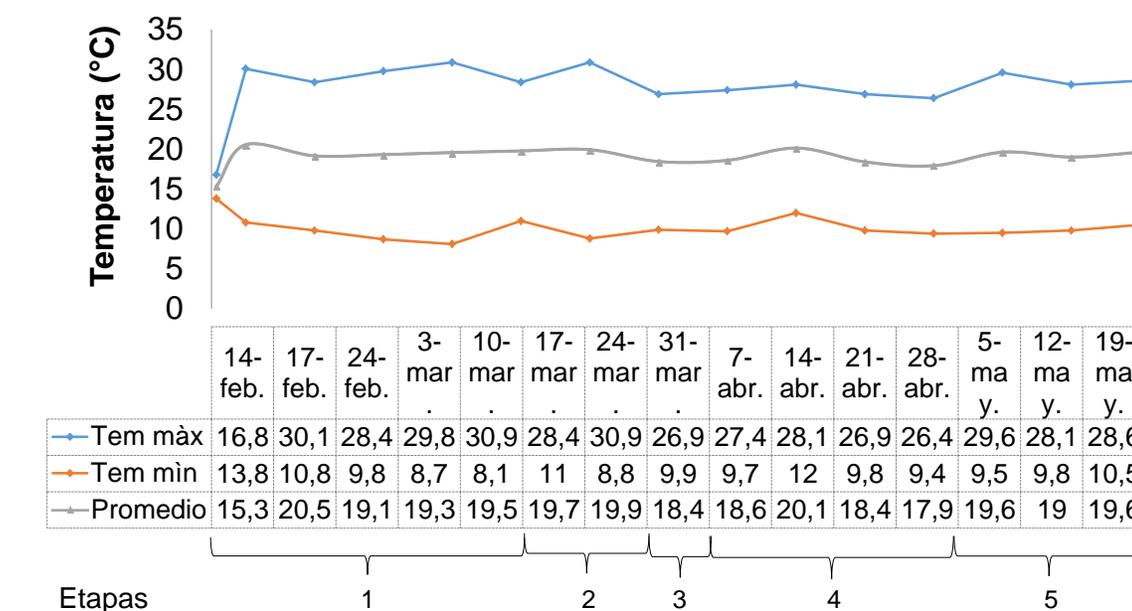


Figura 14. Registro de temperaturas sobre esquejes de lavanda sobre el área experimental

La Figura 14 muestra los valores de temperatura registrados en el área donde se llevó a cabo el experimento. Las temperaturas más bajas se presentaron durante el mes de marzo, con un rango que oscila entre 8,1 °C y 11 °C. Por otro lado, las temperaturas máximas se registraron entre los meses de febrero y mayo, alcanzando valores que fueron desde 16,8 °C hasta 30,9 °C. En cuanto a las medias térmicas obtenidas a lo largo del ensayo, estas se situaron entre 15,3 °C y 20,5 °C.

Durante la semana uno hasta la semana tres (14 de febrero al 10 de marzo) el 100 % de los esquejes se encontraron en etapa 1, que corresponde en el prendimiento y proceso de enraizamiento adventicio. En las primeras semanas la temperatura juega un rol muy importante debido a que los esquejes son susceptibles a deshidratación o pérdida de turgencia por exceso de temperatura. En éste sentido, y de acuerdo a la Figura 12, el rango promedio de las temperaturas registradas en estas semanas fue de 15,3 y 20,45 °C. Según Benedetto (2024), las temperaturas adecuadas del ambiente para estacas con hojas oscilan entre 21 – 26°C. Sin embargo, Giannoulis *et al.*, (2020) indica que las temperaturas mínimas benefician el enraizamiento, pues estas son importantes por dos razones: i) las tasas de evaporación son menores, y ii) la capacidad de retención de agua del aire (humedad) es dependiente de la temperatura, por lo cual las temperaturas bajas ayudan a evitar el estrés hídrico al mantener una humedad relativa alta.

La etapa dos (11 de marzo al 24 de marzo) que se relaciona con la formación del callo, se apreció desde la semana cuatro y se prolongó incluso hasta la semana cinco con un 53 % de los esquejes con presencia de este tejido o con evidencias de su proceso de formación a excepción del T11 que inicio la formación de la raíz entre el 17 - 24 de Marzo con las mismas condiciones que los demás tratamientos. Se fueron controlando los niveles de temperatura para que los esquejes no sufran estrés, abriendo las cortinas o dándoles humedad constante, donde la temperatura promedio en esas dos semanas fue de 19,7 y 19,85 °C.

La etapa tres (25 de marzo al 31 de marzo) sexta semana, donde se produjo la emisión de las raíces adventicias de los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6) donde estallaron homogéneamente y se registró esquejes con un buen enraizamiento, la temperatura promedio registrada de esta semana fue de 18,4 °C, mientras que para los tratamientos (T7, T8, T9, T10, T12) a un no hubo indicios de enraizamiento.

La etapa cuatro (1 abril al 28 de abril), entre las semanas siete y diez se evaluaron las diferentes variables presentes en la investigación. Las temperaturas en esta etapa eran constantes debido a que las lluvias registradas en los predios de la Corporación Orkidea Andina elevaban la humedad y el ambiente se mantenía fresco la mayor parte del día.

La etapa cinco comprende desde el 29 de abril hasta la conclusión del ensayo 19 de mayo, donde la temperatura se controló de manera constante para que los esquejes puedan desarrollarse y tener éxito en la investigación.

4.1.2. Humedad

Durante el desarrollo del estudio, se llevó a cabo un seguimiento constante de los niveles de humedad en el área experimental mediante el uso de un termo higrómetro. Los valores registrados oscilaron entre 72,7 % y 96,9 %, tal como se muestra en la Figura 15. Desde el inicio hasta la finalización del ensayo, la humedad ambiental fue regulada de forma continua mediante sistemas de aspersión y nebulización, considerando que este factor incide directamente en la turgencia celular y en el éxito del prendimiento de los esquejes de lavanda. Estas condiciones microclimáticas resultan determinantes para el adecuado desarrollo fisiológico y la salud general de los esquejes.

Según Benedetto (2024), evitar la deshidratación es fundamental para lograr un adecuado enraizamiento en estacas, ya que en ausencia de raíces se produce un desequilibrio entre la transpiración y la absorción de agua, especialmente cuando el gradiente transpiratorio es elevado. Para que las células encargadas de generar raíces puedan mantenerse turgentes y activas, es esencial conservar una humedad ambiental constante. Durante los meses de febrero y marzo, se registraron condiciones de alta temperatura que provocaron niveles bajos de humedad relativa, con valores entre 50,7 % y 57,2 %. Para mitigar este efecto adverso y prevenir el estrés hídrico en los tratamientos aplicados, se implementó una estrategia de nebulización manual mediante aspersores, lo que permitió incrementar los niveles de humedad promedio a rangos más favorables, entre 72,7 % y 74,4 %.

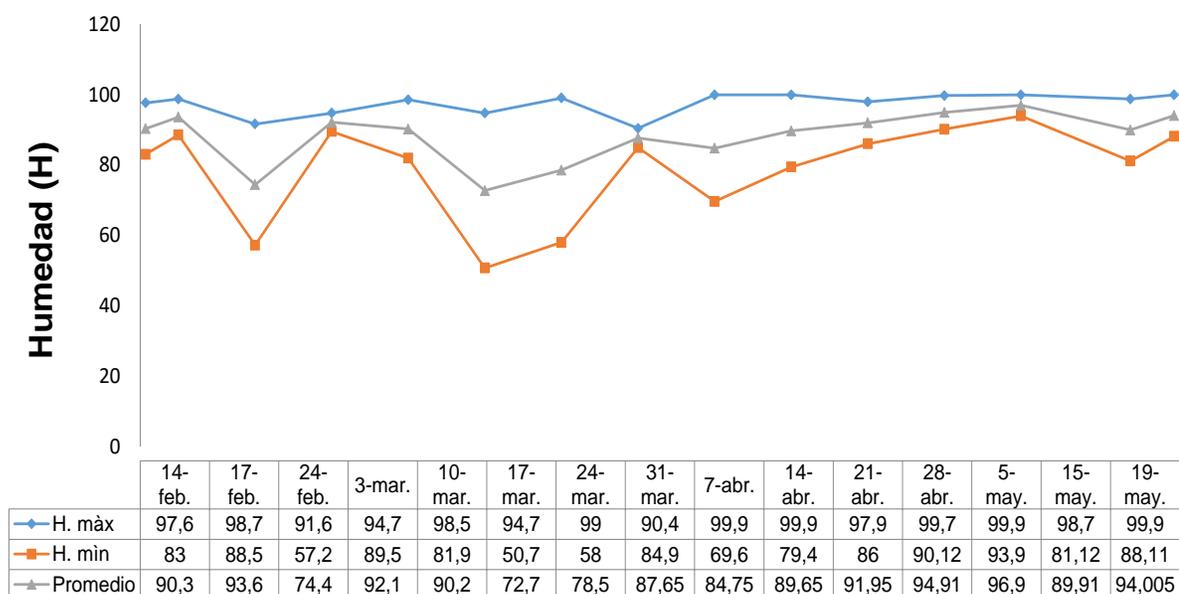


Figura 15. Comportamiento de la humedad en el área experimental

4.2. Variables agronómicas

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos en esta investigación, centrados en las variables analizadas: porcentaje de prendimiento de los esquejes, longitud y volumen de las raíces, así como la altura de los esquejes. Todas estas variables fueron sometidas a evaluación mediante métodos estadísticos para determinar la significancia de los resultados.

4.2.1. Porcentaje de prendimiento de los esquejes

Los resultados obtenidos del análisis de varianza sobre el porcentaje de prendimiento en esquejes de *Lavandula dentata* L. evidenció un coeficiente de variación del 22,78 %, lo cual confirma la confiabilidad de los datos recopilados durante el ensayo, dado que este valor se encuentra por debajo del límite recomendado ($CV < 30$).

Cuadro 6. Análisis de varianza del porcentaje de prendimiento de los esquejes

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloques	2	0,17	0,08	0,20	0,8202	NS
Enraizantes	3	123,89	41,30	99,11	0,0001	**
Tamaño de esquejes	2	2,17	1,08	2,60	0,0969	NS
Interacción	6	1,61	0,27	0,64	0,6939	NS
Error	22	9,17	0,42			
Total	35	137				
CV (%)	22,78					

NS = No significativo ($p > 0,05$); ** = Altamente Significativo ($p < 0,01$)

En el Cuadro 6, se observa los resultados del análisis de varianza donde revelan que el tipo de enraizante tuvo un efecto altamente significativo ($p = 0,0001$) sobre el prendimiento, lo que indica que su composición hormonal influye decisivamente en la capacidad de establecimiento de los esquejes. En contraste, el tamaño del esqueje ($p = 0,0969$) y la interacción entre ambos factores ($p = 0,6939$) no mostraron efectos significativos, evidenciando que el prendimiento puede ser optimizado principalmente mediante la selección del enraizante, sin depender del tamaño del esqueje. Además, el bloque experimental no presentó diferencias significativas ($p = 0,8202$), lo que confirma la homogeneidad en el manejo de las unidades experimentales y refuerza la validez del diseño. En conjunto, estos hallazgos permiten identificar el tipo de enraizante como el

factor determinante en el prendimiento de esquejes, constituyendo una herramienta técnica clave para mejorar los resultados en sistemas de propagación.

El Cuadro 7, se presenta los resultados de la prueba de agrupación de medias de Duncan aplicada al factor A (tipos de enraizantes), en relación con la variable porcentaje de prendimiento. Los datos se agruparon en tres niveles de eficacia. El enraizante IBA (ácido indol-3-butírico) y ANA (ácido 1-naftalenacético), se ubicó en el primer grupo, registrando los mayores promedios en prendimiento con 4,89 y 4,44 %, lo que los posiciona como los tratamientos más efectivos con diferencias estadísticas significativas respecto a los demás. En segundo lugar, está compuesto por el grupo del enraizante Full Raíz, que alcanzó un promedio de 1,33 %, indicando un efecto bajo sobre el prendimiento del esqueje, notablemente inferior en comparación con los reguladores químicos. Finalmente, el cuarto grupo corresponde al enraizante Tp-36, que obtuvo el menor prendimiento con un promedio de 0,67 %, siendo significativamente menos efectivo que los demás tratamientos evaluados.

