



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD CIENCIAS DEL MAR**

“EVALUACIÓN DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) COMO  
ESTIMULADOR ENRAIZANTE EN *Tillandsia divaricata* SOBRE  
DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATO”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Previo a la obtención del Título de:**

**BIÓLOGA**

**Autora:**

**CABRERA SOSORANGA GÉNESIS ALEJANDRA.**

**Tutora:**

**BLGA. DADSANIA RODRIGUEZ MOREIRA. MGT.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2026**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD CIENCIAS DEL MAR**  
**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**“EVALUACIÓN DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) COMO**  
**ESTIMULADOR ENRAIZANTE EN *Tillandsia divaricata***  
**SOBRE DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATO”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Previo a la obtención del Título de:**

**BIÓLOGA**

**AUTORA:**

**CABRERA SOSORANGA GÉNESIS ALEJANDRA.**

**TUTORA:**

**BLGA. DADSANIA RODRIGUEZ MOREIRA. MGT.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2026**

## DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, "EVALUACIÓN DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) COMO ESTIMULADOR ENRAIZANTE EN *Tillandsia divaricata* SOBRE DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATO", elaborado por CABRERA SOSORANGA GÉNESIS ALEJANDRA, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga: Dadsania Rodríguez Moreira, Mgt

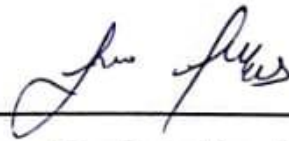
DOCENTE TUTOR

C.I. 0913042008

## DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente de Área del Trabajo de Integración Curricular, **“EVALUACIÓN DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) COMO ESTIMULADOR ENRAIZANTE EN *Tillandsia divaricata* SOBRE DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATO”**, elaborado por CABRERA SOSORANGA GÉNESIS ALEJANDRA, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



---

Ing. Jorge Magallanes Tomalá, M.Sc.

DOCENTE DE ÁREA

C.I. 0928355346

## **DEDICATORIA**

*A mi Dios hermoso.*

*Este proyecto de titulación se lo dedico con todo mi amor a mi mamita, la Lcda. Mercy Orfelina Sosoranga Zhune.*

*Te amo profundamente, mamá. Gracias por tu infinita paciencia, por tu comprensión y por estar siempre a mi lado. En los momentos más difíciles de mi vida, tu presencia fue mi refugio y tu amor, mi sostén. Gracias por no soltarme nunca, por comprender mis silencios, por no juzgarme, por ser mi guía y mi fuerza.*

*Agradezco de todo corazón tu apoyo incondicional durante estos 22 años, y especialmente en este proceso tan importante. Gracias, mamita, por haber estado conmigo en cada detalle de esta tesis: por ayudarme a organizar, rotular, por acompañarme incluso en las pequeñas cosas que solo tú sabes hacer con tanto amor.*

*Esta tesis lleva impreso un pedacito de ti, de tu esfuerzo y de todo lo que me has enseñado. Es una muestra mínima de lo que te mereces, porque lo que te debo no se mide en páginas ni en títulos. Prometo seguir esforzándome para darte más motivos de orgullo, porque no me alcanzará esta vida para agradecerte todo lo que has hecho por mí.*

***Génesis Alejandra Cabrera Sosoranga.***

## AGRADECIMIENTOS

*A las autoridades y al cuerpo académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por su compromiso, entrega y guía constante durante mi proceso de formación profesional.*

*Mi más profundo agradecimiento a la Bióloga Dadsania Rodríguez, mi tutora de tesis, por su infinita paciencia, su calidez humana y por acompañarme con orientación y sabiduría durante todo este proceso.*

*Agradezco con el corazón a las personas más importantes de mi vida: mi familia.*

*A mi mamita hermosa Mercy Sosoranga, por ser mi fortaleza y ejemplo; a mi papito Roberto Cabrera, por su apoyo constante, mi héroe, alguien que me enseñó que nunca debo rendirme, te amo papito de mi corazón; y a mis hermanas Yeimy y Kary, por ser mi alegría y mi motivo. Ellos son el motor que me impulsa cada día y la razón por la cual hoy estoy cumpliendo uno de mis más grandes sueños.*

*También quiero agradecer a aquellas amistades grandiosas que la vida me regaló, desde el colegio hasta la universidad. A mis mejores amigas Jennifer Castillo y Tannya Ordóñez, por su cariño incondicional, su alegría y por estar siempre presentes,*

*A María Peña, una amiga que llegó a mi vida en esta provincia y que con su ternura convirtió este lugar en un hogar; y a Ivette Gómez, cuya amistad nació de las experiencias compartidas y se fortaleció con la comprensión mutua. Gracias, chicas, por ser mi refugio y por hacer de este camino uno más hermoso.*

*Extiendo mi gratitud también a mi querido gatito Milo, quien con su silenciosa compañía y su ternura constante estuvo a mi lado en cada noche de redacción, haciéndome sentir acompañada incluso en los momentos más solitarios.*

*Y finalmente, a una persona especial, B.J., quien fue un impulso importante en este proceso, quien me brindó paciencia, apoyo y amor en los momentos en que más lo necesitaba. Aunque hoy nuestros caminos sean distintos, le agradezco sinceramente por haber sido parte de esta etapa tan significativa de mi vida.*

*A todos ustedes, gracias.*

*Por ser mi base, mi inspiración y mi compañía.*

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de Integración Curricular presentado por **GÉNESIS ALEJANDRA CABRERA SOSORANGA**, como requisito parcial para la obtención del grado como Bióloga de la Carrera de Biología, Facultad Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/12/2025.

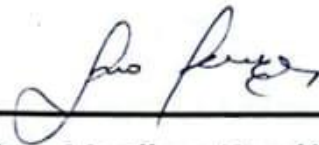


---

Ing. Jimmy Villón Moreno, MSc.

**DIRECTOR DE CARRERA**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Jorge Magallanes Tomalá, M.Sc.

**DOCENTE DE ÁREA**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Blga. Dadsania Rodríguez Moreira, Mgt.

**DOCENTE TUTOR**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

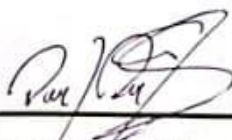


---

Blga. Richard Duque Marín, MGs.

**DOCENTE GUÍA DE UIC II**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Lcdo. Pascual Roca Silvestre, Mgtr.

**SECRETARIO DEL TRIBUNAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los datos, ideas, investigaciones y resultados expuestos en el Trabajo de Integración Curricular denominado: “EVALUACIÓN DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) COMO ESTIMULADOR ENRAIZANTE EN *Tillandsia divaricata* SOBRE DISTINTOS TIPOS DE SUSTRATO” me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma compartido con la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente:



---

**GÉNESIS ALEJANDRA CABRERA SOSORANGA**

**C.I.: 0706203486**

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	19
2. PROBLEMÁTICA .....	22
3. JUSTIFICACIÓN .....	23
4. OBJETIVOS.....	24
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	24
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	24
5. HIPÓTESIS .....	25
5.1. Hipótesis Alternativa (Hi) .....	25
6. MARCO TEÓRICO .....	26
6.1. Descripción de la especie <i>Tillandsia divaricata</i> . .....	26
6.1.1. Clasificación taxonómica .....	27
6.1.2. Distribución geográfica en el Ecuador .....	27
6.1.3. Relación con parámetros ambientales .....	28
6.2. Importancia de <i>Tillandsia divaricata</i> .....	32
6.3. Usos y potencial del género <i>Tillandsia</i> .....	35
6.4. Estado de conservación .....	38
6.5. Propagación de bromelias .....	41
6.5.1. Limitaciones de la propagación natural .....	41
6.5.2. Cultivo <i>Ex Vitro</i> .....	43

<b>6.6.</b>	<b>Fitohormonas</b> .....	<b>45</b>
<b>6.6.1.</b>	<b>Clasificación de las fitohormonas</b> .....	<b>49</b>
<b>6.6.2.</b>	<b>Tipos de Auxinas</b> .....	<b>50</b>
<b>6.7.</b>	<b>Ácido Indolbutírico (AIB)</b> .....	<b>54</b>
<b>6.7.1.</b>	<b>Estructura y solubilidad del AIB</b> .....	<b>54</b>
<b>6.7.2.</b>	<b>Efectos en tejidos vegetales</b> .....	<b>55</b>
<b>6.7.3.</b>	<b>Estudios previos en bromelias</b> .....	<b>57</b>
<b>7.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS</b> .....	<b>73</b>
<b>9.</b>	<b>DISCUSION</b> .....	<b>96</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>104</b>
<b>11.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>110</b>
<b>13.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>115</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fotografía de <i>Tillandsia divaricata</i> .....	26
<b>Figura 2:</b> Mapa de observaciones georreferenciadas de <i>Tillandsia divaricata</i> en Ecuador. ....	28
<b>Figura 3:</b> Estructura química del Ácido Indolbutírico (AIB).....	55
<b>Figura 4:</b> Ubicación geográfica del laboratorio de ciencias biológicas .....	60
<b>Figura 5:</b> Distribución de los tratamientos en repisas dentro de la habitación experimental. ....	61
<b>Figura 6:</b> Esqueje de la especie <i>Tillandsia divaricata</i> . ....	64
<b>Figura 7:</b> Esquema comparativo de sustratos e individuos utilizados. ....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tipos de auxinas.....	51
<b>Tabla 2:</b> Tipo de tratamientos aplicados en la propagación de bromelias.....	68
<b>Tabla 3.</b> Evolución temporal de LMR (media de individuos vivos) y TS de <i>T. divaricata</i> en la mezcla de fibra de coco + corteza de pino.....	77
<b>Tabla 4.</b> Evolución temporal de LMR (media de individuos vivos) y TS de <i>T. divaricata</i> en musgo <i>Sphagnum</i> . ....	79
<b>Tabla 5.</b> Evolución temporal de NR (media de individuos vivos) y TS en la mezcla de fibra de coco + corteza de pino.....	82
<b>Tabla 6.</b> Evolución temporal de NR (media de individuos vivos) y TS en musgo <i>Sphagnum</i> . ....	84

<b>Tabla 7.</b> Longitud de la raíz más larga (LMR), número de raíces (NR) y tasa de supervivencia (TS) de <i>T. divaricata</i> por tratamiento de AIB y sustrato en la fecha final de evaluación (14-10-2025). .....	86
<b>Tabla 8:</b> Datos de 07/08/2025 .....	121
<b>Tabla 9:</b> Datos de 20/08/2025 .....	123
<b>Tabla 10:</b> Datos de 09/09/2025 (Aplicación de AIB) .....	125
<b>Tabla 11:</b> Datos de 29/09/2025 .....	127
<b>Tabla 12:</b> Datos 14/10/2025. ....	129

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Solicitud para uso del Laboratorio de Ciencias Biológicas de la UPSE .....	115
<b>Anexo 2:</b> Área de laboratorio destinada a la ubicación de las cámaras de propagación utilizadas en el experimento. ....	116
<b>Anexo 3:</b> Registro de codificación y asignación de etiquetas a cada caja de propagación para la identificación individual de las plantas.....	116
<b>Anexo 4:</b> <i>Codificación complementaria mediante escala de colores aplicada a las cajas de propagación para facilitar la diferenciación de los tratamientos. ....</i>	116
<b>Anexo 5:</b> Trasplante de las plántulas en los distintos sustratos: musgo sphagnum y mezcla de fibra de coco con corteza de pino y vista final de la cámara de propagación con las plantas establecidas y monitoreo de temperatura y humedad mediante termohigrómetro. ....	117

<b>Anexo 6:</b> Área de experimentación finalizada, con la disposición de todos los tratamientos y el grupo control en las cámaras de propagación, cada una equipada con termohigrómetros para el monitoreo de las condiciones ambientales. ....	117
<b>Anexo 7:</b> Instrumentos y técnicas empleadas para la toma de medidas durante la recolección de resultados, incluyendo calibrador digital y registros en hoja de datos. ....	118
<b>Anexo 8:</b> Materiales utilizados en la preparación de las soluciones de AIB, probeta, vasos de precipitación, etanol, agua destilada y reactivos. ....	118
<b>Anexo 9:</b> Disolución del AIB en etanol como parte del procedimiento de preparación de las soluciones experimentales. ....	119
<b>Anexo 10:</b> Pesaje y organización de las concentraciones de AIB destinadas a los diferentes tratamientos. ....	119
<b>Anexo 11:</b> Preparación de las soluciones de AIB en dos concentraciones, diluidas en etanol al 96%. ....	119
<b>Anexo 12:</b> Proceso de inmersión de las plántulas en las distintas concentraciones de AIB para el tratamiento experimental. ....	120
<b>Anexo 13:</b> Plántulas escurriendo tras la inmersión, antes de ser reubicadas en sus respectivas cámaras de propagación. ....	120
<b>Anexo 14:</b> Tablas de datos obtenidos, mediante la toma de parámetros y medidas. ....	130

## GLOSARIO

**Epifitas:** Plantas que crecen sobre otras especies vegetales sin parasitarlas, utilizando el soporte únicamente como sustrato físico.

**Estribaciones:** Sectores de pendiente moderada, ubicados en las bases o faldas de una cordillera.

**Fitohormonas:** Compuestos orgánicos que actúan como reguladores del crecimiento y desarrollo vegetal.

**Auxinas:** Grupo de fitohormonas que inducen la elongación celular y la formación de raíces adventicias.

**Esfagno:** Musgo del género *Shagnum*,

**Esquejes:** Fragmentos vegetativo como tallos, hojas o raíces, empleados en propagación clonal.

**Vástagos:** Brotes laterales o hijuelos originados de la planta madre.

**Epiarenícolas:** Organismos adaptados a desarrollarse sobre sustratos arenosos poco consolidados.

**Tricomas:** Estructuras epidérmicas especializadas en la absorción de agua y nutrientes atmosféricos.

**Anemocoria:** Mecanismo de dispersión de semillas mediado por corrientes de aire.

**Xerofíticas:** Plantas adaptadas morfofisiológicamente a ambientes áridos o de baja disponibilidad hídrica.

**Biomonitor:** Organismo utilizado para evaluar la calidad ambiental mediante su respuesta fisiológica o bioacumulativa.

## **ABREVIATURAS**

**AIB:** Ácido indolbutírico.

**AIA:** Ácido indolacético.

**IPA:** Ácido indol propiónico.

**PAA:** Ácido fenilacético

**NR:** Número de raíces.

**LMR:** Longitud de la raíz más larga.

**%S:** Tasa de supervivencia.

## RESUMEN

### Evaluación de Ácido Indolbutírico (AIB) como estimulador enraizante en *Tillandsia divaricata* sobre distintos tipos de sustrato

**Autora:** Génesis Alejandra Cabrera Sosoranga

**Tutora:** Blga. Dadsania Rodriguez Moreira. MGT.

La extracción ilegal de flora, junto con la fragmentación del hábitat ocasionada por prácticas inadecuadas de ganadería y agricultura, representa una amenaza creciente para la conservación de la biodiversidad. Entre las bromelias ecuatorianas de mayor relevancia destaca *Tillandsia divaricata*, una especie epífita característica de ambientes húmedos, reconocible por la presencia de tricomas que le confieren un distintivo tono platinado.

El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, donde se trabajó con 42 individuos experimentales debidamente codificados. Se evaluó el efecto de dos sustratos (musgo *Sphagnum* y una mezcla de fibra de coco con corteza de pino) con el fin de determinar cuál favorece una mejor adherencia y desarrollo radicular. Adicionalmente, se aplicaron diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) (0,10 %, 0,15 % y un control sin hormona), conformando cuatro tratamientos, cada uno con tres réplicas.

