

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: “Efecto de la aplicación de estimulantes biológicos en el crecimiento radicular del cultivo de rosa (*Rosa sp.*) variedad Explorer en la Florícola “León Roses” sector La Esperanza, cantón Bolívar Provincia del Carchi”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Valverde Yar Marlon Vinicio

TUTOR: Ing. Herrera Ramírez David Carlos, MSc

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Valverde Yar Marlon Vinicio con el número de cédula 0401755574 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Efecto de la aplicación de estimulantes biológicos en el crecimiento radicular del cultivo de rosa (*Rosa sp.*) variedad Explorer en la Florícola "León Roses" sector La Esperanza, cantón Bolívar Provincia del Carchi"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Herrera Ramírez David Carlos, MSc

TUTOR

Tulcán, julio de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Valverde Yar Marlon Vinicio con cédula de identidad número 0401755574 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



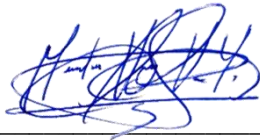
Valverde Yar Marlon Vinicio

AUTOR

Tulcán, julio de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Valverde Yar Marlon Vinicio declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Efecto de la aplicación de estimulantes biológicos en el crecimiento radicular del cultivo de rosa (*Rosa sp.*) variedad Explorer en la Florícola "León Roses" sector La Esperanza, cantón Bolívar Provincia del Carchi" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Valverde Yar Marlon Vinicio

AUTOR

Tulcán, julio de 2026

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Magíster David Herrera, por su comprensión y apoyo en los momentos difíciles que he atravesado en estos últimos años. Su guía, paciencia y generosidad han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal, y estoy profundamente agradecida por haber contado con su acompañamiento en este camino.

A mi familia, por ser mi mayor fuente de fortaleza y motivación. A mi madre, Marlene Yar, por su amor infinito y su sacrificio silencioso de cada día. A mi hermana, Verónica Valverde, por su apoyo incondicional. A mi pequeña sobrina, Beatriz Dávalos, por recordarme la importancia de la inocencia y la alegría que siempre vale la pena seguir adelante. Y a la memoria de mi abuelo, Salomón Valverde, por ser un ejemplo de perseverancia y fe.

A mi padre, Héctor Valverde, quien partió durante este proceso dejando en mí una herida y también una fuerza que no sabía que tenía. Gracias, papá, por cada sacrificio que hiciste para que yo pudiera llegar hasta aquí. Aunque ya no estés para verlo, este logro nació del amor que me diste y del deseo que siempre tuviste de verme triunfar.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a la prestigiosa Universidad Politécnica Estatal del Carchi, institución que me brindó las herramientas, el conocimiento y el espacio para crecer como profesional y como persona para así alcanzar esta meta. Este logro es el reflejo del esfuerzo, el compromiso y la formación que recibí dentro de sus aulas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada familia, quienes han sido mi pilar en cada etapa de mi vida. A mis padres, Marlene Yar y Héctor Valverde, por su amor incondicional y por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia. A mi hermana, Verónica Valverde, por su apoyo inquebrantable y por estar siempre a mi lado. A mi pequeña sobrina, Beatriz Dávalos, mi guagua querida, cuya ternura ilumina mis días y me inspira a seguir adelante.

Con especial cariño, dedico este logro a mi querido abuelo, Salomón Valverde, quien, desde el cielo, sigue guiando mi camino. Su fé en mí fue inquebrantable, y me reconforta saber que partió con la certeza de que podía lograr todo lo que me propusiera. Este triunfo también es suyo.

Y, sobre todo, dedico este trabajo a mi amado padre, Héctor Valverde, quien partió antes de poder ver este sueño convertido en realidad, pero cuyo deseo más profundo siempre fue verme triunfar. Papá, cada página de esta tesis lleva tu nombre escrito en silencio. Lo que comenzó como una promesa se convierte hoy en cumplimiento: lo logré, y lo logré pensando en ti. Donde estés, espero que puedas sentir el orgullo que tanto anhelabas. Este título es tuyo.

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1 Generalidades del cultivo de Rosa (Rosa sp.)	22
2.2.2. La Variedad "Explorer"	25
2.2.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de rosa.	27
2.2.4. Prácticas culturales en el cultivo de rosa.....	30
2.2.5. Plagas y Enfermedades del cultivo de rosa	39
2.2.6. Fisiología del Sistema Radicular	41
2.2.7. Tecnologías de Evaluación Radicular	42
2.2.8. Análisis Digital de Imágenes (Software ImageJ y Código Python en Google Colab).....	43
III. METODOLOGÍA	47
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	47
3.1.1. Enfoque	47

3.1.2.	Tipo de Investigación	47
3.2.	HIPÓTESIS	47
3.2.1.	Hipótesis Alternativa (Ha)	47
3.2.2.	Hipótesis Nula (H0)	47
3.3.	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	48
3.3.1.	Definición de las variables	48
3.3.2.	Operacionalización de las variables	49
3.4.	MÉTODOS UTILIZADOS	51
3.4.1.	Área de estudio	51
3.4.2.	Tratamientos del diseño experimental	51
3.4.3.	Características del diseño experimental	52
3.4.4.	Distribución y características del experimento	53
3.4.5.	Población y muestra de la investigación	54
3.4.6.	Variables Evaluadas	55
3.4.6.1.	Estimulantes Biológicos aplicados al cultivo de rosas variedad Explorer.....	55
3.4.6.2.	Longitud de tallo (cm) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	56
3.4.6.3.	Calidad de tallo y botón floral en etapa fenológica Botón Preapertura-PE (87ddp) (Longitud y Diámetro)	58
3.4.6.4.	Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha (Longitud y Diámetro).....	60
3.4.6.5.	Extensión radicular lateral (longitud de raíz) (cm).....	61
3.4.6.6.	Rendimiento (tallos/ha/mes)	62
3.4.6.7.	Análisis Costo Beneficio por Hectárea	62
3.4.7.	Procedimientos	62
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1.	RESULTADOS	66

4.1.1. Longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.....	66
4.1.2. Calidad de tallo y botón floral en la etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura- PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	68
4.1.3. Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.....	71
4.1.4. Extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.	73
4.1.5. Rendimiento (tallos/ha/mes) para el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	74
4.1.6. Análisis Costo Beneficio por Hectárea para el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos. ...	76
4.2. DISCUSIÓN	78
4.2.1. Longitud de Tallo para Punto Rayando Color (78 ddp) y Preapertura (87 ddp)	78
4.2.2. Longitud de Tallo en Cosecha (95 ddp)	79
4.2.3. Diámetro de Tallo en Cosecha (95 ddp)	80
4.2.4. Longitud y Diámetro de Botón Floral en Cosecha (95 ddp)	81
4.2.5. Análisis Económico Extensión Radicular Lateral.....	83
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. CONCLUSIONES	86
5.2. RECOMENDACIONES.....	87
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
VII. ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de rosa	23
Tabla 2. Macronutrientes esenciales en el cultivo de rosa (Rosa sp.)	34
Tabla 3. Insumos/mezclas bioestimulantes evaluados en la investigación.	35
Tabla 4. Principales plagas del cultivo de rosa (Rosa sp.) bajo invernadero.	40
Tabla 5. Principales enfermedades del cultivo de rosa (Rosa sp.) bajo invernadero.	40
Tabla 6. Operacionalización de variables	49
Tabla 7. Tratamientos del experimento	52
Tabla 8. Características del experimento.....	53
Tabla 9. Análisis de varianza para la variable longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	66
Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para la variable longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	68
Tabla 11. Análisis de varianza para la variable Calidad de tallo y botón floral en etapa fenológica de Botón desarrollado – Preapertura - PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	69
Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para la variable Calidad de tallo y botón floral en etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura- PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	70
Tabla 13. Análisis de varianza para la variable Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	71
Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para la variable. Calidad de tallo y botón floral en el momento de la cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	72
Tabla 15. Análisis de varianza para la variable extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.	73
Tabla 16. Prueba de medias para la variable. extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.	74
Tabla 17. Análisis de varianza para la variable Rendimiento (tallos/ha/mes) en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.....	75
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para la variable Rendimiento (tallos/ha/mes) en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.....	75
Tabla 19. Análisis costo/beneficio por hectárea en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rosa Variedad Explorer	26
Figura 2. Ubicación del experimento en la florícola León Roses	51
Figura 3. Distribución del experimento tratamientos aleatorios.....	54
Figura 4. Brotación.....	56
Figura 5. Desarrollo Vegetativo (26 ddp)	56
Figura 6. Desarrollo Vegetativo (39 ddp)	57
Figura 7. Punto Arroz (52 ddp)	57
Figura 8. Punto Arveja/Garbanzo (65 ddp)	57
Figura 9. Punto Rayando Color (78 ddp)	58
Figura 10. Longitud de Tallo en Preapertura (cm)	58
Figura 11. Diámetro de Tallo en Preapertura (cm)	59
Figura 12. Longitud de Botón PE (cm)	59
Figura 13. Diámetro de Botón PE (cm)	59
Figura 14. Longitud de Tallo (cm) a la Cosecha	60
Figura 15. Diámetro del tallo (cm) a la Cosecha	60
Figura 16. Longitud del botón (cm) a la Cosecha	60
Figura 17. Diámetro del botón (cm) a la Cosecha	61
Figura 18. <i>Modelo prototipo del rizotrón utilizado para la observación radicular no destructiva.</i>	97
Figura 19. Instalaciones de la florícola	98
Figura 20. Preparación de las camas.	98
Figura 21. Lavado de raíces	98
Figura 22. División y rotulación de camas	98
Figura 23. Instalación de rizotrones	98
Figura 24. Rizotrón instalado.....	98
Figura 25. Selección de brotes nuevos	98
Figura 26. Insumos utilizados	99
Figura 27. Brotes emergentes	99
Figura 28. Aplicación de bioestimulantes.....	99
Figura 29. Fertilización	99
Figura 30. Aprovechamiento de residuos orgánicos	99
Figura 31. Toma de datos	99
Figura 32. Toma de datos	100
Figura 33. Clasificación en bonches	100
Figura 34. Postcosecha.....	100
Figura 35. Cosecha	100
Figura 36. Bonches de selección	100
Figura 37. Cuarto de Enfriamiento	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	94
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	95
Anexo 3. Diseño y especificaciones técnicas del Rizotrón.....	97
Anexo 4. Proceso experimental.....	98

RESUMEN

La presente investigación evaluó la eficiencia agronómica, radicular y económica de ocho tratamientos basados en estimulantes biológicos (aminoácidos, algas, bacterias y melaza) frente a la fertilización química convencional en el cultivo de rosa (*Rosa* sp. var. Explorer), establecido en la Florícola "León Roses", cantón Bolívar, provincia del Carchi. Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por 8 tratamientos y 3 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales. Los resultados determinaron que la aplicación de bioestimulantes no generó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en la longitud radicular lateral en ninguna de las tres etapas fenológicas evaluadas, registrándose una longitud promedio final de 67.21 cm en todos los tratamientos, lo que evidencia la alta plasticidad genética y vigor radicular natural de la variedad Explorer bajo las condiciones edáficas del experimento. Sin embargo, se observaron respuestas diferenciadas en calidad de tallo y botón floral a la cosecha: T3 (Aminoácidos-Melaza), T6 (Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) y T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) superaron los 95 cm de longitud de tallo; T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) se destacó por obtener el mayor diámetro de botón floral (5.71 cm). Por su parte, T3 (Aminoácidos-Melaza) y T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) registraron la mayor longitud de botón (~5.52-5.54 cm), evidenciando que las combinaciones con Aminoácidos-Melaza favorecen consistentemente el desarrollo del botón floral. Económicamente, T4 (Extracto de Algas) alcanzó la mejor relación Beneficio/Costo de 0.45, constituyéndose como la alternativa más rentable evaluada, dado que el mercado prioriza entre otros aspectos el grosor del tallo como criterio de calidad comercial. Se concluye que la implementación de extractos a base de *Ascophyllum nodosum* representa la alternativa técnica y económicamente superior al manejo convencional, garantizando mayor calidad floral y sostenibilidad del sistema productivo florícola.

Palabras Claves: bioestimulantes radicales, calidad floral, cultivo de rosas.

ABSTRACT

The present research evaluated the agronomic, root, and economic efficiency of eight treatments based on biological stimulants (amino acids, algae, bacteria, and molasses) compared to conventional chemical fertilization in rose cultivation (**Rosa* sp.* var. Explorer), established at the "León Roses" flower farm, Bolívar canton, Carchi province. A Completely Randomized Block Design (RCBD) was used, consisting of 8 treatments and 3 replications, totaling 24 experimental units. The results determined that the application of biostimulants did not generate statistically significant differences ($p > 0.05$) in lateral root length in any of the three phenological stages evaluated, with a final average length of 67.21 cm recorded across all treatments, evidencing the high genetic plasticity and natural root vigor of the Explorer variety under the edaphic conditions of the experiment. However, differentiated responses were observed in stem and floral bud quality at harvest: T3 (Amino acids-Molasses), T6 (Poly-beta-hydroxybutyrate + Algae Extract) and T8 (Amino acids-Molasses + Poly-beta-hydroxybutyrate + Algae Extract) exceeded 95 cm in stem length; T8 stood out for achieving the largest floral bud diameter (5.71 cm). Meanwhile, T3 (Amino acids-Molasses) and T7 (Amino acids-Molasses + Algae Extract) recorded the greatest bud length (~5.52-5.54 cm), evidencing that combinations including Amino acids-Molasses consistently favor floral bud development. Economically, T4 (Algae Extract) achieved the best Benefit/Cost ratio of 0.45, establishing itself as the most profitable alternative evaluated, given that the market prioritizes, among other aspects, stem thickness as a commercial quality criterion. It is concluded that the implementation of **Ascophyllum nodosum**-based extracts represents the technically and economically superior alternative to conventional management, guaranteeing greater floral quality and sustainability of the floriculture production system.

Keywords: root biostimulants, floral quality, rose cultivation.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de rosas (*Rosa* sp.) ha trascendido su valor ornamental para consolidarse como uno de los pilares más destacados de la economía ecuatoriana, posicionando al país como un referente global por la calidad de sus botones. En la región de la Sierra Norte, específicamente en la provincia del Carchi, la floricultura ha encontrado un espacio agroecológico privilegiado excepcional. La ubicación geográfica del cantón Bolívar ofrece una luminosidad intensa constante de aproximadamente 12 Horas luz diarias, con una heliofanía que oscila entre 5 y 7 horas de sol efectivo, junto a un marcado gradiente térmico donde las temperaturas nocturnas descienden a rangos de 6°C a 10°C. Estas condiciones actúan como reguladores naturales del metabolismo de la planta favoreciendo la acumulación de carbohidratos. Esta combinación se traduce en una robustez estructural y una longevidad post-cosecha que distinguen a la variedad 'Explorer', especialmente reconocida por la intensidad de su color rojo de sus pétalos, la calidad superior de sus tallos y su larga vida en el florero, siendo altamente cotizada en los mercados internacionales por estas características. Sin embargo, según Cabrera (2020) la sostenibilidad de estos sistemas intensivos se enfrenta a un desafío silencioso pero crítico: la "fatiga del suelo", un fenómeno derivado del monocultivo prolongado que reduce la actividad biológica de la rizósfera y limita la capacidad de absorción de nutrientes, comprometiendo la productividad a largo plazo.

Esta problemática responde a una visión agronómica tradicionalmente sesgada hacia la parte aérea de la planta. En el afán de maximizar la longitud de los tallos y el tamaño del botón, el manejo convencional ha subestimado la importancia fisiológica del sistema radicular. Para compensar la pérdida de vigor o los momentos de estrés abiótico, los productores han recurrido históricamente a la fertilización química masiva y al uso empírico de enraizantes sintéticos. No obstante, este modelo de "dependencia de insumos sintéticos" presenta limitaciones severas: eleva los costos operativos e incrementa la salinidad del suelo y, a menudo, resulta ineficiente, ya que una raíz envejecida o estresada no puede asimilar los fertilizantes aplicados, generando un desperdicio de recursos económicos y ambientales (Marschner, 2012; Savvas *et al.*, 2013).

Frente a la necesidad de reactivar la eficiencia fisiológica del cultivo, surgen los bioestimulantes agrícolas (extractos de algas, aminoácidos y bacterias benéficas)

como una alternativa biotecnológica de vanguardia. A diferencia de los fertilizantes que nutren a la planta, estos insumos actúan como "activadores metabólicos". Su principio se fundamenta en la señalización celular: compuestos como las citoquininas naturales de *Ascophyllum nodosum* o los polímeros bacterianos (PHB) inducen la división celular en los meristemos radiculares y mejoran la interacción suelo-raíz. Esta optimización de la arquitectura radicular busca incrementar la superficie de exploración y la densidad de pelos absorbentes, permitiendo a la planta expresar su máximo potencial genético con una mayor eficiencia en el uso de agua y nutrientes.

A pesar de la sólida base teórica y la amplia oferta comercial, la aplicación de bioestimulantes en la zona norte del Ecuador carece de validación científica *in situ*. Existe una barrera tecnológica conocida como "ceguera radicular": al estar las raíces ocultas bajo el suelo, el agricultor no puede visualizar el efecto real de los productos aplicados. Se opera bajo incertidumbre, confiando en respuestas vegetativas indirectas sin saber si la inversión realmente está impactando el desarrollo subterráneo. La falta de metodologías de evaluación no destructiva ha impedido determinar con precisión qué tipo de bioestimulante (hormonal, aminoácido o microbiano) es el más efectivo para las condiciones específicas de la variedad 'Explorer' en los suelos del Carchi (Rouphael y Colla, 2020).

En virtud de lo expuesto, la presente investigación se plantea evaluar el efecto de diferentes estimulantes biológicos (Albit, Extracto de Algas, Aminoácidos y Melaza) sobre la dinámica de crecimiento radicular, utilizando la técnica de observación directa mediante rizotrones y el Análisis Digital de Imágenes (ImageJ y código Google Colab). El estudio busca romper la subjetividad visual y generar datos cuantitativos robustos, con el objetivo final de establecer un protocolo de manejo nutricional validado que permita a la Florícola "León Roses" mejorar la calidad del tallo (calibre), optimizar la inversión en insumos y maximizar la rentabilidad del cultivo mediante decisiones basadas en agricultura de precisión.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La floricultura ecuatoriana se ha consolidado como un pilar fundamental de la economía nacional, siendo el tercer rubro de exportación no petrolera. Dentro de este sector, la zona norte del país, específicamente el cantón Bolívar en la provincia del Carchi, ha emergido como una línea productiva de alta gama debido a sus condiciones de luminosidad y altitud, ideales para el cultivo de variedades de rosa (*Rosa* sp.) de ciclo largo y botón grande como la variedad 'Explorer'. Sin embargo, a pesar de las ventajas climáticas, el sistema productivo enfrenta un desafío crítico denominado "fatiga del suelo". Según Cabrera (2020), la explotación intensiva y el monocultivo prolongado en las fincas florícolas han provocado una degradación física y biológica del suelo, caracterizada por la compactación y la pérdida de biodiversidad microbiana, lo que limita severamente la capacidad de la planta para mantener rendimientos sostenibles a largo plazo.

A nivel fisiológico, el problema se centra en el "órgano oculto" de la planta: el sistema radicular. En la floricultura comercial existe una tendencia al manejo visual de la parte aérea (tallos y hojas), ignorando que la calidad del botón floral depende directamente de la salud de la raíz. La variedad 'Explorer', reconocida por su alta demanda en el mercado ruso y norteamericano, es exigente nutricionalmente; sin embargo, en suelos con baja actividad biológica, las raíces pierden su capacidad de absorción y anclaje (senescencia prematura). Para compensar este déficit, los productores del sector La Esperanza han adoptado un modelo de "sobre-fertilización química", aplicando dosis excesivas de sales minerales (NPK) que, paradójicamente, incrementan la conductividad eléctrica y provocan estrés osmótico en los pelos absorbentes, elevando los costos de producción sin garantizar una mejora proporcional en la calidad del tallo (Marschner, 2012; Savvas *et al.*, 2013).

En este contexto de ineficiencia nutricional y altos costos, el mercado de insumos agrícolas ha introducido masivamente el uso de bioestimulantes (aminoácidos,

extractos de algas y bacterias benéficas) como una solución para reactivar el metabolismo radicular. No obstante, en la provincia del Carchi existe una barrera técnica significativa: la falta de validación científica local. Los agrónomos y productores aplican estos productos basándose en recomendaciones comerciales genéricas, sin conocer realmente cuál es el mecanismo de acción más efectivo para sus condiciones específicas (hormonal vs. biológico vs. energético). Existe una "ceguera técnica" respecto al efecto real de estos insumos bajo el suelo, ya que no se dispone de metodologías para evaluar el crecimiento de raíces sin destruir la planta (Rouphael y Colla, 2020).