Cuadro 7. Prueba de Duncan para el factor A (Enraizantes) sobre el porcentaje de prendimiento de los esquejes

Factor A	Promedio %	Duncan ($\alpha = 5\%$)
IBA	4,89	A
ANA	4,44	A
Full raíz	1,33	B
Tp-36	0,67	C

En la Figura 16 se muestran los resultados del ensayo, donde se puede observar una tendencia representada mediante la ecuación $y=10.326x-10.402y = 10.326x - 10.402$, la cual sugiere que, por cada incremento en el número del tratamiento, se estima un cambio proporcional en el porcentaje de prendimiento. Este modelo se complementa con un coeficiente de determinación R^2 de 0.8987, que señala una correlación sólida entre los tratamientos evaluados y los valores de prendimiento obtenidos, explicando aproximadamente el 89.87 % de la variabilidad de los datos registrados. Los tratamientos que incluyeron ácido indol-3-butírico (IBA) demostraron los mejores resultados: T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) alcanzaron el 100 % de prendimiento, mientras que T3 (IBA + 16 cm) obtuvo el 93 %. Esta notable respuesta confirma la alta efectividad del IBA como fitorregulador en el estímulo de raíces en esquejes de lavanda. Los valores más altos de

prendimiento fueron reportados por *Bona et al.*, (2012), con un 100% en esquejes apicales de *L. dentata* de 10 – 13 cm. En este contexto, Álvarez y García (2007) también comprobaron que esquejes de 10 cm ofrecen un desarrollo radicular más favorable en romero, sugiriendo que esta medida es óptima para la propagación vegetativa de especies aromáticas. Masetto *et al.*, (2010) obtuvo más del 96% de prendimiento en la misma especie de *L. dentata*, utilizando ácido indolbutírico (IBA) en concentraciones de 2000 – 3000 ppm lo que confirma la eficacia de las auxinas sintéticas en el enraizamiento adventicio. De forma similar, los tratamientos T4 (ANA + 10 cm), T5 (ANA + 13 cm) y T6 (ANA + 16 cm), donde se aplicó ácido 1-naftalenacético (ANA), también mostraron porcentajes elevados de prendimiento. Según Kumar y Arugman (1980), concentraciones más altas de ANA pueden inducir hasta un 95 % de enraizamiento en romero, lo cual refuerza su eficacia en especies aromáticas. Por otro lado, los tratamientos que emplearon reguladores orgánicos como Tp-36 (T7, T8, T9) y Full Raíz (T10 y T12) presentaron porcentajes considerablemente bajos, indicando una menor capacidad para favorecer el desarrollo de raíces adventicias. Una excepción parcial fue T11 (Full Raíz + 13 cm), el cual logró un 40 % de prendimiento en 32 días, aunque sin inducir formación de callo radicular. Estos resultados evidencian que los reguladores químicos como IBA y ANA superan claramente en eficacia a los enraizantes orgánicos Tp-36 y Full Raíz, los cuales no lograron alcanzar un 50 % de prendimiento.

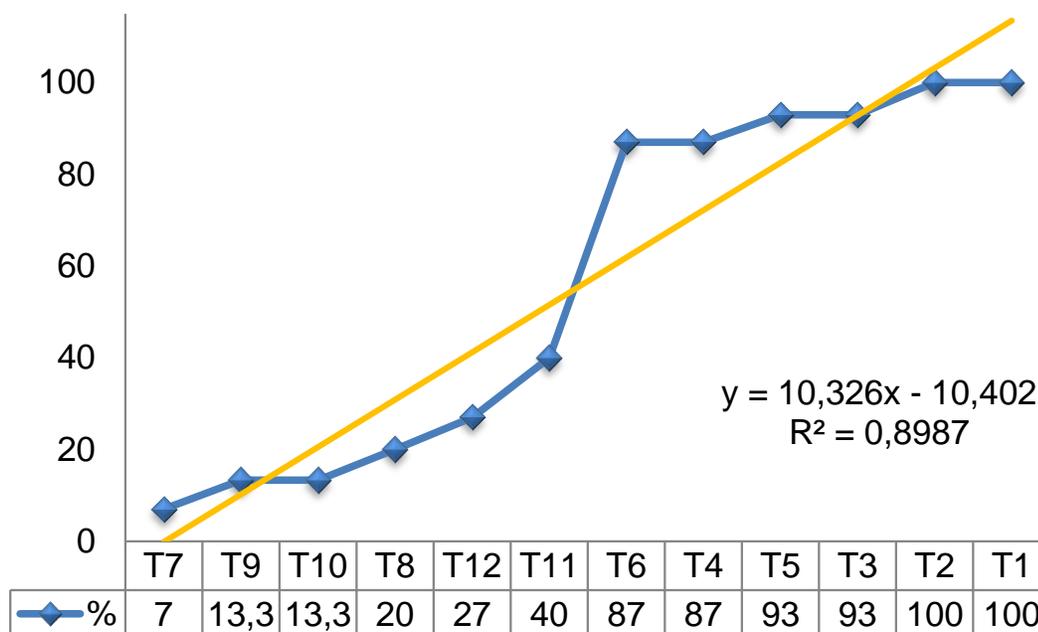


Figura 16. Comparación del porcentaje de prendimiento radicular de los tratamientos

4.2.2. Longitud de la raíz

El análisis de varianza aplicado a la variable longitud de raíz en esquejes de *Lavandula dentata* L. permitió evaluar la influencia de dos factores sobre el crecimiento radicular, respaldada por un coeficiente de variación (CV) del 11,67 %. Este valor respalda la fiabilidad de los datos obtenidos, ya que se encuentra por debajo del umbral aceptable ($CV < 30$), lo que garantiza que los datos registrados son confiables y que el manejo experimental fue adecuado.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable longitud de la raíz sobre esquejes de lavanda.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	0,36	0,18	0,82	0,4543	NS
Enraizantes	3	153,14	51,05	228,96	0,0001	**
Tamaño de esquejes	2	54,76	27,38	122,79	0,0001	**
Interacción	6	97,23	16,20	72,68	0,0001	**
Error	22	4,91	0,22			
Total	35	310,40				
CV (%)	11,67					

NS= No significativo ($p > 0,05$); **= Altamente Significativo ($p < 0,01$)

Los resultados muestran que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los bloques ($p = 0,4543 > 0,05$), lo que indica una ejecución homogénea en la distribución de las unidades experimentales. En contraste, se observaron diferencias altamente significativas para el factor tipo de enraizante ($p < 0,0001$), lo que evidencia que los enraizadores aplicados influyen de manera determinante en la longitud del sistema radicular, atribuible a las propiedades fisiológicas particulares de cada enraizante. Asimismo, el factor tamaño del esqueje también presentó una significancia estadística elevada ($p < 0,0001$), confirmando que la dimensión del material vegetal impacta en el desarrollo de raíces. Finalmente, se destaca que la interacción entre ambos factores (tipo de enraizante x tamaño del esqueje) fue altamente significativa ($p < 0,0001$), lo cual indica que el efecto del enraizante está condicionado por el tamaño del esqueje, y viceversa. Esta interacción representa un aspecto clave para el diseño óptimo de estrategias de propagación en lavanda, al considerar tanto el tipo de estimulante como las características físicas del material vegetal.

El Cuadro 9 expone los resultados derivados de la prueba de agrupación de medias de Duncan, aplicada al factor A (enraizantes), tomando como variable de referencia la longitud de raíz obtenida. Los tratamientos se organizaron en cuatro grupos en función de sus resultados promedio. El enraizante IBA (ácido indol-3-butírico) se ubicó en el primer grupo, registrando el mayor promedio en longitud de raíz con 6,23 cm, lo que lo posiciona como el tratamiento más efectivo con diferencias estadísticas significativas respecto a los demás. En segundo lugar se encuentra el enraizante ANA (ácido 1-naftalenacético), con una media de 5,37 cm, mostrando una buena capacidad de inducción radicular, aunque inferior al IBA. El tercer grupo está compuesto por el enraizante Full Raíz, que alcanzó un promedio de 3,87 cm, indicando un efecto moderado sobre el crecimiento de la raíz, notablemente inferior en comparación con los reguladores químicos. Finalmente, el cuarto grupo corresponde al enraizante Tp-36, que obtuvo la menor longitud promedio (0,81 cm), siendo significativamente menos efectivo que los demás tratamientos evaluados. En conjunto, estos hallazgos permiten establecer una jerarquía clara entre los enraizantes, en la que los reguladores químicos (IBA y ANA) evidencian un comportamiento significativamente superior respecto a los productos orgánicos (Full Raíz y Tp-36), en términos de longitud de raíz inducida.

Cuadro 9. Prueba de Duncan para el factor A (Enraizantes) sobre la longitud de la raíz

Factor A	Promedio (cm)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
IBA	6,23	A
ANA	5,37	B
Full raíz	3,87	C
Tp-36	0,81	D

El Cuadro 10 muestra los resultados de la prueba de agrupación de medias de Duncan aplicada a la variable longitud de raíz, clasificando los tamaños de esquejes en dos grupos. El grupo con mayor promedio corresponde a los esquejes de 13 cm, que alcanzaron una longitud radicular de 5,81 cm, siendo estadísticamente superiores y considerados el tamaño más eficaz para estimular el crecimiento de raíces. Por otro lado, los esquejes de 10 cm y 16 cm conforman el segundo grupo, presentando valores similares entre sí, aunque significativamente menores en comparación con los de 13 cm.

A pesar de ello, estos dos tamaños también demostraron ser eficientes en la promoción del desarrollo radicular.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para el factor B (tamaño de esqueje) sobre la longitud de la raíz

Factor B	Promedio (cm)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
13cm	5,81	A
16cm	3,29	B
10cm	3,12	B

La Figura 17 representa gráficamente el análisis de correlación entre los tratamientos aplicados y la longitud promedio de raíz obtenida en esquejes de *Lavanda dentata* L., donde muestra la media de longitud de raíz en función de doce tratamientos combinados por tipo de enraizante y longitud del esqueje. Se observó una tendencia positiva, representada por la ecuación de la recta: $y = 0,7959x - 1,1015$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,8899$, lo que indica que el modelo lineal explica un 88,99 % de la variabilidad de los datos. Esta fuerte correlación sugiere que los tratamientos aplicados tienen un efecto claro en el desarrollo radicular. Esto implica que, a medida que se avanza en la secuencia de tratamientos, la longitud de raíz tiende a aumentar, lo cual permite identificar de manera precisa aquellos tratamientos con mayor eficacia en el desarrollo radicular. Dentro de esta tendencia, destacan los tratamientos T11 (Full Raíz + 13 cm) y T2 (IBA + 13 cm), que registraron longitudes promedio de 9,62 cm y 6,85 cm respectivamente. Estos resultados evidencian que tanto los enraizantes orgánicos como los químicos pueden ser altamente efectivos cuando se combinan adecuadamente con un tamaño óptimo de esqueje. En este ensayo, los esquejes de 13 cm mostraron el mejor desempeño, coincidiendo con lo reportado por Bona *et al.*, (2012), quienes destacan que dicha longitud promueve un desarrollo radicular más eficiente. Dichos hallazgos se relacionan con lo reportado por Álvarez y García (2007), quienes encontraron que esquejes de romero de 10 cm cultivados en sustratos con alta capacidad de retención de humedad lograron un desarrollo radicular superior. Además, Lemes y Oliveira (2001) resaltaron que auxinas como el ácido indol-3-butírico (IBA) y el ácido 1-naftalenacético (ANA) promueven el enraizamiento en esquejes terminales, aunque su efectividad varía según la morfología del esqueje y el tipo de sustrato empleado. En contraste, los tratamientos con Tp-36 y Full Raíz en combinaciones no óptimas, específicamente T7, T8,

T9, T10 y T12, presentaron las menores longitudes radiculares, entre 0,67 cm y 1 cm. Esta baja respuesta sugiere que dichos reguladores orgánicos no logran estimular adecuadamente la formación de raíces adventicias, especialmente cuando se aplican en esquejes de tamaño poco favorable. Resultados similares fueron observados por Jiménez (2022), quien indicó que enraizantes orgánicos aplicados a plántulas de cacao mostraron baja eficacia en ambientes semicontrolados, lo que coincide con los patrones identificados en este estudio. Cabe destacar que el enraizante Tp-36 no mostró resultados positivos en ninguna de sus combinaciones, mientras que Full Raíz logró resultados aceptables únicamente cuando se utilizó junto a esquejes de 13 cm, como se evidenció en T11. Estos datos confirman que la interacción entre el tipo de enraizante aplicado y el tamaño del esqueje es determinante para el desarrollo del sistema radicular. Por ende, se recomienda priorizar el uso de combinaciones específicas como T11, T2 y T3 en programas de propagación de lavanda, ya que ofrecen resultados más consistentes, maximizan la respuesta morfofisiológica de los esquejes y contribuyen significativamente al éxito en la producción de raíces adventicias.