Las variables analizadas fueron el número de raíces por vástago, la longitud máxima de la raíz y la tasa de supervivencia. Los resultados mostraron que una sola aplicación de AIB influyó positivamente en el enraizamiento de *T. divaricata*. La concentración de 0,15 % obtuvo el mejor rendimiento, con un incremento notable en la longitud promedio de raíces y una supervivencia superior al 90 % en el sustrato de musgo *Sphagnum*, el cual superó al sustrato de coco y pino debido a su mayor capacidad de retención de humedad y aireación.

En conclusión, se acepta la hipótesis alternativa al comprobarse que la aplicación de AIB en distintas concentraciones genera diferencias significativas en el enraizamiento y supervivencia de *Tillandsia divaricata* bajo condiciones controladas.

**Palabras clave:** AIB, Hormona, *Tillandsia divaricata*, Sustratos, Enraizamiento.

## **ABSTRACT**

### **Evaluation of indolebutyric acid (IBA) as a rooting stimulator in *Tillandsia divaricata* on different types of substrate.**

**Author:** Génesis Alejandra Cabrera Sosoranga

**Tutor:** Blga. Dadsania Rodriguez Moreira. MGT.

The illegal extraction of flora, along with habitat fragmentation caused by inadequate livestock and agricultural practices, represents a growing threat to biodiversity conservation. Among the most relevant Ecuadorian bromeliads is *Tillandsia divaricata*, an epiphytic species characteristic of humid environments, recognizable by the presence of trichomes that give its structure a distinctive silvery appearance.

This study was conducted in the Biological Sciences Laboratory of the Universidad Estatal Península de Santa Elena, working with 42 properly coded experimental individuals. The effects of two substrates (Sphagnum moss and a mixture of coconut fiber with pine bark) were evaluated to determine which provides better adherence and root development. Additionally, different concentrations of indole-3-butyric acid (AIB) (0.10%, 0.15%, and a control without hormone) were applied, constituting four treatments, each with three replicates.

The variables analyzed were the number of roots per shoot, maximum root length, and survival rate. The results showed that a single application of AIB positively influenced the rooting of *T. divaricata*. The 0.15% concentration exhibited the best performance, with a notable increase in average root length and a survival rate above 90% in the Sphagnum substrate, which outperformed the coconut fiber and pine bark mixture due to its greater moisture retention and aeration capacity.

In conclusion, the alternative hypothesis is accepted, confirming that the application of AIB at different concentrations generates significant differences in the rooting and survival of *Tillandsia divaricata* under controlled conditions.

**Keywords:** IBA, Hormone, *Tillandsia divaricata*, Substrates, Rooting.

## 1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las bromelias son epífitas, de climas tropicales y subtropicales; sin embargo, se ha reportado una mayor diversidad en estribaciones andinas. Según Hurtado et al., (2017) en el continente americano se ha reportado un total de 3600 especies, siendo Ecuador participe con el 13.6% en el mundo. Dentro del país, *Tillandsia* y *Guzmania* destacan por su amplia distribución en ambientes que van desde zonas áridas del litoral hasta bosques montanos húmedos, reflejando la diversidad ecológica del grupo.

Lozano *et al.*, (2022), señala que el uso de estas especies con fines ornamentales carece de una justificación ecológica, aun cuando su valor económico pueda ser atractivo. Estas especies cumplen con importantes funciones ecológicas al atender las necesidades de diversos animales, tales como insectos, anfibios, aves y mamíferos, los cuales se encuentran en áreas donde estas especies se distribuyen.

En el Libro Rojo de Ecuador, se señala que el 68,6% de bromelias se encuentran en una categoría de amenaza, de las cuales el 7,5% están “En Peligro Crítico”, el 21,4% “En Peligro” y el 39,5% se define “Vulnerable”. Estos niveles son el resultado de distintos factores como la fragmentación de hábitats, la deforestación por agricultura y ganadería, el cambio climático y la expansión urbana. Estas amenazas evidencian la necesidad de desarrollar técnicas eficientes de propagación bajo

condiciones controladas, que ayuden a disminuir la presión sobre las poblaciones silvestres y faciliten su recuperación en áreas degradadas (León, 2019).

Las auxinas son una hormona vegetal conocidas por su papel en el enraizamiento de plantas, sin embargo, en la última década la propagación vegetativa mediante el uso de hormonas sintéticas se ha convertido en una estrategia innovadora que ha cobrado relevancia con el pasar de los años, por ello en esta investigación se evalúa el uso de una auxina sintética, el ácido indolbutírico (AIB), para estimular la formación de raíces adventicias, un estimulante vegetal que promueve la formación de raíces adventicias en vástagos propagados asexualmente, además de aumentar la uniformidad del enraizamiento, acelerar la iniciación de las raíces, aumentar el número y la calidad de las raíces (Porta & Jiménez, 2020).

Las bromelias, debido a su naturaleza epífita, requieren sustratos con buena aireación y adecuada retención de humedad para favorecer el desarrollo radicular. Para esta investigación es necesario mantener condiciones controladas, en consecuencia, se optó por implementar dos tipos de sustrato, entre ellos: el musgo *Sphagnum* y una mezcla proporcional de fibra de coco combinado con corteza de pino. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal la evaluación del ácido indolbutírico (AIB) como estimulador enraizante en plántulas de bromelias utilizando diferentes tipos de sustrato, bajo un entorno controlado dentro de pequeños invernaderos simulando un ambiente húmedo. La investigación

se enfoca en evaluar si la aplicación de AIB, junto con distintos tipos de sustrato, genera diferencias significativas en el enraizamiento y supervivencia de *Tillandsia divaricata* bajo condiciones controladas.

## 2. PROBLEMÁTICA

La familia Bromeliaceae enfrenta una creciente presión debido a la extracción no autorizada con fines ornamentales y a la pérdida de hábitat, lo que compromete la permanencia de varias de sus especies. Este grupo desempeña funciones ecológicas esenciales, ya que contribuye a la retención de humedad, el reciclaje de nutrientes y el sostenimiento de microfauna asociada. No obstante, diversas actividades humanas, como la deforestación asociada a la agricultura y ganadería, la expansión urbana, el turismo no regulado y la extracción de flora silvestre han reducido significativamente la disponibilidad de microhábitats adecuados (León, 2019).

De acuerdo con Gómez *et al.*, (2018) La dispersión de esta planta se ve restringida por la escasa cantidad de vástagos que cada planta madre produce, así como por la duración del proceso de desarrollo y enraizamiento que cada uno de ellos necesita para completar de manera independiente. Estas limitaciones evidencian la necesidad de evaluar métodos alternativos que permitan acelerar el enraizamiento y mejorar la propagación *ex situ*. A partir de esta problemática surge la siguiente interrogante: ¿La aplicación de AIB en diferentes concentraciones, junto con el uso de distintos sustratos, mejora el enraizamiento y establecimiento de *Tillandsia divaricata* bajo condiciones controladas?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La conservación de especies nativas dentro de ecosistemas amenazados requiere de estrategias que busquen integrar el conocimiento científico con acciones prácticas. Por ello el presente estudio busca evaluar una auxina sintética en vástagos de la familia Bromeliaceae, siendo esta una especie en su mayoría epífita se analizará en distintos tipos de sustrato.

Las bromelias del género *Tillandsia* presentan limitaciones en su propagación natural debido a su lento crecimiento, baja producción de hijuelos y requerimientos ambientales específicos, lo que dificulta su establecimiento *ex situ*. No obstante, factores como la fragmentación de hábitat, la deforestación, la sobreexplotación y el cambio climático han sido perjudiciales para la reproducción de esta especie vegetal. En este contexto, el ácido indolbutírico (AIB) se presenta como una alternativa eficiente para estimular la formación de raíces adventicias y favorecer la propagación vegetativa, gracias a su estabilidad y eficacia comprobada en distintos grupos de plantas.

El sustrato constituye un factor determinante en el enraizamiento, ya que influye en la retención de humedad, la aireación y el anclaje. Sin embargo, en bromelias epífitas como *Tillandsia divaricata* aún existe limitada información sobre su desempeño en diferentes medios de cultivo bajo condiciones controladas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la eficacia del ácido indolbutírico (AIB) como estimulador enraizante, a través de su aplicación en vástagos de *Tillandsia divaricata* en distintos tipos de sustrato bajo condiciones controladas, para determinar si su uso mejora el enraizamiento.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el efecto de dos concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de vástagos, mediante la descripción de características anatómicas externas visibles.
- Cuantificar el porcentaje de enraizamiento de los vástagos tratados con distintas concentraciones de AIB, considerando la formación radicular, longitud de las raíces y la supervivencia del esqueje.
- Comparar el efecto de dos tipos de sustrato en la eficiencia del enraizamiento y la fijación de vástagos bajo condiciones controladas, con el fin de identificar la combinación más favorable para la propagación.

## **5. HIPÓTESIS**

### **5.1. Hipótesis Alternativa (Hi)**

La aplicación de dos concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) influye de manera diferenciada en la formación radicular, la longitud de raíces y la supervivencia de los vástagos de *Tillandsia divaricata* cultivados bajo condiciones controladas, en comparación con los grupos control sin AIB.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1. Descripción de la especie *Tillandsia divaricata*.

Según la literatura regional, el nombre tradicional de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* hoy se reconoce a nivel de especie como *Tillandsia divaricata* según Aguilera (2018) en su ficha para Ecuador. Este manejo taxonómico ha sido adaptado en listados florísticos y catálogos de la costa del Pacífico Sur, donde las distintas poblaciones comparten ciertos rasgos morfológicos y un patrón biogeográfico común en ambientes xéricos de Ecuador y Perú (Ayasta & Juárez, 2020).

En cuanto a su morfología, en palabras de Martínez *et al.*, (2018) se reconocen rosetas compactas con hojas coriáceas con abundantes tricomas lo que le dan un aspecto plateado, e inflorescencias erguidas con brácteas llamativas, atributos descritos para especies de zonas áridas y semiáridas de la región

#### Figura 1

Fotografía de *Tillandsia divaricata*



Nota. Fotografía de iNaturalist (2019).

### **6.1.1. Clasificación taxonómica**

**Reino:** Plantae

**Filo:** Tracheophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Poales

**Familia:** Bromeliaceae

**Género:** *Tillandsia*

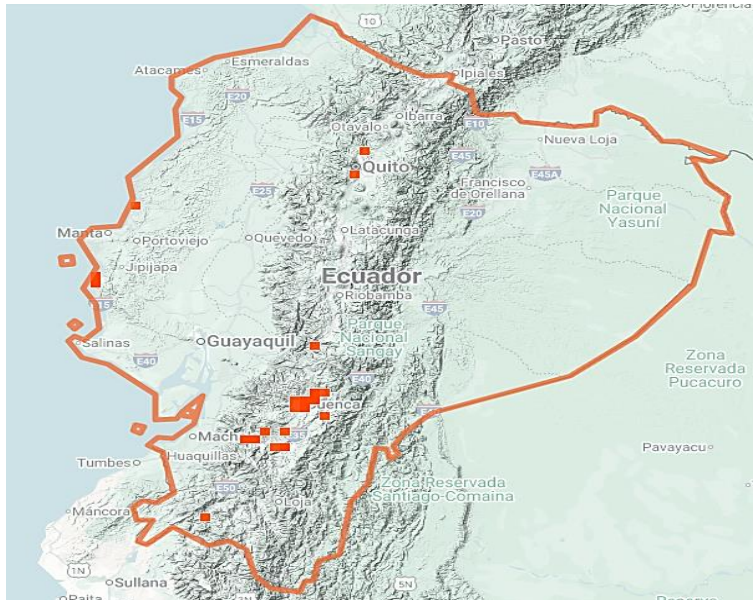
**Especie:** *Tillandsia divaricata*

### **6.1.2. Distribución geográfica en el Ecuador**

En Ecuador, las poblaciones de la especie *Tillandsia divaricata* muestran un patrón bien definido, aparecen tanto en matorrales xéricos del litoral como en valles interandinos secos, ocupando microhábitats abiertos, soleados y con sustratos muy drenados. De acuerdo con Liria (2023) y con observaciones georreferenciadas de iNaturalist se documenta su presencia en provincias como Azuay, Chimborazo, Loja, Manabí y Pichincha, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2**

*Mapa de observaciones georreferenciadas de Tillandsia divaricata en Ecuador.*



*Nota.* Mapa de referencia tomado de iNaturalist.

### **6.1.3. Relación con parámetros ambientales**

Los parámetros ambientales del género *Tillandsia* se asocian a ambientes áridos y semiáridos con alta irradiancia, sustratos con un buen drenaje y aportes de humedad atmosférica, las cuales amortiguan el estrés hídrico estacional. La densa capa de tricomas foliares favorece a la captura de agua, lo que explica su recurrencia en bordes abiertos, y ramas expuestas con alta ventilación. A criterio de Cervera et al., (2018) estas condiciones han sido documentadas para especies del litoral donde la niebla oceánica sostiene el balance hídrico y la fenología de las comunidades

Específicamente en el caso de las *Tillandsias*, el uso de estrategias adaptativas complejas para colonizar ambientes áridos, semiáridos y de alta irradiación todavía debe investigarse en profundidad. Para Rodríguez *et al.*, (2017) las especies de *Tillandsia* que habitan en los desiertos costeros utilizan predominantemente la niebla oceánica como fuente de agua para suplir los requerimientos de agua en los meses de verano. Esto permite que la densa capa de tricomas foliares que poseen funcione como captadora de agua atmosférica, contrarrestando el déficit hídrico estacional. Asimismo, el hecho de que estas plantas epífitas o epiarenícolas mantengan su ventilación interna y se ubiquen en los bordes abiertos a la intemperie permita que la captación de vapor de agua y el intercambio gaseoso se realicen de forma eficiente, amortiguando el estrés hídrico extremo.

La especialización ecológica de este género también es evidente en su morfología y su estructura de comunidad desértica de “lomas” donde la humedad atmosférica es la principal entrada de agua. Las “bromeliáceas nebulófitas” una categoría funcional que incluye muchas especies de *Tillandsia* ocupa hábitats donde la niebla es crítica para el equilibrio hídrico y domina. Este fenómeno ilustra la especialización ecológica del género dentro de tales hábitats. Explica suficientemente la alta presencia de estos organismos a lo largo de ramas influenciadas por la niebla o regiones con fuerte aireación en el dosel. Esto destaca que, para este grupo de organismos, la alta irradiación, el suelo que retiene agua y la alta humedad en la atmósfera son condiciones comunes.

#### **6.1.4. Estrategias reproductivas**

En el género *Tillandsia* existen dos principales estrategias reproductivas, la sexual por semillas y la clonal por hijuelos. Cada estrategia cumple funciones ecológicas complementarias y ofrece prácticas para su conservación y propagación.

A criterio de Téllez *et al.*, (2025) En la vía sexual, diversos estudios experimentales muestran una alta viabilidad y germinación temprana en semillas de distintas especies bajo condiciones controladas, uno de los métodos de este tipo de reproducción es la anemocoria que, tras la floración y polinización, los frutos liberan semillas provistas de apéndices plumosos lo que favorece su colonización en microhábitats abiertos característicos de ambientes xéricos

Ahora, como es característico en *Bromeliaceae* muchas emiten hijuelos basales o axilares tras la floración. Estos hijuelos genéticamente idénticos a la planta madre dan lugar a colonias que se expanden localmente asegurando la persistencia del genotipo en ambientes con alta irradiación y suelos muy drenados, incluso cuando el establecimiento por semilla es incierto (Farré, 2020).

En el género *Tillandsia*, la reproducción sexual permite la expansión a nuevas áreas geográficas, así como el incremento de la variabilidad genética de la especie. Las semillas de *Tillandsia* hacen uso de la anemocoria, ya que se dispersan en el viento

gracias a sus apéndices plumosos, conocidos como comas. Esto permite el establecimiento de la planta en zonas áridas, incluso en microhábitats (López, 2017).