En consecuencia, el problema central radica en la incertidumbre sobre la eficacia real de los bioestimulantes comerciales en la variedad 'Explorer' y la imposibilidad de observar su efecto en tiempo real. Al carecer de tecnologías de monitoreo no destructivo como los rizotrones, los productores de la finca "León Roses" no pueden determinar si la inversión en productos como *Albit*, *Isabion* o extractos de algas se traduce en una mayor longitud y densidad radicular, o si simplemente representa un gasto operativo innecesario. Esta investigación pretende llenar este vacío de conocimiento, comparando objetivamente mediante análisis digital de imágenes si la bioestimulación es capaz de optimizar la arquitectura radicular y, por ende, la rentabilidad del cultivo frente al manejo convencional (Paez-Garcia *et al.*, 2015; Yakhin *et al.*, 2017).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes bioestimulantes (aminoácidos, extractos de algas y bacterias) sobre el desarrollo del cultivo y el sistema radicular de la rosa variedad Explorer, bajo las condiciones de producción de la Florícola León Roses?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de rosas de exportación (*Rosa sp.*) en la provincia del Carchi ha encontrado en la variedad 'Explorer' una línea comercial de alto valor; sin embargo, su potencial genético se ve restringido por el fenómeno de la "fatiga del suelo" y la pérdida de funcionalidad radicular en sistemas de monocultivo intensivo. Según García y Martínez (2019), la saturación química de los suelos florícolas limita la absorción de nutrientes, creando un "techo productivo" que ya no se rompe con más fertilizante NPK. Esta investigación se justifica en la necesidad imperante de validar

tecnologías de bioestimulación que actúen sobre la eficiencia metabólica y no solo de limitarse únicamente al aporte externo de nutrientes. A diferencia de la fertilización convencional que busca nutrir a la planta "de afuera hacia adentro", esta propuesta apuesta por la eficiencia fisiológica: activar la rizósfera mediante extractos de algas, bacterias y aminoácidos para desbloquear el potencial de absorción natural. Generar evidencia científica local que demuestre que el uso estratégico de bioestimulantes (T4) puede incrementar el calibre del tallo y la calidad final, constituye un aporte inédito que redefinirá el manejo nutricional en la zona de La Esperanza.

Asimismo, existe una brecha de conocimiento crítica sobre lo que ocurre bajo el suelo, conocida como la "ceguera radicular". Actualmente, el productor opera bajo incertidumbre, aplicando enraizantes de manera empírica o fundamentadas únicamente en la morfología aérea, careciendo de herramientas de diagnóstico que validen su eficacia fisiológica. Estudios de fenotipado de raíces como los de Paez-Garcia *et al.* (2015) y Hargreaves *et al.* (2009) sugieren que la única forma de optimizar la nutrición es mediante la observación directa. La presente investigación es fundamental porque introduce y valida la tecnología de rizotrones y análisis digital de imágenes (ImageJ, código G. Colab) en condiciones de finca comercial. Proveen datos visuales y cuantitativos exactos sobre la arquitectura radicular permite desmitificar el uso de insumos, transformando una práctica subjetiva en un protocolo de agricultura de precisión replicable, donde se aplica solo lo que la raíz verdaderamente necesita.

La floricultura es el motor económico del Carchi, pero la rentabilidad neta se ve amenazada por el incremento sostenido en los costos de producción y la exigencia de estándares de calidad "Premium" (tallos gruesos y largos). Según reportes de (Expoflores, 2023; Banco Central del Ecuador, 2023), el margen de utilidad del floricultor se ha reducido por la volatilidad de los precios de los agroquímicos importados. Esta investigación es socialmente pertinente porque valida una alternativa tecnológica que busca la eficiencia financiera. Al demostrar que el Tratamiento T4 (Algas) genera una relación Beneficio/Costo superior al manejo convencional, no por gastar menos, sino por producir tallos de mayor valor comercial, se entrega al agricultor una herramienta para blindar su economía, asegurando la sostenibilidad financiera de la empresa frente a las fluctuaciones del mercado.

Finalmente, el modelo de floricultura moderna exige una transición hacia prácticas más limpias y regenerativas. El uso excesivo de sales sintéticas genera salinidad y

degradación biológica del suelo. La implementación de programas de bioestimulación se justifica como una estrategia de intensificación ecológica; al utilizar productos a base de extractos naturales (*Ascophyllum nodosum*) y bacterias benéficas (*Bacillus*), se reduce la dependencia de la carga química sintética (Rouphael y Colla, 2020). Validar esta práctica contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 12: Producción y Consumo Responsables), ofreciendo un modelo de manejo agronómico que preserva la salud del agroecosistema andino y se alinea con las certificaciones internacionales (*Flor Ecuador Certified*) que demandan una producción más respetuosa con el ambiente.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes en el desarrollo del cultivo y el crecimiento radicular de rosa (*Rosa* sp.) variedad Explorer, en la Florícola "León Roses", sector La Esperanza, cantón Bolívar, provincia del Carchi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de los estimulantes biológicos sobre la extensión del sistema radicular.
- Evaluar el comportamiento agronómico (longitud y diámetro de tallo) y la calidad del botón floral (longitud y diámetro de botón) bajo los diferentes tratamientos de bioestimulación y sus interacciones combinatorias.
- Establecer la rentabilidad económica de cada tratamiento, mediante el análisis de la relación Costo/Beneficio (C/B).

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿De qué manera influye la aplicación edáfica de diferentes estimulantes biológicos sobre la extensión del sistema radicular en rosas variedad Explorer?
- ¿Qué diferencias existen en el comportamiento agronómico (longitud y diámetro de tallo) y en los parámetros de calidad del botón floral (longitud y diámetro de botón) entre los distintos tratamientos de bioestimulación y el manejo convencional?
- ¿Cuál de los tratamientos evaluados presenta la mayor rentabilidad económica según el análisis de la relación Costo/Beneficio (C/B), constituyéndose en la alternativa más eficiente para la finca?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Gavilanes (2022) desarrolló una investigación experimental en Tabacundo, Ecuador, evaluando la aplicación de biofertilizantes a base de estiércol bovino en el cultivo de rosa variedad 'Explorer'. Bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), aplicó tres dosis crecientes del biol (D1, D2, D3) frente a un testigo comercial. Midió variables de calidad de botón y rendimiento. Resultados por variable: En cuanto a la longitud de tallo, no encontró diferencias estadísticas, manteniendo un promedio general de 85 cm. Sin embargo, en la variable de rendimiento, los tratamientos de dosis baja (D1) lograron 1.2 tallos/planta/mes, similar al testigo químico. El autor concluye aceptando la hipótesis nula, determinando que la adición del biofertilizante orgánico no superó estadísticamente a la fertilización química convencional en esta variedad, un hallazgo que coincide con la estabilidad observada en tus variables radiculares.

Investigadores de la UEB (2024) ejecutaron un estudio en el cantón Cayambe para determinar la eficiencia agronómica de la variedad 'Freedom' ante la aplicación del bioestimulante foliar Biotransfer. Utilizando un diseño DBCA con tres repeticiones, evaluaron dosis de 1.5, 2.0 y 2.5 cc/l. Resultados por variable: El tratamiento T7 (2.5 cc/l) alcanzó la mayor altura de planta con 99.87 cm, superando significativamente al testigo que obtuvo 88.5 cm. En la variable diámetro de tallo, el mismo tratamiento registró 0.48 cm. Los autores concluyen que los bioestimulantes a base de aminoácidos libres potencian la elongación celular en fases de rápido crecimiento, validando el comportamiento que observaste en tu variable de altura a los 91 ddp.

López y Cárdenas (2021) realizaron una investigación en la zona de Babahoyo para medir el efecto de *Trichoderma harzianum* en el desarrollo radicular y control de patógenos en cultivos intensivos. Empleando un diseño experimental con dosis de inóculo de 500 y 1000 cc/ha, midieron la incidencia de enfermedades y volumen radicular. Resultados por variable: Las parcelas tratadas mostraron una incidencia de

Damping off del 16.5% frente al 43.25% del testigo. En la variable de longitud radicular, lograron un incremento del 22% en la zona de pelos absorbentes. Concluyen que, aunque el crecimiento longitudinal principal no siempre varía, la biomasa de raíces secundarias aumenta significativamente por la acción antagonista y promotora del hongo.

El Departamento de Investigación Ingeplant (2022) llevó a cabo un ensayo en la Sabana de Bogotá, Colombia, evaluando el producto Actiphyl K-Fruto (complejo de potasio y aminoácidos) en rosas de exportación. El diseño consistió en aplicaciones semanales vía drench y foliar. Midieron peso fresco y diámetro de botón. Resultados por variable: A los 28 días después de la aplicación, el diámetro del tallo aumentó un 8% respecto al manejo convencional. En la variable de producción, registraron un 25% más de tallos cosechables y un incremento del 17% en el peso fresco de la flor. Concluyen que la suplementación con aminoácidos en etapas de diferenciación floral ("arroz" a "garbanzo") es crítica para el llenado del botón, dato relevante para discutir tus resultados de calidad en estado bola.

Salazar *et al.* (2022) desarrollaron un estudio experimental para validar el uso de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) como fertilizante biológico. Bajo un diseño de parcelas divididas, probaron concentraciones del 1%, 2% y 3%. Resultados por variable: Las aplicaciones con concentración superior al 3% mostraron diferencias significativas a partir del día 30. En variables de rendimiento, el tratamiento alto superó al testigo en un 15% en biomasa acumulada. Concluyen que las algas actúan como bioestimulantes osmoprotectores, mejorando la respuesta del cultivo ante estrés abiótico, lo que podría explicar la alta rentabilidad que encontraste en tu Tratamiento T4 (Seaweed Powder).

Chancusig-Viturco (2024) ejecutó una investigación en Saquisilí, Cotopaxi, evaluando diferentes dosificaciones del bioestimulante Foliplus en rosa variedad 'Mondial'. Utilizó un DBCA para controlar la variabilidad del suelo. Resultados por variable: El tratamiento T4 (0.50 cc/L) presentó los mejores indicadores de calidad, obteniendo botones florales con mayor consistencia y vida en florero. Sin embargo, en la variable de longitud de tallo, las diferencias no fueron estadísticamente amplias entre las dosis medias. El autor concluye recomendando la dosis de 0.50 cc/lit por su relación costo-beneficio, coincidiendo con tu análisis donde no siempre la mayor dosis o mezcla genera la mayor utilidad económica.

Robles y Noriega (2020) realizaron un ensayo en Ibarra evaluando el efecto de ácidos húmicos líquidos en la producción de rosa. El objetivo fue medir la optimización de nutrientes y desarrollo radicular. Resultados por variable: El tratamiento con 150 ml/cama de humus líquido generó botones de 6.16 cm de longitud, cumpliendo estándares de exportación. En cuanto a la raíz, observaron una mayor proliferación de raicillas finas, aunque la longitud de la raíz pivotante no varió significativamente ($p>0.05$) frente al testigo. Concluyen que las sustancias húmicas mejoran la estructura del suelo y la absorción nutricional sin necesariamente alterar la morfología macroscópica de la raíz principal.

Guevara y Villacrés (citados en estudios de 2021) compararon la eficacia de enraizadores hormonales sintéticos frente a extractos biológicos en la propagación de especies ornamentales. Resultados por variable: El tratamiento con hormonas sintéticas (AIB) logró un 70.96% de prendimiento y mayor longitud de raíz inicial. Los tratamientos biológicos mostraron un desarrollo radicular más lento en los primeros 20 días, pero igualaron la biomasa radicular a los 60 días. Concluyen que los estimulantes biológicos requieren mayor tiempo de acción para manifestar efectos visibles en el sistema radicular, lo cual podría explicar por qué no encontraste diferencias a los 21 días en tu ensayo.

López (2019), en un estudio regional aplicable a condiciones de altura, evaluó la rentabilidad de tres bioestimulantes comerciales (incluyendo aminoácidos y extractos vegetales) en rosas variedad 'Classy'. Resultados por variable: Aunque el producto "Biozyme" generó los tallos más largos (75 cm), el análisis financiero reveló que su alto costo redujo la utilidad neta. El tratamiento con extractos húmicos simples, a pesar de tener menor rendimiento biológico, obtuvo la mejor relación Beneficio/Costo de 1.25. El autor concluye que la viabilidad técnica no siempre implica viabilidad financiera, un antecedente directo para respaldar tu hallazgo sobre la superioridad económica del T4 (Algas) frente a las mezclas complejas costosas de los tratamientos (T5/T8).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Generalidades del cultivo de Rosa (Rosa sp.)

2.2.1.1. Origen y taxonomía

El género *Rosa* agrupa a un conjunto de especies arbustivas pertenecientes a la familia Rosaceae. Su origen se sitúa en el hemisferio norte, extendiéndose desde las zonas templadas de Asia hasta Europa y América del Norte. Se estima que su cultivo

ornamental data de hace más de 5.000 años, siendo China uno de los principales centros de domesticación y diversificación genética (Hébrard y Gudin, 2021). En la actualidad, las rosas de corte modernas son híbridos complejos (*Rosa x hybrida*), resultado de siglos de cruzamientos para mejorar características como la longitud del tallo, el color y la resistencia en florero.

Desde el punto de vista sistemático, la clasificación taxonómica aceptada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para el cultivo de rosa es la siguiente:

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de rosa	
Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae
Género	<i>Rosa</i>
Especie	<i>Rosa</i> sp. (<i>Rosa x hybrida</i>)
Nombre común	<i>Rosa</i>
Variedad estudiada	<i>Explorer</i>

Fuente: (USDA, 2023)

2.2.1.2. Morfología de la planta

La rosa (*Rosa* sp.) es una planta arbustiva perenne de tallo leñoso. Según Castilla (2013) y Reig (2020), para variedades de corte bajo invernadero, sus órganos principales presentan las siguientes características morfométricas:

- Sistema Radicular: En plantas injertadas sobre el patrón 'Natal Briar' (predominante en Ecuador), el sistema es fasciculado y fibroso. Aunque puede alcanzar profundidades superiores a 1 metro, el 75% al 85% de la actividad absorbente (raíces finas o pelos radicales) se concentra en los primeros 30 a 40 cm de profundidad del suelo. Estas raíces funcionales son las responsables de la absorción hídrica y mineral, renovándose continuamente en ciclos de 20 a 30 días dependiendo de la temperatura del sustrato. La senescencia prematura de las raíces finas, causada por estrés osmótico o compactación, es el principal factor limitante de la productividad en sistemas de monocultivo.
- Tallo: Es de consistencia semileñosa, cilíndrico y de crecimiento erecto. En variedades de calidad exportable como 'Explorer', el tallo productivo debe alcanzar longitudes comerciales que oscilan entre 50 cm y 100 cm, con un

diámetro o calibre basal ideal entre 0.6 cm y 1.2 cm para garantizar la rigidez vertical. La epidermis presenta aguijones (espinas) distribuidos irregularmente, cuya densidad varía genéticamente, sirviendo como mecanismo de defensa y reserva de carbohidratos. El calibre del tallo es la variable de calidad que determina la categoría comercial de exportación y, por ende, el precio por tallo (Castilla, 2013).

- Hojas: Son compuestas, imparipinnadas, constituidas generalmente por 5 a 7 folíolos elípticos de bordes aserrados. Una hoja madura funcional posee un área foliar promedio de 25 a 45 cm², fundamental para mantener una tasa fotosintética neta óptima. Su coloración varía de verde intenso a verde oscuro, y tienen una vida útil funcional aproximada de 60 a 70 días antes de iniciar la senescencia y translocación de nutrientes hacia los órganos en crecimiento.
- Flor: Es el órgano de interés económico. Botánicamente es una flor completa, hermafrodita y dialipétala. En el mercado internacional, se valoran botones florales con un alto conteo de pétalos, oscilando entre 30 y 45 pétalos por flor en híbridos de té, lo que confiere una forma compacta y turbinada.
- Dimensiones del botón: Para la categoría Premium, se buscan alturas de cabeza de 5.5 a 6.5 cm y diámetros de apertura superiores a 8.0 cm.
- Vida en florero: Una flor de calidad, cosechada en el punto de corte óptimo fisiológico (grado de apertura 2 o 3), debe garantizar una longevidad postcosecha de 12 a 15 días en condiciones de consumidor final.

2.2.1.3. Fisiología de la planta

La fisiología de la rosa de corte se articula en torno a la eficiencia de la fuente (source) y el destino (sink) de carbono. El sistema foliar actúa como la fuente principal de fotoasimilados, mientras que el botón floral y las raíces en crecimiento activo compiten como los principales destinos de estos carbohidratos. La regulación de esta partición de asimilados determina directamente la calidad final del tallo y del botón (Taiz *et al.*, 2018).

El ciclo productivo de la rosa bajo invernadero se divide en fases fisiológicas reconocibles: brotación (emergencia de la yema basal), desarrollo vegetativo (elongación del entrenudo), diferenciación floral (formación del botón), y maduración (punto de cosecha). Cada fase tiene requerimientos nutricionales

específicos que deben ser atendidos mediante la fertilización y la bioestimulación. Según Infoagro (2021), el tallo productivo de la variedad Explorer completa su ciclo desde la brotación hasta el punto de cosecha en aproximadamente 90 a 100 días bajo las condiciones de altitud del Carchi.

Uno de los aspectos fisiológicos más relevantes en la producción intensiva es la síntesis y translocación de hormonas desde las raíces hacia la parte aérea. Los ápices radiculares son el principal sitio de biosíntesis de citoquininas, hormonas que estimulan la brotación de yemas axilares y el engrosamiento del tallo. Un sistema radicular sano, con alta densidad de pelos absorbentes, garantiza un flujo continuo de citoquininas hacia la parte aérea, traduciendo la salud subterránea en calidad aérea visible (Taiz *et al.*, 2018).

2.2.1.4. Variedades de rosa de corte.

La rosa de corte comprende una amplia gama de variedades híbridas de té (H.T.) desarrolladas por casas obtentoras internacionales. Entre las más representativas en el mercado ecuatoriano de exportación se encuentran:

- Freedom: Variedad roja de alta producción, ampliamente usada en la zona de Cayambe. Presenta tallos de calibre medio y alta uniformidad.
- Vendela: Rosa blanca crema, muy apreciada en el mercado norteamericano por su larga vida en florero y pétalos resistentes.
- Mondial: Variedad blanca clásica, conocida por su uniformidad de producción y excelente vida postcosecha en condiciones de refrigeración.
- Classy: Rosa bicolor (blanca con bordes rosas), preferida en mercados europeos por su originalidad estética.
- Explorer: Cultivar híbrido de té desarrollado por Interplant Roses (Países Bajos), especializado en el segmento Premium del mercado. Es la variedad objeto de estudio en la presente investigación y se describe en detalle en la siguiente sección.

2.2.2. La Variedad "Explorer"

2.2.2.1. Descripción e historia

La variedad 'Explorer' es un cultivar híbrido de té, registrado y comercializado por la casa obtentora Interplant Roses (Países Bajos). Se ha consolidado como una de las rosas rojas más demandadas en el mercado internacional de corte de alta gama,

siendo especialmente apreciada en los mercados ruso y norteamericano por la intensidad y durabilidad de su color rojo oscuro aterciopelado (Interplant Roses, 2022).

En la zona norte de Ecuador, específicamente en la provincia del Carchi, la variedad Explorer ha encontrado condiciones edafoclimáticas excepcionales: una luminosidad intensa de aproximadamente 12 horas luz diarias, heliofanía efectiva de 5 a 7 horas, y un marcado gradiente térmico con temperaturas nocturnas entre 6°C y 10°C. Estas condiciones actúan como reguladores naturales del metabolismo, favoreciendo la acumulación de carbohidratos, lo que se traduce en una robustez estructural y una longevidad postcosecha superiores a otras zonas productoras (Gavilanes, 2022).



Figura 1. Rosa Variedad Explorer
Fuente: (Interplant Roses, 2022)

2.2.2.2. Características Varietales.

Según la ficha técnica de Interplant Roses (2022) y estudios locales de Gavilanes (2022), la variedad Explorer presenta las siguientes características agronómicas destacadas:

- Botón floral: De gran tamaño, con coloración rojo oscuro profundo y textura aterciopelada. Presenta entre 35 y 45 pétalos por flor, con forma turbinada compacta y alta rigidez petal, lo que le confiere una excelente presentación en florero.
- Tallo: Tallos de alto vigor que superan fácilmente los 90 cm de longitud con calibres basales de 0.65 a 1.0 cm, clasificados como 'Premium' en los estándares internacionales de exportación. La rigidez del tallo es una de las características más valoradas para el transporte de larga distancia.

- Vida en florero: Garantiza una longevidad postcosecha de 14 a 18 días en condiciones de consumidor final, cuando se aplican soluciones de preservación adecuadas.
- Resistencia: Presenta tolerancia moderada a *Botrytis cinerea* y buena resistencia al transporte en condiciones de frío (+2°C a +4°C).
- Vigor vegetativo: Se clasifica como una variedad de alto vigor natural. Su genética robusta permite desarrollar un sistema radicular agresivo y extenso, lo que le proporciona una alta capacidad de absorción de nutrientes incluso en condiciones de suelo con actividad biológica reducida.