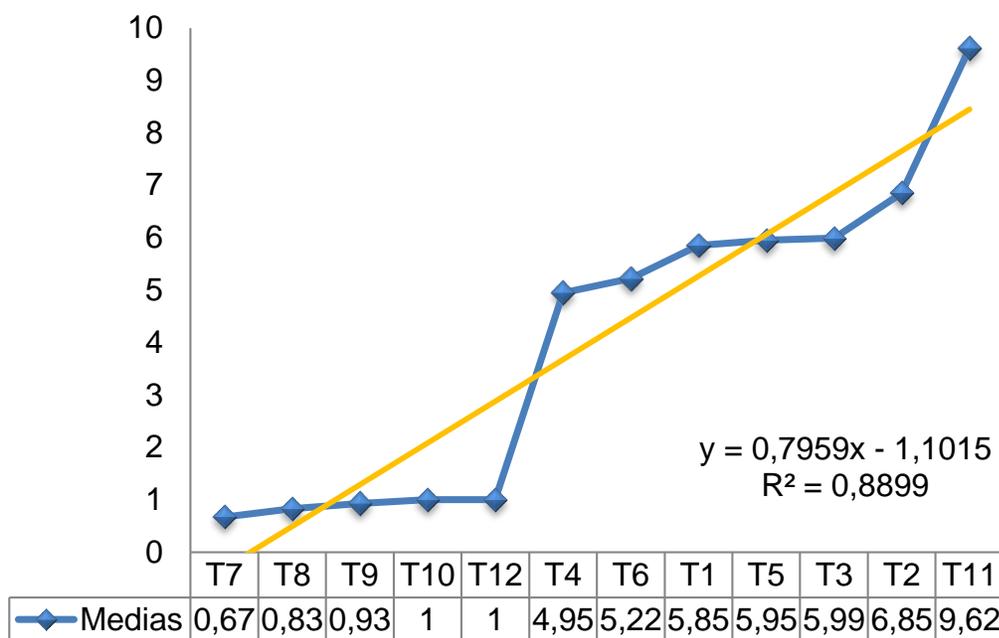


Figura 17. Comparación de medias de la longitud de la raíz en (cm)

4.2.3. Volumen de la raíz

El análisis de varianza realizado para la variable volumen de raíz en esquejes de *Lavandula dentata* L. mostró un coeficiente de variación de 28,06 %, lo cual indica una variabilidad moderada dentro de los datos experimentales. Si bien este valor es

relativamente alto, los efectos detectados son estadísticamente consistentes y permiten interpretar los resultados con respaldo técnico y se encuentra por debajo del umbral aceptable ($CV < 30$), lo que garantiza que los datos registrados son confiables y que el manejo experimental fue adecuado.

Cuadro 11. Análisis de varianza de la variable de respuesta volumen de la raíz sobre esqueje de lavanda.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	35,34	17,67	2,20	0,1341	NS
Enraizantes	3	1852,25	617,42	77,05	0,0001	**
Tamaño de esquejes	2	153,55	76,78	9,58	0,0010	**
Interacción	6	160,80	26,80	3,34	0,0170	*
Error	22	174,29	8,01			
Total	35	2378,23				
CV (%)		28,06				

NS = No significativo ($p > 0,05$); * = Significativo ($p < 0,05$); ** = Altamente Significativo ($p < 0,01$)

Así mismo el análisis de varianza en el Cuadro 11, se evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en relación al tipo de enraizante y también por tamaño del esqueje ($p = 0,0010$), lo que confirma su influencia directa en el volumen radicular. Por otro lado, la interacción entre enraizante y tamaño del esqueje ($p = 0,0170$) fue significativa, lo que indica que el efecto de un factor depende del comportamiento del otro. No se encontraron diferencias entre bloques ($p = 0,1341$), lo que valida la uniformidad experimental. Estos resultados revelan una respuesta condicionada del cultivo, en la que el volumen de raíz es optimizado cuando se ajustan ambos factores de manera conjunta.

En el cuadro 12, en la prueba Duncan de agrupación de medias en relación al volumen de la raíz, donde se describen los resultados en tres grupos, destacando el grupo con mayor promedio en volumen radicular utilizando el enraizante IBA con un promedio de $17,67 \text{ cm}^3$ y ANA con $16,58 \text{ cm}^3$, que fueron los dos mejores enraizantes significativamente superiores a los demás, en la segunda agrupación se contempla el enraizador orgánico Full raíz con $4,98 \text{ cm}^3$, que tuvo buen un efecto inferior a los enraizante sintéticos, en la tercera posición se encuentra el enraizante Tp-36 con $1,13 \text{ cm}^3$, la cual obtuvo el menor efecto, siendo significativamente inferior a todos los demás. Esto confirma que los enraizantes químicos superaron ampliamente a los enraizantes orgánicos en volumen de raíz.

Cuadro 12. Prueba de Duncan para el factor A (Enraizantes) sobre el volumen de la de la raíz

Factor A	Promedio (cm ³)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
IBA	17,67	A
ANA	16,58	A
Full raíz	4,98	B
Tp-36	1,13	C

En el Cuadro 13, en la prueba Duncan de agrupación de medias en relación al volumen de la raíz donde se describen los resultados en dos grupos, destacando el grupo con mayor promedio en longitud de raíz con esquejes de 13 cm con un promedio de 12,9 cm³, donde presentaron un mayor volumen radicular que fue significativamente superior al otro grupo, en la segunda agrupación se contempla esquejes de 10 y 16 cm con promedio de 9,38 y 7,99 cm³ pero inferiores a los esquejes de 13 cm. Esto indica que no siempre esquejes más largos o pequeños producen mayor volumen radicular; en este caso, esquejes medianos (13 cm) fueron más efectivos.

Cuadro 13. Prueba de Duncan para el factor B (Tamaño) sobre el volumen de la raíz

Factor B	Promedio (cm ³)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
13 cm	12,9	A
16 cm	9,38	B
10 cm	7,99	B

La Figura 18 presenta el análisis de correlación, en el cual se obtuvo un coeficiente de determinación $R^2 = 0,8894$, revela un grado de ajuste alto del modelo, lo que significa que aproximadamente el 89% de la variación en los datos puede ser explicada por la tendencia lineal propuesta. Esto sugiere que el comportamiento de los tratamientos tiene una relación directa y significativa con el volumen de raíz. Esta relación estadística refleja una tendencia fuertemente creciente entre el orden de los tratamientos y el volumen radicular, lo que permite identificar con claridad los tratamientos más eficaces. Los tratamientos T5 (ANA + 13 cm), T3 (IBA + 16 cm) y T2 (IBA + 13 cm) destacaron por presentar los mayores volúmenes de raíz, con promedios de 19,9 cm³, 19,4 cm³ y 18,2 cm³ respectivamente. Bona *et al.*, (2012) valida que esquejes de 13 cm tienen mejor desarrollo radicular, coincidiendo con los tratamientos T2 y T5. Estos resultados confirman la alta

efectividad de los fitorreguladores químicos ANA e IBA en esquejes de lavanda, especialmente cuando se combinan con tamaños de 13 y 16 cm. Lemes *et al.*, (2001); Masetto (2010) y Escalante *et al.*, (2024) ya habían señalado que el uso de auxinas como ANA e IBA puede mejorar significativamente el enraizamiento en esquejes terminales, aunque su respuesta depende del tipo de esqueje y del sustrato utilizado. Además, se observó que ANA e IBA mantienen un rendimiento aceptable incluso en tamaños menores, como en los tratamientos T6 (ANA + 16 cm), T1 (IBA + 10 cm) y T4 (ANA + 10 cm), lo que sugiere una buena adaptabilidad de estos reguladores. Álvarez-Herrera *et al.*, (2007) también reportaron que esquejes de 10 cm en *Rosmarinus officinalis* L. mostraron buen desarrollo radicular, especialmente en sustratos con alta retención de humedad. En contraste, los tratamientos con enraizantes orgánicos como Tp-36 (T7, T8, T9) y Full Raíz (T10, T12) mostraron volúmenes de raíz muy bajos, cercanos a 1 cm³, lo que evidencia su limitada eficacia. Solo el tratamiento T11 (Full Raíz + 13 cm) presentó un volumen moderado de 12,2 cm³, lo que sugiere que este enraizante orgánico puede ser funcional únicamente en combinación con esquejes de 13 cm. Resultados similares fueron observados por Jiménez (2022), quien concluyó que los enraizantes orgánicos presentan menor efectividad en condiciones semicontroladas, aunque pueden mejorar el desarrollo radicular en ciertos contextos.

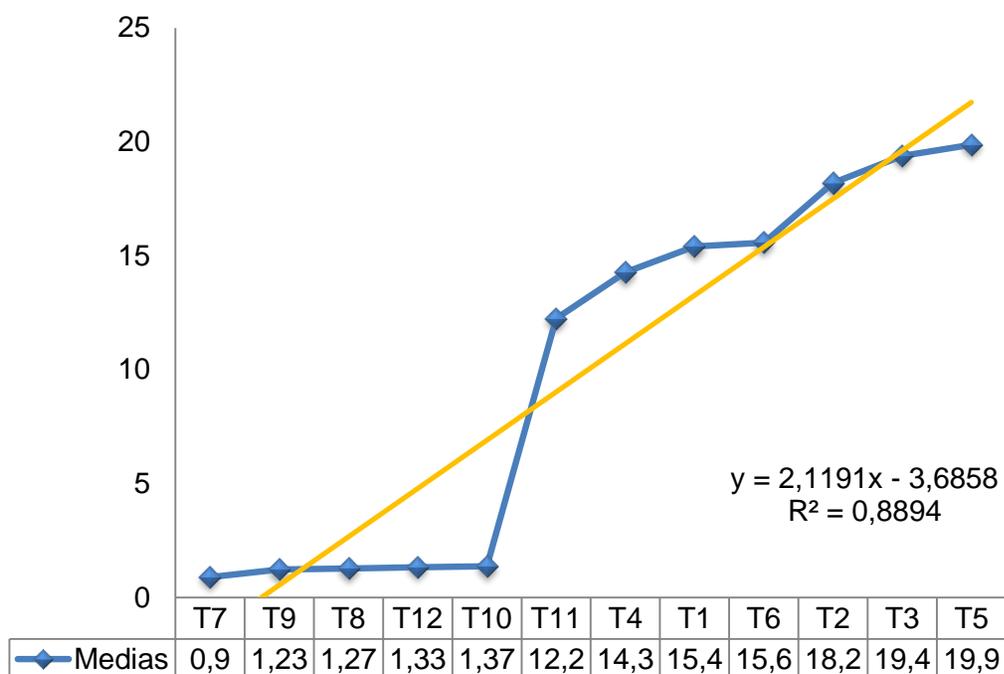


Figura 18. Comparación de medias del volumen de la raíz en (cm³) de los diferentes tratamientos

4.2.4. Tamaño del esqueje

El análisis estadístico de la varianza aplicado a la altura de esqueje en *Lavandula dentata* L. arrojó un coeficiente de variación del 10,94 %, lo cual representa una variabilidad baja y evidencia que los datos obtenidos se encuentran por debajo del umbral aceptable ($CV < 30$), lo que garantiza que los datos registrados son confiables y que el manejo experimental fue adecuado.