En un estudio realizado con seis especies epífitas de *Tillandsia*, se apreció que las especies con mayor masa de semillas presentaban comas largas, mayor capacidad de germinación, y un incremento de la capacidad de dispersión, debido a que la velocidad terminal de descenso al suelo de las semillas era baja

En entornos con alta intensidad de luz y sustratos muy bien drenados, la clonalidad, o más precisamente, la falta de dependencia de la dispersión para ocupar espacio asiste significativamente en mantener la ocupación por genotipos genéticamente emparejados, maduros y que ocupan espacio, evitando la dependencia del éxito de la germinación.

Cualquiera de las estrategias de propagación, sexual o clonal, deben considerarse de forma complementaria, no solo por motivos de conservación, sino por la importancia que tiene el enraizamiento práctico de una especie. En la propagación por semillas, el cumplimiento de los protocolos de control de la luz, la humedad y el sustrato de asentamiento se orienta a la optimización de la germinación y el establecimiento de plántulas, lo que resulta indispensable para el enriquecimiento de la base genética de la población ex situ. En cambio, la propagación clonal por

compensación origina la rápida producción de copias genéticas de la planta madre, lo que resulta en la producción en restauración de la horticultura o en la producción de material cuando la rapidez de proliferación y la uniformidad son las prioridades.

Desde la perspectiva de trabajar con poblaciones cultivadas y naturales, es razonable integrar ambos enfoques para mejorar la diversidad genética y la eficiencia de producción. En este escenario, la reproducción sexual asume un papel distinto del resto ya que añade cierta variabilidad reproductiva, lo que puede mejorar la resiliencia de la población a las fluctuaciones ambientales extremas. En contraste, la reproducción clonal es mucho más efectiva para llevar a las poblaciones a una cobertura y densidad óptimas en hábitats estresados. Por lo tanto, con respecto a las estrategias de restauración, conservación y cultivo para *Tillandsia*, el uso de semillas y compensaciones debe integrarse para lograr el equilibrio necesario de diversidad y persistencia de acuerdo con los requisitos ecológicos de la especie y el hábitat

## **6.2. Importancia de *Tillandsia divaricata***

En palabras de Estrella *et al.*, (2019) *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* aporta funciones ecológicas que permiten mantener procesos clave en los ecosistemas. Su estructura de roseta y el denso recubrimiento de tricomas favorecen a la interceptación de bruma o garúa, además de la retención de detritos finos en las axilas foliares, material que se descompone y libera nutrientes al medio mientras

que ofrece refugio para invertebrados y demás microfauna asociada. Además de su rol ecosistémico, el género *Tillandsia* es utilizado como biomonitor atmosférico por la capacidad de sus tricomas para interceptar partículas y elementos traza (Lebrón & Guerrero, 2023)

*Tillandsia latifolia* var. *divaricata* se adapta a un ámbito limitado de entornos y está dirigida a ecosistemas áridos y semiáridos. Esta especie particular demuestra un grado relativo de resistencia a la desecación por sequía fisiológica y utiliza eficientemente la humedad ambiental a través de la adaptación de la estructura fisiológica de roseta. La densa cobertura de la planta con tricomas facilita la retención de neblina ecológicamente significativa durante períodos extremos de sequía, y es parte de la razón por la cual la planta puede mantener el equilibrio hídrico en condiciones de sequía extrema (Ayasta & Juárez, 2020)

La característica más notable de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* es mantener el equilibrio de la humedad relativa en condiciones de sequía extrema y la capacidad de interceptar y acumular partículas durante la desecación atmosférica seca. Los tricomas que cubren las hojas xerofíticas de la planta capturan y retienen de manera eficiente partículas de neblina sofocante y atrapan contaminantes del aire ambiental, demostrando la capacidad de purificación del aire de la planta y, posteriormente, mejorando la calidad del aire en los trópicos ecuatoriales húmedos y limpios (Lebrón & Guerrero, 2023).

En la interacción de las plantas con ecosistemas, la planta en cuestión es la primera en la provisión de hábitats. *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* foliar axilas retienen detritos que, al descomponerse, enriquecen el suelo y, al descomponerse, refugian materia para una diversa fauna en especial invertebrados que, por el agua y materia que la planta emite, el invertebrado se provee. Este de servicios ecosistémicos y de refugio es fundamental para la sostenibilidad de la biodiversidad en el lugar y el momento donde el reciclaje de refugio es bajo (Ayasta & Juárez, 2020).

Por otro lado, la planta en cuestión ha ganado atención en los últimos años en el ámbito de la biomonitor. Por su hiperacumulación de atmósferas contaminante y metales pesados es utilizada para monitorear espacios de la planta. en el área, la retención de partícula contaminante y metales en aire se ha Comprobado en área de las industrias y en la ciudad donde el aire se contamina. (De la Cruz et al, 2020). Por lo tanto, el uso de la planta en cuestión, en el aire contaminado es potencial para su uso como monitoreo de la planta en el área.

El potencial de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* en restauración ecológica también ha comenzado a documentarse. Por su adaptación a la sequía, esta planta es idónea para usar en la rehabilitación de suelos estériles en regiones donde la vegetación nativa ha sido reemplazada por invasoras. Su habilidad para cambiar la calidad de suelos y generar fauna nativa ayuda en la recuperación de ecosistemas en su funcionalidad (Ayasta & Juárez, 2020).

La importancia de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* en la ecología y en la calidad ambiental que mejora al interceptar y contaminar el aire, la humedad, y la recuperación de la fauna, pone de relieve la necesidad de conservar y proteger las especies nativas en ecosistemas en situación de crisis. Además, su estudio y conservación se deben priorizar en las políticas ambientales por su potencial de recuperación y contención de la crisis actual de contaminación.

### **6.3. Usos y potencial del género *Tillandsia***

*Tillandsia*, se perfila como un recurso versátil el cual combina el valor ornamental, utilidad ambiental y proyección científica. Su tolerancia a la sequía, la forma compacta de las rosetas y la propagación eficiente han permitido desarrollar cadenas de producción responsable para jardinería con bajo consumo hídrico, parques urbanos y paisajismo, este aprovechamiento requiere indoles de trazabilidad y cumplimiento normativo para evitar la extracción silvestre y estabilizar la oferta legal en el país (Quintero, 2022).

Mas allá del paisajismo, este género también destaca por su uso como biomonitor atmosférico, gracias a sus tricomas que interceptan y acumulan material, permitiendo evaluar la calidad de aire con metodologías de bajo costo y alta sensibilidad.

En cuanto al potencial biomédico y químico, ciertos estudios revelan el uso de metabolitos secundarios con actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas en distintas especies del género *Tillandsia* según Estrella-Parra et al. (2019), lo que sustenta exploraciones ID fitofarmacéuticas y cosméticas bajo cultivo controlado sin la necesidad de presionar poblaciones silvestres.

*Tillandsia* resalta por su capacidad de resistencia a la sequía y su prosperidad en circunstancias hídricas limitadas. Las rosetas compactas de este género hasta tienen valor ornamental y permiten la sostenibilidad en el paisajismo a través de la implementación de jardineras de bajo consumo hídrico, lo cual se alinea con el aprovechamiento de los recursos y el desarrollo de políticas públicas con la implementación de parches verdes en la urbanidad, que se traduce en la mitigación de los efectos de la urbanidad en la calidad de vida de la población (Quintero, 2022).

El aprovechamiento de este género en la jardinería y el paisajismo ha permitido el desarrollo de cadenas de producción responsable en varias regiones. El aumento de la demanda de estas plantas con la sobreexplotación de su población silvestre demanda el desarrollo de normas que regulen la extracción y aseguren su sostenibilidad. Las normas de trazabilidad y el cumplimiento del aprovechamiento responsable del suelo permiten la obtención de productos derivados de estas plantas con bajo impacto ambiental y legal (Aguilera, 2018).

*Tillandsia* también ha sido objeto de investigación científica con el objetivo de explorar su potencial para diversas aplicaciones biomédicas y farmacéuticas. Diferentes especies dentro del género *Tillandsia* contienen metabolitos secundarios con actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana, y estos metabolitos están siendo investigados para su uso en fitoterapia. De acuerdo con Estrella et al., (2019) El cultivo controlado de estas especies permitirá la explotación de sus poblaciones naturales sobrevivientes.

Para González *et al.*, (2025) Los metabolitos de *Tillandsia* también se desarrollan y proponen en la cosmética. Se están formulando y desarrollando productos como cremas, ungüentos y geles con propiedades antioxidantes para combatir la piel de los efectos de la edad. La investigación en este campo sugiere que el género *Tillandsia* se puede usar como una opción más para el desarrollo de productos de uso propio, considerando la cosmética como un campo activo de la investigación

En positivo, se pueden seguir obteniendo los productos que esta planta genera. De esta forma, los productos cosméticos y farmacéuticos se pueden utilizar y seguir formulando. La planta se puede seguir cosechando y utilizando, el cuidado y cosecha pueden planearse para evitar el agotamiento de la planta. Con el adecuado cuidado se recordará el uso de esta planta y sus propiedades únicas (Ayasta & Juárez, 2020).

#### 6.4. Estado de conservación

A escala mundial, la variedad no cuenta con evaluación propia en la Lista Roja de la UICN, sin embargo, está reportada como Preocupación menor (LC). Las presiones principales son la extracción ilegal de flora, la pérdida o fragmentación de hábitat por urbanización, infraestructura, agricultura y ganadería, además de la presente variabilidad climática que reduce la humedad atmosférica clave del género.

Aunque la var. *divaricata* de *Tillandsia latifolia* no posee una evaluación propia en la Categoría Roja de la UICN, la planta, en 2009, fue reportada como de "Preocupación menor" Este estatus refleja una estabilidad en la población de la planta, pero el monitoreo de la población debe permanecer activo e incesante, ya que la planta de este var. *divaricata* enfrenta múltiples amenazas en su hábitat. Al no estar catalogada como en peligro, todavía existe una serie de amenazas que la planta en su globalidad, el var. *divaricata*, puede afrontar (Arévalo & Aponte, 2020).

La extracción ilegal de flora, en particular, la var. *divaricata*, de *Tillandsia latifolia*, probablemente se encuentre entre las más significativas. En principal, la sobreexplotación de la var. *divaricata* de *Tillandsia latifolia* en la planta para el mercado ornamental en las ciudades ha llevado a la sobreexplotación de las poblaciones en su hábitat. Esto no solo pone en peligro la var. *divaricata*, de

*Tillandsia latifolia*, de las plantas, Hipótesis, sino que, en el ecosistema, también pone en peligro la retención de nutrientes de los ecosistemas y el hábitat para la sobreexplotación de la var. *divaricata*.

En la conservación de la *Tillandsia latifolia* var. *divaricata*, el crecimiento urbano se vuelve una de las amenazas más importantes. La expansión de las ciudades, la construcción de infraestructuras y el desarrollo de terrenos baldíos están fragmentando los hábitats que esta planta necesita. Esto no solo reduce el sitio donde estas plantas pueden crecer, sino que también afecta la organización de los hábitats para la dispersión de las semillas y la regeneración de la planta, elementos que son determinantes para que se mantenga una población viable en la naturaleza (Arévalo & Aponte, 2020) La urbanización de estos espacios rurales se realiza en la medida que la planta se encuentra en pleno desarrollo y produce más y mejores flores, en una clara señal de estrés.

En la alteración de ecosistemas naturales, la agropecuaria también representa un riesgo importante. Las prácticas de nivel de pesticidas, el pastoreo y la conversión de la tierra en cultivos son prácticas que están alterando el equilibrio de los ecosistemas donde la *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* aún se encuentra (Arévalo & Aponte, 2020). Esto no solo provoca un deterioro del hábitat, en las zonas circundantes se reduce la biodiversidad que, de forma indirecta, afecta a todas las

especies que dependen de estos hábitats. La ausencia de ecosistemas naturales reduce la capacidad de supervivencia de especies especializadas, como *Tillandsia*.

El crecimiento urbano constituye otra amenaza para la conservación de la *Tillandsia latifolia* var. *divaricata*. La urbanización de la infraestructura y la variación en el uso del suelo rompen los hábitats naturales de la planta y, además de la acanalar, limita la elasticidad de la planta a la extensión de su hábitat, interfiere en la dispersión y la regeneración de sus semillas, y la regeneración natural. El mantenimiento poblacional de la planta en la naturaleza (Farré, 2020). La urbanización fracciona directamente los ecosistemas y el impacto se siente en el área del ecosistema de extensión donde se encuentran de forma nativa estas plantas.

La agricultura y la ganadería, que alteran los ecosistemas naturales, también constituyen una amenaza importante. El impacto de plaguicidas, el pastoreo y la transformación de la tierra para cultivos ha desequilibrado la ecología del área donde la *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* se desarrolla. Estas actividades de manera directa disminuyen el impacto seco, y interfieren con la biodiversidad del resto de ecosistemas, de ecosistemas y de áreas adyacentes, afectando de una manera que no es de manera, a las especies dependientes (López, 2017). La deterioración de ecosistemas no es intacta y el impacto sobre la *Tillandsia* la planta es mayor.

A medida que el cambio climático se intensifica, especies como *Tillandsia latifolia* var. *divaricata* deben afrontar estos retos desde una perspectiva que considere el orden. La falta de coordinación de los esfuerzos de conservación, ya sean por cambios climáticos o por cambios en el uso del suelo, dificultará la efectividad de estas acciones. La conservación de hábitats intactos, que considere la etiqueta de 'protegido' el lugar y garantice la supervivencia de los organismos que estén en la zona, se debe consolidar como el objetivo final de la protección de la especie en un lugar determinado (Chambilla, 2025).

*Tillandsia latifolia* var. *divaricata* es ya víctima de actividades que, a largo plazo, la acabarán por fijar en el lugar donde se condenará a este organismo una especie a la "Preocupación menor" (Arévalo & Aponte, 2020). La conservación de su papel funcional y la adecuada compensación de la planta a la comunidad y sus ecosistemas es posible y debe hacerse. Hay que afrontar la problemática de la planta, que incluye la extracción ilegal, la fragmentación de su hábitat y, el más relevante al presente, el cambio climático, en breves acciones y elucubraciones

## **6.5. Propagación de bromelias**

### **6.5.1. Limitaciones de la propagación natural**

De acuerdo con Téllez et al., (2025) en *Tillandsia divaricata*, la reproducción sexual depende de semillas muy ligeras y anemocoria, aunque si bien es cierto que la viabilidad puede ser alta bajo condiciones controladas, en campo es bajo ya que las

plántulas requieren microhábitats estables, aportes de humedad atmosférica y sustratos con anclaje seguro

Hay varios elementos que limitan la propagación natural de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata*, que la luz y las semillas de disseminación eólica. En condiciones de laboratorio, la viabilidad de las semillas puede parecer significativa; sin embargo, las condiciones del campo plantean un conjunto de condiciones completamente diferente. Las plántulas establecidas requieren microhábitats estables con condiciones atmosféricas ideales de humedad, que pueden no ser muy comunes en los entornos naturales de las plántulas (Álvarez, 2017).

Sin tales sustratos, las plántulas no pueden establecerse y, en consecuencia, no pueden desarrollar los órganos necesarios para extraer humedad y nutrientes de la atmósfera, que son cruciales para revestir las superficies de sus estructuras. Las condiciones de atmósfera son otro de los múltiples factores que deben de ser considerados para la propagación de las especies del género *Tillandsia*.