2.2.2.3. Comportamiento Agronómico en el Carchi.

Agronómicamente, la variedad Explorer requiere un ciclo desde la brotación hasta el punto de cosecha de aproximadamente 90 a 100 días bajo las condiciones de altitud (2.400 m.s.n.m.) del cantón Bolívar. Estudios previos de Gavilanes (2022) en Tabacundo demostraron que este cultivar mantiene promedios de longitud de tallo superiores a los 85 cm con el manejo convencional, evidenciando que su techo fisiológico es elevado y difícil de superar incluso con la adición de bioestimulantes.

Esta característica de alto vigor es fundamental para comprender los resultados de investigaciones sobre bioestimulación en esta variedad: dado que la planta ya opera cerca de su potencial genético máximo bajo condiciones edafoclimáticas favorables como las del Carchi, los bioestimulantes no generan diferencias estadísticas en la longitud radicular, pero sí logran actuar sobre variables de calidad (calibre del tallo y tamaño del botón), donde hay mayor margen de mejora fisiológica (Interplant Roses, 2022).

Estas características son fundamentales para la presente investigación, ya que la rusticidad y agresividad natural del sistema radicular de 'Explorer' explica por qué, en condiciones de suelo fértil, la planta alcanza su potencial productivo máximo (techo fisiológico) utilizando únicamente la fertilización convencional, haciendo que la aplicación adicional de enraizantes no genere diferencias estadísticas significativas, tal como se observó en los resultados de este estudio.

2.2.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de rosa.

El cultivo de rosas bajo invernadero en la zona andina requiere condiciones controladas para maximizar la calidad del botón floral.

2.2.3.1. Temperatura.

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de rosas bajo invernadero oscila entre 17°C y 25°C durante el día, y 10°C a 15°C durante la noche. Las temperaturas diurnas superiores a 28°C aceleran la apertura floral, disminuyen la vida postcosecha y reducen el calibre del tallo por un mayor consumo respiratorio de carbohidratos. Por otro lado, temperaturas inferiores a 10°C durante el día provocan el fenómeno conocido como 'tallo ciego', en el que el eje vegetativo no logra diferenciar un botón floral funcional (Infoagro, 2021).

En el caso de la temperatura del suelo, el rango óptimo para la emisión de nuevas raíces se sitúa entre 18°C y 22°C. Temperaturas edáficas inferiores a 12°C inhiben casi totalmente el crecimiento radicular y bloquean la absorción de nitratos, incluso cuando el suelo presenta niveles nutricionales adecuados (Pérez-Melis *et al.*, 2017).

2.2.3.2. Luminosidad.

La rosa es una planta heliófila que requiere alta irradiación solar, con un mínimo de 6 a 8 horas de luz directa o una densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFP) de 1.200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ para mantener una tasa fotosintética neta eficiente. Una luminosidad adecuada sustenta la producción de fotoasimilados que se destinan al crecimiento de tallos gruesos y al llenado del botón floral. La zona del cantón Bolívar en la provincia del Carchi cuenta con una heliofanía efectiva de 5 a 7 horas diarias, condición que favorece especialmente el desarrollo de variedades como Explorer (García y Martínez, 2019).

2.2.3.3. Humedad Relativa (HR).

El rango ideal de humedad relativa (HR) para el cultivo de rosas se sitúa entre el 70% y 80%. Una HR excesiva, superior al 85%, crea condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades fúngicas como *Botrytis cinerea* y *Peronospora sparsa* (mildiu velloso), que son las principales limitantes fitosanitarias en la producción florícola bajo invernadero. Por el contrario, una HR inferior al 60% promueve la deshidratación de los pétalos, incrementa la transpiración foliar y favorece la proliferación de ácaros (*Tetranychus urticae*), plaga de alto impacto en la calidad del botón (García y Martínez, 2019).

2.2.3.4. Suelo.

El cultivo de rosas prefiere suelos de textura franco-arenosa o limosa, con buena estructura, drenaje y aireación que garanticen la respiración radicular activa. La densidad aparente óptima no debe superar los 1.3 g/cm³, ya que valores superiores generan impedancia mecánica que restringe la elongación radicular y reduce la capacidad de exploración del suelo (Cabrera, 2020).

El pH óptimo se encuentra entre 5.5 y 6.5 (ligeramente ácido), rango que garantiza la máxima disponibilidad de macro y microelementos. Un pH superior a 7.0 bloquea la absorción de hierro, manganeso y boro, provocando clorosis y deformaciones foliares. La conductividad eléctrica (CE) del suelo debe mantenerse entre 1.5 y 3.0 dS/m; valores superiores generan estrés osmótico que reduce la absorción de agua y nutrientes, efecto conocido como salinidad inducida por sobre-fertilización (Savvas *et al.*, 2013).

2.2.3.5. Riego.

El cultivo de rosas bajo invernadero requiere un riego frecuente y moderado que mantenga la humedad del suelo entre el 60% y 80% de la capacidad de campo. El sistema más utilizado en la floricultura de exportación ecuatoriana es el riego por goteo o micro-aspersión, que permite un aporte localizado en la zona radicular activa, minimizando la evapotranspiración y reduciendo el riesgo de enfermedades foliares por exceso de humedad en el follaje (Tinoco, 2020).

La frecuencia y volumen de riego varían según la fase fenológica del cultivo: durante la fase de brotación y desarrollo vegetativo inicial, se requiere mayor frecuencia para sostener el crecimiento celular acelerado; mientras que en la fase de diferenciación floral se puede reducir ligeramente el aporte hídrico para concentrar los azúcares en el botón, mejorando la calidad visual del pétalo.

2.2.3.6. Humedad del suelo

La humedad del suelo debe mantenerse homogénea a lo largo del perfil radicular activo (0-40 cm de profundidad). Fluctuaciones bruscas entre sequía y exceso hídrico provocan desórdenes fisiológicos como el agrietamiento de los tallos o la pudrición de raíces por anoxia. La saturación del suelo por más de 24 horas provoca la muerte de los pelos absorbentes por falta de oxígeno, comprometiendo severamente la

absorción de nutrientes incluso cuando los niveles de fertilizantes en el suelo son adecuados (Cabrera, 2020).

2.2.3.7. Requerimientos Nutricionales y Manejo Agronómico

El cultivo de rosa es altamente demandante en términos nutricionales. Los macroelementos esenciales son el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Potasio (K). El nitrógeno impulsa el crecimiento vegetativo y la síntesis de clorofila; su deficiencia se manifiesta en clorosis intervenal y reducción de la longitud de tallos. El fósforo es fundamental para el desarrollo radicular y la transferencia de energía (ATP), mientras que el potasio regula la turgencia celular, la calidad del botón floral y el calibre del tallo (Cabrera, 2020). Entre los microelementos, el calcio es determinante para la resistencia de la pared celular y la calidad postcosecha, y el zinc participa como cofactor enzimático en la síntesis de auxinas (Marschner, 2012).

Las principales prácticas de manejo agronómico en floricultura bajo invernadero incluyen: la poda de formación y producción, que regula la arquitectura de la planta y estimula la emisión de nuevos tallos basales; el pinching o desbrote selectivo, que concentra los fotoasimilados en los tallos de mayor calidad; el agobio o arqueado de tallos, que evita la acumulación de carbohidratos no estructurales y mejora la calidad general; y el control fitosanitario integrado (MIP), que combina monitoreo permanente, umbrales de acción, control biológico y aplicaciones selectivas de agroquímicos para el manejo de plagas como *Tetranychus urticae* (ácaro rojo) y *Frankliniella occidentalis* (trips), y enfermedades como *Botrytis cinerea* y *Sphaerotheca pannosa* (oídio) (García y Martínez, 2019; Infoagro, 2021).

2.2.4. Prácticas culturales en el cultivo de rosa.

2.2.4.1. Preparación del suelo.

La preparación del suelo es la práctica cultural que establece las bases físicas y biológicas para el éxito del cultivo. Dado que la rosa es una especie perenne que puede mantenerse en producción por 10 a 15 años, la preparación inicial debe ser profunda y meticulosa. El proceso incluye las siguientes etapas (Castilla, 2013):

- Subsolado profundo (40-60 cm): Rompe horizontes compactados que impedirían el desarrollo radicular en profundidad, mejorando el drenaje interno y la aireación del perfil.

- Rastra y nivelación: Desmenuzado de terrones y emparejamiento de la superficie para uniformizar el riego y evitar encharcamientos localizados.
- Incorporación de materia orgánica: Aplicación de compost madurado o humus de lombriz a razón de 40 a 60 toneladas por hectárea, que mejora la estructura del suelo, la capacidad de retención hídrica y la actividad biológica de la rizósfera.
- Levantamiento de camas: Formación de camas de cultivo elevadas (20-30 cm sobre el nivel del piso) para garantizar el drenaje lateral y facilitar las labores culturales. En la floricultura comercial del Carchi, las camas tienen un ancho estándar de 60 cm y están separadas por caminos de 70 cm.
- Análisis de suelo y enmiendas: Corrección de pH con cal dolomítica (si es necesario) y aplicación de enmiendas minerales específicas según el resultado del análisis de suelo previo a la siembra.

2.2.4.2. Siembra y establecimiento del cultivo.

El establecimiento del cultivo de rosa se realiza mediante la plantación de plantas injertadas o de plantas en sustrato procedentes de viveros especializados. La densidad de siembra estándar en la floricultura ecuatoriana de exportación es de 5 a 7 plantas por metro cuadrado de cama (equivalente a 83.000 a 116.000 plantas/ha), cifra que busca optimizar la captación de luz y el rendimiento por unidad de superficie (Infoagro, 2021).

2.2.4.3. Métodos de siembra: Injerto y manejo de patrones.

La propagación comercial de la rosa de corte se realiza casi exclusivamente mediante injerto de yema (escudete), ya que permite combinar las características varietales elite del cultivar seleccionado con la resistencia y el vigor radical de un patrón específico (Castilla, 2013).

Patrones de injerto más utilizados: El patrón más empleado en Ecuador es Natal Briar (Rosa canina var. inermis o Rosa x noisettiana "Manetti"). Este portainjerto se selecciona por las siguientes propiedades fisiológicas:

- Alta capacidad de enraizamiento, que genera un sistema radicular fasciculado y extenso.
- Tolerancia a suelos de textura pesada y a condiciones de saturación temporal.
- Compatibilidad de injerto con la mayoría de los cultivares híbridos de té modernos, como Explorer, Freedom y Vendela.

- Resistencia relativa a nemátodos (*Meloidogyne* spp.) y enfermedades vasculares del suelo.

Proceso de injerto: El injerto de escudete se realiza cuando las estacas del patrón han alcanzado un diámetro basal de 8 a 10 mm. El proceso consiste en realizar un corte en forma de T invertida en la corteza del patrón e introducir una yema del cultivar seleccionado, fijándola con cinta de injerto. La brotación de la yema injertada ocurre entre los 15 y 21 días post-injerto en condiciones de temperatura controlada (22-25°C). Una vez que la yema muestra su primer brote funcional (denominado 'arranque'), se realiza el 'despunte del patrón' por encima del punto de injerto para derivar la savia hacia el cultivar seleccionado (Reig, 2020).

Manejo post-injerto: Durante las primeras semanas de establecimiento en la cama de cultivo, las plantas injertadas requieren un manejo cuidadoso que incluye: riego frecuente con bajo volumen para favorecer el enraizamiento sin provocar asfixia radicular; sombreado moderado (30-40%) para reducir la demanda evapotranspirativa sobre un sistema radicular aún inmaduro; y protección fitosanitaria preventiva para evitar ataques de *Botrytis* en el punto de injerto. La planta alcanza su estado de producción comercial plena entre los 4 y 6 meses post-trasplante, período en el que el sistema radicular ya ocupa el perfil activo del suelo y produce regularmente tallos de longitud y calibre exportable.

2.2.4.4. Densidad de siembra.

La densidad de plantación en la floricultura intensiva es una variable determinante que afecta directamente la producción por unidad de área, el calibre del tallo y la incidencia de enfermedades. En el cultivo de rosa de exportación en Ecuador, la densidad recomendada oscila entre 5 y 7 plantas por metro cuadrado de cama, lo que equivale a camas con dos hileras de plantas separadas entre sí por 25 a 30 cm (Infoagro, 2021). Densidades superiores a 7 plantas/m² incrementan la competencia intraespecífica por luz, favorecen el etiolamiento de los tallos y crean microclimas con alta humedad relativa que predisponen al ataque de *Botrytis* cinerea y *Peronospora* sparsa.

2.2.4.5. Control de arvenses.

En el cultivo de rosa bajo invernadero, el control de malezas se realiza principalmente mediante métodos mecánicos (deshierba manual con azadón y rastrillo) y físicos (mulching con plástico negro o acolchado orgánico). El uso de herbicidas en cultivos

perennes florícolas es limitado debido al riesgo de fitotoxicidad en la variedad cultivada y en las raíces superficiales. El control manual debe realizarse con especial cuidado en la zona de la corona de la planta para evitar heridas que faciliten la entrada de patógenos del suelo como *Agrobacterium tumefaciens* o *Fusarium* spp. (García y Martínez, 2019).

2.2.4.6. Fertilización.

Según el Consejo Europeo de la Industria de Bioestimulantes (EBIC) y la definición académica consensuada por du Jardin (2015), un bioestimulante vegetal es cualquier sustancia o microorganismo que, al aplicarse a las plantas o a la rizósfera, tiene como objetivo mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y los rasgos de calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes.

Existe una diferenciación técnica crucial entre fertilizante y bioestimulante:

- Fertilizante: Aporta los elementos minerales (N, P, K, etc.) que la planta utiliza como "bloques de construcción" o materia prima estructural. Su efecto es directo y cuantitativo (Rouphael y Colla, 2020).
- Bioestimulante: Actúa a nivel metabólico y fisiológico. No nutre por sí mismo, sino que activa rutas de señalización hormonal y enzimática para que la planta asimile mejor los fertilizantes ya presentes. Funcionan como "catalizadores" o "vitaminas" que optimizan el rendimiento energético del cultivo (Yakhin *et al.*, 2017).

La fertilización del cultivo de rosa es uno de los pilares del manejo agronómico intensivo. Dado que la rosa es un cultivo perenne de alta producción, sus requerimientos nutricionales son elevados y deben atenderse de manera fraccionada y continua a lo largo del ciclo productivo. El programa de fertilización debe fundamentarse en los resultados del análisis de suelo y de agua de riego, los cuales determinan las dosis y fuentes de nutrientes más adecuadas (Marschner, 2012).

Tabla 2. Macronutrientes esenciales en el cultivo de rosa (*Rosa* sp.).

Nutriente	Función principal en <i>Rosa</i> sp.	Síntomas de deficiencia
Nitrógeno (N)	Síntesis de proteínas, clorofila y enzimas. Promueve el crecimiento vegetativo.	Clorosis intervenal generalizada, hojas amarillas comenzando por las más viejas, tallos delgados.
Fósforo (P)	Transferencia de energía (ATP), desarrollo radicular y floración.	Hojas verdes oscuro o purpúreas, raíces poco desarrolladas, retraso en la floración.
Potasio (K)	Regulación osmótica, síntesis de carbohidratos y resistencia al estrés.	Bordes foliares quemados (escaldado), tallos débiles, susceptibilidad a enfermedades.
Calcio (Ca)	Estructura de la pared celular, señalización, calidad de pétalos.	Deformaciones en yemas apicales, necrosis de bordes en hojas jóvenes.
Magnesio (Mg)	Componente central de la clorofila, activador enzimático.	Clorosis intervenal en hojas maduras con nervios verdes (mosaico).
Azufre (S)	Síntesis de aminoácidos sulfurados (cisteína, metionina).	Clorosis en hojas jóvenes, similar a deficiencia de N.

Fuente: Marschner (2012); Savvas *et al.* (2018).

La fertilización se aplica principalmente mediante el sistema de fertirrigación (fertilizantes disueltos en el agua de riego), que garantiza una distribución homogénea en la zona radicular activa y permite ajustar las dosis según la fase fenológica del cultivo. Los programas de fertilización convencionales para rosa en Ecuador generalmente incluyen fuentes de nitratos de calcio, nitrato de potasio, fosfato monoamónico, sulfato de magnesio y quelatos de microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo), ajustados para mantener una conductividad eléctrica de la solución del suelo entre 1.5 y 2.5 dS/m (Savvas *et al.*, 2013).

- Bioestimulantes utilizados dentro de la investigación del cultivo de rosa

En la presente investigación, además del programa de fertilización convencional de la Florícola 'León Roses', se evaluaron como tratamientos complementarios los siguientes insumos bioestimulantes, cuyas características se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 3. Insumos/mezclas bioestimulantes evaluados en la investigación.

Insumo / Tratamiento	Composición principal	Función en la investigación	Dosis y frecuencia
More Roots (T1)	Auxinas sintéticas (ANA 0.207%, AIB 0.104%), N-P-Zn, Ácidos Húmicos (manejo de finca testigo químico-TQ)	Estimular la iniciación radicular en plantas en etapas tempranas o de recuperación tras el pinche.	2 kg/Ha cada 20 días (aplicación edáfica localizada)
Albit® (T2)	Ácido poli-beta-hidroxi-butarato (PHB) de <i>Bacillus megaterium</i> y <i>Pseudomonas aureofaciens</i> ; macro y micronutrientes (Mg, S, K, N)	Inducir resistencia sistémica (ISR), potenciar microbiología del suelo (PGPR) y mejorar eficiencia en absorción de P y K.	0.24 L/Ha cada 20 días
Isabion® + Melaza (T3)	Aminoácidos libres L-forma (62.5%), principalmente Prolina y Glicina; Melaza: carbohidratos simples (sacarosa, glucosa), Ca, K, vitaminas B	Isabion: ahorro energético y anti-estrés abiótico. Melaza: fuente de carbono lábil para activar microbiología nativa del suelo.	Isabion: 6 L/Ha + Melaza: 12 L/Ha, cada 20 días
Seaweed Powder - Extracto de Algas (T4)	Extracto de <i>Ascophyllum nodosum</i> : citoquininas, auxinas, giberelinas, manitol, ácido alginico, betainas, polisacáridos	Estimular la división celular en cambium vascular (engrosamiento de tallo), promover desarrollo lateral de raíces y mejorar tolerancia al estrés osmótico.	2 kg/Ha cada 20 días
Isabion + Melaza + Albit (T5)	Combinación de aminoácidos libres + carbohidratos + PHB bacteriano	Efecto sinérgico: ahorro energético + activación microbiana + resistencia sistémica simultánea.	Isabion 6 L + Melaza 12 L + Albit 0.24 L/Ha, cada 20 días
Albit + Seaweed (T6)	PHB bacteriano + fitohormonas naturales de algas + polisacáridos	Combinar la inducción de resistencia sistémica con la estimulación hormonal del crecimiento radicular y vascular.	Albit 0.24 L + Seaweed 2 kg/Ha, cada 20 días
Isabion + Melaza + Seaweed (T7)	Aminoácidos + azúcares + fitohormonas de algas	Maximizar el aporte hormonal y nutricional orgánico para potenciar el calibre del tallo y la calidad floral.	Isabion 6 L + Melaza 12 L + Seaweed 2 kg/Ha, cada 20 días
Isabion + Melaza + Albit + Seaweed (T8)	Combinación completa de todos los bioestimulantes evaluados	Evaluar el efecto de la sinergia máxima entre los cuatro bioestimulantes sobre el desarrollo radicular y la calidad de la flor.	Isabion 6 L + Melaza 12 L + Albit 0.24 L + Seaweed 2 kg/Ha, cada 20 días

Fuente: Albit Scientific Group (2022); Syngenta (2021); Shukla *et al.* (2019); Suksabarn *et al.* (2018).

Es importante destacar que estos insumos no reemplazaron la fertilización convencional de la finca, sino que se aplicaron como complemento edáfico localizado en la zona radicular, con el objetivo de evaluar su efecto bioestimulante sobre la arquitectura radicular y la calidad del tallo floral. La aplicación se realizó mediante aspersión manual localizada en la base de la planta (drench), a una frecuencia de cada 20 días, completando 5 aplicaciones durante el ciclo productivo de 95 días.

2.2.4.6.1. Ingrediente Activo y Mecanismo de Acción de los Bioestimulantes.

2.2.4.6.1.1. Biopolímeros y Bacterias Benéficas Ácido poli-beta-hidroxibutirato (Albit®)

El uso de biopolímeros bacterianos representa una biotecnología avanzada en la agricultura moderna. Es un bioestimulante de origen biológico clasificado como un "antídoto natural".