Cuadro 14. Análisis de varianza de la variable de respuesta altura de esqueje sobre esqueje de lavanda.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	21,31	10,65	3,77	0,0390	*
Enraizantes	3	44,11	14,70	5,21	0,0072	**
Tamaño de esquejes	2	281,43	140,71	49,83	0,0001	**
Interacción	6	18,41	3,07	1,09	0,4009	NS
Error	22	62,12	2,82			
Total	35	427,36				
CV (%)		10,94				

NS = No significativo ($p > 0,05$); * = Significativo ($p < 0,05$); ** = Altamente Significativo ($p < 0,01$)

En el Cuadro 14 se puede observar que el factor enraizante mostró un efecto altamente significativo ($p = 0,0072$), lo que indica que su composición hormonal influye de manera directa en el crecimiento vertical del esqueje. El tamaño del esqueje presentó también un efecto altamente significativo ($p = 0,0001$), evidenciando que la biomasa inicial tiene un impacto importante en el desarrollo aéreo, mientras que la interacción entre enraizante y tamaño del esqueje no fue significativa ($p = 0,4009$), lo que sugiere que cada factor actúa de forma independiente sobre la variable estudiada. Por otro lado, el bloque experimental sí mostró diferencias significativas ($p = 0,0390$), lo que podría reflejar alguna variación en las condiciones ambientales o de manejo entre unidades experimentales. En conjunto, estos resultados confirman que la altura del esqueje puede ser optimizada mediante la selección adecuada de enraizante y tamaño, sin necesidad de considerar su interacción combinada. La baja variación entre datos refuerza la validez experimental y la utilidad práctica de los tratamientos aplicados.

En el Cuadro 15 en la prueba Duncan, de agrupación de medias en relación a la altura de esqueje donde se describen los resultados en dos grupos, destacando el grupo con mayor

promedio en altura de esqueje son los enraizantes ANA con 16,92 cm e IBA con un valor de 15,80 cm, que son los dos mejores enraizantes significativamente superiores a los demás fitorreguladores orgánicos, generando esquejes más altos, en el segundo grupo se encuentra el enraizante Full raíz con 14,71 cm, donde mostró un efecto moderado juntamente con el enraizante Tp-36.

Cuadro 15. Prueba de Duncan para el factor A (Enraizante) sobre la altura de esqueje

Factor A	Promedio (cm)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
ANA	16,92	A
IBA	15,80	A
Full raíz	14,71	B
Tp-36	13,99	B

En el cuadro 16 en la prueba Duncan de agrupación de medias en relación a la altura del esqueje donde se describen los resultados en tres grupos, destacando el grupo con mayor promedio en altura son los esquejes de 16 cm con 18,56 cm con un crecimiento de 2,56 cm, en la segunda agrupación se contempla esquejes de 13 cm con promedio de 15,77cm con un crecimiento de 2,77 cm superando significativamente al esqueje de 16 cm en el tercer grupo están los esquejes de 10 cm con un promedio 11,74 con un crecimiento de 1,74 cm el más inferior a los esquejes de 13 y 16 cm. Esto resalta la importancia del tamaño del esqueje en el proceso de enraizamiento, donde un tamaño mayor favorece mejores resultados.

Cuadro 16. Prueba de Duncan para el factor B sobre el tamaño del esqueje

Factor B	Promedio (cm)	Duncan ($\alpha = 5\%$)
16 cm	18,56	A
13 cm	15,77	B
10 cm	11,74	C

La Figura 19 presenta el análisis de correlación aplicado a la variable altura de esqueje, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,8946$, lo que indica que el 89,46 % de la variación observada está explicada por el modelo lineal. Esta relación estadística evidencia una tendencia claramente definida y creciente entre la secuencia de tratamientos y el crecimiento en altura de los esquejes. Los tratamientos más destacados

fueron T6 (ANA + 16 cm) y T3 (IBA + 16 cm), con promedios de 18,4 cm y 18,3 cm, seguidos por T9 (Tp-36 + 16 cm), T5 (ANA + 13 cm) y T12 (Full Raíz + 16 cm), con valores cercanos a los 17 cm. Estos resultados confirman la eficacia de los enraizantes químicos ANA e IBA, especialmente cuando se aplican en esquejes de mayor longitud. Lemes y Oliveira (2001) ya habían señalado que el uso de auxinas como ANA e IBA mejora significativamente el enraizamiento y crecimiento en esquejes terminales, aunque su respuesta depende del tipo de esqueje y del sustrato utilizado. Es interesante observar que Tp-36 y Full Raíz, aunque generalmente menos eficaces, lograron resultados aceptables en altura cuando se combinaron con esquejes de 16 cm. Esto sugiere que el tamaño del esqueje es un factor determinante en el éxito del tratamiento, como también lo reportó Álvarez y García (2007), quienes encontraron que esquejes de 10 cm en *Rosmarinus officinalis* L. mostraron mejor desarrollo radicular y aéreo en sustratos con alta retención de humedad. En contraste, los tratamientos menos efectivos fueron T10 (Full Raíz + 10 cm) y T7 (Tp-36 + 10 cm), con promedios de 10,9 cm y 11,2 cm respectivamente, lo que confirma que los esquejes más cortos, incluso con enraizantes químicos, no favorecen un crecimiento adecuado en altura. Jiménez (2022) también observó que los enraizantes orgánicos presentan menor eficacia en condiciones semicontroladas, aunque pueden mejorar el desarrollo radicular en ciertos contextos.

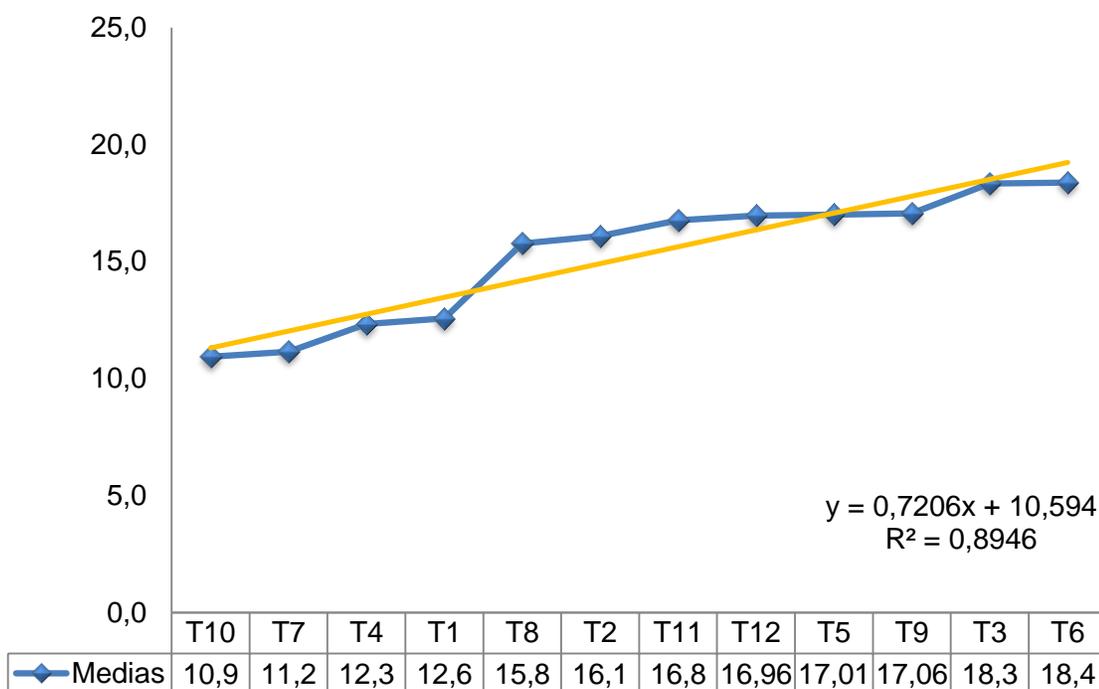


Figura 19. Comparación de medias sobre el tamaño del esqueje en (cm)

4.3. Análisis de costos parciales

4.3.1. Beneficio costo

El Cuadro 17 presenta los resultados del análisis beneficio/costo (B/C) correspondiente a los tratamientos evaluados en este ensayo, calculado en función del porcentaje de prendimiento alcanzado. Los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) obtuvieron los valores más altos de rentabilidad, registrando un B/C de 1,2 bolivianos, lo que indica una ganancia neta de 0,20 bolivianos por cada boliviano invertido. Este valor es comparable al reportado por Castillo (2023), quien obtuvo una relación B/C de 1,40 en condiciones similares, lo que refuerza la viabilidad económica del uso de IBA en sistemas de propagación de lavanda y lo posiciona como el enraizante químico de mayor eficiencia. Asimismo, se destaca el tratamiento T5 (ANA + 13 cm), con un valor de 1,1 bolivianos, que representa una ganancia de 0,10 bolivianos por cada boliviano invertido, validando de este modo la rentabilidad del enraizador ANA (Ácido 1-naftalenacético) en esquejes de *Lavandula dentata* L. y demostrando que, aunque con un retorno ligeramente inferior al de IBA, también constituye una alternativa viable. En contraste, el tratamiento T11 (Full raíz + 13 cm) muestra un B/C bajo de 0,45, lo cual indica que, si bien los ingresos cubrirían parcialmente los costos de producción, no se obtendrían beneficios relevantes con el uso de este enraizante orgánico Full raíz. De igual manera, los tratamientos T7 (Tp-36 + 10 cm), T8 (Tp-36 + 13 cm), T9 (Tp-36 + 16 cm), T10 (Full raíz + 10 cm) y T12 (Full raíz + 16 cm) reflejaron una baja rentabilidad, presentando valores de B/C claramente inferiores a 1, lo que los clasifica como económicamente inviables.

Cuadro 17. Análisis del B/C de los diferentes tratamientos en estudio en esquejes de lavanda.

		% de prendimiento	(Nº) de plantas vivas	Precio de plantines	Ingreso bruto	COSTO TOTAL	Ingreso neto	B/C
TRATAMIENTOS	T1	100	15	21	315	267	48	1,2
	T2	100	15	21	315	267	48	1,2
	T3	93	14	21	294	267	27	1,1
	T4	87	13	21	273	261	12	1
	T5	93	14	21	294	261	33	1,1
	T6	87	13	21	273	261	12	1
	T7	6,7	1	21	21	254	-233	0,08
	T8	20	3	21	63	254	-191	0,25
	T9	13,3	2	21	42	254	-212	0,17
	T10	13,3	2	21	42	273	-231	0,15
	T11	40	6	21	126	273	-147	0,46
	T12	26,7	4	21	84	273	-189	0,31

4.3.2. Análisis de dominancia

Con el objetivo de identificar los tratamientos más rentables y eficientes en la propagación de lavanda, se aplicó un análisis de dominancia económica, siguiendo el enfoque propuesto por (CIMMYT, 1988), este análisis permite descartar aquellos tratamientos que presentan un beneficio neto negativo, una relación beneficio/costo (B/C) menor a 1 o mayores costos con menores beneficios. En el Cuadro 18 se presenta el resumen del análisis económico de los tratamientos evaluados en la presente investigación, solo tres fueron económicamente viables: T1 (IBA + 10 cm), T2 (IBA + 13 cm) y T5 (ANA + 13 cm). Los tratamientos T3 (IBA + 16 cm) y T4 (ANA + 10 cm) fueron dominados por T1, mientras que T6 (ANA + 16 cm) fue superado por T5; los restantes (T7 a T12, con enraizantes orgánicos) fueron totalmente dominados al presentar pérdidas elevadas. Los mejores resultados se obtuvieron con T1 y T2, que alcanzaron beneficios netos de Bs 48 y una relación B/C de 1,2 (ganancia adicional de Bs 0,20 por cada boliviano invertido). El tratamiento T5 también fue rentable, con Bs 33 de beneficio neto y relación B/C de 1,1. En contraste, los tratamientos con Tp-36 y Full Raíz mostraron pérdidas entre Bs -147 y Bs -233, con relaciones B/C inferiores a 1 (hasta 0,08), siendo no factibles. Estos resultados coinciden con lo señalado por Geng *et al.* (2024), quienes indican que, aunque los ácidos orgánicos pueden estimular el enraizamiento en ciertas especies, su rentabilidad es inferior frente a las auxinas sintéticas. En conclusión, los enraizantes químicos, especialmente IBA, seguidos por ANA, demostraron ser los más eficientes económicamente, mientras que los orgánicos no resultaron viables bajo las condiciones del estudio.