Estas y otras especies del género *Tillandsia* son altamente dependientes de la humedad del aire. La espera de los ambientes menos húmedos, las plántulas y las semillas, para el desarrollo y germinación es más que suficiente. La exasperación de la humedad ya sea debido a la estacionalidad o a la acción del hombre, también

afectará de manera negativa el establecimiento y la propagación de las nuevas plantas (Ayasta & Juárez, 2020)

Respecto a *Tillandsia latifolia* var. *divaricata*, la colonización a través del viento, a pesar de ser un mecanismo efectivo, no asegura que la especie se pueda establecer en el lugar. Las semillas que pueden desplazarse grandes distancias por las corrientes de aire y que incluso pueden colonizar ambientes distantes y abrirse a nuevas zonas, corren el riesgo de no establecerse en lugar apto (Aguilera, 2018)

Las interacciones con otras especies también pueden afectar la dispersión de *Tillandsia latifolia* var. *divaricata*. En algunos ecosistemas, la presencia de especies competidoras o depredadoras puede reducir la disponibilidad de microhábitats que son adecuados para la germinación. Además, las alteraciones del ecosistema, como las que ocurren con el desarrollo agrícola o urbano, pueden eliminar o alterar las áreas ideales para el establecimiento de plántulas (Farré, 2020). Así, en muchos contextos, la dispersión natural de la planta puede ser intrincada y restringida.

### **6.5.2. Cultivo *Ex Vitro***

El cultivo *ex vitro* permite producir plantas de manera responsable, evitando presión sobre poblaciones silvestres combinando dos rutas: hijuelos obtenidos en viveros y plántulas aclimatadas desde cultivo *in vitro*. Para *Tillandsia*, se han alcanzado

protocolos como la organogénesis y micropropagación *in vitro* con posterior adaptación *ex vitro* en diferentes sustratos con alta aireación, logrando altas supervivencias cuando la humedad y ventilación es controlada (Aguilera, 2018). Además, el uso de AIB mejora el enraizamiento y la supervivencia durante la aclimatación de estas plantas.

El desarrollo de cultivos *ex vitro* ha sido muy importante en la producción responsable de *Tillandsia* ya que evita la presión de la recolección sobre estas especies. Esta técnica combina dos rutas: la captura en viveros y la plántula aclimatada proveniente de cultivo *in vitro*.

Se han establecido con éxito para *Tillandsia* los pasos para la organogénesis y la micropropagación *in vitro*, que permiten una multiplicación de las plantas de manera eficiente. Estos protocolos han sido diseñados con sustratos que permiten una alta aireación, lo que ofrece un entorno adecuado para el desarrollo de raíces y, posteriormente, la estabilización de la planta tras la aclimatación *ex vitro*, la cual, debe ser gradual (Arévalo & Aponte, 2020). El éxito de la técnica durante el proceso de aclimatación depende, en gran medida, del control de los factores climáticos.

En el cultivo *ex vitro* de *Tillandsia*, el manejo de la humedad y de la ventilación es de vital importancia y debe ser tratado con sumo cuidado. También, para evitar el crecimiento de hongos, la ventilación debe permitir la oxigenación de raíces. Por

ello, durante los procesos de aclimatación, el control de estos factores debe ser restringido para permitir la alta supervivencia que se busca.

La incorporación de los reguladores de crecimiento como el ácido indolbutírico (AIB) ha sido un gran aporte para el cultivo *ex vitro* de *Tillandsia*, ya que el AIB potencia el enraizamiento y la aclimatación de las plantas. De acuerdo con la investigación de Hernández *et al.*, (2024) el AIB aplicado en plántulas aclimatadas potencia la radicular y permite un mejor asentamiento de las plantas en su nueva ubicación. Ahorra para el cultivo, el AIB permite un efectivo control del medio *in vitro* y *ex vitro*, esto ayuda a reducir la mortalidad durante la aclimatación.

## **6.6. Fitohormonas**

De acuerdo con Asunción *et al.*, (2021) Las fitohormonas, hormonas vegetales o fitorreguladores son moléculas orgánicas de señalización producidas en cualquier tipo de plantas, las cuales actúan en concentraciones muy bajas y se encargan de coordinar el crecimiento, desarrollo y las respuestas de las plantas a su entorno; regulan división, elongación y diferenciación celular; modulan brotación, floración y senescencia

Las fitohormonas son compuestos esenciales en el ciclo de vida de las plantas. Tienen un impacto considerable en el crecimiento y desarrollo vegetal. Estas

moléculas orgánicas, aunque elaboradas en concentraciones extraordinariamente bajas, regulan la división, el alargamiento y la diferenciación de las células. En palabras de Asunción *et al.*, (2021) El impacto que estas moléculas orgánicas tienen en el comportamiento de las plantas permite la adaptación y la supervivencia en una amplia variedad de contextos ecológicos.

Dentro de las fitohormonas más investigadas se encuentran las auxinas, las giberelinas, las citoquininas, y el ácido abscísico. Cada una de estas hormonas lleva a cabo funciones específicas en las plantas que conciernen a la germinación, formación de raíces, maduración de frutos, y respuestas a estímulos como luz y gravedad. Por ejemplo, las auxinas son cruciales en la elongación celular y en la formación de raíces, en comparación con las citoquininas y el ácido abscísico que, en cambio, estimulan la división celular y la brotación (Farré, 2020).

El análisis de las fitohormonas ha transformado el análisis de los mecanismos que las plantas utilizan para regular de forma interna y cómo reaccionan a los estímulos del medio. Aunque actúan en mínimas concentraciones, estas hormonas subatómicas son importantes para el control de múltiples y variadas funciones. Las auxinas son, entre otras funciones, responsables del alargamiento de las células y de la formación de raíces. Su acción dinámica, en la fase positiva, permite a las plantas adaptarse a su entorno al modificarse en estructura y crecimiento (Farré, 2020).

Además de las auxinas, las giberelinas son las otras fitohormonas que promueven la formación de los tejidos embrionarios y la elongación del tallo. Todos los tejidos de las giberelinas son las otras fitohormonas que promueven la formación de los tejidos embrionarios y la elongación del tallo e impulsan la formación de flores.

Este grupo de fitohormonas, además de las auxinas, es primordial en los procesos de las plantas que requieren un rápido crecimiento, como la elongación del tallo en la etiolación. Las citoquininas, en cambio, están relacionadas con la división celular, el efecto de las citoquininas, y la senescencia en las hojas (Ayasta & Juárez, 2020).

El ácido abscísico (ABA) también es una fitohormona importante, sobre todo en la respuesta de las plantas al estrés. Esta hormona es responsable de la regulación de la apertura y cierre de las estomas y, por ende, es importante para el control de la pérdida de agua en las plantas durante periodos de sequía. A criterio de Alcántara et al., (2019) el ABA regula la germinación de las semillas y la adaptación de las plantas y el mantenimiento de la homeostasis en condiciones adversas.

En cuanto a la interacción de las fitohormonas, las plantas responden a un equilibrio complejo de las hormonas de crecimiento y de las inhibidoras del crecimiento. Es

dicho equilibrio el que permite a las plantas crecer de forma eficiente y adaptarse a los cambios en el ambiente. Las fitohormonas son clave también en la respuesta a la gravedad y a la luz, pues determinan la orientación del crecimiento y, por ende, permiten que las plantas se adapten a su entorno de forma óptima (López et al., 2021).

Las fitohormonas afectan el desarrollo de las plantas, pero también su relación con otras especies y con el entorno. Por ejemplo, a través de la regulación de la floración, estas hormonas pueden influir en el contacto que las plantas tengan con sus polinizadores. Las fitohormonas también inciden en las interacciones que se dan entre las plantas, donde estas se pueden definir los niveles de competitividad y de cooperación en distintas especies de un ecosistema (Pérez et al., 2021).

El uso de fitohormonas controladas por el productor ha permitido avances en el desarrollo de nuevas estrategias en la agricultura y la biotecnología. Los agricultores, controlando el estrés que las plantas fitohormonas, pueden mejorar la calidad de los cultivos, controlar el crecimiento y maduración de los frutos, así como minimizar el efecto de algunos estresores. Todo esto en conjunto de regular el crecimiento y desarrollo de las plantas, el control de fitohormonas en plantas ofrece la posibilidad de desequilibrar la sostenibilidad en la agricultura de un área y un clima determinado (Aguilera, 2018).

### **6.6.1. Clasificación de las fitohormonas**

Para Asunción *et al.*, (2021) la clasificación de las fitohormonas, destacan tres grupos: las auxinas, citoquininas y giberelinas. Las auxinas sostienen la elongación celular y la formación de raíces. Las citoquininas promueven la división celular y brotación y, por último, las giberelinas impulsan la elongación de los tallos, ruptura de latencia y aspectos de floración

Borja *et al.*, (2020) menciona que las auxinas pertenecen a uno de los grupos más relevantes de las fitohormonas, son encargadas de regular procesos clave como la división y elongación celular, la diferenciación de tejidos y la formación de raíces. Su correcta función dependerá de diversos factores como la concentración, distribución espacial y el balance dinámico entre síntesis, transporte y degradación.

Las fitohormonas pueden clasificarse en tres grandes grupos: auxinas, citoquininas y giberelinas, y cada uno de estos grupos tiene funciones específicas en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Asunción *et al.*, (2021) señalan que las auxinas son las encargadas de la elongación y formación de raíces, y las citoquininas de la división celular y brotación de nuevos brotes. Las giberelinas, en cambio, controlan la elongación de los tallos, el ápice, la ruptura de latencia de las semillas y el comienzo de la floración. En el avance de la sinergia, el equilibrio y el desarrollo de estas fitohormonas en el conjunto garantizan el crecimiento armonioso y el desarrollo eficaz de la planta.

Las fitohormonas, en particular, las auxinas, son un componente fundamental en la regulación del crecimiento de la planta. Esto se debe a que estas hormonas se encargan de la elongación y formación de raíces, diferenciación de tejidos, y la elongación celular. Para que las auxinas funcionen adecuadamente, deben mantenerse en equilibrio la síntesis, el transporte, y la degradación. Para Borja *et al.*, (2020) las auxinas tienen que estar distribuidas en determinado espacio, de modo que se generen gradientes que controlen la dirección del crecimiento de los diversos órganos de la planta.

Uno de los usos más frecuentes y prácticos en la propagación *in vitro*, el empleo de auxinas exógenas para la formación de raíces en esquejes o plántulas. En la aclimatación de plántulas a particulares condiciones y promoviendo su supervivencia, enraizar esquejes de especies difíciles. Las auxinas en la aclimatación de plántulas ayudan a sobrepasar los enraizamientos de especies difíciles y mejora la eficiencia en la propagación y producción de plantas nuevas (Ayasta & Juárez, 2020).

### **6.6.2. Tipos de Auxinas**

De acuerdo con Alcántara *et al.*, (2019) Las auxinas se clasifican principalmente en naturales y sintéticas: las auxinas naturales como el ácido indolacético (AIA) es la forma predominante en que esta fitohormona se encuentra en la mayoría de las plantas. Este compuesto se sintetiza en partes (PAA), ambos ácidos se encuentran

en menor proporción que en conjunto contribuyen al crecimiento y diferenciación vegetal.

**Tabla 1** *Tipos de auxinas*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Función principal</b>	<b>Estructura de la planta donde actúa</b>
<b>Ácido indolacético (AIA)</b>	Es la auxina constitutivamente más abundante. Se deriva del aminoácido triptófano	Induce la elongación celular, regula la dominancia apical y promueve la formación de raíces adventicias.	Meristemos apicales, brotes jóvenes y raíces.
<b>Ácido indolbutírico (AIB)</b>	Más estable que el AIA	La auxina también se sintetiza artificialmente. Induce el enraizamiento en esquejes y estimula la diferenciación.	Tejidos de raíces y tallos jóvenes.
<b>Ácido naftalenoacético (ANA)</b>	Auxina sintética estable, ampliamente utilizadas en agricultura	Promueve la formación de raíces, previene la caída prematura de frutos y regula el crecimiento tisular.	Brotes, frutos y raíces.
<b>2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)</b>	Auxina sintética utilizadas como herbicida selectivo.	Estimula el crecimiento excesivo de tejidos mesófilo en malezas de hoja ancha,	Hojas y tallos de plantas dicotyledonous.

---

		provocándoles su muerte	
<b>Ácido 4-cloroindolacético (4-Cl-IAA)</b>	Variante natural del AIA, presente en leguminosas	Regula el crecimiento tisular y el desarrollo del fruto.	Flores, frutos y semillas en desarrollo.

---

Nota: Tabla con los tipos de auxinas.

Para Alcántara *et al.*, (2019) La literatura contemporánea ofrece una visión variada de las Plantadeiras, en este sentido las más citadas en el ámbito académico son las de Franco, Baker y Marshall. Franco presenta un trabajo que resulta sofisticado e integral sobre el género, en el que introduce nuevas especies y ofrece una nueva clave de identificación. Baker por su parte proporciona un trabajo en el que examina de manera constructiva un gran número de especies que describió y su relación con otras especies avaladas. Marshall es célebre por sus una de las primeras contribuciones al género en el que ofreció una notable revisión con nueva información sobre el género.

En palabras de Alcántara *et al.*, (2019) el AIA es importante en la promoción del crecimiento de las plantas, especialmente en la elongación del tallo y la formación de raíces, lo que es una característica clave de las auxinas. Otros compuestos que ocurren naturalmente, como el ácido indol propiónico (IPA) y el ácido fenilacético (PAA), están presentes en menores cantidades, pero también son importantes en la diferenciación y el crecimiento de la planta.

El ácido indolacético (AIA) destaca como la principal planta reguladora hormonal además de la polaridad y la elongación de los tallos. Se produce en zonas jóvenes y en estado vegetativo de la planta. La producción de AIA está en función de la edad de los tejidos y las condiciones ambientales. Su actividad en la elongación celular explica la respuesta de la planta a la luz y la gravedad. Esto indica que el AIA es fundamental para las plantas en el control general del crecimiento en respuesta a la luz y la dirección fototópica.

El ácido indolpropiónico (AIP) es una auxina que se encuentra en menores concentraciones en las plantas, pero que tiene una función a nivel específico en la formación de raíces laterales y en la regulación de la floración. Aunque menos estudiado que el AIA, el AIP también tiene un efecto en la dinámica del crecimiento de las plantas y el potencial AIP tiene en el control de la fisiología de las plantas es considerable. Hernández *et al.*, (2024) establecen que, a pesar de sus menores concentraciones, sus funciones en los procesos de desarrollo de las plantas son importantes y nunca deben ser subestimadas.

La investigación y el desarrollo de auxinas sintéticas como el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenoacético (ANA) han facilitado su empleo en la agricultura y la jardinería, donde el crecimiento de las plantas puede ser regulado de manera más controlada. AIB se encuentra entre los más eficaces agentes de enraizamiento y se destaca para la propagación vegetativa. AIB en condiciones controladas y su

estabilidad en condiciones controladas hacen notar la mejora en la formación de raíces y en la supervivencia de plántulas (Crisostomo & Quintana, 2024).

El ácido naftalenoacético (ANA) también se utiliza en enraizamiento, particularmente, en enraizamiento rápido y en protocolos que requieren el crecimiento acelerado de raíces. En el caso de su uso en exceso, se puede provocar la formación de callos en lugar de raíces, lo que puede causar el fracaso en la propagación. Por lo tanto, se debe tener cuidado para hacer aplicaciones donde se prevenga formación de toxicidad en las plantas (Arévalo & Aponte, 2020).