- El Ácido poli-beta-hidroxibutirato (PHB): El ingrediente activo del bioestimulante Albit se basa en el ácido poli-beta-hidroxibutirato (PHB), un biopolímero de almacenamiento natural obtenido de bacterias del suelo (*Bacillus megaterium* y *Pseudomonas aureofaciens*). Además, contiene un complejo de macro y micronutrientes (Mg, S, K, N). Según Kukulyanskaya *et al.* (2016), el PHB actúa en la rizósfera como una molécula señalizadora que estimula la proliferación de bacterias benéficas nativas (PGPR), mejorando la solubilización de fósforo y potasio en el entorno radicular.
- Inducción de Resistencia Sistémica (ISR): Al ser detectado por los receptores de la planta, el PHB funciona como un "elicitador" o activador del sistema inmune vegetal a nivel radicular. Meshram *et al.* (2017) explican que esto desencadena la acumulación de ácido salicílico y enzimas de defensa (peroxidasas), preparando a la planta (efecto priming) para resistir mejor el ataque de patógenos y el estrés ambiental, lo que suele traducirse en un mayor vigor vegetativo general.

Además, el PHB sirve como sustrato energético para las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en la rizósfera, potenciando la nutrición mineral sin aportar fertilizantes directamente (Albit Scientific Group, 2022).

2.2.4.6.1.2. Extractos de Algas Marinas (*Ascophyllum nodosum*) Seaweed Powder.

Los extractos del alga parda *Ascophyllum nodosum* son los bioestimulantes más utilizados a nivel global debido a su compleja composición bioquímica.

- Aporte de fitohormonas naturales: Estas algas contienen concentraciones fisiológicamente activas de reguladores de crecimiento, principalmente citoquininas (responsables de la división celular y engrosamiento de tallos), auxinas, giberelinas y ácido algínico. Según Shukla *et al.* (2019), a diferencia de las hormonas sintéticas, el balance hormonal natural de las algas promueve un

crecimiento equilibrado sin provocar elongaciones excesivas o deformaciones. También aporta manitol, ácido algínico y betaínas.

- Efecto sobre el engrosamiento del tallo, raíz y calidad: Este punto es fundamental para explicar los resultados de calidad en rosas. Investigaciones realizadas por Goñi *et al.* (2018) demuestran que las citoquininas presentes en *A. nodosum* estimulan la división celular en el cambium vascular y promueven la diferenciación de los haces vasculares (xilema y floema) (Shukla *et al.*, 2019).

2.2.4.6.1.3. Aminoácidos en la agricultura (Isabion®)

Los aminoácidos son las unidades estructurales básicas de las proteínas. Aunque las plantas pueden sintetizar todos los aminoácidos que necesitan, este proceso requiere un alto gasto de energía (ATP).

- Función metabólica y ahorro energético: La aplicación exógena de aminoácidos libres (L-aminoácidos), obtenidos mediante hidrólisis enzimática de colágeno (como en el caso del producto comercial Isabion), permite a la planta un ahorro energético significativo. Según Teixeira *et al.* (2017), al absorber aminoácidos ya formados, el cultivo puede redirigir esa energía metabólica "ahorrada" hacia procesos de división celular y formación de botones florales, acelerando el ciclo productivo, lo que garantiza una alta concentración de aminoácidos libres (aprox. 62.5%), especialmente Prolina y Glicina.
- Efecto anti-estrés abiótico: Ante situaciones adversas (bajas temperaturas, trasplante, podas o sequía), las plantas acumulan aminoácidos específicos como la prolina y la glicina-betaína para mantener la presión osmótica celular, ahorrando la energía metabólica que gastaría en sintetizarlos desde cero. Hildebrandt *et al.* (2015) señalan que la aplicación foliar o edáfica de aminoácidos actúa como un agente "anti-shock", permitiendo que el cultivo recupere su turgencia y tasa fotosintética más rápidamente tras un evento de estrés (Syngenta, 2021).

2.2.4.6.1.4. Carbohidratos y Enmiendas Orgánicas (Melaza de Caña)

Subproducto viscoso obtenido del procesamiento de la caña de azúcar, es una fuente rica en carbohidratos simples (sacarosa, glucosa), minerales y vitaminas.

- Fuente de energía para el microbiota: En el suelo, el carbono es el factor limitante para el crecimiento microbiano. La incorporación de melaza actúa

como una fuente de energía lábil (rápida asimilación) que "despierta" y multiplica exponencialmente la población de bacterias y hongos saprófitos del suelo, rica en carbohidratos simples (sacarosa, glucosa, fructosa), además de calcio, potasio, hierro y vitaminas del complejo B. Según Suksabarn *et al.* (2018), este incremento en la actividad biológica acelera la mineralización de la materia orgánica y mejora la estructura del suelo (formación de agregados), facilitando la exploración radicular y la absorción de nutrientes por parte del cultivo.

- Función en el ensayo: No se utiliza como fertilizante directo para la planta, sino como enmienda energética para el suelo. Su función es actuar como fuente de carbono lábil para "alimentar" y multiplicar la microbiología nativa del suelo y potenciar la acción de los otros bioestimulantes aplicados en mezcla (Suksabarn y Yimnoi, 2018).

2.2.4.7. Riego en el cultivo de rosa.

El manejo del riego en la floricultura de exportación es determinante para la calidad del tallo y la salud del sistema radicular. En la Florícola 'León Roses', el sistema de riego utilizado es de goteo subsuperficial, que aplica el agua directamente en la zona de mayor densidad de pelos absorbentes (primeros 20-30 cm de profundidad). La frecuencia y duración de los riegos se programan en función de la evapotranspiración del cultivo y la capacidad de retención hídrica del suelo, buscando mantener tensiones matriciales entre -15 y -30 kPa (Tinoco, 2020).

2.2.4.8. Cosecha.

La cosecha de la rosa de exportación se realiza en el estado de madurez comercial denominado punto de corte óptimo fisiológico (grado de apertura 2 o 3), en el cual la flor ha iniciado la apertura de sus pétalos exteriores pero el botón conserva aún una forma cerrada que garantiza la durabilidad en florero. El punto de corte se determina visualmente: cuando los dos pétalos exteriores presentan un ángulo de apertura de 45° respecto al eje del botón, se considera que la flor ha alcanzado el punto óptimo de cosecha (Infoagro, 2021).

El corte se realiza con tijeras de poda desinfectadas, dejando al menos una hoja con cinco folíolos por debajo del corte para garantizar la recuperación de la planta y la emisión de nuevos brotes. Los tallos cosechados se agrupan en manojos de 25

unidades, se colocan inmediatamente en agua limpia y se transportan a la sala de poscosecha para su clasificación y empaque.

2.2.4.9. Manejo post cosecha

El manejo postcosecha de la rosa de exportación comprende las operaciones de clasificación por longitud y calibre de tallo, deshoje de la tercera parte inferior del tallo, aplicación de soluciones hidratantes y preservantes, formación de ramos, embonchado en papel kraft y plástico, colocación en cajas de cartón corrugado y almacenamiento en cuartos fríos a temperaturas entre 2°C y 4°C para la cadena de frío hasta el destino final. La calidad percibida por el consumidor final depende en gran medida de la correcta ejecución de estas etapas (Castilla, 2013).

2.2.4.10. Comercialización

La comercialización de la rosa ecuatoriana de exportación se realiza principalmente a través de cuatro canales: venta directa a importadores internacionales (Europa, Rusia, EE.UU.), venta a través de subastas holandesas (Royal FloraHolland), exportación mediante brokers y agentes de venta internacionales, y en menor escala, venta en el mercado nacional. Los estándares de calidad exigidos por el mercado internacional determinan los criterios de clasificación por longitud de tallo (40 cm a 100 cm en rangos de 10 cm), calibre del tallo (Premium > 0.8 cm; Standard 0.6-0.8 cm; Economy < 0.6 cm), y estado del botón (Expoflores, 2023).

2.2.5. Plagas y Enfermedades del cultivo de rosa

2.2.5.1. Plagas

El cultivo de rosa bajo invernadero está expuesto a una serie de artrópodos plaga que pueden comprometer severamente la calidad del botón floral y la productividad del sistema. A continuación, se presentan las principales plagas con su daño característico y las estrategias de control más empleadas:

Tabla 4. Principales plagas del cultivo de rosa (*Rosa* sp.) bajo invernadero.

Plaga	Daño	Control
Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Raspado foliar; punteado clorótico; defoliación severa en altas densidades.	Abamectina, Bifenazato, Azufre micronizado; liberación de <i>Phytoseiulus persimilis</i> (control biológico).
Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Deformación y plateado de pétalos y hojas jóvenes; vector de TSWV.	Spinosad, Imidacloprid, Metarhizium anisopliae.
Pulgones (<i>Macrosiphum rosae</i>)	Colonias en brotes tiernos; secreción de melaza; vector de virus.	Pirimicarb, Aceite de neem, Aphidius colemani.
Minador de hojas (<i>Liriomyza</i> spp.)	Galerías serpenteantes en el limbo foliar; merma fotosintética.	Spinosad, Ciromazina, Diglyphus isaea.
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	Clorosis foliar; melaza; fumagina.	Imidacloprid (suelo), Encarsia formosa.

Fuente: García y Martínez (2019); Infoagro (2021).

2.2.5.2. Enfermedades

Las enfermedades fúngicas representan la principal amenaza fitosanitaria en los invernaderos florícolas del Carchi, especialmente en períodos de alta humedad relativa. El control integrado de enfermedades combina el manejo del microclima, la rotación de principios activos y la aplicación de agentes de biocontrol:

Tabla 5. Principales enfermedades del cultivo de rosa (*Rosa* sp.) bajo invernadero.

Enfermedad	Daño	Control
Oídio (<i>Podosphaera pannosa</i>)	Polvo blanco harinoso en hojas, tallos y botones; deformación de brotes.	Azufre mojabable, Triadimenol, Myclobutanil; reducir HR y aumentar ventilación.
Mildiu veloso (<i>Peronospora sparsa</i>)	Manchas angulares cloróticas en haz; esporulación violácea en envés.	Mancozeb, Metalaxil-M, Fosetil-Al; control de humedad relativa.
Botrytis (<i>Botrytis cinerea</i>)	Pudrición gris en pétalos, botones y tallos; esporulación abundante.	Fenhexamid, Boscalid, Iprodione; manejo del microclima (poda de hojas basales).
Roya (<i>Phragmidium mucronatum</i>)	Pústulas anaranjadas en envés foliar; defoliación.	Tebuconazol, Trifloxistrobina, remoción de tejido infectado.
Verticilosis (<i>Verticillium dahliae</i>)	Marchitamiento unilateral; necrosis vascular en corte de tallo.	Solarización, Trichoderma harzianum (preventivo); manejo de riego.
Corona agalla (<i>Agrobacterium tumefaciens</i>)	Agallas esponjosas en cuello o raíz; debilitamiento general.	Uso de patrones certificados; desinfección de herramientas; no tiene control curativo eficaz.

Fuente: García y Martínez (2019); Infoagro (2021); Cabrera (2020).

El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIP) en la floricultura de exportación implica la combinación de monitoreos semanales de poblaciones plaga, rotación de moléculas de control para evitar resistencias, uso de organismos de biocontrol (especialmente *Phytoseiulus persimilis* para araña roja y *Encarsia formosa* para mosca

blanca), y manejo del microclima mediante ventilación controlada para reducir la humedad foliar. La certificación Rainforest Alliance y Flor Ecuador Certified exige que las fincas de exportación demuestren la implementación de protocolos MIP sostenibles que minimicen el uso de plaguicidas de alta toxicidad (Expoflores, 2023).

2.2.6. Fisiología del Sistema Radicular

2.2.6.1. Importancia de la raíz

La raíz es el órgano subterráneo fundamental para la productividad del rosal. Según Taiz *et al.* (2018), sus funciones fisiológicas van mucho más allá del simple soporte mecánico:

- **Absorción:** Es responsable de la captación de agua y nutrientes minerales del suelo.
- **Anclaje:** Fija la planta al sustrato, permitiendo el crecimiento vertical del tallo.
- **Síntesis Hormonal:** Este punto es crítico. Las puntas de las raíces (ápices radiculares) son el principal sitio de biosíntesis de Citoquininas y Giberelinas, hormonas que luego son traslocadas vía xilema hacia la parte aérea para estimular la brotación y el crecimiento floral. Un sistema radicular sano es sinónimo de una alta producción de tallos basales.

2.2.6.2. Arquitectura radicular

La morfología de la raíz varía según el método de propagación.

- **Raíz Pivotante vs. Fasciculada:** En plantas originadas de semilla (sexual), existe una raíz pivotante dominante. Sin embargo, en la floricultura comercial ecuatoriana, las rosas se injertan sobre patrones como *Natal Briar* o se propagan por estacas. Según Cabrera (2020), esto da origen a un sistema radicular adventicio y fasciculado (fibroso), caracterizado por la ausencia de una raíz principal y la proliferación de numerosas raíces laterales de grosor similar.
- **Pelos Absorbentes:** Son células epidérmicas modificadas de vida corta (2 a 3 semanas) que incrementan exponencialmente la superficie de contacto con el suelo. Marschner (2012) indica que los pelos radiculares son responsables de hasta el 70% de la absorción de nutrientes poco móviles como el Fósforo, por

lo que su preservación es el objetivo principal de los bioestimulantes radiculares.

2.2.6.3. Factores que afectan el crecimiento radicular

El desarrollo de las raíces no depende solo de la genética, sino de las condiciones físicas del suelo:

- Compactación (Impedancia mecánica): Suelos con densidad aparente alta ($>1.4 \text{ g/cm}^3$) restringen la elongación radicular, engrosando las raíces y reduciendo su capacidad de exploración.
- Oxígeno (Aeración): Las raíces respiran activamente. La falta de oxígeno (anoxia) por saturación de agua (riego excesivo) detiene la absorción de nutrientes y provoca la muerte de los pelos absorbentes en cuestión de horas (Pérez-Melis *et al.*, 2017).
- Temperatura: En el cultivo de rosas, la temperatura óptima del suelo para la emisión de nuevas raíces oscila entre 18°C y 22°C . Temperaturas inferiores a 12°C inhiben casi totalmente el crecimiento radicular, afectando la absorción de nitratos.

2.2.6.4. La Rizósfera

Se define como la delgada capa de suelo (1-3 mm) que rodea directamente a las raíces y que está influenciada por sus exudados.

- Interacción Suelo-Raíz-Microorganismos: Según Philippot *et al.* (2013), la rizósfera es el "punto caliente" de actividad microbiana. Las raíces excretan azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos (rizodeposición) que alimentan a millones de bacterias y hongos. A cambio, estos microorganismos benéficos (PGPR) solubilizan nutrientes bloqueados y protegen a la raíz contra patógenos. Bioestimulantes como Albit y la Melaza actúan específicamente potenciando esta zona, mejorando la eficiencia de la simbiosis natural.

2.2.7. Tecnologías de Evaluación Radicular

2.2.7.1. Métodos destructivos vs. no destructivos

La evaluación del sistema radicular ha sido históricamente el "cuello de botella" de la investigación agronómica debido a la dificultad de acceder al suelo.

- Métodos Destructivos: Tradicionalmente se emplean técnicas como el lavado de raíces, monolitos de suelo o la técnica del barreno (*soil coring*). Según Freschet *et al.* (2021), aunque estos métodos permiten pesar la biomasa total, presentan dos desventajas críticas: primero, la pérdida significativa de raíces finas (< 0.5 mm) durante el lavado, subestimando la capacidad de absorción; y segundo, la destrucción de la unidad experimental, lo que impide evaluar la evolución del crecimiento en la misma planta a lo largo del tiempo.
- Métodos No Destructivos: Surgen como solución para realizar estudios longitudinales (seguimiento temporal). Permiten observar la arquitectura radicular *in situ* sin alterar el equilibrio de la planta ni la estructura del suelo, siendo ideales para evaluar la velocidad de respuesta ante la aplicación de bioestimulantes en cultivos de alto valor como la rosa (Paez-Garcia *et al.*, 2015).

2.2.7.2. Uso de Rizotrones (Ventanas de observación)

El rizotrón es una instalación técnica diseñada para la observación no invasiva de la rizósfera.

- Principio de funcionamiento: Consiste en una pared transparente (vidrio o acrílico) colocada en contacto directo con el perfil del suelo. Según Judd *et al.* (2015), las raíces tienden a crecer a lo largo de esta superficie debido a la menor resistencia mecánica y al geotropismo.
- Protocolo de manejo: Para garantizar la validez de los datos, la ventana debe permanecer cubierta con material opaco la mayor parte del tiempo. Esto cumple una doble función: evitar la fotodegradación de las raíces (que son fototrópicamente negativas) e impedir el crecimiento de algas que podrían confundir el análisis de imágenes. Esta técnica permite medir tasas de elongación (cm/día) y vida media de las raíces de forma precisa.

2.2.8. Análisis Digital de Imágenes (Software ImageJ y Código Python en Google Colab)

La transición de la medición manual a la cuantificación digital es uno de los pilares fundamentales de la agricultura de precisión moderna. Para el procesamiento de las fotografías obtenidas mediante los rizotrones en la presente investigación, se implementaron dos herramientas computacionales complementarias: el software

ImageJ y un código de análisis de imágenes desarrollado en lenguaje Python y ejecutado en la plataforma Google Colaboratory (Google Colab).

2.2.8.1. Software ImageJ

- ImageJ es una plataforma de procesamiento y análisis de imágenes de código abierto, desarrollada y mantenida por los Institutos Nacionales de Salud (NIH, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América. Según Schneider *et al.* (2012), ImageJ permite calibrar imágenes digitales mediante una escala de referencia conocida, transformando la unidad de medida de píxeles a unidades métricas reales (centímetros o milímetros), lo que elimina el error humano asociado a la medición visual directa.
- En el contexto de la evaluación radicular, ImageJ permite trazar digitalmente la longitud de las raíces mediante el proceso denominado "esqueletización", así como medir diámetros con precisión micrométrica. Esta metodología genera datos cuantitativos robustos y reproducibles, aptos para someterse a análisis estadísticos rigurosos, proporcionando un nivel de detalle que la medición convencional con regla o vernier no puede ofrecer (Lobet *et al.*, 2011). Su uso está ampliamente respaldado en la literatura científica agronómica como herramienta estándar para el análisis morfológico de raíces en condiciones de invernadero y laboratorio.

2.2.8.2. Google Colaboratory (Google Colab) como plataforma de procesamiento científico

- Google Colaboratory, conocido como Google Colab, es un entorno de ejecución de código Python basado en la nube, desarrollado por Google LLC. Se fundamenta en la tecnología de Jupyter Notebooks, que es un estándar internacional para la computación científica interactiva (Kluyver *et al.*, 2016). Google Colab permite ejecutar código de programación directamente desde un navegador web, sin necesidad de instalaciones locales, y ofrece acceso gratuito a recursos computacionales como unidades de procesamiento gráfico (GPU) y de procesamiento tensorial (TPU).
- Desde el punto de vista científico, Google Colab ha sido reconocido como una plataforma democratizadora del análisis de datos en ciencias naturales y agropecuarias, ya que permite a investigadores de cualquier región del mundo acceder a herramientas de cómputo de alto rendimiento para el

procesamiento de imágenes, el análisis estadístico y la visualización de datos (Carneiro *et al.*, 2018). Su integración con bibliotecas especializadas de Python como OpenCV, scikit-image, NumPy y pandas, lo convierte en un entorno completo para el análisis cuantitativo de imágenes biológicas.

2.2.8.3. Código de análisis de imágenes radiculares desarrollado en Google Colab

Para la presente investigación se desarrolló un código original en lenguaje Python ejecutado en Google Colab, cuyo objetivo fue cuantificar la extensión radicular lateral de la rosa variedad Explorer a partir de fotografías digitales capturadas en los rizotrones. El código integra un flujo de procesamiento de imágenes que comprende las siguientes etapas técnicas:

- Preprocesamiento de imagen: La imagen RGB capturada en el rizotron es convertida a escala de grises mediante la biblioteca scikit-image (van der Walt *et al.*, 2014). Esta conversión reduce la complejidad de la información visual a una sola dimensión de intensidad luminosa, condición necesaria para aplicar algoritmos de segmentación.
- Segmentación por umbralización binaria: Se aplica un umbral de intensidad (valor $< 0,6$ en escala normalizada) que separa los píxeles correspondientes a las raíces (estructuras de tono oscuro) del fondo claro del vidrio del rizotron. Esta técnica, conocida como thresholding, es un método estándar en visión artificial para aislar objetos de interés en imágenes con contraste definido (Gonzalez y Woods, 2018).
- Limpieza morfológica: Se aplica un filtro de mediana mediante la biblioteca OpenCV (Bradski, 2000) para eliminar el ruido de píxeles aislados y mejorar la continuidad de las estructuras radiculares segmentadas, sin alterar sus bordes reales.
- Esqueletización: El algoritmo de esqueletización de scikit-image reduce la región binaria de la raíz a una estructura de un píxel de ancho (esqueleto), preservando su topología y longitud total. La suma de píxeles del esqueleto representa la longitud total de la red radicular visible en la imagen (Lee *et al.*, 1994).
- Medición de la longitud principal: Mediante la detección de contornos de OpenCV, se identifica el contorno de mayor área (raíz principal) y se calcula

su rectángulo de área mínima, cuya dimensión mayor corresponde a la longitud de la raíz pivotante o el segmento radicular más extenso.