Cuadro 18. Análisis de dominancia realizado para los tratamientos

Tratamiento	Enraizante + Tamaño	Costo Total (Bs)	Beneficio Neto (Bs)	B/C	Dominancia
T1	IBA + 10 cm	267	48	1.2	No dominado
T2	IBA + 13 cm	267	48	1.2	No dominado
T3	IBA + 16 cm	267	27	1.1	Dominado por T1
T4	ANA + 10 cm	273	12	1	Dominado por T1
T5	ANA + 13 cm	261	33	1.1	No dominado
T6	ANA + 16 cm	261	12	1	Dominado por T5
T7	Tp-36 + 10 cm	254	-233	0.08	Dominado (Pérdida)
T8	Tp-36 + 13 cm	254	-191	0.25	Dominado (Pérdida)
T9	Tp-36 + 16 cm	254	-212	0.17	Dominado (Pérdida)
T10	Full Raíz + 10 cm	273	-231	0.15	Dominado (Pérdida)
T11	Full Raíz + 13 cm	273	-147	0.46	Dominado (Pérdida)
T12	Full Raíz + 16 cm	273	-189	0.31	Dominado (Pérdida)

La Figura 20 se observa la curva de beneficio neto y costo total del análisis de dominancia donde el costo total de producción se mantuvo relativamente constante a lo largo de los tratamientos, oscilando entre Bs 254 y Bs 273. La línea de tendencia para esta serie presenta una pendiente negativa muy leve ($y = -0,3462x + 266$) y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.0287$, lo que indica que el costo total no varía significativamente entre tratamientos. Esta estabilidad en los costos permite enfocar el análisis comparativo principalmente en los beneficios obtenidos, más que en las diferencias de inversión. Por el contrario, el beneficio neto evidenció mayor variabilidad, especialmente entre tratamientos con diferentes tipos de enraizantes. Los tratamientos T1 a T6, que emplearon enraizantes químicos como ácido indolbutírico (IBA) y ácido naftalénacético (ANA), mostraron beneficios netos positivos entre Bs 12 y Bs 48, lo que coincide con estudios que destacan la eficacia de auxinas sintéticas en el enraizamiento y su impacto económico favorable (Wells *et al.*, 2018; Hajný *et al.*, 2020). En cambio, los tratamientos T7 a T12, que incluyeron enraizantes orgánicos (Tp-36 y Full Raíz), presentaron pérdidas económicas significativas, con valores negativos que van desde Bs -147 hasta Bs -233. La línea de tendencia de esta serie tiene una pendiente positiva ($y = 28.689x - 271.73$) y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.7094$, lo que sugiere una fuerte correlación positiva entre el número del tratamiento y el beneficio neto. En otras palabras, los tratamientos más cercanos al final del eje X tienden a mostrar mayores beneficios, aunque esto no se traduce necesariamente en viabilidad económica, ya que varios de esos tratamientos siguen en zona de pérdida. El gráfico refleja con claridad la situación económica de los tratamientos evaluados. Aunque los costos totales son similares entre todos los tratamientos, la rentabilidad varía significativamente, lo que demuestra que el tipo de enraizante y el tamaño del esqueje tienen un impacto directo en el beneficio económico final. Los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) destacan por sus altos beneficios netos en comparación con su costo, posicionándolos como las opciones más rentables. En contraste, los tratamientos con enraizantes orgánicos resultaron ser económicamente inviables, lo que se evidencia por sus beneficios netos negativos y baja relación B/C. El gráfico refleja con claridad la situación económica de los tratamientos evaluados. Aunque los costos totales son similares entre todos los tratamientos, la rentabilidad varía significativamente, lo que demuestra que el tipo de enraizante y el tamaño del esqueje tienen un impacto directo en el beneficio económico final. Los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) destacan por sus altos beneficios netos en comparación con su costo, posicionándolos como las opciones más rentables. En

contraste, los tratamientos con enraizantes orgánicos resultaron ser económicamente inviables, lo que se evidencia por sus beneficios netos negativos y baja relación B/C.

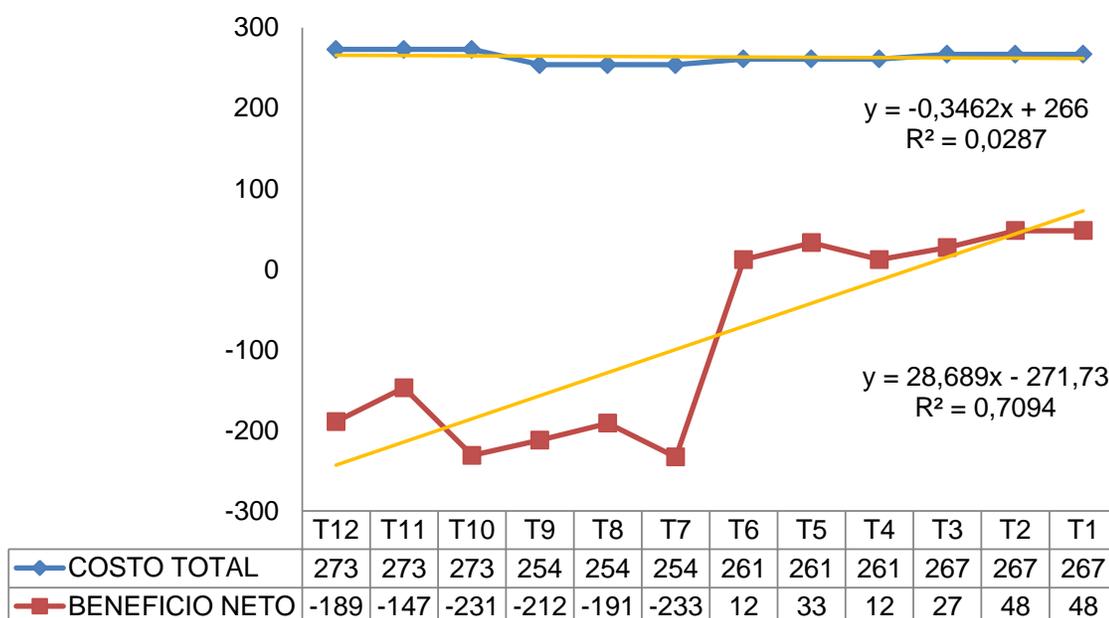


Figura 20. Curva de ingresos netos

El gráfico refleja con claridad la situación económica de los tratamientos evaluados. Aunque los costos totales son similares entre todos los tratamientos, la rentabilidad varía significativamente, lo que demuestra que el tipo de enraizante y el tamaño del esqueje tienen un impacto directo en el beneficio económico final. Los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) destacan por sus altos beneficios netos en comparación con su costo, posicionándolos como las opciones más rentables. En contraste, los tratamientos con enraizantes orgánicos resultaron ser económicamente inviables, lo que se evidencia por sus beneficios netos negativos y baja relación B/C.

4.3.3. Tasa de retorno marginal

La tasa de retorno marginal (TRM) es una herramienta clave para evaluar la ganancia adicional por cada unidad monetaria invertida entre tratamientos consecutivos, y se utiliza ampliamente en estudios de eficiencia económica en agricultura. Este indicador permite recomendar inversiones más eficientes, considerando tanto el costo total como el beneficio marginal, y se aplica exclusivamente a tratamientos económicamente no dominados, organizados por costo total ascendente (Fayisa *et al.*, 2021). El Cuadro 19 se muestra que el tratamiento T5 (ANA + 13 cm) fue tomado como punto de partida por ser el

de menor costo total (Bs 261). Al comparar T5 con T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm), ambos con un costo total de Bs 267 y un beneficio neto de Bs 48, se obtuvo una TRM de 250%, lo que significa que por cada boliviano adicional invertido respecto al T5, se generaron Bs 2.50 adicionales de ganancia. Esta es una tasa altamente favorable y confirma la superioridad económica del tratamiento T1, seguido del T2. Por otro lado, el tratamiento T3 (IBA + 16 cm), con el mismo costo que T1 y T2, pero con un beneficio neto menor (Bs 27), mostró una TRM negativa del -100%, indicando que no es rentable en comparación con T5. De igual manera, el tratamiento T4 (ANA + 10 cm) presentó una TRM negativa del -600% en comparación con T1, lo que también lo descarta como alternativa eficiente. Estos resultados coinciden con estudios recientes que destacan la importancia de la TRM como criterio económico para seleccionar tecnologías agronómicas viables, especialmente en el contexto de propagación vegetal con enraizantes (Fayisa *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2018).

Cuadro 19. Análisis de retorno marginal

Comparación	Tratamientos	Δ Beneficio Neto (Bs)	Δ Costo Total (Bs)	TRM (%)	Interpretación
Base	T5 (ANA + 13 cm)	—	—	—	Tratamiento base económico
T5 → T1	IBA + 10 cm	$48 - 33 = 15$	$267 - 261 = 6$	250%	Altamente rentable
T5 → T2	IBA + 13 cm	$48 - 33 = 15$	$267 - 261 = 6$	250%	Altamente rentable
T5 → T3	IBA + 16 cm	$27 - 33 = -6$	$267 - 261 = 6$	-100%	No rentable (Dominado)
T5 → T6	ANA + 16 cm	$12 - 33 = -21$	$261 - 261 = 0$	—	No mejora y mismo costo (Dominado)
T1 → T4	ANA + 10 cm	$12 - 48 = -36$	$273 - 267 = 6$	-600%	No rentable (Dominado)

A partir de los resultados obtenidos, los tratamientos T1 (IBA + 10 cm) y T2 (IBA + 13 cm) no solo fueron los más rentables, sino que también presentaron la mejor tasa de retorno marginal, confirmando su viabilidad técnica y económica en la propagación de lavanda.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación sobre la aplicación de fitohormonas en diferentes tamaños, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- En relación al desarrollo radicular, tanto en longitud como en volumen, los enraizantes sintéticos IBA y ANA evidenciaron una efectividad superior frente a los productos orgánicos. Este resultado subraya la relevancia de una elección adecuada del tipo de enraizador, ya que constituye un elemento clave para promover un sistema de raíces más vigoroso. Este hallazgo se alinea directamente con uno de los objetivos específicos sobre analizar cómo distintos enraizantes inciden en el crecimiento de raíces en esquejes de lavanda.
- Considerando el segundo objetivo específico, se confirmó que el tamaño del esqueje influye en el enraizamiento. Los de 13 cm fueron los más eficientes, especialmente al usar enraizantes químicos como IBA y ANA. En cambio, los esquejes de 10 cm y 16 cm, junto con los enraizantes orgánicos Tp-36 y Full Raíz, mostraron resultados menos consistentes, lo que destaca la importancia de elegir bien el tamaño y tipo de producto en la propagación de *Lavandula dentata* L.
- En relación con el tercer objetivo específico, que plantea la comparación de los costos en los diferentes tratamientos, se evidenció que el uso de fitorreguladores químicos IBA y ANA son económicamente rentables. Los tratamientos T1 y T2 generaron una ganancia de Bs 0,20 por cada boliviano invertido, mostrando buenos resultados tanto en productividad como en rentabilidad. En contraste, los enraizantes orgánicos Tp-36 y Full Raíz, aunque más baratos, no generaron beneficios económicos, por lo que no se recomiendan para la propagación de *Lavandula dentata* L. en condiciones de invernadero tecnificado.
- En todo el estudio, los enraizantes químicos IBA y ANA superaron claramente a los productos orgánicos, logrando mejores resultados en el desarrollo de raíces, el prendimiento y la altura de los esquejes. Esto valida la hipótesis alternativa (Ha), demostrando que las fitohormonas sí influyen en el éxito del enraizamiento y establecimiento de esquejes.