Para Cervera *et al.*, (2018) el AIB y el ácido naftalenoacético (ANA) han facilitado el uso de sintéticos en la agricultura y la horticultura, especialmente en el aumento de la producción y calidad de los cultivos. El exceso, o el uso inapropiado de estas sustancias, puede producir efectos adversos como el desarrollo anormal de los tejidos y la desregulación del equilibrio hormonal de la planta. Por lo tanto, es necesario un manejo de estas fitohormonas que augure el máximo aprovechamiento, sin poner en riesgo la salud de las plantas.

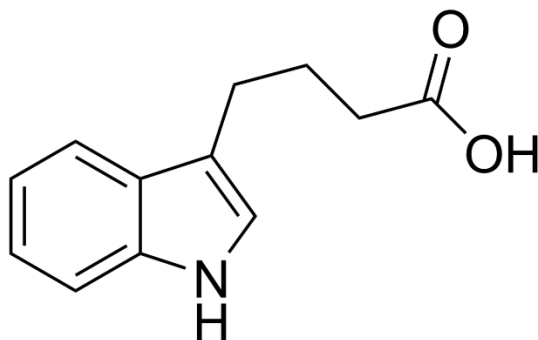
## **6.7. Ácido Indolbutírico (AIB)**

### **6.7.1. Estructura y solubilidad del AIB**

El Ácido Indolbutírico, es una auxina sintética cuya estructura química está compuesta por un núcleo indólico unido a una cadena butírica con un grupo carboxilo terminal. Su fórmula molecular es  $C_{12}H_{13}NO_2$ . Esta composición le otorga estabilidad química y mayor resistencia a la degradación oxidativa y lumínica en comparación al Ácido Indolacético, lo que prolonga su efecto en los tejidos vegetales (Crisostomo & Quintana, 2024)..

### Figura 3

*Estructura química del Ácido Indolbutírico (AIB)*



*Nota.* El AIB presenta un anillo aromático indólico y una cadena lateral butírica con un grupo carboxilo, configuración que explica su actividad biológica en la inducción de raíces.

#### 6.7.2. Efectos en tejidos vegetales

El Ácido Indolbutírico se encarga de procesos de crecimiento y diferenciación celular dentro de tejidos vegetales. Al ser una auxina sintética su aplicación exógena genera respuestas similares a las auxinas naturales al promover la división celular, la elongación de tejidos jóvenes y la inducción de raíces. A criterio de Alcántara *et al.*, (2019) estos efectos dependen de la concentración administrada y de la interacción con otras fitohormonas, como las citoquininas

El ácido indolbutírico (AIB) como auxina sintética, ha ido construyendo buena fama en la literatura, en particular en el ámbito agrícola y hortícola, por la inducción del crecimiento y la diferenciación celular en las plantas por la división celular, elongación de tejidos, y la formación de raíces en distintas especies. Debido a la formación de raíces el AIB es fundamental en la propagación vegetativa, particularmente en el enraizamiento de esquejes (Paz, 2023).

A nivel de las plantas AIB es capaz de imitar auxinas de forma natural y provocar raíces. Dependiendo de la concentración AIB es capaz de incentivar la elongación de las células en tejidos jóvenes, el alargamiento de brotes y la formación de raíces.

En AIB y aclimatación de plántulas se describió el fenómeno donde se asistía a las plántulas a aclimatarse desde condiciones *ex vitro* y se mejoraba la adaptación al nuevo entorno (Huaman, 2023).

Para Bautista *et al.*, (2022) el enraizamiento rápidamente estimulado y facilitado por el AIB en la planta de propagación, además de enraizadoras, afecta de forma positiva la sanidad y el potencial de la planta, por lo que este brindará mayores beneficios potenciales en producción comercial. En este caso, es de gran ayuda en la producción de cultivos de frutas y ornamentación que tienen un gran nivel de propagación vegetativa.

Sin embargo, (Quintero, 2022) manifiesta que la aplicación de AIB debe estar controlada debido a que una sobreabundancia de la hormona puede causar efectos indeseables, tales como la generación de callos en lugar de raíces. Esto hace que la optimización de la dosis y la minimización de los efectos adversos sean imprescindibles para encaminar el proceso de enraizamiento de forma positiva. También, las interacciones con los demás reguladores del crecimiento, como el ácido abscísico, se deben tener en cuenta para lograr un balance correcto.

Por la capacidad que tiene el ácido indolbutírico de manipular los procesos del crecimiento de las plantas, sobre todo en la inducción de raíces, se considera una gran ayuda. Esto se debe a que su aplicación en el control de enraizamiento y el desarrollo de plántulas presenta grandes utilidades en propagación de plantas y en la agricultura comercial. Aun así, debe permanecer en un estado equilibrado, ya que así, se evitan los efectos indeseables (Lebrón & Guerrero, 2023).

### **6.7.3. Estudios previos en bromelias**

Estudios recientes enfocados en la propagación de bromelias, se demostró que el AIB es eficaz para estimular la formación de primordios radicales y mejorar la supervivencia en la etapa de aclimatación. En *Tillandsia takizawae*, se obtuvo una respuesta positiva de enraizamiento con una concentración de 1mg/L de AIB, alcanzando mayor número de raíces y alta tasa de supervivencia.

Para Hernández *et al.*, (2024) El AIB activa los tejidos en la zona basal y también ayuda a consolidar un sistema radicular funcional, lo cual permite el establecimiento de las plantas en condiciones *ex situ*.

Recientes investigaciones sobre la propagación de bromelias han indicado que el ácido indolbutírico (AIB) trabaja de forma efectiva para inducir la formación de primordios radicales, sobre todo en *Tillandsia takizawae*. En estos estudios, se encontró que el uso de AIB en una concentración de 1 mg/L promovió la formación de raíces, así como el enraizamiento y aclimatación de las plantas durante la fase de aclimatación. Este hallazgo confirma y evidencia, una vez más, la importancia del AIB en el enraizamiento, de modo que se facilite la aclimatación y adaptación de las plantas a las condiciones de cultivo, y con ello el cultivo en condiciones controladas (Álvarez, 2017).

La acción de enraizamiento de AIB en bromelias demuestra que, al igual que en el resto de las especies, esta auxina sintética actúa en los tejidos basales de la planta, permitiendo el desarrollo de raíces entrelazadas y la formación de un sistema radical pleno que, en el caso de la aclimatación *ex situ*, permitirá a la planta captar nutrientes y agua del sustrato en el cual se encuentra. La planta aclimatada, con un sistema radical pleno, permitirá la captura de agua y nutrientes en el nuevo entorno. Adicionalmente, el sistema radical robusto facilitará el paso de las bromelias a la captura de sesión en sustratos de aprovisionamiento (Quintero, 2022).

La aclimatación sobre la producción comercial de *Tillandsia takizawae* se basa en los resultados que señalan que AIB no solo enraíza, lo que aumenta significativamente la supervivencia de las plantas. Dentro de la producción comercial de las bromelias, se hace relevante en el caso de la aclimatación, la propagación de las plantas en el caso de que el cultivo sea de viabilidad económica. La introducción de auxinas sintéticas como el AIB se convierte en una prioridad en la mejora de la producción comercial de las bromelias en los viveros y en los programas de conservación (Crisostomo & Quintana, 2024).

El foco de los estudios en *Tillandsia takizawae* no minimiza la acción de AIB sobre la propagación de otras bromelias pertenecientes a la misma familia. Muchas veces se asume que las otras bromelias no responderán al AIB, pero en estudios en otras familias se ha demostrado que otras especies responden de manera similar, y es por eso que AIB debe seguir siendo estudiado, planteando y definiendo la mejor concentración de AIB y las demás condiciones como temperatura, humedad, luz que tendrán las plantas (Aguilera, 2018).

## 7. MARCO METODOLÓGICO

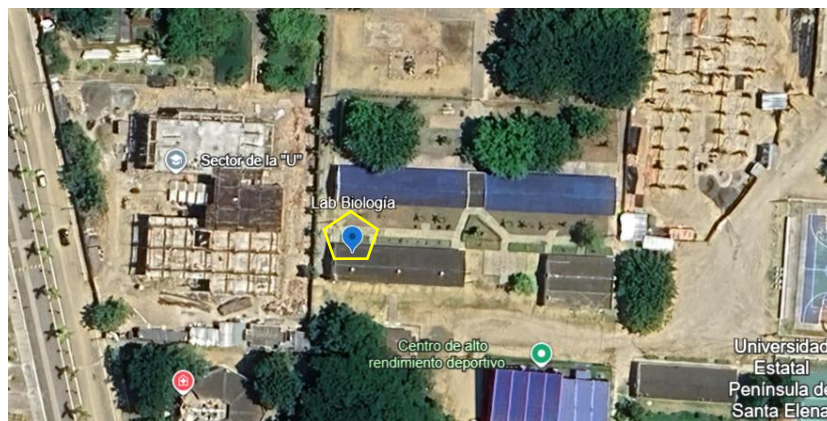
### 7.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Biológicas dentro de las instalaciones de la cede matriz La Libertad de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) con coordenadas geográficas  $2^{\circ}13'58''S$   $80^{\circ}52'43''W$ .

Dentro del laboratorio se destinó un área específica para la ejecución del experimento, garantizando condiciones controladas e idóneas para el desarrollo de la presente investigación.

#### Figura 4

*Ubicación geográfica del laboratorio de ciencias biológicas*



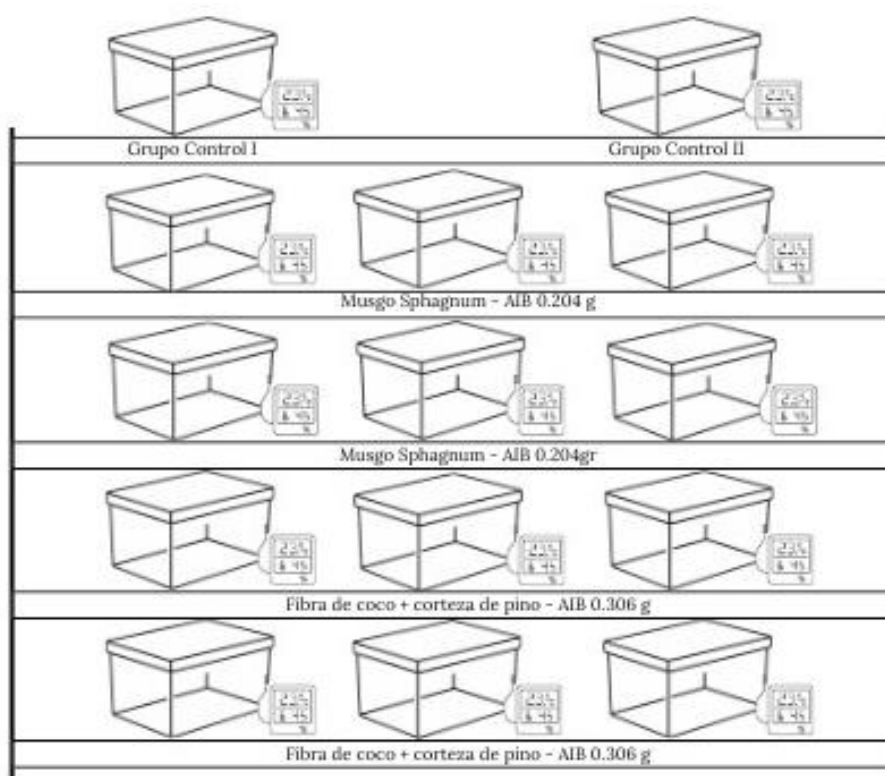
*Nota.* Imagen satelital tomada de Google Earth, 2024.

## 7.2. Acondicionamiento del área experimental

Con el objetivo de llevar a cabo la evaluación del Ácido Indolbutírico (AIB) en bromelias, se adaptó un espacio del laboratorio de ciencias biológicas de la UPSE para el desarrollo de este proyecto, para ello se instalaron 14 unidades de propagación controlada, donde 12 unidades fueron destinadas para diferentes concentraciones de AIB y 2 pertenecieron al grupo control (figura 5).

**Figura 5**

*Distribución de los tratamientos en repisas dentro de la habitación experimental.*



*Nota.* Esquema de la organización experimental en cinco niveles según tratamientos aplicados a *Tillandsia divaricata*.

Durante la elaboración de los “invernaderos” se utilizaron contenedores plásticos de 30x38.5x20 cm, transparentes a los cuales se realizaron 3 pequeñas aberturas laterales, cubiertos con film plástico, que permitió el paso de la luz natural indirecta, parámetro fundamental para el crecimiento de las bromelias. En cada unidad se incorporó el sustrato correspondiente a cada tratamiento. Para el monitoreo ambiental, se utilizó un termohigrómetro digital que permitió llevar a cabo el registro de parámetros como temperatura y humedad relativa necesarios para mantener las condiciones óptimas del cultivo.

### **7.3. Condiciones de cultivo.**

La especie *Tillandsia divaricata*, prospera en ambientes con luz indirecta, temperaturas moderadas y sitios con buena humedad. En la costa ecuatoriana, estas plantas epífitas dentro de su entorno natural se desarrollan en condiciones donde existe humedad relativa elevada, captando la humedad ambiental a través de sus tricomas (Arévalo & Aponte, 2020). Para cumplir los parámetros que estas plantas necesitan, se colocaron dentro de cámaras de propagación donde se recomienda mantener temperaturas de 15°C a 30°C, una humedad relativa del 50% al 80% y una iluminación brillante sin necesidad de exposición directa al sol (Ayasta & Juárez, 2020). El riego se llevó a cabo mediante pulverizaciones de agua purificada, estas prácticas han demostrado resultados favorables ante el cuidado de esta especie vegetal.

#### **7.4. Factor de adaptación.**

Los vástagos de bromelias al ser provenientes de la Región Interandina se encontraron bajo una fase de adaptación de 35 días, en la que las unidades vegetativas se aclimataron lentamente a las nuevas condiciones ambientales en cuanto a temperatura, humedad y luminosidad.

Hasta entonces, no se había realizado ningún tratamiento con AIB. Los retoños se colocaron directamente en las cajas de experimentación que ya se habían acondicionado con los sustratos correspondientes. Esta etapa se realizó en función de la adaptación de la planta a su nuevo ambiente y, por tanto, la eliminación de estrés por cambio de entorno. Esto se realizó para garantizar la estabilidad de la planta antes de la aplicación de AIB. Esto minimiza las probabilidades de sesgos durante la evaluación del tratamiento hormonal en la planta.

#### **7.5. Material vegetal**

##### **7.5.1. Producción de vástagos de Bromelias**

Los vástagos se obtuvieron de un invernadero de la empresa ecuatoriana Waiku, que se dedica al cultivo de bromelias epifitas nativas bajo prácticas sostenibles, siendo este parte de la Asociación de Orquideología de Quito. Se trabajó con un total de 42 vástagos pertenecientes al género *Tillandsia*, con una longitud mínima de 8 cm la selección de estos individuos se dio mediante el cumplimiento de ciertos

parámetros y criterios específicos de calidad como la ausencia de daños mecánicos visibles, buena hidratación y una base foliar completa.

### **Figura 6**

*Esqueje de la especie Tillandsia divaricata.*



*Nota.* Imágenes de Waiku, 2025.

#### **7.5.2. Codificación del material vegetal**

Con el fin de garantizar la trazabilidad y correcta identificación de cada vástago durante la experimentación, se estableció un sistema de codificación alfanumérica aplicado a cada una de las 42 plantas experimentales. Cada código se colocó en una etiqueta resistente a la humedad, fijada en el exterior de las cámaras de propagación siguiendo el orden y dirección de cada una.

La estructura del código estuvo conformada por tres secciones. Como primer carácter se tiene la identificación del sustrato, puesto que la letra inicial corresponde al tipo de sustrato en el que se estableció cada planta, la letra A se asignó para la

mezcla proporcional de fibra de coco con corteza de pino, mientras que la letra M identificó al Musgo *Sphagnum*.