- Medición del área proyectada: Se calcula la suma total de píxeles activos en la imagen binaria, que representa el área proyectada de la raíz, expresada en cm^2 tras la conversión de escala.
- Conversión de escala píxeles a centímetros: El usuario ingresa la equivalencia de píxeles por centímetro, determinada mediante una escala física de referencia colocada en el rizotron al momento de la fotografía. Esta calibración transforma todas las medidas de unidades de imagen a unidades métricas reales, siguiendo el mismo principio descrito por Schneider *et al.* (2012) para ImageJ.
- Generación de resultados: El código produce automáticamente una tabla de datos con la longitud principal (cm), la longitud total de red radicular (cm) y el área proyectada (cm^2) por cada imagen procesada, junto con gráficas comparativas entre tratamientos. Los datos son exportados en formato CSV para su posterior análisis estadístico en InfoStat.

La combinación de los rizotrones como técnica de observación no destructiva con el análisis automatizado de imágenes en Google Colab representa una metodología innovadora para la evaluación radicular en cultivos bajo invernadero. Esta aproximación supera las limitaciones de los métodos tradicionales destructivos (extracción de raíces) al permitir el seguimiento longitudinal del mismo sistema radicular a lo largo del ciclo productivo, sin afectar el desarrollo de la planta ni interrumpir el ensayo experimental (Majdi, 1996; Johnson *et al.*, 2001).

La objetividad y reproducibilidad del análisis digital eliminan la variabilidad subjetiva del observador, característica crítica para la validez estadística de los datos obtenidos en el ensayo. Esta metodología está alineada con los principios de la agricultura de precisión y la ciencia de datos aplicada a sistemas agropecuarios, representando un avance metodológico respecto a las técnicas convencionales de evaluación radicular utilizadas en la floricultura ecuatoriana.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamentó en la recolección sistemática de datos numéricos para evaluar variables de crecimiento vegetativo (longitud de tallo, diámetro de tallo), calidad floral (longitud y diámetro de botón en estado Preapertura y en cosecha) y extensión radicular (longitud lateral de raíz), sometiéndolos posteriormente a un análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey) para probar las hipótesis planteadas y determinar la efectividad agronómica de los tratamientos biológicos.

3.1.2. Tipo de Investigación

El estudio correspondió a una investigación experimental de campo, dado que se manipularon deliberadamente las variables independientes (aplicación edáfica de diferentes estimulantes biológicos como aminoácidos, extractos de algas, biopolímeros y azúcares) bajo condiciones controladas dentro de un invernadero comercial en la Florícola "León Roses", con el fin de medir su efecto directo sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo de rosa en un entorno real.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis Alternativa (H_a)

La aplicación de estimulantes biológicos (individuales y combinados) influye significativamente en el crecimiento radicular y calidad del tallo floral del cultivo de rosa (*Rosa* sp.) variedad Explorer.

3.2.2. Hipótesis Nula (H_0)

La aplicación de estimulantes biológicos (individuales y combinados) no influye significativamente en el crecimiento radicular y calidad del tallo floral del cultivo de rosa (*Rosa* sp.) variedad Explorer.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente: Estimulantes de origen biológico (Ácido poli-beta-hidroxibutirato, Aminoácidos, Extracto de Algas marinas y carbohidratos fermentados).

Variable dependiente: Respuesta agronómica del cultivo, evaluada a través de desarrollo floral: calidad de tallo y botón floral en prefloración, calidad floral en cosecha, rendimiento y relación costo-beneficio.

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 6. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente Estimulantes Biológicos	Auxinas enriquecidas (manejo de finca testigo químico-TQ)	Aplicación vía drench de 2 kg/Ha de Auxinas enriquecidas (N-P-Zn-Ac. Húmicos) en el cultivo de rosa, en las etapas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con aplicaciones cada 20 días durante el ciclo productivo	Manual	• Probetas graduadas • Balanza gramera • Balde aforado • Equipo de aspersión
	Ácido-poli-beta-hidroxibutirato	Aplicación vía drench de 0,24 L/Ha de Ácido-poli-beta-hidroxibutirato en el cultivo de rosa, en las etapas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con aplicaciones cada 20 días durante el ciclo productivo		
	Aminoácidos	Aplicación vía drench de 6 L/Ha de Aminoácidos en el cultivo de rosa, en las etapas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con aplicaciones cada 20 días durante el ciclo productivo		
	Extracto de Algas	Aplicación vía drench de 2 kg/Ha de Extracto de Algas en el cultivo de rosa, en las etapas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con aplicaciones cada 20 días durante el ciclo productivo		
	Melaza	Aplicación vía drench de 12 L/Ha de Melaza en el cultivo de rosa, en las etapas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con aplicaciones cada 20 días durante el ciclo productivo		
Dependiente: Respuesta agronómica del cultivo	Longitud de Tallo en el cultivo de rosas	Longitud de tallo en el cultivo de rosas (cm) desde el punto de poda (yema de brotación) hasta el ápice del tallo. Se midió el crecimiento longitudinal de la planta, evaluando el desarrollo vegetativo a lo largo del ciclo productivo	Observación, medición manual y registro.	Flexómetro / Cinta métrica
	Calidad de tallo y botón floral en la etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura- PE (87 ddp) (longitud/diámetro)	Longitud de tallo Preapertura-PE (cm) Diámetro de tallo Preapertura-PE (cm) Longitud de Botón Preapertura-PE (cm) Diámetro de Botón Preapertura-PE (cm)		• Flexómetro / Cinta métrica • Calibrador Pie de Rey digital ($\pm 0,01$ mm)

Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha (95 ddp) (longitud/diámetro)	Se midió la longitud y el diámetro tanto del tallo como del botón floral, evaluando el desarrollo y grosor alcanzado por la planta en esta etapa fenológica Longitud de tallo cosecha (cm). Diámetro de tallo cosecha (cm). Longitud de botón cosecha (cm). Diámetro de botón cosecha (cm). Se midió la longitud y el diámetro tanto del tallo como del botón floral, evaluando la calidad comercial alcanzada por la planta al momento de la cosecha		• Libreta de campo • Flexómetro / Cinta métrica • Calibrador Pie de Rey digital ($\pm 0,01$ mm)
Extensión Radicular Lateral (cm)	Extensión radicular lateral (cm) visual de la raíz. Se midió el crecimiento lateral de las raíces visibles a través del rizotron, evaluando el desarrollo radicular de la planta en distintas etapas fenológicas	Observación no destructiva y Análisis Digital de Imágenes	• Rizotrones (Ventanas de observación) • Cámara fotográfica • Software CodigoG.Colab
Rendimiento	Número de tallos cosechados que cumplen calidad de exportación por unidad experimental. Se contabilizaron los tallos aptos para comercialización, evaluando la productividad de cada tratamiento al finalizar el ciclo	Conteo manual y clasificación.	• Tijeras de poda • Mallas de clasificación • Registros de cosecha
Análisis Económico	Relación Costo/ Beneficio (C/B). Utilidad Neta (USD/ha). Se calcularon los indicadores financieros de cada tratamiento, evaluando su rentabilidad y viabilidad económica frente al manejo convencional	Cálculo matemático financiero: C/B = Ingresos Totales / Costos Totales	Computadora/Excel

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

El estudio experimental se realizó en la Florícola "León Roses", ubicada en el sector La Esperanza, cantón Bolívar, provincia del Carchi. Sus coordenadas geográficas son 0°29'16.0" de latitud Norte y 76°54'40.9" de longitud Oeste, a una altitud de 2.400 m.s.n.m, la zona se caracteriza por poseer condiciones edafoclimáticas aptas para la producción florícola de exportación bajo invernadero, tal como se ilustra en la Figura 2.

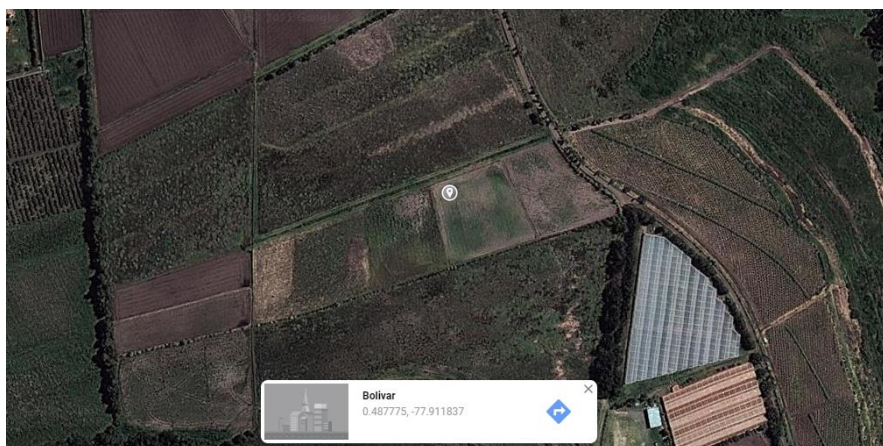


Figura 2. Ubicación del experimento en la florícola León Roses

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación se constituyó de ocho (8) tratamientos (Aminoácidos-Melaza, Albit, Extracto de Algas), los cuales incluyen la aplicación individual de estimulantes biológicos y sus respectivas combinaciones, comparados frente a un testigo de estimulante convencional. Todos los tratamientos se aplicaron mediante aspersión manual (aplicación edáfica localizada en la zona de raíces) con una frecuencia de cada 20 días, completando 5 aplicaciones durante el ciclo productivo de 95 días resultando los siguientes tratamientos:

Tabla 7. Tratamientos del experimento

Tratamientos	Descripción	Composición Comercial	Dosis	Frecuencia de aplicación
T1	Auxinas enriquecidas (N-P-Zn-Ac. Húmicos) (manejo de finca testigo químico-TQ)	ANA (Ácido Naftilacético): 0.207% p/p. AIB (Ácido Indolbutírico): 0.104% p/p	2 kg/Ha (Estándar)	20 días
T2	Ácido-poli-beta-hidroxibutirato	Ácido poli-beta-hidroxibutirato	0,24 L/Ha (0,1 cc/L por cama)	20 días
T3	(Aminoácidos-Melaza)	Aminoácidos Libres y Péptidos de cadena corta. Aminoácidos Libres: 10.3% p/p. Nitrógeno Total: 7.0% (Nitrógeno orgánico). Carbono Orgánico: 29.4%	Aminoácidos 6 L/Ha (50 cc/cama). Melaza: 12 L/Ha (50 cc/cama).	20 días
T4	Extracto de Algas	Extracto Algas (Ascophyllum nodosum)	2 kg/Ha (50 cc/cama)	20 días
T5	(Aminoácidos-Melaza) + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato	Aminoácidos + Azucres + Ácido poli-beta-hidroxibutirato	Aminoácidos 6 L + Melaza 12 L + Albit 0,24 L /Ha (50 cc + 50 cc + 1 ml por cama)	20 días
T6	Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas	Ácido poli-beta-hidroxibutirato + Extracto Algas	Albit 0,24 L + Seaweed 2 kg /Ha (1 ml + 50 cc por cama)	20 días
T7	(Aminoácidos-Melaza) + Extracto de algas	Aminoácidos + Azucres + Extracto Algas	Aminoácidos 6 L + Melaza 12 L + Seaweed 2 kg /Ha (50 cc + 50 cc + 50 cc por cama)	20 días
T8	(Aminoácidos-Melaza) + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas	Aminoácidos + Azucres + Ácido poli-beta-hidroxibutirato+ Extracto Algas	Aminoácidos 6 L + Melaza 12 L + Albit 0,24 L + Seaweed 2 kg /Ha (50 cc + 50 cc + 1 ml + 50 cc por cama)	20 días

Nota. Todos los tratamientos fueron aplicados de forma edáfica (drench), permitiendo una absorción directa por raíz.

3.4.3. Características del diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Este diseño se ajustó a la infraestructura del invernadero, utilizando 312 m² de área total del experimento, de área 144 m² de área neta del ensayo, 8 camas de cultivo que funcionaron como bloques, dentro de los cuales los 8 tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente en 3 repeticiones para aislar el efecto de la variabilidad del suelo y la luz, conformando el área de cada unidad experimental con 6 m².

- Distribución: El ensayo se estableció en una nave con camas de 30 metros lineales, divididas en parcelas de 10 metros largo y 0,60 metros de ancho, separadas por caminos de 0.70 metros entre camas.
- Unidad Experimental: Cada cama de 30 m se dividió en 3 parcelas de 10 metros de longitud cada una. Cada parcela de 10 m × 0,60 m (6 m²) constituyó una unidad experimental, con una capacidad estimada de 133 plantas por UE.

Tabla 8. Características del experimento

Diseño de Repeticiones Completamente al Azar (DBCA)	Dimensiones
Tratamientos	8
Repeticiones	3
Unidades experimentales	24
Dimensiones de la UE	10 m (largo) x 0,60 m (ancho de cama)
Área de la UE	6 m ²
Área Total del Experimento	312 m ² (área bruta incluye caminos)
Área neta del Ensayo (8 camas)	144 m ²
Largo total por Bloque (cama completa)	30 metros lineales
Ancho de cama	0,60 m
Ancho de camino entre camas	0,70 m
Plantas estimadas por cama (30 m)	≈ 400 plantas/cama
Plantas por UE (10 m)	≈ 133 plantas/UE
Población total del experimento (24 UE)	≈ 3.200 plantas
Muestra de seguimiento	168 plantas (7 plantas centrales × 24 UE)

3.4.4. Distribución y características del experimento

Para la delimitación física del experimento dentro del invernadero, se estableció un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Las 24 unidades experimentales (resultado de la interacción de 8 tratamientos y 3 repeticiones) fueron identificadas individualmente mediante el uso de letreros informativos y cintas delimitadoras al inicio de cada parcela.

Esta distribución definió unidades de superficie de 6 m² (10 metros lineales de cama × 0,60 metros de ancho de cama), garantizando la independencia de los tratamientos y el control del error experimental. Los caminos de 0,70 m entre camas aseguraron accesibilidad para las labores culturales y la aplicación de tratamientos sin contaminación cruzada.

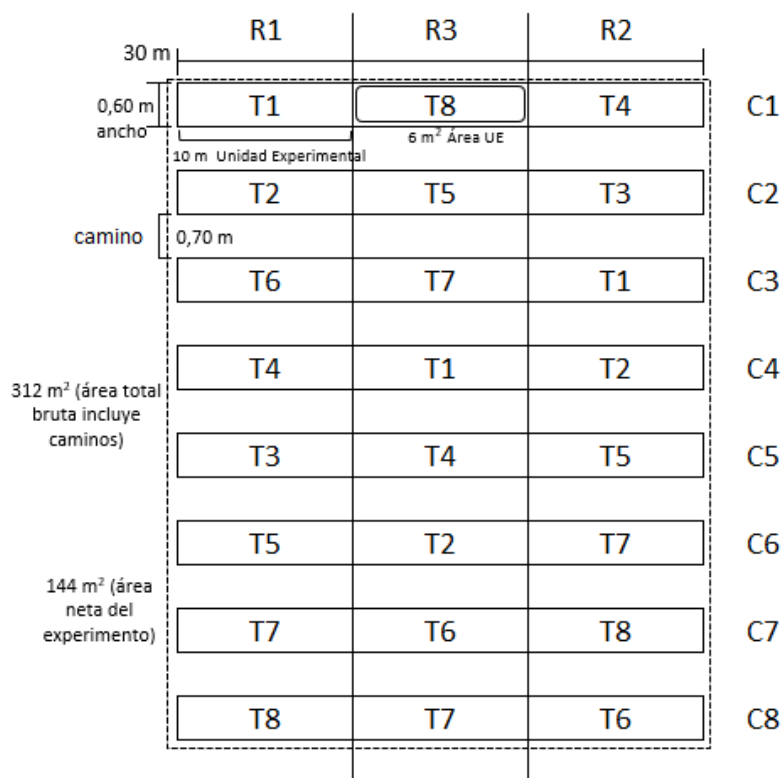


Figura 3. Distribución del experimento tratamientos aleatorios.

3.4.5. Población y muestra de la investigación

La investigación se fundamentó en un total de 24 unidades experimentales, correspondientes a la interacción de 8 tratamientos y 3 repeticiones.

- Población: Considerando que en cada cama de 30 m de largo y 0,60 m de ancho se estima una densidad de aproximadamente 400 plantas, el ensayo abarcó un total estimado de 3.200 plantas de rosa variedad Explorer, distribuidas en las 24 unidades experimentales (≈ 133 plantas/UE), dentro del área total de 24 camas evaluadas.
- Muestra: Se aplicó un muestreo aleatorio estratificado dentro de cada unidad experimental. Para la evaluación de las variables vegetativas (longitud y diámetros de tallo y botón), se seleccionaron y marcaron 7 plantas centrales por unidad experimental, evitando el efecto de borde, totalizando una muestra de seguimiento de 168 plantas durante el ciclo productivo. Los datos de las 7 plantas fueron promediados para obtener el valor representativo de cada UE.

3.4.6. Variables Evaluadas

3.4.6.1. Estimulantes Biológicos aplicados al cultivo de rosas variedad Explorer

Los estimulantes biológicos fueron aplicados vía drench (aplicación edáfica directa al sustrato), en las etapas fenológicas de Brotación, Desarrollo Vegetativo, Punto Arroz, Punto Arveja, Punto Rayando Color y Preapertura, con una frecuencia de aplicación cada 20 días durante todo el ciclo productivo del cultivo. A continuación, se detalla cada uno de los productos empleados:

- Auxinas enriquecidas — Testigo Químico (TQ): Corresponde al manejo convencional de la finca, consistente en una formulación a base de Nitrógeno, Fósforo, Zinc y Ácidos Húmicos. Se aplicó vía drench a una dosis de 2 kg/Ha cada 20 días, utilizada como tratamiento de referencia frente a los bioestimulantes evaluados.
- Ácido-poli-beta-hidroxibutirato: Compuesto orgánico de origen microbiano que actúa estimulando la actividad biológica de la rizósfera, favoreciendo la colonización de microorganismos benéficos y mejorando la absorción de nutrientes por parte de la raíz. Se aplicó vía drench a razón de 0,24 L/Ha cada 20 días.
- Aminoácidos: Bioestimulante compuesto por cadenas de aminoácidos libres que actúan como precursores directos en la síntesis de proteínas y fitohormonas endógenas, promoviendo el crecimiento vegetativo y el desarrollo floral. Se aplicó vía drench a una dosis de 6 L/Ha cada 20 días.
- Extracto de Algas (*Ascophyllum nodosum*): Producto rico en citoquininas, polisacáridos y oligoelementos naturales, que estimula la actividad meristemática y mejora la translocación de fotoasimilados hacia los órganos en desarrollo, como tallos y botones florales. Se aplicó vía drench a una dosis de 2 kg/Ha cada 20 días.
- Melaza: Fuente de carbohidratos simples utilizada como sustrato energético para los microorganismos del suelo, favoreciendo la actividad microbiana de la rizósfera y potenciando la eficiencia de los demás bioestimulantes aplicados. Se aplicó vía drench a razón de 12 L/Ha cada 20 días.

3.4.6.2. Longitud de tallo (cm) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Se determinó midiendo la longitud del tallo desde el punto de poda (yema de brotación) hasta el ápice meristemático. Esta variable se registró en seis etapas fenológicas consecutivas en las plantas marcadas, utilizando un flexómetro, para evaluar la velocidad de crecimiento vegetativo inducida por los tratamientos.

- Brotación (13 ddp): Inicio de la emergencia de nuevos brotes. Los tallos miden en promedio 1 cm.



Figura 4. Brotación.

- Desarrollo Vegetativo 1ª evaluación (26 ddp): El tallo se alarga activamente. Promedio $\approx$ 6 cm.



Figura 5. Desarrollo Vegetativo (26 ddp)

- Desarrollo Vegetativo 2ª evaluación (39 ddp): Elongación continua. Promedio ≈ 17 cm.



Figura 6. Desarrollo Vegetativo (39 ddp)

- Punto Arroz (52 ddp): El botón floral comienza a formarse con tamaño de grano de arroz. Promedio ≈ 53 cm.



Figura 7. Punto Arroz (52 ddp)

- Punto Arveja/Garbanzo (65 ddp): El botón ha crecido hasta el tamaño de una arveja o garbanzo, con los sépalos comenzando a separarse. Promedio ≈ 67 cm.



Figura 8. Punto Arveja/Garbanzo (65 ddp)

- Punto Rayando Color (78 ddp): Los pétalos empiezan a mostrar el color característico de la variedad. Es el último punto antes de la preapertura. Promedio ≈ 77 cm.



Figura 9. Punto Rayando Color (78 ddp)

3.4.6.3. Calidad de tallo y botón floral en etapa fenológica Botón Preapertura-PE (87ddp) (Longitud y Diámetro)

Se midió el grosor del tallo y botón floral en el tercio medio de edad de la planta de Preapertura. Esta evaluación se realizó utilizando un calibrador Pie de Rey digital, garantizando precisión milimétrica. Es un indicador clave de la calidad y resistencia del tallo y botón para la exportación:

- Longitud de Tallo en Preapertura (cm): Distancia desde el nodo basal hasta la cabeza floral.