6. RECOMENDACIONES

En base a los presentes resultados mostrados en el presente trabajo se dan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda desarrollar estudios enfocados en la reproducción sexual de *Lavandula dentata* mediante el uso de semillas, con el objetivo de analizar la viabilidad genética de las plantas madre. Dichas investigaciones deben considerar la aplicación de fitorreguladores que contribuyan a superar la latencia de las semillas, favoreciendo una germinación más eficiente y una caracterización genética más precisa del material vegetal.
- Se aconseja llevar estudios complementarios que evalúen el efecto de los fitorreguladores ácido indol-3-butírico (IBA) y ácido 1-naftalenacético (ANA) en diferentes concentraciones, con el fin de determinar la dosis adecuada de auxinas que favorezca el enraizamiento sin provocar efectos tóxicos o inhibitorios en los esquejes.
- Se recomienda llevar a cabo estudios orientados a analizar el efecto de la retención foliar en esquejes de distintos tamaños, con el objetivo de evaluar su influencia en el éxito de la propagación asexual de *Lavandula dentata* L. Esta variable podría desempeñar un papel clave en el proceso de enraizamiento y establecimiento de los esquejes, por lo que su comprensión permitiría optimizar los protocolos de multiplicación vegetativa en condiciones controladas.
- Dado que el estudio se realizó en condiciones controladas, se sugiere validar los resultados en campo bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adamuchio, L; Deschamps, C; Machado, M. 2017. Aspectos generales sobre la cultura de Lavanda (*Lavandula* especies). Revista Brasileira de Plantas Medicinales. Universidad Federal de Paraná (UFPR). Curitiba, Brasil. 8 p.
- Agexport (Asociación Guatemalteca de Exportadores). 2019. Lavanda, *Lavandula angustifolia*: AGEXPORT AGRICOLA. Guatemala. 30 p.
- Agudelo, C; Lerma, T; Martínez, J; Palencia, M; Combatt, E. 2021. Fitohormonas y reguladores del crecimiento vegetal. Programa Mindtech para la Difusión del Conocimiento Científico. Barranquilla – Colombia. 65 p.
- Alcántara, JS; Acero, J; Alcántara, JD; Sánchez, R. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal: Investigación Biotecnología y Genética, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogota, Colombia. 18 p.
- Álvarez, J; Rodríguez, R; García, M. 2007. Propagación vegetativa de *Rosmarinus officinalis* L. en diferentes sustratos y tamaños de esqueje. Revista Chapingo Serie Horticultura. 12 p.
- Arrieta, G; Ramírez, G; Navarrete, L. 2017. Manual de Prácticas de la Unidad de Aprendizaje Propagación de Plantas. Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México. 73 p.
- Balzarini M; Gonzalez, L; Tablado, M; Casanoves, F. 2008. Infostat: manual del usuario. Grupo InfoStat, Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba. Cordoba, Argentina. 329 p.
- BDBC (Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias). 2025. Taxonomía, *Lavandula dentata* L. Consultado 23 feb. 2025. Disponible en <https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/especie/F01307>
- Benedetto, A. 2024. Propagación agámica en sistemas de producción vegetal intensivos. 1 ed. Profe Ediciones. Universidad Nacional de Buenos Aires, UBA. Corrientes, Argentina. 176 p.

- Bona, C; Biasetto, I; Masetto, M; Deschamps, C; Biasi, L. 2012. Influencia del tipo y tamaño del esqueje en el enraizamiento *Lavandula dentata* L. Instituto Agronómico de Paraná. Paraná, Brasil. v.14, n. 1. 4 p.
- Borjas, R; Julca, A; Alvarado, L. 2020. Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía. La Molina, Perú. 9 p.
- Brandstetter, D; Klug, A; Reisdorfer, L; Schulz, D; Wulff, M; Marinho, A. 2020. Calidad de la luz y ácido indolbutírico in vitro enraizamiento de lavanda: Sociedad Brasileira de Floricultura e Plantas ornamentales. Santo Angelo-RS, Brasil. v. 26, 5 p.
- Buechel, T. 2020. Uso del lixiviado de compost en sustratos. Especialista en horticultura en Productores y consumidores de tecnología de primera calidad. Consultado el 9 de jun. 2025. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/en-ca/training-center/compost-tea-use-soilless-media>
- Caughey, D; Ayala, G; Buitimea, G; Buitimea, M; Ochoa, A. 2021. Propagación y establecimiento de lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill.) bajo malla sombra. Arica, Chile. v. 39, n. 1. 10 p.
- Calvo, F; Guzmán, A. 2016. Sistema hidropónico en seco para pequeñas o medianas producciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial. 84 p.
- Castillo, A. 2023. Efecto de los enraizadores naturales líquidos vs. sólidos en la propagación de esquejes de lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill.) en tres sustratos en el centro experimental de Cota Cota. Tesis Ing. Agr. Universidad Mayor De San Andrés. La Paz, Bolivia. 90 p.
- Camara, M; Vandenberghe, L; Rodrigues, C; Oliveira, J; Faulds, C; Bertrand, E. 2018. Avances actuales en la producción de ácido giberélico (GA3), tecnologías patentadas y posibles aplicaciones. 248 p.
- Chandler, J. 2016. Factores de respuesta a la auxina. Planta, célula y medio ambiente. 39 p.

- Chi, F. 2021. Manual de propagación de plantas para viveros. Establecimiento del Circuito Etnobiológico del Jardín Botánico Regional "Roger Orellana" 305021 FORDECYT-PRONACES. Yucatán, México. 24 p.
- CIMMYT (Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México, D.F., México. 86 p. ISBN 968-6127-24-0.
- ClinisCiencias (Ciencias Clínicas). 2016. Reguladores del crecimiento vegetal - Auxinas - Ácido indol-3-butírico (IBA). Consultado el 9 de jun. 2025. Disponible en: [https://www.clinisciencias.com/en/buy/cat-plant-growth-regulators-auxins-4822.html#:~:text=Indole%2D3%2Dbutyric%20acid%20\(1H%2Dindole%2D3,and%20the%20growth%20of%20fruits.](https://www.clinisciencias.com/en/buy/cat-plant-growth-regulators-auxins-4822.html#:~:text=Indole%2D3%2Dbutyric%20acid%20(1H%2Dindole%2D3,and%20the%20growth%20of%20fruits.)
- Coria, O. 2021. Evaluación agronómica de variedades de avena (*Avena sativa* L.), con niveles de hoja de coca molida (*Erythroxylum coca* Lam.) como abono verde en Kallutaca, La Paz. Tesis Ing. Agr. Universidad Pública de El Alto. El alto, Bolivia. 90 p. 114 p.
- Cullen, N. 2017. Propagación de Plantas Tipos y Técnicas de Injertos: Cooperación Suiza en Bolivia. Centro de Educación Técnica, Humanística y Agropecuaria. La Paz-Bolivia. 73 p.
- Díaz, M. 2017. Las Hormonas Vegetales en las Plantas. Serie Nutrición Vegetal Núm. 88. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. Consultado el 9 de may. 2025. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-hormonas-vegetales-en-las-plantas>
- Escalante, C; Quito, P; Muñoz, C; Valarezo, R; Guillen, T. 2024. Influencia de reguladores de crecimiento en la propagación vegetativa de lavanda (*Lavandula angustifolia*). Revista Científica Ecológica Agropecuaria RECOA. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias. Guayaquil, Ecuador. 9 p.
- EMR (Expert Market Research - Expertos en estudios de mercado). 2025. Mercado de Aceites Esenciales en Bolivia (Cítricos, Eucalipto, Lavanda, Romero, Árbol del Té, Menta, Otros). Consultado 20 de abr. 2025. Disponible en:

<https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-aceites-esenciales-en-bolivia>

- Fayisa, S; Chamberlin, J; Ayalew, H; Kosmowski, F. 2021. Implications of intra-plot heterogeneity for yield estimation accuracy: Evidence from smallholder maize systems in Ethiopia. *Investigación de Cultivos de Campo*, 267 p.
- Ferrer, P. 2022. Una nueva variedad de *Lavandula dentata* L. (*labiatae*). Centro para la Investigación y la Experimentación Forestal de la Generalitat Valenciana. Valencia, España. ISSN 1138-5952. 6 p.
- Flores, E; Rodríguez, R; Arce, N; García Tejada, G. F. 2023. Efecto de enraizantes orgánicos y sustratos en esquejes de *Dianthus caryophyllus* L. *Revista Idesia*. 41 p.
- FGN (Fundación Global Nature). 2020. Guía básica para la producción plantas aromáticas a través de esquejes. Fundación Montemadrid y Bankia. Madrid, España. 10 p.
- GAMA (Gobierno Autónomo Municipal de Achocalla). 2016. Supervisión de la gestión ambiental relacionada con la contaminación ocasionada por las ladrilleras en el municipio de Achocalla. Informe de supervisión. Achocalla – La Paz, Bolivia 80 p.
- Geng, X; Han, B; Yang, D; Zhao, J. 2024. *Credit risk contagion of supply chain finance: An empirical analysis of supply chain listed companies*. *PLOS ONE*. 19 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306724>
- Giannoulis, K; Evangelopoulos, V; Gougoulis, N; Wogiatzi, E. 2020. El rendimiento del cultivo orgánico de lavanda y el aceite esencial se pueden mejorar mediante el uso de bioestimulantes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Ciencias del suelo y las plantas*. 70 p.648–656. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1833974>
- Hajnó, J; Prát, T; Rydza, N; Rodriguez, L; Tan, S; Verstraeten, I. 2020. El módulo receptor quinasa se dirige al transporte de auxinas dependiente de PIN durante la canalización. 9 p.
- Hernández, E. 2017. Establecimiento in vitro de cultivos de *Lavandula dentata*. Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, España. 30 p.

- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). 2017. Coadyuvantes para Potencializar el Rendimiento de Plaguicidas. Serie Fitosanidad Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. Celaya, México. 8 p.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2018. Manual de vivero, 2do año. Ministerio de agroindustria. Buenos Aires, Argentina. 178 p.
- Jiménez, M; Casanova, L; Morales, A; Rallo, P; Suárez, M; Arenas, F; Cerda, A. 2023. Propagación Vegetal: prácticas. Manuales universitarios. Sevilla, España. 2da edición. 36 p. ISBN 978-84-472-2575-0
- Jiménez, J. 2022. Evaluación de enraizantes orgánicos en plántulas de *Theobroma cacao* L. en condiciones semicontroladas. Revista Científica Agroforestería, 10(2), 78–85.
- JOHN´S. 2024. Casa agrícola. Cochabamba, Bolivia. Consultado 17 abr. 2025. Disponible en <https://johns.com.bo/product-category/casa-jardin/>
- Khan, S; Hamza, B; Mir, R; Kaneez, F; Malik, F. 2024. Planta de lavanda: cultivo y beneficios para la salud. 10 p. Consultado 20 de abr. 2025. Disponible en <https://www.eurekaselect.com/article/131899>
- Kollant. 2025. Proveedor líder europeo de biocidas y cuidado de plantas. Colombo, Italia. Consultado 17 abr. 2025. Disponible en <https://www.kollant.com/>
- Kumar, R; Arugman, S. 1980. Effect of auxins on rooting of rosemary cuttings. Indian Journal of Horticulture. 37 p.
- Laurent, O. 2020. Guía práctica para el cultivo en invernadero. Editorial De Vecchi, S. A. Barcelona, España. 137 p. ISBN: 978-1-64461-839-4.
- Lavy, M; Estelle, M. 2016. Mecanismos de señalización de auxina. 143 p.
- Lopez, B; Mondaca, I; Gortares, P; Holguín, J; Meza, M; Balderas, J; Vargas, J; Rueda, E. 2019. Técnica de esquejes en agricultura: Una alternativa a la vanguardia. Tropical and Subtropical Agroecosystems. Sonora, México. 13 p. ISSN: 1870-0462
- Lemes, R; Silva, A; Oliveira, M. 2001. Influencia de auxinas no enraizamento de estacas de alecrim. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. 4 p.