Asimismo, los dígitos centrales del código corresponden al tratamiento hormonal que presenta cada una de las bromelias, sin embargo, cuando las plantas no recibieron concentraciones de AIB, se utilizó la designación de 00C, correspondiente al grupo control. Para las plantas tratadas con la fitohormona, la secuencia 02T se empleó en aquellas que recibieron 0.204g de AIB y la secuencia 03T identificó a las que recibieron 0.306 g de AIB.

Par finalizar, los últimos dos dígitos del código representan el número secuencial asignado a cada vástago dentro de su tratamiento permitiendo distinguir de forma unívoca los 42 ejemplares utilizados. Este sistema permitió un registro ordenado de las distintas variables, evitando sesgos al momento de analizar los resultados.

## **7.6. Condiciones experimentales**

### **7.6.1. Tipos de sustrato**

Para esta investigación se probaron dos tipos de sustratos orgánicos. Las propiedades específicas del musgo *Sphagnum* y la mezcla 1:1 de fibra de coco y corteza de pino resultaron adecuadas para plantas epífitas, especialmente bromelias. Tanto el musgo *Sphagnum* como la mezcla 1:1 se seleccionaron por su excelente

porosidad y capacidad para retener la humedad. Ambos tipos de sustratos se obtendrán de JM Sustrates.

#### **7.6.1.1. Musgo *Sphagnum***

El musgo *Sphagnum* es un sustrato muy utilizado por sus increíbles propiedades, las cuales le han permitido adaptarse a entornos húmedos y ácidos, entre esas propiedades está su capacidad para retener grandes cantidades de agua y ácido tánico, proporcionándole propiedades antimicrobianas, haciéndolo resistente a la descomposición

#### **7.6.1.2. Fibra de coco y corteza de pino**

Al mezclar fibra de coco y corteza de pino en una proporción de 1:1 se proporciona un buen drenaje sin compactación. Además de la corteza de pino proporciona un efecto estético y ayuda a la formación de una barrera que retiene la humedad del suelo evitando la evaporación excesiva que favorece el desarrollo de estas plantas.

#### **7.6.2. Obtención y aplicación de Ácido Indolbutírico (AIB)**

El Ácido Indolbutírico (AIB) es una hormona vegetal sintética que permite acelerar el proceso de enraizamiento, estimula raíces secundarias, terciarias y pelos absorbentes, dando como resultado un sistema radicular más numeroso y resistente.

Para llevar a cabo el experimento se utilizó AIB al 98% en su presentación en polvo. La primera concentración fue de 0.10% (0.204 g de AIB en 200 mL de solución), mientras que la segunda concentración fue de 0.15% (0.306 g de AIB en 200 mL de solución) en comparación a la metodología propuesta por (López-Medina et al., 2020). Ya preparada la solución de AIB los hijuelos fueron sumergidos en un lapso de 30 a 40 segundos, siguiendo el método de “quick-dip” para luego ser escurridos y sembrados inmediatamente en las cámaras de propagación.

Para la selección de las concentraciones de AIB, se consideró evidencia disponible. Primero, se revisaron estudios realizados en especies del género *Tillandsia* bajo condiciones *in vitro*, donde se demostró que el AIB, incluso en concentraciones micromolares, estimula de manera adecuada la formación y elongación de raíces, lo que confirmó la sensibilidad del género a esta auxina. Para determinar la dosis adecuada en aplicación *ex vitro* mediante el método de inmersión rápida, se tomó como referencia la literatura hortícola y experimental en plantas ornamentales donde se emplean soluciones entre 0.10% y 0.40% por periodos breves de 20 a 40 segundos. Estos rangos han demostrado aumentar el porcentaje de enraizamiento, el número e raíces y su longitud en especies con características fisiológicas similares. Con base a este marco, se seleccionaron dos concentraciones intermedias 0.10% (0.204 g/200mL) y 0.15% (0.306 g/200mL), buscando evaluar dos dosis, una baja y otra moderada, lo que me permitió comparar el crecimiento de raíces en *Tillandsia divaricata*, evitando riesgos de fototoxicidad asociada a concentraciones más elevadas.

Para la aplicación de AIB se tomó en cuenta lo siguiente, existen 4 tipos de tratamientos como resultado de la combinación de dos variables principales: el tipo de sustrato y la aplicación de ácido indolbutírico en concentraciones específicas, frente al grupo control sin ácido indolbutírico. Los mismo que se detallan a continuación en la tabla 1.

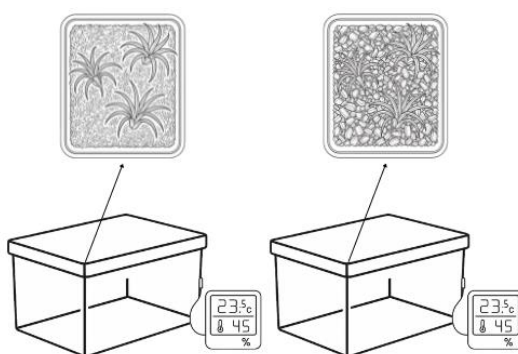
**Tabla 2:** Tipo de tratamientos aplicados en la propagación de bromelias.

<b>Tratamiento</b>	<b>Tipo de sustrato</b>	<b>de Aplicación de AIB</b>	<b>Concentración De AIB (g)</b>	<b>Replicas</b>
<b>T0</b>	Musgo <i>Sphagnum</i>	NO	0	1
<b>T0</b>	Fibra de coco y corteza de pino	NO	0	1
<b>T1</b>	Musgo <i>Sphagnum</i>	SI	0.204	3
<b>T2</b>	Fibra de coco y corteza de pino	SI	0.204	3
<b>T3</b>	Musgo <i>Sphagnum</i>	SI	0,306	3
<b>T4</b>	Fibra de coco y corteza de pino	SI	0,306	3

Se implementaron cuatro tratamientos en total, integrando dos tipos de sustratos: musgo *Sphagnum* y una mezcla de fibra de coco con corteza de pino. También se consideraron dos concentraciones de auxina (AIB) al 0.10% (0.24 g/200mL) y 0.15% (0.306 g/200mL), así como un grupo de control sin aplicación de AIB para cada sustrato. Cada tratamiento con AIB se replicó tres veces, como se muestra en

la Figura 4. En contraste, el grupo de control consistirá en una sola unidad por sustrato, lo que resulta en un total de catorce unidades experimentales.

**Figura 7:** Esquema comparativo de sustratos e individuos utilizados.



*Nota.* Diseño gráfico representativo del contenido de las cámaras de propagación junto con su respectivo termohigrómetro.

### 7.7. Preparación de Ácido Indolbutírico (AIB)

Para la preparación de las soluciones en dos concentraciones se trabajó el Ácido Indolbutírico (AIB) con una pureza del 98%. La determinación de la masa a pesar se realizó aplicando la relación general empleada en química analítica para la preparación de soluciones, la cual considera la concentración deseada, el volumen de la solución y la pureza del soluto. Esta fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$Masa (g) = \frac{C \times V}{1000 \times P}$$

donde C corresponde a la concentración deseada, V al volumen final de la solución (L), el factor 1000 convierte de miligramos a gramos y P represente la pureza del soluto en fracción decimal.

Con este procedimiento se logró determinar la cantidad a utilizar de AIB en ambas soluciones finales. Para la solución de 1000 mg/L y 1500 mg/L se realizaron los siguientes cálculos:

$$Masa (g) = \frac{1000 \times 0.200}{1000 \times 0.98} = \frac{200}{980} = 0.204 g$$

$$Masa (g) = \frac{1500 \times 0.200}{1000 \times 0.98} = \frac{300}{980} = 0.306 g$$

Para obtener la cantidad calculada de AIB, se pesó cada resultado en una balanza analítica, para ser transferida a un vaso de precipitación de 50 mL, al cual se adicionaron 15 mL de etanol con una concentración del 96% como disolvente inicial. La mezcla se agitó con una varilla de vidrio hasta asegurar la completa disolución de la fitohormona, verificando la ausencia de grumos o partículas insolubles, asegurando una solución homogénea. Posteriormente, la solución fue vertida cuidadosamente en una probeta de 250 mL, para luego aforar con agua destilada y obtener como volumen final los 200 mL de cada concentración de AIB.

## **7.8. Evaluación del Ácido Indolbutírico (AIB)**

### **7.8.1. Observación directa**

Durante el periodo experimental (60 días) se realizó una observación de las raíces de los vástagos cada 20 días, centrada en los cambios anatómicos visibles de los vástagos con y sin tratamiento. Esta evaluación incluyó el registro de las raíces emergentes, su coloración, cantidad y longitud. Para asegurar precisión en las medidas de longitud se utilizó un calibrador digital.

### **7.8.2. Tasa de éxito en el enraizamiento de vástagos**

Dado que los hijuelos ya presentaban pequeñas raíces al inicio del experimento, no se evaluó únicamente la aparición de raíces, sino el crecimiento adicional inducido por AIB. Para ello se llevó a cabo el análisis cuantitativo de cada tratamiento inducido por AIB, se utilizaron tres indicadores clave:

- **Número de raíces por vástago (NR)**

$$NR = \left( \frac{\sum N^{\circ} \text{ de raíces}}{\# \text{ de vástagos}} \right)$$

- **Longitud de la raíz más larga (LMR)**

$$LMR = \left( \frac{\sum \text{longitud de la raíz mas larga}}{N^{\circ} \text{ de vástagos}} \right)$$

- **Tasa de supervivencia**

$$\%S = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de vástagos sobrevivientes}}{N^{\circ} \text{ de vástagos iniciales}} \right) \times 100$$

Estas fórmulas se han seleccionado y adaptado para cuantificar de manera precisa y estandarizada los efectos del AIB sobre el enraizamiento de los vástagos de *Tillandsia divaricata*, bajo condiciones controladas. El cálculo de número de raíces por vástago (NR), longitud de la raíz más larga (LMR) y la tasa de supervivencia (%S), permite integrar tanto variables anatómicas como fisiológicas para evaluar de manera objetiva la eficacia del tratamiento hormonal.

### **7.8.3. Comparación del efecto de AIB en dos tipos de sustrato**

Para evaluar el impacto de a AIB en distintos tipos de sustrato, teniendo en cuenta el enraizamiento y la adhesión de los vástagos, se utilizaron los mismos indicadores cuantitativos descritos en el punto anterior. Cada uno de estos parámetros fue analizado por separado para los dos sustratos (Musgo *Sphagnum* y una mezcla proporcional de fibra de coco más corteza de pino). Este análisis no requiere de fórmulas nuevas, sino de una comparación directa de los valores obtenido en cada uno de los tratamientos, lo que permitió identificar cual de estos sustratos favorece al desarrollo y adhesión del sistema radicular de la bromelia. Para ello se realizó una prueba estadística comparativa mediante ANOVA.

## 8. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Este apartado incluye los hallazgos resultados de las cinco evaluaciones de los 7 y 20 de agosto, 9 y 29 de septiembre, y 14 de octubre de 2025, las cuales fueron realizadas de acuerdo con la metodología establecida para los experimentos con los vástagos de *Tillandsia divaricata* y el regulador de crecimiento Acido Indolbutírico (AIB).

En concordancia con el segundo objetivo específico, el análisis de los datos se centra en tres variables de respuesta:

- Número de raíces (NR)
- Longitud de la raíz más larga (LMR)
- Tasa de supervivencia (TS) de los vástagos de *Tillandsia divaricata* evaluados bajo la combinación de tres concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) (0 %, 0,10 % y 0,15 %) y dos tipos de sustrato: Mezcla de fibra de coco + corteza de pino y Musgo *Sphagnum*.

Para cada combinación sustrato–tratamiento se trabajó con:

- 3 individuos en el tratamiento control (0 % AIB)
- 9 individuos en 0,10 % AIB
- 9 individuos en 0,15 % AIB

En total se establecieron 42 vástagos de *T. divaricata*, que fueron evaluados en cinco fechas consecutivas:

- 07-08-2025
- 20-08-2025
- 09-09-2025
- 29-09-2025
- 14-10-2025

Esto implica que, a lo largo del tiempo, cada individuo aporta varias observaciones, lo que genera una estructura de datos de medidas repetidas (las observaciones dentro de un mismo individuo no son independientes entre sí).

Desde el punto de vista estadístico, esta estructura no permite tratar todas las mediciones como réplicas independientes en un ANOVA simple. Por ello, en este capítulo se adoptó un enfoque en dos niveles:

1. Para el análisis inferencial con ANOVA y pruebas post hoc, se utilizó una sola observación por individuo, correspondiente a la última fecha de evaluación (14-10-2025), evitando así la pseudorreplicación temporal.
2. De forma complementaria, se ajustaron modelos mixtos lineales utilizando todas las fechas de muestreo, incorporando al individuo (código de planta) como efecto aleatorio, con el fin de representar la estructura de medidas repetidas y fortalecer la interpretación de los resultados.

En todos los casos, el análisis se apoyó en la evaluación de supuestos (normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas), así como en la interpretación conjunta de los parámetros biológicos (NR, LMR y TS).

### 8.1. Comportamiento general del enraizamiento en el tiempo

En líneas generales, los vástagos de *T. divaricata* mostraron una respuesta radicular progresiva a lo largo del periodo experimental, con diferencias claras entre sustratos y concentraciones de AIB.

Desde la primera fecha de evaluación (07-08-2025) se observaron raíces en la mayoría de los individuos, lo que sugiere dos posibilidades:

- La existencia de raíces preformadas al momento de la instalación en los sustratos, y/o
- Una emisión rápida de raíces en respuesta a las condiciones de humedad, temperatura y disponibilidad de agua en las cámaras de propagación.

En términos ambientales, las condiciones se mantuvieron relativamente estables:

- Temperatura promedio cercana a 23–24 °C, con valores mínimos de 22,5 °C y máximos alrededor de 27,5 °C.
- Humedad relativa entre ~70 % y 79 %, con ligeras variaciones según la fecha.

Estas condiciones reflejan un ambiente controlado y favorable para el enraizamiento de una bromelia epífita como *T. divaricata*.

A partir de la evolución temporal se distinguieron dos fases:

### **8.1.1. Fase de inducción y establecimiento (07-08-2025 a 20-08-2025)**

En este periodo inicial:

- Tanto en coco + corteza de pino como en musgo *Sphagnum*, la tasa de supervivencia se mantuvo en 100 % en todos los tratamientos.
- Los valores de LMR y NR aumentaron de forma moderada, sin diferencias muy marcadas entre concentraciones de AIB.

Esto sugiere que, en las primeras semanas, la prioridad fisiológica de los vástagos fue estabilizarse y mantenerse vivos, usando tanto las reservas internas como la humedad y soporte estructural del sustrato, más que expresar diferencias fuertes en función de la hormona.

### **8.1.2. Fase de elongación y diferenciación (09-09-2025 a 14-10-2025)**

Desde la tercera fecha (09-09-2025) se hizo evidente una mayor diferenciación entre sustratos y tratamientos:

- En coco + corteza de pino, los tratamientos con AIB (0,10 % y 0,15 %) mostraron tendencias a mayor LMR y NR, pero al mismo tiempo la supervivencia disminuyó de manera progresiva, sobre todo en 0,15 %.
- En musgo *Sphagnum*, la combinación con 0,15 % AIB se destacó por mantener LMR elevadas, NR adecuados y TS alta, lo que señala una interacción positiva entre este sustrato y la dosis más alta de fitohormona.

En otras palabras, el efecto del AIB no puede interpretarse aislado, sino que está fuertemente condicionado por el tipo de sustrato y por el tiempo de exposición.