Figura 10. Longitud de Tallo en Preapertura (cm)

- Diámetro de Tallo en Preapertura (cm): Grosor del tallo en el tercio medio.



Figura 11. Diámetro de Tallo en Preapertura (cm)

- Longitud de Botón PE (cm): Desde la base del sépalo hasta el ápice del botón.



Figura 12. Longitud de Botón PE (cm)

- Diámetro de Botón PE (cm): En la zona ecuatorial del botón.



Figura 13. Diámetro de Botón PE (cm)

3.4.6.4. Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha (Longitud y Diámetro)

Se cuantificó el tamaño del tallo de la cabeza floral al momento de la cosecha (punto de corte comercial).

- Longitud de Tallo (cm): Distancia desde la base del nodo basal hasta la cabeza floral.



Figura 14. Longitud de Tallo (cm) a la Cosecha

- Diámetro del tallo (cm): Grosor del tallo en su punto más ancho y resistente del cuerpo de la planta.



Figura 15. Diámetro del tallo (cm) a la Cosecha

- Longitud del botón (cm): Distancia desde la base del cáliz hasta la punta de los pétalos.



Figura 16. Longitud del botón (cm) a la Cosecha

- Diámetro del botón (cm): Grosor de la cabeza floral en su punto más ancho. Ambas medidas se tomaron con calibrador Pie de Rey, siendo determinantes para la clasificación comercial de la rosa.



Figura 17. Diámetro del botón (cm) a la Cosecha

3.4.6.5. Extensión radicular lateral (longitud de raíz) (cm)

Para la evaluación de esta variable, se utilizó una técnica no destructiva mediante el uso de Rizotrones o ventanas de observación (ver diseño en Anexo 3). Se capturaron imágenes digitales de las raíces visibles a través del vidrio, las cuales fueron procesadas posteriormente con el software especializado código G. Colab (Schneider *et al.*, 2012). Este método permitió medir la extensión lineal de las raíces nuevas sin necesidad de extraer la planta, registrando el crecimiento acumulado en las fechas de muestreo.

Para el procesamiento digital de las imágenes capturadas en los rizotrones, se empleó un código original desarrollado en lenguaje Python ejecutado en la plataforma Google Colaboratory "Google Colab" (Valverde Yar, 2025), un entorno de cómputo científico en la nube basado en Jupyter Notebooks (Kluyver *et al.*, 2016). El flujo de análisis comprendió las siguientes etapas:

- Conversión de la imagen RGB a escala de grises
- Segmentación por umbralización binaria para aislar las estructuras radiculares del fondo del vidrio
- Limpieza morfológica mediante filtro de mediana para eliminar ruido
- Esqueletización para obtener la longitud total de la red radicular visible
- Detección del contorno de mayor área para medir la longitud del segmento radicular principal

- Cálculo del área proyectada en cm²
- Conversión de píxeles a centímetros mediante una escala física de referencia colocada en el rizotron al momento de la fotografía, siguiendo el principio de calibración descrito por Schneider *et al.* (2012). Los resultados fueron exportados en formato CSV para su posterior análisis estadístico en InfoStat.

3.4.6.6. Rendimiento (tallos/ha/mes)

Se contabilizó el número total de tallos cosechados por unidad experimental que cumplieron con los parámetros de calidad exigidos por la finca (longitud >50 cm, botón formado, sin deformaciones). Se excluyeron los tallos "ciegos" o de descarte (nacionales), considerando únicamente la producción apta para exportación.

3.4.6.7. Análisis Costo Beneficio por Hectárea

Se realizó el análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento. La fórmula empleada fue la Relación Beneficio/Costo (B/C).

- Ingresos: Calculados en función de la cantidad de tallos exportables vendidos y su precio promedio de mercado.
- Costos: Se sumaron los costos fijos de producción más los costos variables específicos de cada tratamiento (valor comercial de los estimulantes biológicos Albit, Isabion, Algas y Melaza, más la mano de obra de aplicación).

3.4.7. Procedimientos

3.4.7.1. Selección y Delimitación del Área Experimental

Se identificaron tres camas de cultivo de la variedad *Explorer* dentro del bloque de producción de la Florícola "León Roses". Se seleccionaron plantas con un desarrollo fenológico homogéneo (etapa de producción) y excelente estado fitosanitario. Posteriormente, se realizó la marcación de las 24 unidades experimentales (parcelas de 10 metros) utilizando cintas plásticas y letreros codificados (T1 a T8) para evitar errores durante las aplicaciones.

3.4.7.2. Habilitación y Limpieza (Plateo)

Previo al inicio de los tratamientos, se ejecutaron labores culturales de limpieza manual (deshierbe) en las camas seleccionadas para eliminar malezas que pudieran competir por los nutrientes o interferir en la absorción de los productos. Asimismo, se

realizó una poda sanitaria estándar para retirar tallos ciegos o enfermos, garantizando que el ensayo iniciara en condiciones de igualdad ("Cero" biológico).

3.4.7.3. Instalación de Rizotrones

Para el monitoreo no destructivo del sistema radicular, se instalaron ventanas de observación (rizotrones) en las plantas centrales de cada unidad experimental. Se realizó una excavación lateral cuidadosa a 15 cm del fuste, colocando láminas de vidrio antirreflejo cubiertas con tapas opacas para evitar la fotodegradación de las raíces, permitiendo así la captura de imágenes digitales *in situ*.

3.4.7.4. Preparación y Aplicación de Tratamientos

Las aplicaciones se realizaron con una frecuencia de cada 20 días, completando un ciclo de evaluación de 13 semanas.

- Preparación: Las soluciones se prepararon el mismo día de la aplicación, pesando y midiendo los productos (Albit, Isabion, Melaza, Algas) con balanzas de precisión y probetas graduadas según las dosis establecidas en la Tabla 3.
- Aplicación Edáfica (Drench): Se aplicó la solución dirigida a la base del tallo (zona de raicillas) utilizando una bomba manual con boquilla de descarga gruesa, asegurando un volumen de mezcla húmeda adecuado para infiltrar el sustrato.

3.4.7.5. Manejo del Testigo

Las parcelas asignadas al testigo químico – TQ, (T1) recibieron únicamente la fertilización edáfica convencional (NPK - More Roots) y el manejo fitosanitario estándar de la finca, sin la adición de ningún estimulante biológico extra, sirviendo como línea base para comparar la eficacia de los productos evaluados.

3.4.7.6. Manejo Agronómico Homogéneo

Durante todo el ciclo del ensayo, todas las unidades experimentales recibieron el mismo manejo técnico en cuanto a riego (goteo), control de plagas y enfermedades (MIP) y labores culturales (desbrotado, agobio), garantizando que las diferencias observadas fueran atribuibles exclusivamente al efecto de los bioestimulantes.

3.4.7.7. Monitoreo y Toma de Datos

Se realizaron evaluaciones cada trece días para registrar las variables de respuesta:

- Vegetativo: Medición de altura de planta y diámetros con flexómetro y pie de rey.
- Radicular: Captura de fotografías de las raíces en los rizotrones para su posterior análisis con el software Google Colab.
- Productivo: Conteo de botones florales y medición de su longitud y diámetro en estado de "botón-Preapertura (87ddp)".

3.4.7.8. Cosecha y Clasificación

La cosecha se realizó de forma continua respetando el punto de corte comercial (apertura del sépalo). Los tallos cosechados de cada tratamiento fueron identificados, agrupados y trasladados a la sala de poscosecha, donde se clasificaron según los estándares de calidad de exportación (longitud de tallo y tamaño de botón) para determinar el rendimiento final y realizar el análisis económico.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos experimentales, obtenidos de un Diseño de Repeticiones Completamente al Azar (DBCA) constituido por 8 tratamientos y 3 repeticiones (24 unidades experimentales), fueron procesados mediante software estadístico InfoStat (Di Renzo *et al.*, 2020). El análisis se llevó a cabo al finalizar cada etapa de evaluación fenológica (13, 26, 39, 52, 65 y 78 ddp para longitud de tallo; 87 y 95 ddp para calidad de tallo y botón floral; 30, 59 y 87 ddp para extensión radicular lateral; y al término del ciclo productivo para rendimiento y análisis económico), procesando los datos de campo inmediatamente después de cada medición para garantizar la oportunidad del análisis.

El procedimiento estadístico se ejecutó en tres etapas secuenciales. Primero, se verificaron los supuestos paramétricos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los residuos del modelo y la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett; una vez validados estos criterios, se procedió con el análisis. Segundo, se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) para cada variable y cada fecha de evaluación, con el fin de detectar diferencias estadísticas entre los 8 tratamientos evaluados, utilizando un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ y $\alpha=0,01$. Tercero, para las variables que mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se empleó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% de probabilidad de error

($p < 0,05$) para establecer la jerarquía entre medias y definir los grupos de similitud estadística. Para las variables sin diferencias significativas (extensión radicular lateral y rendimiento), se reportaron únicamente las medias por tratamiento. En todos los casos se calculó el Coeficiente de Variación (CV%) como indicador de la precisión experimental de cada variable evaluada, aceptándose valores de CV inferiores al 30% como criterio de confiabilidad del experimento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de tallo en el cultivo de rosa bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos, evaluada en seis etapas fenológicas, desde los 13 hasta los 78 días después de la poda (ddp). La fuente de variación Tratamientos mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) en cuatro de las evaluaciones (13, 26, 39 y 78 ddp), mientras que las mediciones a los 52 y 65 ddp, registraron diferencias al nivel del 5% ($p < 0.05$). En este contexto, el comportamiento general del cultivo alcanzó un promedio de longitud de tallo de 76.69 cm en el estado fenológico punto rayando color (78 ddp). Respecto al Coeficiente de Variación (CV), los valores oscilaron entre 3.64% y 16.61%

Tabla 9. Análisis de varianza para la variable longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

F.v	GL	Estado Fenológico					
		Brotación (13ddp)	Desarrollo vegetativo (26ddp)	Desarrollo vegetativo (39ddp)	Punto Arroz (52ddp)	Punto Arveja/Garbanzo (65ddp)	Punto Rayando Color (78ddp)
		p-valor					
Total	23						
Tratamientos	7	0,0077**	<0,0001**	0,0012**	0,050*	0,0117*	0,0012**
Repeticiones	2	0,3736ns	0,317ns	0,364ns	0,070ns	0,024*	0,08ns
Error	14						
CV%		16,61	17,55	15,69	7,68	4,71	3,64
Media (cm)		1,01	6,04	17,49	52,96	66,64	76,69

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Al aplicar la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% (Tabla 10), se determinó el comportamiento de los distintos estimulantes sobre la elongación del tallo a lo largo de las evaluaciones fenológicas, el análisis definió cinco grupos (A, AB, ABC, BC y C). En la etapa de Brotación (13 ddp), los tratamientos T5, T7, T8, T6, T2 y T1 no presentan diferencias entre sí, pero tampoco la presentan T7, T8, T6, T2, T1 y T3; sin embargo, el T5 sí difiere significativamente de T3 y T4, siendo el mejor el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) con una media de 1,31 cm.

En el Desarrollo vegetativo a los 26 ddp, el T2, T1 y T5 no presentan diferencias entre sí, como tampoco la presentan T5, T7, T8 y T3 entre ellos; no obstante, el T2 difiere significativamente de T7, T8, T3, T6 y T4, resultando el mejor tratamiento el T2 (Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) con una media de 9,17 cm.

A los 39 ddp, el T5, T7, T1 y T6 no muestran diferencia entre sí, así como tampoco T7, T1, T6, T3 y T8; sin embargo, el T5 difiere significativamente de T3, T8, T4 y T2, manteniéndose como el mejor tratamiento el T5 con una media de 23,71 cm.

En el Punto Arroz (52 ddp), el T5, T2, T4, T1, T3, T7, T6 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T4, T1, T3, T7, T6 y T8 entre ellos; no obstante, el T5 difiere significativamente del T8, siendo nuevamente el mejor el T5 con una media de 60,01 cm.

En el Punto Arveja/Garbanzo (65 ddp), el T5, T1, T4, T7, T2, T3 y T6 no muestran diferencia entre sí, como tampoco la muestran T4, T7, T2, T3, T6 y T8; sin embargo, el T5 difiere significativamente del T8, resultando el mejor tratamiento el T5 con una media de 72,05 cm.

Finalmente, en el Punto Rayando Color (78 ddp), el T1, T5 y T4 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T5, T4, T3, T2, T6 y T7; sin embargo, el T1 difiere significativamente de T3, T2, T6, T7 y T8, siendo el mejor tratamiento el T1 (Auxinas enriquecidas-TQ) con una media de 84,95 cm.

En conjunto, estos resultados evidencian que el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) fue el tratamiento más estable y sobresaliente durante la

mayor parte del ciclo fenológico, mientras que el T1 (testigo químico) solo logró superarlo en la etapa final, próxima a la cosecha.

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para la variable longitud de tallo en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Brotación (13ddp)			Desarrollo vegetativo (26ddp)			Desarrollo vegetativo (39ddp)			Punto Arroz (52ddp)			Punto Arveja/Garbanzo (65ddp)			Rayando Color (78ddp)		
TRA	Medi	Rang	TRA	Medi	Rang	TRA	Medi	Rang	TRA	Medi	Rang	TRA	Medi	Rang	TRA	Medi	Rang
T	as	os	T	as	os	T	as	os	T	as	os	T	as	os	T	as	os
(cm)			(cm)			(cm)			(cm)			(cm)			(cm)		
T5	1,31	A	T2	9,17	A	T5	23,71	A	T5	60,01	A	T5	72,05	A	T1	84,95	A
T7	1,15	A B	T1	8,97	A	T7	21,72	A B	T2	59,2	A	T1	70,25	A	T5	80,09	A B
T8	1,11	A B C	T5	7,31	A B	T1	19,69	A B C	T4	55,55	A B	T4	67,98	A B	T4	77,19	A B C
T6	1,06	A B C	T7	5,79	B C	T6	19,31	A B C	T1	52,53	A B	T7	66,8	A B	T3	76,69	BC
T2	0,98	A B C	T8	4,74	B C	T3	15,05	B C	T3	52,46	A B	T2	66,68	A B	T2	75,14	BC
T1	0,97	A B C	T3	4,5	B C	T8	14,49	B C	T7	50,26	A B	T3	65,21	A B	T6	74,25	BC
T3	0,82	B C	T6	4,03	C	T4	13,42	C	T6	49,7	A B	T6	63,83	A B	T7	73,86	BC
T4	0,64	C	T4	3,81	C	T2	12,6	C	T8	44	B	T8	60,28	B	T8	71,38	C

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas -TQ (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas; T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.1.2. Calidad de tallo y botón floral en la etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura- PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

En la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable calidad de tallo y botón floral en la etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura (87 ddp). La fuente de variación "Tratamientos" mostró diferencias estadísticas significativas al 5% para la Longitud de Tallo en Preapertura ($p=0,0234$), mientras que para el Diámetro de Tallo PE, la Longitud de Botón PE y el Diámetro de Botón PE se registraron diferencias altamente significativas al 1 % ($p<0,01$). El comportamiento general del experimento alcanzó un promedio de 80,45 cm en la longitud de tallo, 0,67 cm en el diámetro de tallo, 4,25 cm en la longitud de botón

y 4,20 cm en el diámetro de botón en la etapa de Preapertura. El CV osciló entre 2,33% y 8,07%.

Tabla 11. Análisis de varianza para las variables longitud y diámetro de tallo, y longitud y diámetro de botón floral en la etapa fenológica de Botón desarrollado – Preapertura - PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

F.v	GL	Longitud Tallo	Diámetro Tallo	Longitud Botón	Diámetro Botón
		Preapertura (87ddp)	Preapertura	Preapertura	Preapertura
p-valor					
Total	23				
Tratamientos	7	0,0234*	<0,0001**	<0,0001**	0,0006**
Repeticiones	2	0,219ns	0,0001ns	0,235ns	0,035*
Error	14				
CV%		4,63	2,33	8,07	7,19
Media (cm)		80,45	0,67	4,25	4,20

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1.

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 12), se determinó el comportamiento de los estimulantes sobre la calidad de tallo y botón en la etapa de Botón Preapertura (87 ddp). El análisis estadístico reveló agrupaciones diferenciadas para cada variable evaluada, Para la Longitud de Tallo en Preapertura, el T1, T2, T5, T3, T4, T6, y T7 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T2, T5, T3, T4, T6, T7 y T8 entre ellos; sin embargo, el T1 difiere significativamente del T8, siendo el mejor tratamiento el T1 (Auxinas enriquecidas-TQ) con una media de 85,33 cm.

En el Diámetro de Tallo PE, el T4 y T3 no muestran diferencia entre sí, como tampoco la muestran T3 y T6; no obstante, el T4 difiere significativamente de T6, T7, T8, T5, T2 y T1, resultando el mejor tratamiento el T4 (Extracto de Algas) con una media de 0,73 cm.

Para la Longitud de Botón PE, el T5, T6, T8 y T7 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T6, T8, T4, T7 y T1 entre ellos; sin embargo, el T5 difiere significativamente de T1, T2 y T3, manteniéndose como el mejor tratamiento el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) con una media de 4,94 cm.

Finalmente, en el Diámetro de Botón PE, el T1, T2, T3, T5 y T7 no muestran diferencia entre sí, como tampoco la muestran T3, T5, T7, T8 y T6 entre ellos; no obstante, el T1 difiere significativamente de T8, T6 y T4, siendo el mejor tratamiento el T1 (Auxinas enriquecidas-TQ) con una media de 4,91 cm.

En conjunto, estos resultados muestran que el T1 (Auxinas enriquecidas –TQ – N-P-Zn-Ac. Húmicos) se posicionó como el tratamiento más sobresaliente en longitud de tallo PE y diámetro de botón PE, mientras que el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) destacó en la longitud del botón floral y el T4 (Extracto de Algas) en el diámetro del tallo, evidenciando que en esta etapa fenológica final no existe un único tratamiento dominante, sino un comportamiento diferenciado según la variable evaluada.

Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para la variable Calidad de tallo y botón floral en etapa fenológica de Botón desarrollado - Preapertura- PE (87 ddp) en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Long. Tallo Preapertura (87 ddp)			Diámetro Tallo PE			Longitud Botón PE			Diámetro Botón PE		
TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos
T1	85,33	A	T4	0,73	A	T5	4,94	A	T1	4,91	A
T2	83,47	A B	T3	0,72	A B	T6	4,77	A B	T2	4,71	A
T5	83,33	A B	T6	0,68	B C	T8	4,74	A B	T3	4,42	A B
T3	82,08	A B	T7	0,67	C	T4	4,65	A B	T5	4,27	A B C
T4	81,11	A B	T8	0,67	C	T7	4,64	A B	T7	4,19	A B C
T6	78,72	A B	T5	0,64	C	T1	3,84	B C	T8	3,78	B C
T7	75,13	A B	T2	0,64	C	T2	3,43	C	T6	3,77	B C
T8	74,47	B	T1	0,63	C	T3	3,02	C	T4	3,52	C

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas; T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.1.3. Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

En la Tabla 13 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha (95 ddp) y la fuente de variación 'Tratamientos' mostró diferencias estadísticas altamente significativas al 1% ($p < 0,01$) en las cuatro variables evaluadas: Longitud y diámetro de Tallo y Botón en el momento de la Cosecha ($p < 0,0001$). El comportamiento general del experimento alcanzó un promedio de 93,18 cm en longitud de tallo, 0,89 cm en diámetro de tallo, 5,18 cm en longitud de botón y 5,49 cm en diámetro de botón al momento de la cosecha. El CV osciló entre 0,79% y 9,63%.

Tabla 13. Análisis de varianza para la variable Calidad de tallo y botón floral en el momento de la Cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

F.v	GL	Longitud Tallo Cosecha	Diámetro Tallo Cosecha	Longitud Botón Cosecha	Diámetro Botón Cosecha
p-valor					
Total	23				
Tratamientos	7	<0,0001**	0,0037**	<0,0001**	<0,0001**
Repeticiones	2	0,008*	0,148ns	0,037*	0,032*
Error	14				
CV%		0,85	9,63	1,40	0,79
Media (cm)		93,18	0,89	5,18	5,49

Nota. Significado de los códigos: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 * 0,1 ' 1.

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 14), se determinó el comportamiento final de los estimulantes para la calidad de tallo y botón floral en el momento de la cosecha (95 ddp). El análisis estadístico estableció un ranking para todas las variables evaluadas. En cuanto a la longitud de tallo en cosecha, el T3, T6 y T8 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T4, T2, T1 y T7 entre ellos; sin embargo, el T3 difiere significativamente de T4, T2, T1, T7 y T5, siendo el mejor tratamiento el T3 (Aminoácidos-Melaza) con una media de 97,10 cm.