- Luna, F. 2020. Producción en vivero de plantas aromáticas. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España. 16 p.
- Masetto, M; Bona, C; Biasi, L; Lipski, B; Deschamps C. 2010. Enraizamiento adventicio de esquejes *Lavandula dentata* tratado con auxina: Instituto Agronómico de Paraná. Paraná, Brasil. v.40, n1. 4p.
- Mendoza, C; Celis, A; Pachón, M. 2012. Propagación de plantas aromáticas silvestres Aromaticas. 1 ed. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá. Bogotá, Colombia. v. 1, 32 p.
- Muntean, L. 2017. Tratado de plantas medicinales cultivadas y espontáneas - segunda edición. Lúpulo y Plantas Medicinales. 24 p. Disponible en: <https://doi.org/10.15835/hpm.v24i1-2.12605>
- NBHA (Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca - Notas botánicas del Jardín Agrobotánico de Cluj-Napoca). 2023. Control de la Auxina en la Formación de Raíces Adventicias. Romania. 10 p. Consultado 1 de abr. 2025. Disponible en <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha>
- Ochoa, R. 2019. Investigación Científica. El proyecto de investigación. La Paz, Bolivia. 282 p.
- Ortega, L; Martínez, C; Waliszewski, S; Ocampo, J. 2017. Nivel tecnológico de invernadero y riesgo para la salud de los periodistas. Puebla, Mexico. 21 p. DOI: 10.21640/ns.v9i18.730
- Osuna, HR; Osuna, AM; Fierro, A. 2016. Manual de propagación de plantas superiores: Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza. Universidad Autónoma Metropolitana. Xochimilco, Mexico. 91 p. ISBN: 978-607-28-1054-9
- Panda, D. 2021. Uso de extractos de algas marinas como reguladores del crecimiento vegetal para la agricultura sostenible. Revista internacional de recursos biológicos y gestión del estrés. Universidad Visva-Bhara. Bengala Oriental, India. 9 p.
- Park, J; Lee, Y; Martinoia, E; Geisler, M. 2017. Transportadores de hormonas vegetales: lo que sabemos y lo que nos gustaría saber. BMC Biology. 15 p.

- Peres, A; Soares, J; Tavares, R; Righetto, G; Zullo, M; Mandava, N. 2019. Brasinoesteroides, la sexta clase de fitohormonas: Una perspectiva molecular desde el descubrimiento hasta las interacciones hormonales en el desarrollo vegetal y la adaptación al estrés. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*. 20 p.
- Perrin, R. 1995. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos CIMMYT, Mexico D.F. 87 p.
- PlantProd. 2023. Fertilizantes 100% solubles en agua. Brampton, Canadá. Consultado 17 abr. 2025. Disponible en <https://www.plantprod.com/>
- Probelte. 2020. Los fitorreguladores y el crecimiento de las plantas. Consultado el 9 de may. 2025. Disponible en: <https://probelte.com/es/noticias/los-fitorreguladores-y-el-crecimiento-de-las-plantas/#:~:text=de%20una%20planta.-,Auxinas,la%20iniciaci%C3%B3n%20de%20ra%C3%ADces%20adventicias.>
- Quiroz, M. 2021. Análisis de efectividad de los diferentes tipos de enraizantes naturales para la agricultura. Tesis Ing. Agr. Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador. 34 p.
- Quilambaqui, J. 2016. El efecto de las fitohormonas en la fruticultura: de árbol caído todos hacen leña. Facultad de Ciencias Pecuarias y Agroindustriales. Cuenca, Ecuador. 2 p.
- Rosser, D. 2021. Cultivar lavanda: La guía definitiva para plantar, cultivar y cuidar la lavanda, así como para aprovechar esta hierba en la cocina, la aromaterapia y la artesanía. Estado Unidos. 92 p. ISBN: 979-8542867083
- Ruiz, J. 2020. Enraizamiento en agua de especies autóctonas para revegetación en tempero y producción agraria: Plantación mediante esquejes pre-enraizados. Congreso nacional de medio ambiente. Madrid. 19 p.
- Reyes, J. 2015. Guía de técnicas, métodos y procedimientos de reproducción asexual o vegetativa de las plantas. República Dominicana. 62 p.

- Sela, G. 2023. Fertilización y Riego - Teoría y Mejores Prácticas. Universidad Hebrea de Jerusalén. Jerusalén, Israel. 290 p.
- Sharia, N; Razifah, S; As, M; Ma, A. 2015. Aplicación de ácido giberélico (Ga₃) en esquejes de tallo de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*): efectos sobre la calidad y el rendimiento de la fruta en la cosecha. Revista de Biología, Agricultura y Salud. Terengganu, Malasia. 55 p.
- Shanthi, V. 2021. Actinomicetos: Implicaciones y perspectivas en la agricultura sostenible. Biofertilizantes: Estudio e impacto. 9 p.
- Steel, R; Torrie, J. 1992. Bioestadística, principios y procedimientos. Trad. Por Ricardo Martínez B. II ed. Bogota, Colombia. 263 p.
- Subki, A; Abidin, A; Balia, Y; Zetty, N. 2018. El papel de la tiamina en las plantas y perspectivas actuales en la mejora de los cultivos. Departamento de Bioquímica, Facultad de Biotecnología y Ciencias Biomoleculares. Selangor, Malasia. 12 p.
- Tamayo, A. 2015. Nutrición y fertilización: Capítulo III. Tecnología para el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth.). Colombia. 20 p.
- Takehara, S; Ueguchi, M. 2018. Biología Estructural de Plantas: Regulaciones Hormonales. Centro de Biociencias y Biotecnología. Universidad de Nagoya. Nagoya, Japón. 95 p.
- TodoAgro, 2025. Proveedora líder en servicios integrales para el agro. Consultado 17 abr. 2025. Disponible en: <https://todo-agro.com/>
- Torii, K; Hagihara, S; Uchida, N; Takahashi, K. 2018. Aprovechamiento de la química sintética para investigar y secuestrar la señalización de auxina. 220 p.
- Totaro, A; Panciera, T; Piccolo, S. 2018. Señales ascendentes y descendentes de YAP/TAZ. Nature Cell Biology. 20 p.
- UNLP (Universidad Nacional de la Plata). 2024. Propagación de especies vegetales: Mantenimiento de espacios verdes. Universidad nacional de plata. Buenos Aires, Argentina. 11 p.

- Vaishnav, D; Chowdhury, P. 2023. Tipos y función de las fitohormonas y su papel en el estrés. 10 p. Doi: 10.5772/intechopen.109325
- Vásquez, J. 2019. *Lavandula angustifolia*: características, hábitat, Obtenido de: propiedades. Consultado 28 de jun. 2025. Disponible en: <https://www.lifeder.com/Lavandula-angustifolia/>
- Vega, W. 2024. Guía de manejo de plantas medicinales y aromáticas en vivero y en campo definitivo: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Lima, Perú. 27 p.
- Vega, P; Canchignia, H; González, M; Seeger, M. 2016. Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias, Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. 8p.
- Wells, R; Truong, F; Adal, A. 2018. *Lavandula*, Aceites esenciales: Una revisión actual de las aplicaciones de la lavanda en las industrias medicinales, alimentarias y cosméticas. Campus Okanagan de la Universidad de Columbia Británica. BC, Canadá. 15 p.
- Westlake, M. 2020. Real Jardín Botánico de KEW. Consultado 12 de abr. 2025. Disponible en: <https://www.kew.org/read-and-watch/lavender-sleep-eyemask>
- Yan, Y; Li, J; Zhang, X; Yang, W; Wan, Y; Ma, Y; Zhu, Y; Peng, Y; Huang, L. 2018. Efecto del ácido naftalenacético sobre el desarrollo de raíces adventicias y cambios fisiológicos asociados en esquejes de tallo de *Hemarthria compressa*. Facultad de Agronomía, Sichuan. Universidad Agrícola, Wenjiang. Sichuan, China. 6 p.
- Yamaguchi, I; Cohen, J; Culler, A; Quint, M; Slovin, J; Nakajima, M. 2016. Hormonas vegetales. Productos Naturales Integrales II, Química y Biología. 9 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Características de la especie



Anexo 2. Preparación del ambiente experimental





Anexo 3. Enraizadores que se utilizaron en la investigación



Anexo 4. Plantas madres de lavanda de donde se estrajeron los esquejes

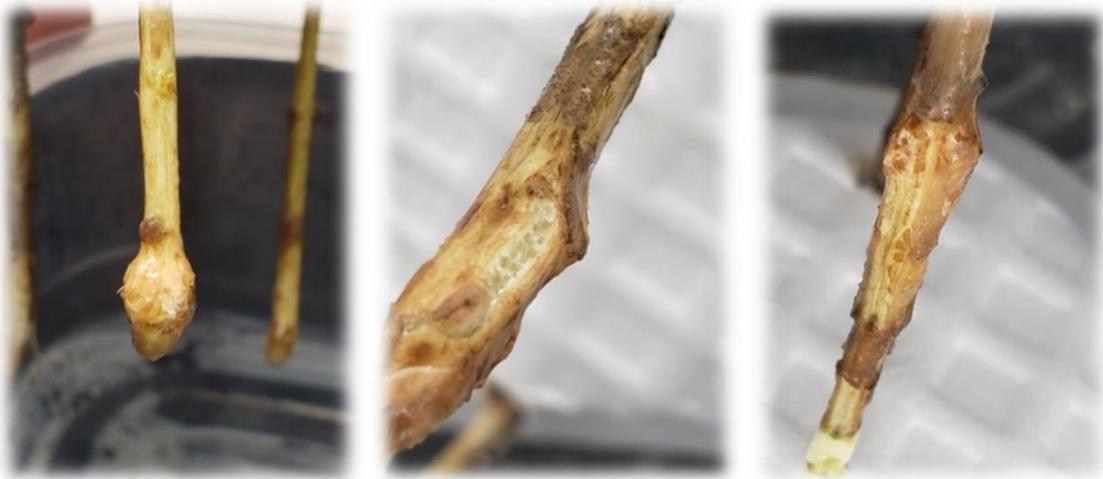


Anexo 5. Preparado de los materiales para la propagación de esquejes



Anexo 6. Esquejes de lavanda listas para enraizar



Anexo 7. Formación de callo**Anexo 8. Brote de raíces de lavanda**

Anexo 9. Toma de datos de las raíces**Anexo 10. Repique de esquejes**

Anexo 11. Esquejes de lavanda en desarrollo



Anexo 12. Costos de producción del enraizante IBA para la obtención del B/C de los tratamientos (1, 2, 3)

Detalle	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Bs
1. Insumos				
Enraizador IBA	g	20	1,2	24
Agua destilada	L	18	2,34	42
Alcohol	ml	250	0,012	3
Agua oxigenada	ml	250	0,02	5
Abono foliar (Supermacollo)	ml	7,5	1,2	9
Enraizadores	ml	15	1,8	27
Insectisida (Evisec)	g	5	1	5
2. Material de campo				
Pala	semana	1	0,2	0,2
Picota	semana	1	0,34	0,34
Carretilla	semana	1	0,9	0,9
Manguera	mes	4	0,021	0,084
Cordel	días	1	0,0072	0,0072
Estacas	días	1	0,0054	0,0054
Atomizadores	Unid.	1	4	4
Bolsas de repique	Unid.	90	0,14	12,6
Marbetes (etiquetas)	mes	4	0,003	0,011
Tijera de podar	mes	2	0,6	1,2
Embases de plastico	mes	4	0,675	2,7
Embases de polipropileno	mes	4	1,125	4,5
Masquin	Unid.	1	2,25	2,25
Baldes	mes	4	0,625	2,5
Vaso precipitado	mes	4	0,25	1
Cuchara de goma	mes	4	0,125	0,5
Jeringas	mes	4	0,042	0,2
Bolígrafo	mes	4	0,0625	0,25
Marcadores indelebles	días	2	0,0011	0,0022
Flexómetro	días	1	0,032	0,032
Regla	mes	2	0,2	0,4
4. Equipos de campo				
Balanza digital de precision	mes	4	3	12
Termohigrómetro	mes	4	6,75	27
Calibrador (vernier)	mes	2	3,33	6,66
Phmetro	mes	4	3,75	15
Desinfeccion de sustratos	Jornal	1	5	5
llenado de bolsas	Jornal	1	5	5
3. Preparación del terreno				
Alquiler del ambiente	mes	4	2,5	10
Preparacion del terreno	Jornal	1	10	10
Fertilización y fumigacion de planta madre	Jornal	1	10	10
Preparacion de Sustrato (Arena + Turba)	Jornal	1	5	5
Sub Total (Bs)				254,3
Imprevistos	5%			12,7
Costo Total				267