## 8.2. Evolución temporal de la longitud de la raíz más larga (LMR)

Para describir de manera más detallada la dinámica de la **LMR** y la **supervivencia** a lo largo del ensayo, las Tablas 4.1a y 4.1b sintetizan la información por fecha, sustrato y tratamiento de AIB (considerando únicamente los individuos vivos en cada fecha).

**Tabla 3.** Evolución temporal de LMR (media de individuos vivos) y TS de T. divaricata en la mezcla de fibra de coco + corteza de pino.

<i>Fecha</i>	<i>LMR 0 %</i>	<i>TS 0 %</i>	<i>LMR 0,10 %</i>	<i>TS 0,10 %</i>	<i>LMR 0,15 %</i>	<i>TS 0,15 %</i>
07-08-25	21,35	100,0	24,31	100,0	26,62	100,0
20-08-25	21,93	100,0	26,09	100,0	26,88	100,0
09-09-25	22,81	100,0	31,04	88,89	33,38	44,44
29-09-25	23,85	100,0	33,99	66,67	27,84	33,33
14-10-25	23,99	100,0	33,20	55,56	34,68	22,22

Ilustración 1

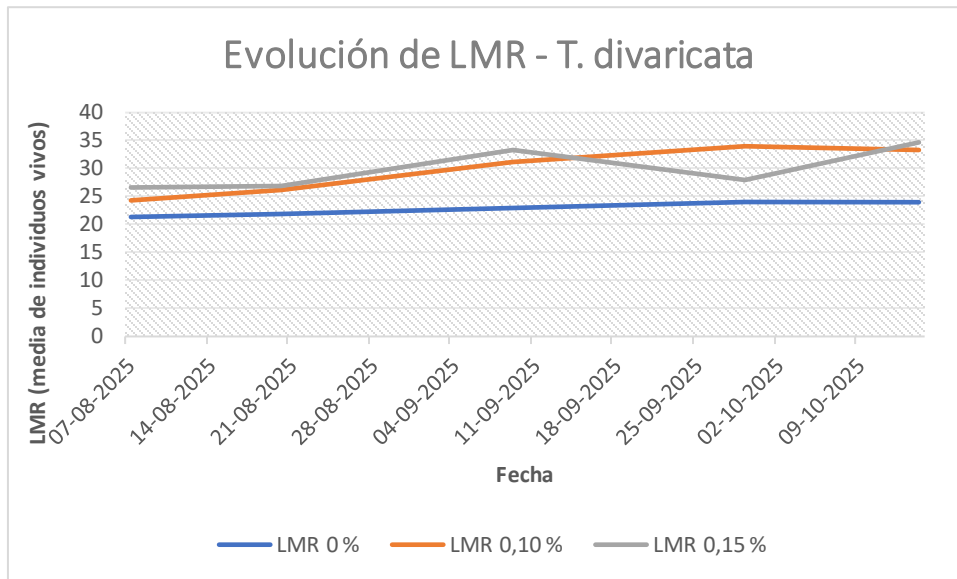
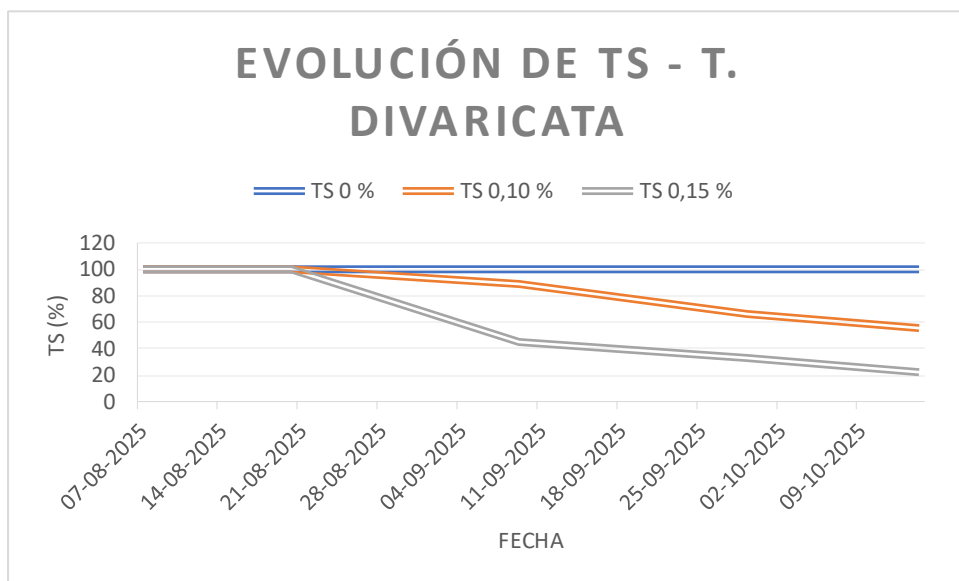


Ilustración 2



En este sustrato se observa que:

- El control (0 % AIB) mantiene LMR relativamente bajas pero muy estables (~21–24 mm) y TS = 100 % en todo el periodo.

- El tratamiento 0,10 % AIB incrementa gradualmente la LMR hasta valores cercanos a 33 mm, pero su TS desciende de 100 % a 55,56 %, reflejando un compromiso entre crecimiento y supervivencia.
- El tratamiento 0,15 % AIB alcanza las LMR más altas al final (34,68 mm), pero su TS se reduce de 100 % a 22,22 %, indicando que esta combinación (alta dosis de AIB + coco+pino) es fisiológicamente más estresante.

**Tabla 4.** Evolución temporal de LMR (media de individuos vivos) y TS de *T. divaricata* en musgo *Sphagnum*.

<i>Fecha</i>	<i>LMR 0 %</i>	<i>TS 0 %</i>	<i>LMR 0,10 %</i>	<i>TS 0,10 %</i>	<i>LMR 0,15 %</i>	<i>TS 0,15 %</i>
07-08-25	37,56	100,0	31,30	100,0	42,70	100,0
20-08-25	37,76	100,0	32,29	100,0	43,57	100,0
09-09-25	26,17	66,67	33,81	100,0	44,84	88,89
29-09-25	24,60	100,0	34,68	66,67	44,89	88,89
14-10-25	24,87	100,0	37,11	55,56	46,25	88,89

Ilustración 3

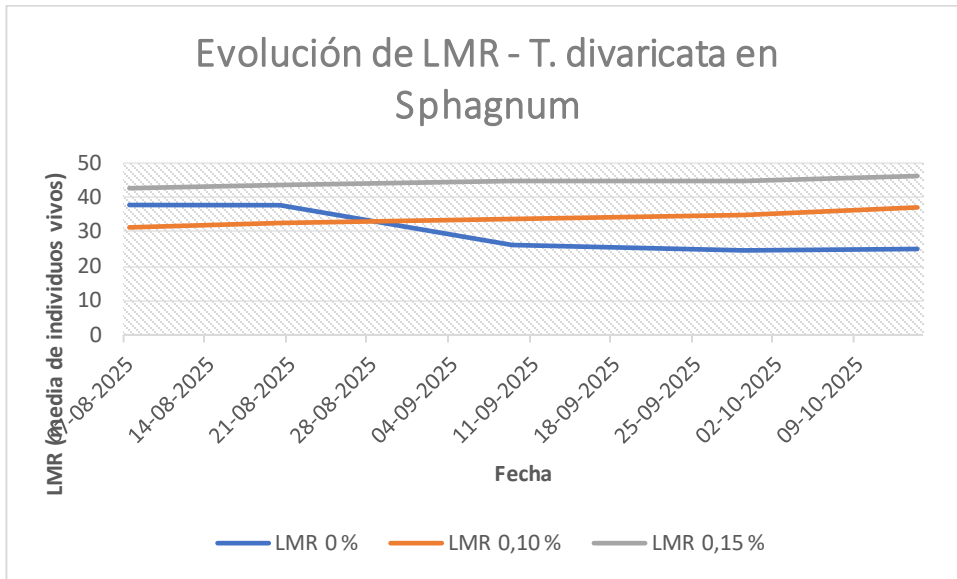
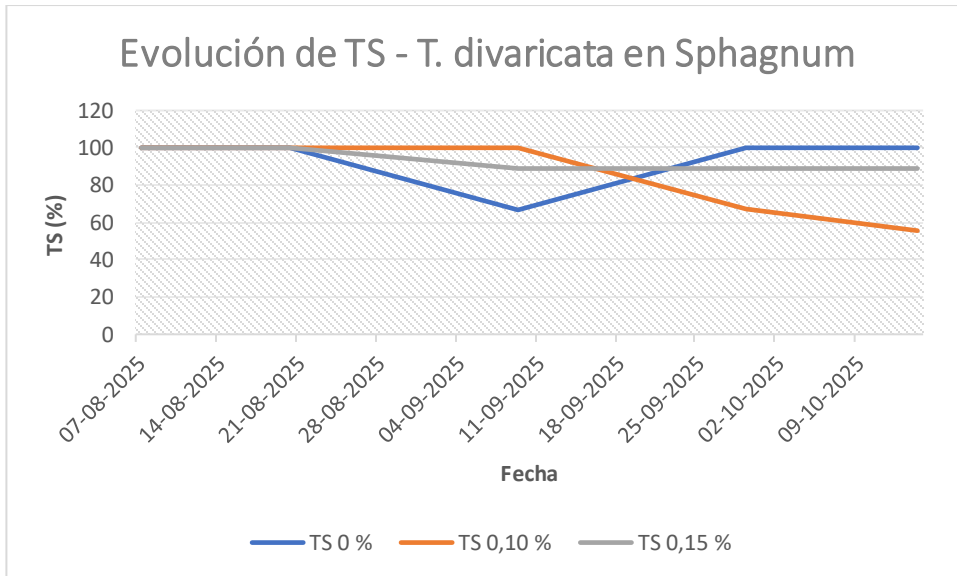


Ilustración 4



En musgo *Sphagnum* se aprecia que:

- El control (0 % AIB) muestra LMR altas al inicio (~37 mm), que luego se estabilizan alrededor de 24–25 mm, manteniendo TS = 100 % en casi todas las fechas.
- El tratamiento 0,10 % AIB mantiene una LMR intermedia pero creciente (31,30–37,11 mm), con TS que disminuye moderadamente hacia el final.
- El tratamiento 0,15 % AIB presenta LMR consistentemente más altas ( $\approx$  43–46 mm) y TS elevadas (88,89 % en las últimas fechas). Esta combinación ofrece una relación muy favorable entre crecimiento radicular y supervivencia, especialmente en las fases finales del ensayo.

En síntesis, la comparación entre las Tablas 4.1a y 4.1b muestra que el tipo de sustrato tiene un papel decisivo sobre la LMR: el musgo *Sphagnum* permite alcanzar longitudes radiculares mayores que la mezcla de coco + pino, en especial en combinación con el tratamiento 0,15 % AIB.

### **8.3. Evolución temporal del número de raíces (NR)**

Además de la longitud, el número de raíces (NR) es un indicador importante de la capacidad de anclaje y absorción. A continuación, se presenta la evolución de NR y TS por fecha, sustrato y tratamiento de AIB.

**Tabla 5.** Evolución temporal de NR (media de individuos vivos) y TS en la mezcla de fibra de coco + corteza de pino.

Fecha	NR 0 %	TS 0 %	NR 0,10 %	TS 0,10 %	NR 0,15 %	TS 0,15 %
07-08-25	6,00	100,0	5,11	100,0	6,89	<b>100,0</b>
20-08-25	6,00	100,0	5,11	100,0	6,89	<b>100,0</b>
09-09-25	6,33	100,0	5,38	88,89	11,25	<b>44,44</b>
29-09-25	6,33	100,0	5,17	66,67	9,67	<b>33,33</b>
14-10-25	6,33	100,0	4,80	55,56	13,50	<b>22,22</b>

Ilustración 5

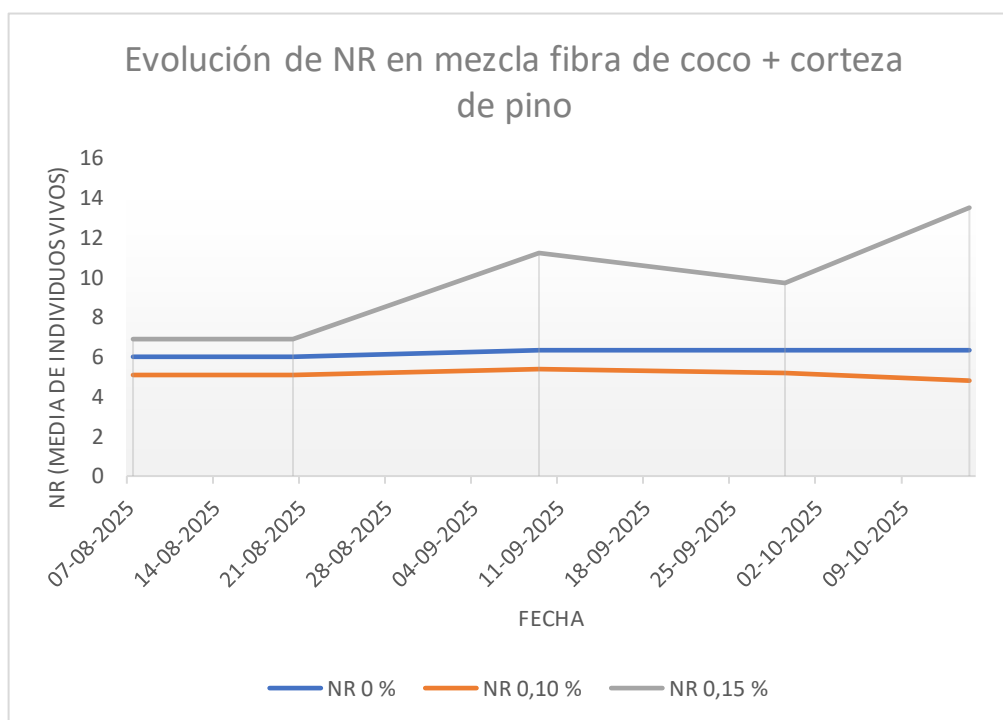
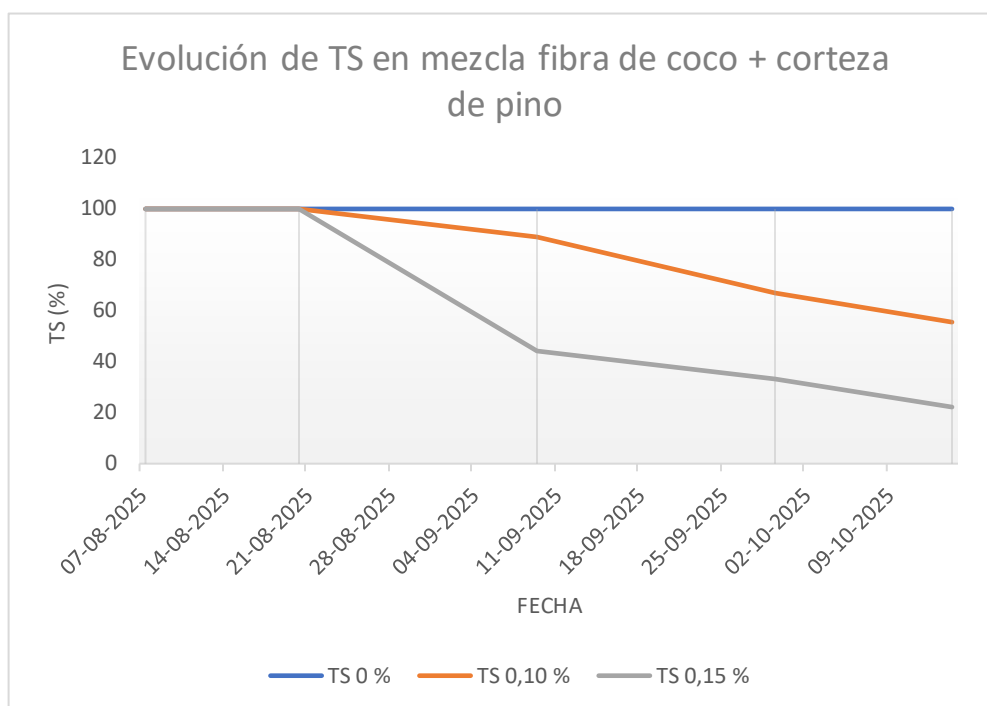


Ilustración 6



En este sustrato se destaca que:

- El control (0 % AIB) mantiene NR muy estable ( $\approx$  6 raíces) con TS = 100 % en todas las fechas.
- El tratamiento 0,10 % AIB no incrementa de forma importante el NR (se mantiene alrededor de 5 raíces), mientras la TS disminuye gradualmente.
- El tratamiento 0,15 % AIB alcanza los NR medios más altos (hasta 13,50 raíces al final), pero lo hace a costa de una drástica reducción en TS, lo que evidencia un fuerte compromiso crecimiento–mortalidad.