En el Diámetro de Tallo Cosecha, el T5, T7, T8 y T4 no muestran diferencia entre sí, como tampoco la muestran T7, T8, T4, T1, T6 y T2 entre ellos; no obstante, el T5 difiere

significativamente de T1, T6, T2 y T3, resultando el mejor tratamiento el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) con una media de 1,09 cm.

Para la Longitud de Botón Cosecha, el T3, T7 y T1 no presentan diferencia entre sí, como tampoco la presentan T5, T8, T2 y T6 entre ellos; sin embargo, el T3 difiere significativamente de T5, T8, T2, T6 y T4, manteniéndose como el mejor tratamiento el T3 (Aminoácidos-Melaza) con una media de 5,54 cm.

Finalmente, en el Diámetro de Botón Cosecha, los tratamientos T2, T5, T4 y T3 no muestran diferencias entre sí; no obstante, el T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) difiere significativamente de T2, T5, T4, T3, T7, T1 y T6 siendo el mejor con una media de 5,71 cm.

En conjunto, estos resultados reflejan que los tratamientos que incorporan Aminoácidos-Melaza (T3, T7 y T8) tendieron a favorecer de manera constante el desarrollo del botón floral y la longitud del tallo en el momento de la cosecha, mientras que el T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) destacó particularmente en el diámetro del tallo, evidenciando que la combinación T8 fue la que mostró el mejor desempeño integral al final del ciclo productivo.

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para la variable. Calidad de tallo y botón floral en el momento de la cosecha en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Longitud Tallo Cosecha			Diámetro Tallo Cosecha			Longitud Botón Cosecha			Diámetro Botón Cosecha		
TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos	TRAT	Medias (cm)	Rangos
T3	97,1	A	T5	1,09	A	T3	5,54	A	T8	5,71	A
T6	95,8	A	T7	1,02	A B	T7	5,52	A	T2	5,57	B
T8	95,37	A	T8	0,92	A B C	T1	5,37	A	T5	5,57	B
T4	92,77	B	T4	0,85	A B C	T5	5,12	B	T4	5,5	B C
T2	92,06	B	T1	0,83	B C	T8	5,06	B C	T3	5,45	B C D
T1	91,72	B	T6	0,81	B C	T2	4,99	B C	T7	5,38	C D
T7	91,39	B C	T2	0,79	B C	T6	4,94	B C	T1	5,36	D
T5	89,2	C	T3	0,77	C	T4	4,86	C	T6	5,35	D

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas; T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.1.4. Extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.

En la Tabla 15 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable extensión radicular lateral, evaluada en tres etapas fenológicas: Desarrollo Vegetativo (30 ddp), Punto Arveja (59 ddp) y Botón Preapertura (87 ddp), la fuente de variación 'Tratamientos' no mostró diferencias estadísticas significativas en ninguna de las tres evaluaciones ($p=0,7385$; $p=0,264$; $p=0,329$ — todos ns, $p>0,05$), lo que indica que los estimulantes biológicos aplicados de forma edáfica no generaron efectos diferenciados sobre el desarrollo radicular lateral de la rosa variedad Explorer. El comportamiento general del experimento alcanzó promedios de 45,99 cm; 56,18 cm y 67,21 cm de desarrollo radicular en cada etapa respectivamente. El CV osciló entre 11,92% y 21,43%.

Tabla 15. Análisis de varianza para la variable extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.

Estado Fenológico				
F.v	GL	Desarrollo Vegetativo (30ddp)	Punto Arveja (59ddp)	Botón preapertura (87ddp)
p valor				
Total	23			
Tratamientos	7	0,7385ns	0,264ns	0,329ns
Repeticiones	2	0,24ns	0,563ns	0,520ns
Error	14			
CV (%)		21,43	11,92	12,03
Media (cm)		45,99	56,18	67,21

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Al aplicar la prueba de medias (Tabla 16), se confirmó el comportamiento estadístico homogéneo de los estimulantes sobre la extensión radicular lateral. No obstante, numéricamente el T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) registró

el mayor promedio en la etapa fenológica de Desarrollo Vegetativo con 51,72 cm de Desarrollo radicular acumulado, mientras que T3 (Aminoácidos-Melaza) lideró el desempeño en la etapa fenológica de Botón Preapertura con 73,85 cm de Desarrollo radicular acumulado; Estos resultados sugieren que, si bien no existe una diferencia estadística marcada entre tratamientos para la extensión radicular lateral, numéricamente los tratamientos T7, T2 y T3 mostraron una tendencia favorable en distintas etapas del ciclo, destacando T3 (Aminoácidos-Melaza) como el de mejor desempeño acumulado hacia la etapa final de Botón Preapertura.

Tabla 16. Tabla de promedios para la variable extensión radicular lateral en el cultivo de rosas variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos evaluada en tres etapas fenológicas.

Desarrollo Vegetativo (21ddp)		Punto Arveja (58ddp)		Botón Preapertura (81ddp)	
Tratamientos	Medias (cm)	Tratamientos	Medias (cm)	Tratamientos	Medias (cm)
T7	51,72	T2	65,39	T3	73,85
T5	50,37	T3	58,52	T2	73,69
T2	48,85	T5	57,3	T4	68,96
T3	48,66	T4	55,76	T1	68,15
T8	45,36	T7	55,63	T5	67,4
T1	41,24	T8	55,43	T8	65,39
T4	41,15	T1	50,95	T7	61,23
T6	40,64	T6	50,5	T6	59

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas; T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.1.5. Rendimiento (tallos/ha/mes) para el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

En la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento, expresado en tallos por hectárea por mes, en el cultivo de rosa variedad Explorer. La fuente de variación "Tratamientos" no mostró diferencias estadísticas significativas ($p=0,086 > 0,05$ — ns), lo que indica que los estimulantes biológicos aplicados de forma edáfica no generaron diferencias estadísticamente

detectables en el rendimiento bajo las condiciones del ensayo. El comportamiento general alcanzó un promedio de 75.714,28 tallos/ha/mes. El CV fue de 18,27%.

Tabla 17. Análisis de varianza para la variable Rendimiento (tallos/ha/mes) en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

F.v	GL	Rendimiento p valor
Total	23	
Tratamientos	7	0,086ns
Repeticiones	2	0,079ns
Error	14	
CV (%)	18,27	
Media (tallos/ha/mes)	75714,28	

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Al aplicar la prueba de promedios (Tabla 18), se determinó el comportamiento estadístico homogéneo de los tratamientos en términos de rendimiento. Sin embargo, numéricamente T4 (Extracto de Algas) registró el mayor promedio con 98.412,70 tallos/ha/mes, superando al tratamiento de menor rendimiento T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) que registró 62.222,22 tallos/ha/mes, pese a ser relevante en términos numéricos, sin embargo, no alcanzó diferencias estadísticas en las condiciones del experimento, lo cual sugiere que el extracto de algas aplicado de forma individual podría tener un efecto numérico más consistente sobre la productividad que las combinaciones que incluyen ácido-poli-beta-hidroxibutirato.

Tabla 18. Tabla de promedios para la variable Rendimiento (tallos/ha/mes) en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Tratamientos	Rendimiento Medias (tallos/ha/mes)
T4	98412,7
T3	88888,89
T7	79365,08
T1	71111,11
T2	69206,35
T6	69206,35
T8	67301,59
T5	62222,22

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas;

T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.1.6. Análisis Costo Beneficio por Hectárea para el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

En la Tabla 19 se presenta el análisis costo/beneficio por hectárea para el cultivo de rosa variedad Explorer, se registró el costo total de los tratamientos, el costo para cada uno de ellos, el rendimiento obtenido, el precio de venta por tallo y la utilidad generada en cada tratamiento. Los resultados revelan diferencias importantes en la rentabilidad económica de los distintos estimulantes biológicos evaluados.

El Tratamiento T4 (Extracto de Algas) se destacó como el más rentable del experimento, alcanzando la mayor relación Costo/Beneficio con un valor de 0,45, respaldado por el mayor rendimiento (98.413 tallos/ha) y un costo de tratamiento de \$370,50/ha. El T3 (Aminoácidos-Melaza) ocupó el segundo lugar con una relación de 0,29 y una utilidad de \$5.370,70/ha. En contraste, los Tratamientos T5 (Aminoácido-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) y T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas), generaron utilidades negativas de -\$2.057,30 y -\$1.056,40/ha respectivamente (relaciones C: B de -0,11 y -0,05), resultado de la combinación de altos costos de tratamiento con rendimientos por debajo del promedio general.

Tabla 19. Análisis costo/beneficio por hectárea en el cultivo de rosa variedad Explorer bajo el efecto de la aplicación edáfica de estimulantes biológicos.

Tratamientos	Costo Marginal (USD /Ha/Mes)	Costo de Trat (USD/Ha/mes)	Costo Total (USD/Ha/Mes)	Rendimiento (Tallos/Ha/Mes)	P.Venta/Tallo (USD)	Venta (USD)	Utilidad (USD)	Costo: Beneficio
T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos).	\$ 18.000,00	\$ 199,50	\$ 18.199,50	71111	\$ 0,27	\$ 19.200,00	1000,5	0,05
T2 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato	\$ 18.000,00	\$ 228,00	\$ 18.228,00	69206	\$ 0,27	\$ 18.685,71	457,7	0,03
T3 Aminoácidos-Melaza	\$ 18.000,00	\$ 629,28	\$ 18.629,28	88889	\$ 0,27	\$ 24.000,00	5370,7	0,29
T4 Extracto de Algas.	\$ 18.000,00	\$ 370,50	\$ 18.370,50	98413	\$ 0,27	\$ 26.571,43	8200,9	0,45
T5 Aminoácidos + Azúcares +Ácido-poli-beta-hidroxibutirato	\$ 18.000,00	\$ 857,28	\$ 18.857,28	62222	\$ 0,27	\$ 16.800,00	-2057,3	-0,11
T6 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas.	\$ 18.000,00	\$ 598,50	\$ 18.598,50	69206	\$ 0,27	\$ 18.685,71	87,2	0,00
T7 Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas	\$ 18.000,00	\$ 999,78	\$ 18.999,78	79365	\$ 0,27	\$ 21.428,57	2428,8	0,13
T8 Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato+ Extracto de Algas.	\$ 18.000,00	\$ 1.227,78	\$ 19.227,78	67302	\$ 0,27	\$ 18.171,43	-1056,4	-0,05

Nota: Tratamientos evaluados: T1: Auxinas enriquecidas –(TQ) (N-P-Zn-Ac. Húmicos) T2: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T3: Aminoácidos-Melaza; T4: Extracto de Algas; T5: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato; T6: Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas; T7: Aminoácidos-Melaza + Extracto de algas; T8: Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de algas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Longitud de Tallo para Punto Rayando Color (78 ddp) y Preapertura (87 ddp)

El análisis de comportamiento vegetativo de la variedad Explorer bajo condiciones de invernadero en el sector La Esperanza, demostró superioridad de T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) en ambas etapas fenológicas. En Punto Rayando Color (78 ddp), T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. húmicos) lideró con 84,95 cm (Rango A), diferenciándose estadísticamente de todos los demás tratamientos dentro de la misma variedad Explorer. En Preapertura (87 ddp), mantuvo el primer lugar con 85,33 cm (Rango A), mientras T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) presentó el menor desempeño con 74,47 cm (Rango B) en ambas etapas. Esta consistencia en dos momentos fenológicos consecutivos responde al mecanismo fisiológico de las auxinas como inductoras de la elongación celular en el meristemo apical. Aunque los bioestimulantes se aplican al suelo, su efecto sobre el tallo no es contradictorio: las raíces absorben los compuestos bioactivos y los translocan vía xilema hasta los tejidos en activo crecimiento (específicamente el meristemo subapical del tallo), que constituye el principal órgano destino o sumidero metabólico de la planta durante la elongación vegetativa, al interactuar con los receptores TIR1/AFB, promueven la degradación de proteínas represoras liberando factores de transcripción que activan expansinas y xiloglucano endotransglucosilasa (XET), enzimas responsables del aflojamiento y extensión de la pared celular (Taiz y Zeiger, 2015). Este mecanismo explica por qué el efecto del tratamiento edáfico se expresa con tanta claridad en el crecimiento longitudinal del tallo: el tallo elongándose es el tejido de mayor demanda metabólica en ese momento y recibe de forma preferencial los compuestos bioactivos que la raíz transporta.

La incorporación de N, P, Zn y ácidos húmicos en T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) potencia este efecto sinérgicamente: el nitrógeno garantiza la síntesis de proteínas estructurales para la nueva pared celular, el zinc actúa como cofactor de la ARN polimerasa regulando la expresión génica durante la división celular, y los ácidos húmicos incrementan la permeabilidad de la membrana plasmática y quelar micronutrientes en la rizosfera, facilitando la absorción de iones y compuestos bioactivos componentes necesarios para el crecimiento, mecanismo documentado por Robles y Noriega (2020) en rosas de la zona norte de Ecuador.

Comparando dentro de la misma variedad y etapa, T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) superó en 13,57 cm a T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) (Rango C) en Punto Rayando Color se diferenció estadísticamente significativo que en términos comerciales equivale a una categoría de clasificación completa (Premium vs. estándar). Gavilanes (2022), trabajando con Explorer en Tabacundo, reportó un promedio de 85 cm sin diferencias entre tratamientos orgánicos; que T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. húmicos) del presente experimento supere ese promedio con diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) confirma que la combinación auxinas-micronutrientes-ácidos húmicos genera una respuesta superior a la simple fertilización orgánica.

En las mezclas complejas T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) combina cuatro principios activos simultáneamente, forzando a la planta a destinar energía a metabolizar múltiples sustratos antes que, a la elongación vertical, fenómeno de competencia metabólica documentado por Chancusig Viturco (2024) en Mondial, donde la combinación de múltiples bioestimulantes no generó el efecto aditivo esperado sino una respuesta atenuada.

4.2.2. Longitud de Tallo en Cosecha (95 ddp)

Al momento de la cosecha comercial (95 ddp), T3 (Aminoácidos-Melaza) lideró con 97,10 cm (Rango A), el panorama cambió, teniendo en cuenta que T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) pierde la ventaja en cosecha y T3 (Aminoácidos-Melaza), T6 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas, T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) la ganan. La clave está en la cinética de acción de cada principio activo. Las auxinas en T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) actúan principalmente sobre meristemas apicales durante las fases de elongación rápida (Brotación, Desarrollo Vegetativo), donde la división celular es el proceso dominante. Entre los 78 y 95 ddp "la fase de maduración previa al corte", el crecimiento longitudinal ya no depende de la división celular sino del alargamiento por turgencia y deposición de polisacáridos en la pared celular secundaria, proceso que requiere principalmente sustratos carbonados y aminoácidos como fuente de energía y precursores estructurales. En esta fase, los aminoácidos y la melaza de T3 (Aminoácidos-Melaza) proveen exactamente los sustratos que la célula en alargamiento requiere: aminoácidos como precursores de proteínas de pared y carbohidratos como fuente energética directa. T6 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas, agrega el

efecto osmoprotector de las algas (Salazar *et al.*, 2022), que mantiene el potencial de turgencia celular elevado favoreciendo el alargamiento final. T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas), que fue el peor en etapas tempranas por saturación metabólica, recupera terreno porque los múltiples sustratos energéticos son ahora aprovechados eficientemente por células en su fase terminal de crecimiento extensivo, donde la demanda energética es máxima. T3 (Aminoácidos-Melaza) con 97,10 cm supera el promedio de 85 cm de Gavilanes (2022) en Explorer, posicionando a los Aminoácidos-Melaza como la alternativa más eficiente para maximizar la longitud final del tallo bajo condiciones de la zona norte de Ecuador.

4.2.3. Diámetro de Tallo en Cosecha (95 ddp)

El diámetro de tallo en cosecha presenta una jerarquía opuesta a la de longitud, confirmando el trade-off fisiológico entre elongación longitudinal y engrosamiento radial. T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) encabeza con 1,09 cm (Rango A), seguido por T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) con 1,02 cm (Rango AB), mientras T3 (Aminoácidos-Melaza) fue el líder en longitud, en diámetro registra el menor diámetro con 0,77 cm (Rango C). La planta bajo T3 (Aminoácidos-Melaza) invirtió sus recursos metabólicos prioritariamente en elongación, mientras que bajo T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) la presencia del (Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) redirigió el flujo de asimilados hacia la síntesis de pared celular secundaria (lignina, celulosa cristalina), engrosando la xilema. Este mecanismo es consistente con lo documentado por Ingeplant (2022), que reportó un incremento del 8% en diámetro de tallo con Ácido-poli-beta-hidroxibutirato más aminoácidos, atribuyéndolo específicamente al papel del Ácido-poli-beta-hidroxibutirato como inductor de la deposición de lignina en la xilema secundaria.

El T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto Algas) con 1,02 cm (Rango AB) refleja el efecto complementario del extracto de algas: los fucoïdan y alginatos de *Ascophyllum nodosum* estimulan la actividad del cambium vascular mediante la modulación de citoquininas endógenas, promoviendo divisiones periclinales que aumentan el grosor del cilindro vascular (Salazar *et al.*, 2022). Esta alga parda marina contiene polisacáridos sulfatados específicos (los fucoïdanos y los alginatos) que son compuestos que no existen en plantas terrestres. Los fucoïdanos son polisacáridos sulfatados de la pared celular del alga que, al ser absorbidos por la planta, actúan como moléculas señal que inducen la síntesis endógena de citoquininas,

fitohormonas cuya función primaria es estimular la división celular periciclinal en el cambium vascular, aumentando así el número de células xilemáticas y el grosor del cilindro vascular. Los alginatos son polisacáridos gelificantes e hidrofílicos que mejoran la retención de agua en la pared celular y quelan cationes como el calcio y el magnesio, estabilizando la laminilla media entre células adyacentes y favoreciendo la cohesión estructural del tejido de conducción. En conjunto, ambos compuestos actúan sinérgicamente para promover un tallo más grueso y estructuralmente robusto, lo cual coincide con lo señalado por Salazar *et al.* (2022) respecto al efecto bioestimulante de los extractos de *Ascophyllum nodosum* sobre la biomasa vegetal. Cabe destacar que ya en Preapertura (87 ddp), T4 (Extracto de Algas) manifestó el mayor diámetro con 0,73 cm (Rango A) frente a T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) con 0,63 cm (Rango C), confirmando la afinidad específica de las algas por el engrosamiento del tallo. Para mercados que exigen tallo de mayor calibre (grados Fancy o Superior), los tratamientos basados en Ácido-poli-beta-hidroxibutirato y/o extracto de algas son superiores, mientras que para mercados que priorizan longitud, los Aminoácidos-Melaza (T3) son la mejor opción dentro de Explorer.

4.2.4. Longitud y Diámetro de Botón Floral en Cosecha (95 ddp)

Longitud de Botón se muestra que existen tres tratamientos diferentes, se obtienen un mismo resultado T3 (Aminoácidos-Melaza) (5,54 cm), T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) (5,52 cm) y T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) (5,37 cm) en Rango A. La confluencia de tres tratamientos con principios activos diferentes en el mismo Rango A es fisiológicamente coherente: los aminoácidos libres de T3 (Aminoácidos-Melaza) aportan precursores de proteínas estructurales (prolina para pared celular de pétalos, lisina y leucina para proteínas de membrana); las auxinas de T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos) coordinan la expansión celular a nivel del meristemo floral; y las algas de T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) mejoran la disponibilidad de potasio y calcio necesarios para la turgencia y el llenado del ovario. Los tres mecanismos convergen en el mismo resultado: mayor expansión del tejido parietal del botón. El Departamento de Investigación Ingeplant (2022) demostró que la suplementación con aminoácidos libres durante la diferenciación floral es crítica para la expansión de pétalos, respaldando el liderazgo de T3 (Aminoácidos-Melaza) y T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas). Verdezoto (2020), en su investigación sobre el efecto de sustancias húmicas en rosas bajo invernadero en la parroquia Otón, cantón Cayambe, provincia

de Pichincha, reportó que la aplicación de 160 g/m² de sustancias húmicas (Humiplex Plus) enriquecidas con microelementos generó una altura de planta superior en 9,9 cm frente al testigo, evidenciando que los compuestos húmicos incrementan el vigor vegetativo general “y por extensión la calidad del botón” al optimizar la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera. El presente experimento, con aplicación exclusivamente edáfica de los estimulantes, obtuvo longitudes de botón de hasta (5,54 cm) en T3 (Aminoácidos-Melaza), lo que resulta comparable en términos de rango biológico y confirma la efectividad de la vía radicular como ruta válida para bioestimular la calidad floral.