Anexo 13. Costos de producción del enraizante ANA para la obtención del B/C de los tratamientos (4, 5, 6)

Detalle	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Bs
1. Insumos				
Enraizador ANA	g	20	0,9	18
Agua destilada	L	18	2,34	42
Alcohol	ml	250	0,012	3
Agua oxigenada	ml	250	0,02	5
Abono foliar (Supermacollo)	ml	7,5	1,2	9
Enraizadores	ml	15	1,8	27
Insectisida (Evisec)	g	5	1	5
2. Material de campo				
Pala	semana	1	0,2	0,2
Picota	semana	1	0,34	0,34
Carretilla	semana	1	0,9	0,9
Manguera	mes	4	0,021	0,084
Cordel	días	1	0,0072	0,0072
Estacas	días	1	0,0054	0,0054
Atomizadores	Unid.	1	4	4
Bolsas de repique	Unid.	90	0,14	12,6
Marbetes (etiquetas)	mes	4	0,003	0,011
Tijera de podar	mes	2	0,6	1,2
Embases de plastico	mes	4	0,675	2,7
Embases de polipropileno	mes	4	1,125	4,5
Masquin	Unid.	1	2,25	2,25
Baldes	mes	4	0,625	2,5
Vaso precipitado	mes	4	0,25	1
Cuchara de goma	mes	4	0,125	0,5
Jeringas	mes	4	0,042	0,2
Bolígrafo	mes	4	0,0625	0,25
Marcadores indelebles	días	2	0,0011	0,0022
Flexómetro	días	1	0,032	0,032
Regla	mes	2	0,2	0,4
4. Equipos de campo				
Balanza digital de precision	mes	4	3	12
Termohigrómetro	mes	4	6,75	27
Calibrador (vernier)	mes	2	3,33	6,66
Phmetro	mes	4	3,75	15
Desinfeccion de sustratos	Jornal	1	5	5
llenado de bolsas	Jornal	1	5	5
3. Preparación del terreno				
Alquiler del ambiente	mes	4	2,5	10
Preparacion del terreno	Jornal	1	10	10
Fertilización y fumigacion de planta madre	Jornal	1	10	10
Preparacion de Sustrato (Arena + Turba)	Jornal	1	5	5
Sub Total (Bs)				248,3
Imprevistos	5%			12,4
Costo Total				261

Anexo 14. Costos de producción del enraizante Tp-36 para la obtención del B/C de los tratamientos (7, 8, 9)

Detalle	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Bs
1. Insumos				
Enraizador TP-36	ml	20	0,6	12
Agua destilada	L	18	2,34	42
Alcohol	ml	250	0,012	3
Agua oxigenada	ml	250	0,02	5
Abono foliar (Supermacollo)	ml	7,5	1,2	9
Enraizadores	ml	15	1,8	27
Insectisida (Evisec)	g	5	1	5
2. Material de campo				
Pala	semana	1	0,2	0,2
Picota	semana	1	0,34	0,34
Carretilla	semana	1	0,9	0,9
Manguera	mes	4	0,021	0,084
Cordel	días	1	0,0072	0,0072
Estacas	días	1	0,0054	0,0054
Atomizadores	Unid.	1	4	4
Bolsas de repique	Unid.	90	0,14	12,6
Marbetes (etiquetas)	mes	4	0,003	0,011
Tijera de podar	mes	2	0,6	1,2
Embases de plastico	mes	4	0,675	2,7
Embases de polipropileno	mes	4	1,125	4,5
Masquin	Unid.	1	2,25	2,25
Baldes	mes	4	0,625	2,5
Vaso precipitado	mes	4	0,25	1
Cuchara de goma	mes	4	0,125	0,5
Jeringas	mes	4	0,042	0,2
Bolígrafo	mes	4	0,0625	0,25
Marcadores indelebles	días	2	0,0011	0,0022
Flexómetro	días	1	0,032	0,032
Regla	mes	2	0,2	0,4
4. Equipos de campo				
Balanza digital de precision	mes	4	3	12
Termohigrómetro	mes	4	6,75	27
Calibrador (vernier)	mes	2	3,33	6,66
Phmetro	mes	4	3,75	15
Desinfeccion de sustratos	Jornal	1	5	5
llenado de bolsas	Jornal	1	5	5
3. Preparación del terreno				
Alquiler del ambiente	mes	4	2,5	10
Preparacion del terreno	Jornal	1	10	10
Fertilización y fumigacion de planta madre	Jornal	1	10	10
Preparacion de Sustrato (Arena + Turba)	Jornal	1	5	5
Sub Total (Bs)				242,3
Imprevistos	5%			12,1
Costo Total				254

Anexo 15. Costos de producción del enraizante Full raíz para la obtención del B/C de los tratamientos (10, 11, 12)

Detalle	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Bs
1. Insumos				
Enraizador Full raíz	ml	20	1,5	30
Agua destilada	L	18	2,34	42
Alcohol	ml	250	0,012	3
Agua oxigenada	ml	250	0,02	5
Abono foliar (Supermacollo)	ml	7,5	1,2	9
Enraizadores	ml	15	1,8	27
Insectisida (Evisec)	g	5	1	5
2. Material de campo				
Pala	semana	1	0,2	0,2
Picota	semana	1	0,34	0,34
Carretilla	semana	1	0,9	0,9
Manguera	mes	4	0,021	0,084
Cordel	días	1	0,0072	0,0072
Estacas	días	1	0,0054	0,0054
Atomizadores	Unid.	1	4	4
Bolsas de repique	Unid.	90	0,14	12,6
Marbetes (etiquetas)	mes	4	0,003	0,011
Tijera de podar	mes	2	0,6	1,2
Embases de plastico	mes	4	0,675	2,7
Embases de polipropileno	mes	4	1,125	4,5
Masquin	Unid.	1	2,25	2,25
Baldes	mes	4	0,625	2,5
Vaso precipitado	mes	4	0,25	1
Cuchara de goma	mes	4	0,125	0,5
Jeringas	mes	4	0,042	0,2
Bolígrafo	mes	4	0,0625	0,25
Marcadores indelebles	días	2	0,0011	0,0022
Flexómetro	días	1	0,032	0,032
Regla	mes	2	0,2	0,4
4. Equipos de campo				
Balanza digital de precision	mes	4	3	12
Termohigrómetro	mes	4	6,75	27
Calibrador (vernier)	mes	2	3,33	6,66
Phmetro	mes	4	3,75	15
Desinfeccion de sustratos	Jornal	1	5	5
llenado de bolsas	Jornal	1	5	5
3. Preparación del terreno				
Alquiler del ambiente	mes	4	2,5	10
Preparacion del terreno	Jornal	1	10	10
Fertilización y fumigacion de planta madre	Jornal	1	10	10
Preparacion de Sustrato (Arena + Turba)	Jornal	1	5	5
Sub Total (Bs)				260,3
Imprevistos	5%			13
Costo Total				273

Anexo 16. Precio de plantines emitido por Ema Verde para realizar el análisis económico

		NIT : 121441027 FACTURA N° : 5 CÓD. AUTORIZACIÓN : 84F3066569F343A2C32F1340 D0546E9ABBD14212140B65D6 97EF8E74																					
EMPRESA MUNICIPAL DE AREAS VERDES PARQUES Y FORESTACION (EMAVERDE) Sucursal N° 7 No. Punto de Venta 0 AVENIDA ARANJUEZ - VIVERO ARANJUEZ NRO. 679 ZONA/BARRIO: ARANJUEZ Teléfono: 2411649 La Paz																							
FACTURA (Con Derecho a Crédito Fiscal)																							
Fecha: 03/09/2024 16:33 PM Nombre/Razón Social: VARGAS	CI/NIT/CEX: 12363772 Cod. Cliente: 26161																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código Producto</th> <th>Cantidad</th> <th>Unidad de Medida</th> <th>Descripción</th> <th>Precio Unitario</th> <th>Descuento</th> <th>Sub Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1281</td> <td>2</td> <td>BOLSA</td> <td>LAVANDA ANGUSTIFOLIA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)</td> <td>8.00</td> <td>0.00</td> <td>16.00</td> </tr> <tr> <td>1283</td> <td>2</td> <td>BOLSA</td> <td>LAVANDA DENTADA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)</td> <td>21.00</td> <td>0.00</td> <td>42.00</td> </tr> </tbody> </table>	Código Producto	Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Sub Total	1281	2	BOLSA	LAVANDA ANGUSTIFOLIA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)	8.00	0.00	16.00	1283	2	BOLSA	LAVANDA DENTADA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)	21.00	0.00	42.00		
Código Producto	Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Sub Total																	
1281	2	BOLSA	LAVANDA ANGUSTIFOLIA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)	8.00	0.00	16.00																	
1283	2	BOLSA	LAVANDA DENTADA ARBUSTIVAS ARBUSTIVA FLORAL (BOLSA MEDIANA)	21.00	0.00	42.00																	
Son: CINCUENTA Y OCHO 00/100 Bolivianos.			<table border="0"> <tr> <td>SUB TOTAL Bs</td> <td>58.00</td> </tr> <tr> <td>DESCUENTO Bs</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>TOTAL Bs</td> <td>58.00</td> </tr> <tr> <td>MONTO A PAGAR Bs</td> <td>58.00</td> </tr> <tr> <td>IMPORTE BASE CREDITO FISCAL</td> <td>58.00</td> </tr> </table>	SUB TOTAL Bs	58.00	DESCUENTO Bs	0.00	TOTAL Bs	58.00	MONTO A PAGAR Bs	58.00	IMPORTE BASE CREDITO FISCAL	58.00										
SUB TOTAL Bs	58.00																						
DESCUENTO Bs	0.00																						
TOTAL Bs	58.00																						
MONTO A PAGAR Bs	58.00																						
IMPORTE BASE CREDITO FISCAL	58.00																						
<p>ESTA FACTURA CONTRIBUYE AL DESARROLLO DEL PAÍS, EL USO ILÍCITO SERÁ SANCIONADO PENALMENTE DE ACUERDO A LEY Ley N° 453: Están prohibidas las prácticas comerciales abusivas, tienes derecho a denunciarlas. "Este documento es la Representación Gráfica de un Documento Fiscal Digital emitido en una modalidad de facturación en línea".</p>																							
			Facturador: efrain.ramos																				

Anexo 17. Temperatura y humedad registrada en la investigación

Fecha	Tem màx	Tem mìn	Promedio	Fecha	H. màx	H. mìn	Promedio
14-feb	16,8	13,8	15,3	14-feb	97,6	83	90,3
17-feb	30,1	10,8	20,45	17-feb	98,7	88,5	93,6
24-feb	28,4	9,8	19,1	24-feb	91,6	57,2	74,4
3-mar	29,8	8,7	19,25	3-mar	94,7	89,5	92,1
10-mar	30,9	8,1	19,5	10-mar	98,5	81,9	90,2
17-mar	28,4	11	19,7	17-mar	94,7	50,7	72,7
24-mar	30,9	8,8	19,85	24-mar	99	58	78,5
31-mar	26,9	9,9	18,4	31-mar	90,4	84,9	87,65
7-abr	27,4	9,7	18,55	7-abr	99,9	69,6	84,75
14-abr	28,1	12	20,05	14-abr	99,9	79,4	89,65
21-abr	26,9	9,8	18,35	21-abr	97,9	86	91,95
28-abr	26,4	9,4	17,9	28-abr	99,7	90,12	94,91
5-may	29,6	9,5	19,55	5-may	99,9	93,9	96,9
12-may	28,1	9,8	18,95	15-may	98,7	81,12	89,91
19-may	28,6	10,5	19,55	19-may	99,9	88,11	94,005