El diámetro del botón en cosecha presentó la jerarquía más diferenciada de todo el experimento, liderando el T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) con un Rango A exclusivo de 5,71 cm, El Ácido-poli-beta-hidroxibutirato presente en T2 (Ácido-poli-beta-hidroxibutirato), T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) y T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas), no es casualidad: el (PBH), al ser degradado por microorganismos del suelo, libera ácido beta-hidroxibutírico, un compuesto que actúa como señal molecular inductora de la síntesis local de auxinas endógenas en el tejido meristemático del botón floral. La proximidad del sitio de síntesis al tejido diana (el propio botón) garantiza concentraciones locales elevadas de auxina, mucho más eficientes para el llenado radial del botón que la auxina transportada de larga distancia (Taiz y Zeiger, 2015). Esto explica por qué T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. húmicos), a pesar de contener auxinas exógenas, no puede competir con T2 (Ácido-poli-beta-hidroxibutirato), T5 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato) y T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) en diámetro de botón en cosecha: las auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. húmicos) de T1 son más efectivas durante la iniciación floral y la elongación del tallo, mientras que el PBH genera el estímulo hormonal local que maximiza el llenado radial del botón en la fase de cosecha.

Además, el T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas), en términos de rendimiento fotosintético, la planta distribuye sus asimilados (los compuestos producidos por la fotosíntesis) hacia los órganos de mayor prioridad metabólica en cada fase del ciclo, en lo que la fisiología vegetal denomina relación entre órganos fuente (productores de asimilados) y órganos sumidero (receptores). En la etapa de cosecha, el botón floral en llenado representa el sumidero de mayor

prioridad, captando la mayor proporción de los fotoasimilados disponibles. T8, al no haber invertido eficientemente sus recursos en la elongación del tallo durante las fases tempranas (donde fue superado por T3 Aminoácidos-Melaza, T6 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas), T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas), canalizó una mayor proporción de asimilados hacia el botón floral durante la fase de llenado, maximizando su diámetro. Este mecanismo es consistente con el principio de competencia entre sumideros (Taiz y Zeiger, 2015), donde la menor actividad del tallo como sumidero libera recursos para el botón como sumidero alternativo. T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. Húmicos), que lideró el diámetro del botón en Preapertura (4,91 cm, Rango A), desciende al Rango D en cosecha (5,36 cm), este descenso se explica por tres factores: primero, las auxinas exógenas de T1–(TQ) (Auxinas enriquecidas - N, P, Zn y Ac. húmicos) actúan principalmente durante la iniciación floral (etapa de diferenciación del meristemo floral, equivalente a Preapertura), cuando la división celular que establece el número de piezas florales es el proceso dominante; segundo, hacia cosecha, el proceso determinante ya no es la división celular sino el llenado y expansión del tejido parietal, donde los carbohidratos simples (melaza) y el PBH son más eficientes que las auxinas exógenas; tercero, la aplicación edáfica de T1 Auxinas enriquecidas –(TQ) (N, P, Zn y Ac. húmicos) se realizó en dosis única o pocas aplicaciones, insuficientes para mantener concentraciones auxínicas elevadas en el tejido floral durante toda la fase de llenado, lo que limita la persistencia de su efecto hasta la cosecha. Para mercados que pagan diferenciales por botones mayores a 5,5 cm “norteamericano o japonés”, el T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) es la opción técnicamente superior, aunque su costo debe evaluarse frente al sobreprecio comercial obtenido.

4.2.5. Análisis Económico Extensión Radicular Lateral

Uno de los puntos más relevantes dentro de la investigación fue ausencia de diferencias estadísticas en las tres etapas (todos ns, $p > 0,05$), con un promedio final de 67,21 cm. La ausencia de diferencias estadísticas significativas en la extensión radicular lateral, es la respuesta fisiológicamente predecible bajo las condiciones del experimento. Tres mecanismos explican por qué los bioestimulantes edáficos no influyeron en este parámetro.

Dinámica de órgano drenó: el tallo en elongación y el botón en diferenciación son los drenos de mayor prioridad metabólica durante el ciclo productivo de la rosa. Los

bioestimulantes, al absorberse radicularmente, son translocados vía xilema hacia estos órganos de alta demanda, sin que quede concentración suficiente en la raíz para estimular su propia elongación. La raíz actúa como canal de absorción y transporte, no como receptor final del estímulo bioactivo, lo que explica con coherencia que la misma aplicación edáfica produzca diferencias en variables aéreas, pero no en la morfología radicular.

Señal de exploración radicular ausente: bajo condiciones de alta fertilidad del suelo y adecuada disponibilidad hídrica como las del invernadero del experimento, la planta no genera las señales hormonales endógenas (ácido abscísico, etileno) que activan la exploración radicular activa; sin esa señal interna, los bioestimulantes externos no tienen una vía de respuesta que activar en la raíz.

Si tomando en cuenta que hay diferencias significativas en variables aéreas, pero no en raíz, las variables aéreas responden a los bioestimulantes porque sus tejidos objetivo meristemas apicales, cambium vascular, meristemo floral, se encuentran en activa división y elongación durante el período de evaluación, presentando alta sensibilidad a los estímulos externos. En contraste, el sistema radicular de una planta adulta de rosa en producción ya superó su fase de establecimiento; sus células están diferenciadas y lignificadas, con escasa actividad meristemática capaz de responder en términos de elongación macroscópica. Para respaldar este punto con datos reales: Guevara y Villacrés (2021) reportaron que enraizantes con AIB (ácido indolbutírico, auxina sintética de alta potencia) lograron un 70,96% de prendimiento y mayor longitud de raíz inicial en propagación de ornamentales, pero incluso bajo esa condición (mucho más favorable para la respuesta radicular que un cultivo establecido) los bioestimulantes biológicos solo igualaron la biomasa radicular a los 60 días. Esto permite inferir que en un sistema radicular ya establecido como el del presente experimento, el tiempo de expresión de una respuesta radicular detectable habría requerido un ciclo experimental más prolongado que el evaluado, lo que explica que los tratamientos mejoren la calidad aérea sin alterar la morfología longitudinal de la raíz. Guevara y Villacrés (2021) añaden un matiz temporal clave: los bioestimulantes biológicos requieren mayor tiempo de acción para manifestar efectos visibles en el sistema radicular que los enraizantes hormonales; si el ciclo del experimento se extendiera o se usara un enraizante auxínico como control comparador, podría evidenciarse respuesta diferencial. En síntesis: la raíz es eficiente en mayor funcionalidad absorbente, aunque no visible como mayor longitud, es

precisamente la que permite que los nutrientes y bioestimulantes lleguen eficientemente a los tejidos aéreos, explicando la respuesta diferencial que sí se observa en tallo, diámetro y botón.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el desarrollo radicular de la variedad Explorer todos los estimulantes biológicos evaluados alcanzaron un desempeño similar al tratamiento efectuado por la finca, la longitud promedio de raíz en el experimento fue de 67,21 cm.
- Los tratamientos (T3 Aminoácidos-Melaza, T6 Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) y T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) mostraron los mejores resultados para longitud de tallo en el momento de la cosecha registrando valores mayores a los 95 cm.
- El T8 (Aminoácidos-Melaza + Ácido-poli-beta-hidroxibutirato + Extracto de Algas) obtuvo el mayor diámetro del botón floral en el momento de la cosecha (5,71 cm), mientras que T3 (Aminoácidos-Melaza) y T7 (Aminoácidos-Melaza + Extracto de Algas) lograron la mayor longitud de botón floral a la cosecha (~5,52-5,54 cm). Esto indica que las combinaciones que incluyen Aminoácidos-Melaza favorecen consistentemente el desarrollo del botón floral, siendo T8 la mezcla más completa para esta variable.
- El tratamiento T4 (Extracto de Algas) alcanzo el mayor índice costo/beneficio con un valor de 0.45, lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera \$0,45.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda incorporar Extracto de Algas — *Ascophyllum nodosum* al programa nutricional de la florícola, con aplicaciones vía drench a una dosis de 2 kg/ha cada 20 días durante el desarrollo del cultivo.
- Replicar el experimento en variedades de alta demanda comercial como Freedom, Vendela, Mondial y Classy, con el fin de validar si la bioestimulación radicular vía drench genera respuestas significativas más allá de la variedad Explorer y así generalizar los hallazgos al sector floricultor.
- Para el cultivo de rosa, se recomienda aplicar los productos a base de aminoácidos, PBH y extracto de algas, ya que esta mezcla obtuvo los mejores resultados en el largo del tallo y el tamaño del botón floral, garantizando una mayor calidad de la flor.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albit Scientific Group. (2022). *Manual de aplicación de Albit en cultivos ornamentales: Mecanismos de acción y dosis*. Albit Scientific and Industrial LLC. <https://www.albit.com/>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008.
- Banco Central del Ecuador. (2023). Informe de resultados de comercio exterior. <https://contenido.bce.fin.ec>
- Bradski, G. (2000). The OpenCV library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 25(11), 120–125.
- Cabrera, R. I. (2020). Mineral Nutrition and Fertilization of Rose Crops. En *Rose Culture and Management* (pp. 156-178). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Carneiro, T., Da Nóbrega, R. V. M., Nepomuceno, T., Bian, G. B., De Albuquerque, V. H. C., y Filho, P. P. R. (2018). Performance analysis of Google Colaboratory as a tool for accelerating deep learning applications. *IEEE Access*, 6, 61677–61685. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2874767>
- Castilla, N. (2013). *Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Chancusig Viturco, K. A. (2024). *Evaluación de bioestimulantes a diferentes dosificaciones en el cultivo de rosa (Rosa sp.) de la variedad Mondial en Saquisilí* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10354>
- Departamento de Investigación Ingeplant. (2022). Bioestimulante K-Fruto carboxipoliol aumenta peso y homogeniza cosecha en rosa en la Sabana de Bogotá. *Revista Metroflor*, 104(2), 12-15. <https://www.metroflorcolombia.com/investigacion>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat (Versión 2020) [Software]. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>

- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Expoflores. (2022). *Estadísticas del Sector Florícola Ecuatoriano: Reporte Anual*. Asociación de Productores y Exportadores de Flores del Ecuador.
- Expoflores. (2023). *Certificación Flor Ecuador: Normativa y Alcance*. Recuperado de <https://florecuador.com>
- Freschet, G. T., Pagès, L., Iversen, C. M., Comas, L. H., Rewald, B., Roumet, C., y McCormack, M. L. (2021). A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardizing root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytologist*, 232(3), 973-1122.
- García, M., y Martínez, F. (2019). *Manual técnico de floricultura de exportación*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Gavilanes, A. S. (2022). *Evaluación de la aplicación del biofertilizante y su efecto sobre la productividad y calidad del cultivo de rosas variedad Explorer* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio Digital UPEC. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1123>
- Gavilanes, J. (2022). *Evaluación del comportamiento agronómico de variedades de rosa (Rosa sp.) bajo condiciones de invernadero en la provincia de Cotopaxi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC.
- Gonzalez, R. C., y Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.
- Goñi, O., Quille, P., y O'Connell, S. (2018). Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63-73.
- Guevara, L., y Villacrés, R. (2021). Comparativo de enraizadores hormonales y biológicos en la propagación asexual de especies ornamentales. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 8(1), 45-52.

- Hargreaves, C. E., Gregory, P. J., & Bengough, A. G. (2009). Measuring root traits in barley seedlings using gel chambers, soil sacs and X-ray microtomography. *Plant and Soil*, 316(1–2), 285–297. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9780-4>
- Hébrard, C., y Gudin, S. (2021). Rose Breeding and Genetics. En S. Datta y Data. Gupta (Eds.), *Floriculture and Ornamental Plants* (pp. 1-25). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3518-5_1
- Hildebrandt, T. M., Nunes Nesi, A., y Araujo, W. L. (2015). Amino acid catabolism in plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563-1579.
- Infoagro. (2021). *El cultivo de la rosa*. Infoagro Systems. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_rosa.asp
- Interplant Roses. (2022). *Hybrid Tea Roses Assortment: Explorer*. Recuperado de <https://www.interplantroses.com/assortment/hybrid-tea-roses>
- Johnson, M. G., Tingey, D. T., Phillips, D. L., y Storm, M. J. (2001). Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 45(3), 263–289. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00077-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00077-6)
- Judd, L. A., Jackson, B. E., y Fonteno, W. C. (2015). Advancements in root growth measurement technologies and their use in container substrate science. *Horticultural Science*, 47(2), 29-37.
- Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B., Bussonnier, M., Frederic, J., Kelley, K., Hamrick, J., Grout, J., Corlay, S., Ivanov, P., Avila, D., Abdalla, S., y Willing, C. (2016). Jupyter Notebooks — a publishing format for reproducible computational workflows. In F. Loizides y B. Schmidt (Eds.), *Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas* (pp. 87–90). IOS Press.
- Kukulyanskaya, T. A., Kurchenko, V. P., y Kumeiko, V. V. (2016). Adaptive potential of biological product Albit based on poly-beta-hydroxybutyrate. *Journal of Agricultural Chemistry*, 4(2), 112-118. (MarcadorDePosición1)
- Lee, T. C., Kashyap, R. L., y Chu, C. N. (1994). Building skeleton models via 3-D medial surface/axis thinning algorithms. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 56(6), 462–478. <https://doi.org/10.1006/cgip.1994.1042>

- Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria. (2017). Registro Oficial Suplemento 27 del 3 de julio de 2017. Quito, Ecuador.
- Lobet, G., Pagès, L., y Draye, X. (2011). A novel image-analysis toolbox enabling quantitative analysis of root system architecture. *Plant Physiology*, 157(1), 29-39.
- López, J. (2019). Análisis de rentabilidad de bioinsumos en floricultura de altura: Un enfoque costo-beneficio. *Boletín Técnico de Floricultura Regional*, 5(3), 22-29.
- López, J., y Cárdenas, F. (2021). Efecto de *Trichoderma harzianum* en el control de patógenos y desarrollo radicular en cultivos intensivos. *Revista de Ciencias Agrarias UTB*, 12(2), 89-102. <https://doi.org/10.1234/rca.v12i2.456>
- Majdi, H. (1996). Root sampling methods: Applications and limitations of minirhizotron technique. *Plant and Soil*, 185(2), 255–258. <https://doi.org/10.1007/BF02257530>
- Majdi, H. (1996). Root sampling methods: Applications and limitations of minirhizotron technique. *Plant and Soil*, 185(2), 255–258. <https://doi.org/10.1007/BF02257530>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3ra ed.). Academic Press.
- Meshram, S., Patel, A., y Yadav, S. (2017). Biopolymers in agriculture: A review on recent advances. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 220-228.
- Paez-Garcia, A., Motes, C. M., Scheible, W. R., Chen, R., Blancaflor, E. B., y Monteros, M. J. (2015). Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. *Plants*, 4(2), 334-355. <https://doi.org/10.3390/plants4020334>
- Pérez-Melis, A., Martínez-Alcántara, B., y Ojeda, M. (2017). *Fisiología del estrés hídrico en plantas ornamentales*. Ediciones Agrotécnicas.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., y van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789-799.
- Reig, J. (2020). *Fisiología vegetal aplicada a cultivos ornamentales*. Editorial Agrícola Española.

- Robles, J., y Noriega, D. (2020). *Evaluación de humus líquido de lombriz en la producción del cultivo de rosa y su efecto en las propiedades físicas del suelo* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10892>
- Rouphael, Y., y Colla, G. (2020). *Biostimulants in Agriculture*. Frontiers Media SA.
- Salazar, M., Piguave, J., y Zambrano, K. (2022). Uso de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) como fertilizante biológico en cultivos intensivos bajo invernadero. *Revista Científica ULEAM*, 7(1), 34-48.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675.
- Shukla, P. S., Martin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., y Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Braying down the signaling pathways. *Frontiers in Plant Science*, 10, 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>
- Suksabarn, W., y Yimnoi, C. (2018). Effects of molasses and organic fertilizer on soil fertility and bacterial population in agricultural soil. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8(3), 15-22.
- Syngenta. (2021). *Ficha Técnica: Isabion, bioestimulante orgánico a base de aminoácidos*. Syngenta Crop Protection.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., y Murphy, A. (2018). *Plant Physiology and Development* (6ta ed.). Sinauer Associates.
- Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., y Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in Plant Science*, 8, 327.
- Universidad Estatal de Bolívar [UEB]. (2024). *Eficiencia agronómica de dos variedades de rosa a la aplicación de dosis de bioestimulante foliar en el cantón Cayambe* [Tesis de Grado no publicada]. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Estatal de Bolívar.
- USDA. (2023). *Classification for Kingdom Plantae Down to Genus Rosa L.* Natural Resources Conservation Service. <https://plants.usda.gov/home/classification/67375>

- Valverde Yar, M. (2025). Efecto de la aplicación de estimulantes biológicos en el crecimiento radicular del cultivo de rosa (*Rosa sp.*) variedad Explorer en la Florícola "León Roses" sector La Esperanza, cantón Bolívar Provincia del Carchi, (Tesis de Grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi). Repositorio Digital UPEC.
- van der Walt, S., Schönberger, J. L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J. D., Yager, N., Gouillart, E., y Yu, T. (2014). scikit-image: Image processing in Python. *PeerJ*, 2, e453. <https://doi.org/10.7717/peerj.453>
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., y Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant practice: estimation of effectiveness, classification and method of descriptions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049.
- Yar Tabango, N. J. (2023). *Evaluación del efecto del tratamiento magnético del agua en el desarrollo vegetativo de patrones de rosas (Rosa sp.)* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE Sede Ibarra. <https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI
FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE AGROPECUARIA
ACTA
DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



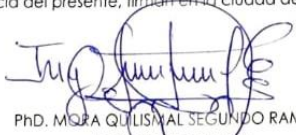
ESTUDIANTE:	VALVERDE YAR MARLON VINICIO	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401755574
PERIODO ACADÉMICO:	2026A		
PRESIDENTE TRIBUNAL	PhD. MORA QUILISMAL SEGUNDO RAMIRO	DOCENTE TUTOR:	MSC. CARLOS DAVID HERRERA RAMIREZ
DOCENTE:	MSC. HADDY DANIELA JÁCOME LUCERO		
TEMA DEL TIC:	"Efecto de la aplicación de estimulantes biológicos en el crecimiento radicular del cultivo de rosa (Rosa sp.) variedad Explorer en la Florícola "León Roses" sector La Esperanza, cantón Bolívar Provincia del Carchi"		

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	7,33	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7,33	
3	METODOLOGÍA	7,33	
4	RESULTADOS	7,33	
5	DISCUSIÓN	7,33	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7,33	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE COBERTURAS
7	DEFENSA ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	7,33	PONER EVIDENCIAS DE EXPERIMENTACIÓN
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	7,33	

Obteniendo una nota de: **7,33** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **miércoles, 2 de junio del 2026**


PhD. MORA QUILISMAL SEGUNDO RAMIRO
PRESIDENTE TRIBUNAL


MSC. CARLOS DAVID HERRERA RAMIREZ
DOCENTE TUTOR


MSC. HADDY DANIELA JÁCOME LUCERO
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Marlon Vinicio Valverde Yar DATE: July 2nd 2026 Topic: Effect of the Application of Biostimulants on Root Growth in the Explorer Rose (Rosa sp.) Variety at León Roses Flower Farm, La Esperanza Sector, Bolívar Canton, Carchi Province				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE 9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Marlon Vinicio Valverde Yar

Fecha de entrega del informe:

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MSc. Jairo Guevara
Director de Centro Académicos
y de Formación
Complementaria

Anexo 3. Diseño y especificaciones técnicas del Rizotrón

Descripción del prototipo: Las dimensiones del rizotrón propuesto se establecieron priorizando la facilidad de transporte y manejo en campo. Se definió una profundidad útil superior a los 30 cm, criterio técnico indispensable para cubrir la capa arable del suelo, permitiendo así observar la dinámica de crecimiento radicular tanto en cultivos herbáceos como en plántulas de especies perennes (como el rosal) que presentan una alta relación raíz/vástago.

Esquema del dispositivo:

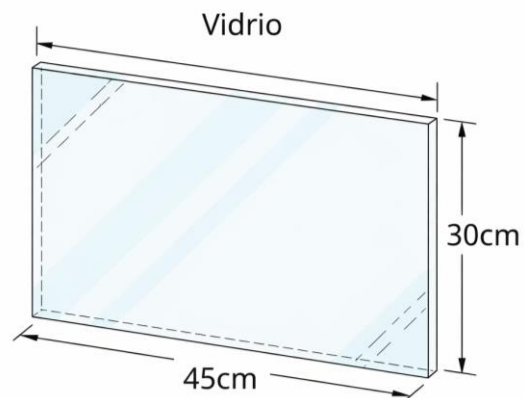


Figura 18. Modelo prototipo del rizotrón utilizado para la observación radicular no destructiva.

Anexo 4. Proceso experimental



Figura 19. Instalaciones de la florícola



Figura 20. Preparación de las camas.



Figura 21. Lavado de raíces



Figura 22. División y rotulación de camas



Figura 23. Instalación de rizotrones



Figura 24. Rizotróon instalado



Figura 25. Selección de brotes nuevos



Figura 26. Insumos utilizados



Figura 27. Brotes emergentes



Figura 30. Aprovechamiento de residuos orgánicos



Figura 28. Aplicación de bioestimulantes



Figura 29. Fertilización



Figura 31. Toma de datos



Figura 32.Toma de datos



Figura 33. Clasificación en bonches



Figura 34. Postcosecha.



Figura 35. Cosecha



Figura 36. Bonches de selección



Figura 37. Cuarto de Enfriamiento