**Tabla 6.** Evolución temporal de NR (media de individuos vivos) y TS en musgo Sphagnum.

Fecha	NR 0 %	TS 0 %	NR 0,10 %	TS 0,10 %	NR 0,15 %	TS 0,15 %
07-08-25	6,67	100,0	6,22	100,0	7,33	100,0
20-08-25	6,67	100,0	6,22	100,0	7,33	100,0
09-09-25	7,00	66,67	6,67	100,0	7,25	88,89
29-09-25	6,67	100,0	6,33	66,67	7,25	88,89
14-10-25	6,67	100,0	6,00	55,56	7,25	88,89

Ilustración 7

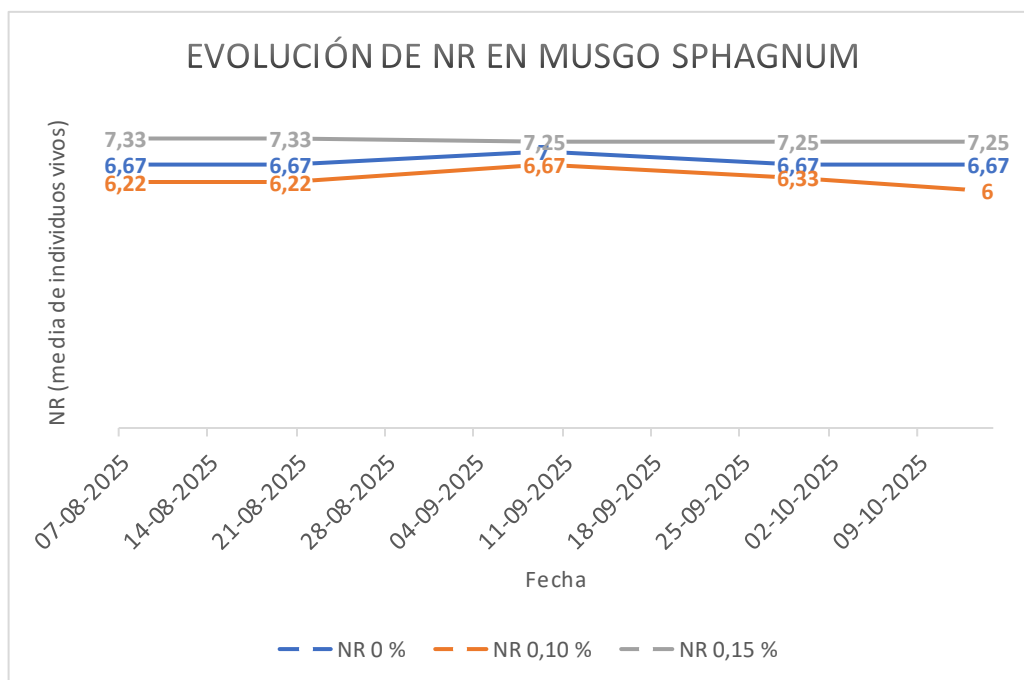
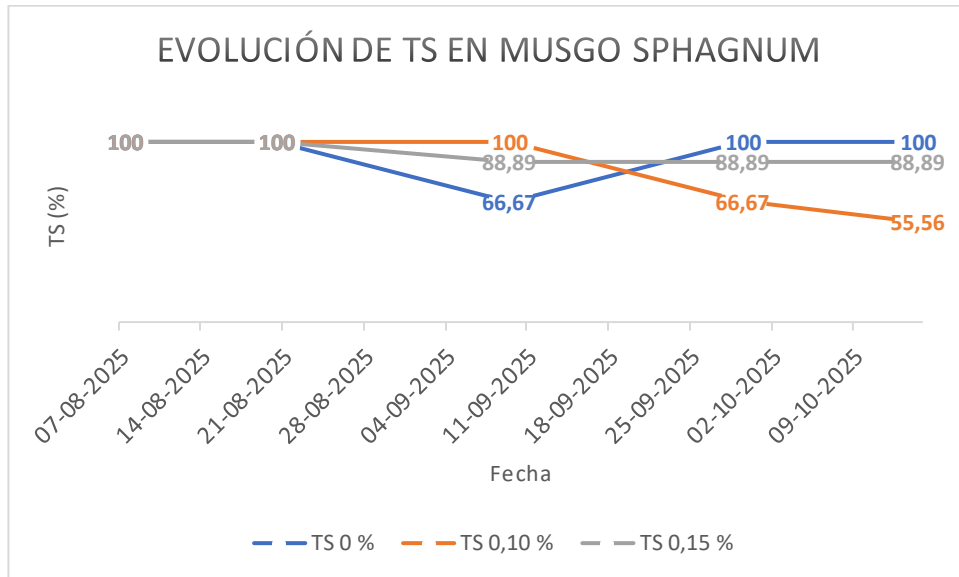


Ilustración 8.



En musgo *Sphagnum* se observa que:

- Todos los tratamientos mantienen NR en un rango relativamente estrecho ( $\approx 6-7$  raíces), con TS alta, especialmente en 0 % y 0,15 % AIB.
- El tratamiento 0,15 % AIB no incrementa de manera extrema el NR (como sí ocurre en coco+pino), pero lo mantiene ligeramente por encima del control, sin comprometer en exceso la supervivencia.

En conjunto, el análisis temporal de NR confirma que:

- En coco + corteza de pino, las altas dosis de AIB pueden estimular la formación de muchas raíces, pero con un costo muy elevado en términos de TS.
- En musgo *Sphagnum*, el efecto de AIB sobre NR es más moderado, pero se combina con una supervivencia considerablemente mejor, particularmente en la dosis de 0,15 %.

#### 8.4. Resumen descriptivo en la fecha final de evaluación

Para el análisis inferencial, y a fin de evitar pseudorreplicación, se seleccionó la última fecha de evaluación (14-10-2025). La Tabla 4.4 resume LMR, NR y TS por sustrato y tratamiento de AIB, considerando solo los individuos vivos para el cálculo de las medias.

**Tabla 7.** Longitud de la raíz más larga (LMR), número de raíces (NR) y tasa de supervivencia (TS) de *T. divaricata* por tratamiento de AIB y sustrato en la fecha final de evaluación (14-10-2025).

Sustrato	Tratamiento (AIB)	N total	N vivos	TS (%)	LMR media $\pm$ DE (mm)	NR media $\pm$ DE
<b>Coco + corteza de pino</b>	0 %	3	3	100,0	23,99 $\pm$ 10,56	6,33 $\pm$ 2,52
<b>Coco + corteza de pino</b>	0,10 %	9	5	55,6	33,20 $\pm$ 12,11	4,80 $\pm$ 3,56
<b>Coco + corteza de pino</b>	0,15 %	9	2	22,2	34,68 $\pm$ 35,85	13,50 $\pm$ 14,85
<b>Musgo Sphagnum</b>	0 %	3	3	100,0	24,87 $\pm$ 5,76	6,67 $\pm$ 0,58
<b>Musgo Sphagnum</b>	0,10 %	9	5	55,6	37,11 $\pm$ 23,00	6,00 $\pm$ 1,87
<b>Musgo Sphagnum</b>	0,15 %	9	8	88,9	46,25 $\pm$ 20,81	7,25 $\pm$ 2,49

Esta tabla sintetiza los principales patrones:

- El control mantiene siempre  $TS = 100 \%$ , pero con valores medios de LMR y NR moderados.
- En coco + corteza de pino, el tratamiento 0,15 % AIB genera el mayor NR medio (13,50), pero con muy baja supervivencia, lo cual limita su utilidad si se desea conservar la mayor cantidad posible de individuos.
- En musgo *Sphagnum*, la combinación 0,15 % AIB + musgo ofrece simultáneamente:
  - LMR más alta,
  - NR ligeramente superior al control,
  - y una TS elevada (88,9 %).

Esta combinación se perfila como la más adecuada cuando el objetivo es lograr un sistema radicular robusto y, al mismo tiempo, mantener una alta proporción de individuos vivos.

## **8.5. Análisis inferencial: ANOVA, pruebas post hoc y supuestos**

### **8.5.1. Longitud de la raíz más larga (LMR)**

Se realizó un ANOVA de una vía por sustrato para evaluar el efecto de la concentración de AIB sobre la LMR en la fecha 14-10-2025.

- En coco + corteza de pino:

- $F_{2,7} = 0,33$ ;  $p = 0,73$  → no se detectaron diferencias significativas entre concentraciones de AIB.
- En musgo *Sphagnum*:
  - $F_{2,13} = 1,29$ ;  $p = 0,31$  → tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

La prueba Tukey HSD (post hoc) arrojó que:

- En coco + pino, las comparaciones 0 % vs 0,10 %, 0 % vs 0,15 % y 0,10 % vs 0,15 % presentaron p-ajustada  $> 0,75$ , sin diferencias significativas.
- En musgo *Sphagnum*, las comparaciones entre 0 %, 0,10 % y 0,15 % también fueron no significativas, con p-ajustada  $> 0,28$ , a pesar de las diferencias visibles en los promedios.

Respecto a los supuestos del modelo:

- **Normalidad:**
  - Los residuos del ANOVA para LMR en coco + pino presentaron  $p \approx 0,98$  (Shapiro-Wilk), y en *Sphagnum*  $p \approx 0,46$ , lo que indica que la normalidad no fue rechazada.
- **Homogeneidad de varianzas:**
  - En coco + pino, la prueba de Levene resultó significativa ( $p \approx 0,039$ ), evidenciando heterogeneidad de varianzas, asociada principalmente al tratamiento 0,15 %.

- En musgo *Sphagnum*, Levene no fue significativa ( $p \approx 0,26$ ), por lo que la homogeneidad puede asumirse razonablemente.

En consecuencia, aunque las medias sugieren que el tratamiento 0,15 % AIB en musgo *Sphagnum* tiende a producir LMR mayores, el ANOVA y las pruebas post hoc no respaldan diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) con el tamaño de muestra disponible.

### 8.5.2. Número de raíces (NR)

Se aplicó también un ANOVA de una vía por sustrato para NR:

- En coco + corteza de pino:
  - $F_{2,7} = 1,36$ ;  $p = 0,32 \rightarrow$  no se encontraron diferencias significativas en el número de raíces entre tratamientos.
- En musgo *Sphagnum*:
  - $F_{2,13} = 0,54$ ;  $p = 0,60 \rightarrow$  tampoco se detectaron diferencias significativas.

La prueba Tukey HSD mostró p-ajustada  $> 0,29$  en todas las comparaciones, confirmando la ausencia de diferencias significativas en NR entre concentraciones de AIB en cada sustrato.

En cuanto a los **supuestos**:

- **Normalidad:**

Para NR, los residuos presentaron Shapiro-Wilk  $p \approx 0,93$  en coco + pino y  $p \approx 0,17$  en *Sphagnum*, sin evidencia de desviaciones fuertes a la normalidad.

- **Homogeneidad de varianzas:**

En coco + pino, Levene fue altamente significativa ( $p \approx 0,0018$ ), lo que indica varianzas muy diferentes entre tratamientos, nuevamente asociadas al comportamiento extremo de 0,15 %.

En *Sphagnum*, Levene no fue significativa ( $p \approx 0,45$ ), sugiriendo varianzas homogéneas.

Por tanto, desde la perspectiva estadística, las diferencias en NR observadas entre tratamientos deben interpretarse como tendencias biológicas, y no como diferencias estadísticamente demostradas.

### **8.6. Tasa de supervivencia (TS) y compromiso crecimiento–mortalidad**

La TS es un componente crucial para la propagación de especies con interés de conservación. En este estudio, la TS mostró patrones muy contrastantes entre sustratos y tratamientos:

- En coco + corteza de pino, la TS disminuyó de manera muy marcada al aumentar la concentración de AIB, especialmente en 0,15 %, donde al final del experimento solo sobrevivió el 22,22 % de los individuos.
- En musgo *Sphagnum*, la TS se mantuvo alta, particularmente en el tratamiento 0,15 % AIB, con 88,89 % de supervivencia al final, combinado con los mayores valores de LMR.

Estos resultados permiten establecer claramente el compromiso (trade-off) entre crecimiento radicular y supervivencia:

- En coco + pino, el tratamiento 0,15 % AIB favorece el incremento del número de raíces, pero con un costo tan alto en supervivencia que su utilidad práctica se ve seriamente limitada.
- En musgo *Sphagnum*, la misma dosis de AIB permite mantener una alta supervivencia y, al mismo tiempo, mejorar LMR y NR de manera equilibrada, por lo que se presenta como una alternativa viable para la propagación.

En consecuencia, la recomendación de un tratamiento u otro no es absoluta, sino que depende directamente del objetivo de manejo que se persiga:

- Si se priorizan la longitud de raíz y la supervivencia (LMR/TS), la opción más adecuada es 0,15 % AIB en musgo *Sphagnum*.
- Si se quisiera maximizar únicamente el número de raíces (NR), podrían explorarse dosis altas de AIB en sustratos más exigentes, asumiendo una alta mortalidad, lo cual no es recomendable en programas de conservación.

### **8.7. Modelos mixtos y estructura de medidas repetidas**

Se reconoció que los datos tienen una estructura de medidas repetidas, ya que cada individuo fue evaluado en cinco fechas sucesivas. Tratar todas las observaciones como independientes llevaría a una sobreestimación artificial del tamaño de muestra y a un mayor riesgo de errores tipo I.

Para abordar esta situación se ajustaron modelos mixtos lineales para LMR y NR, con las siguientes características:

- Variables respuesta: LMR y NR.
- Efectos fijos:
  - tipo de sustrato,
  - concentración de AIB,
  - fecha de evaluación.
- **Efecto aleatorio:**
  - código de planta (individuo), que modela la variación intrínseca entre vástagos y la dependencia de las mediciones repetidas.

Los resultados principales de los modelos mixtos fueron:

- Para LMR, el tipo de sustrato mostró un efecto significativo ( $p \approx 0,027$ ), con valores mayores en musgo *Sphagnum* respecto a la mezcla de coco + pino. Esto refuerza lo observado en la descripción temporal y en los resúmenes descriptivos.
- Las concentraciones de AIB no resultaron significativas como efecto fijo ( $p > 0,20$  para LMR;  $p > 0,37$  para NR), indicando que, bajo las condiciones y tamaño muestral de este experimento, el efecto de la hormona se expresa más como una tendencia que como una diferencia estadística robusta.

- La fecha de evaluación resultó significativa en algunos casos, reflejando la dinámica temporal del enraizamiento (fase de establecimiento seguida de elongación), sin modificar el patrón general respecto al efecto del AIB.

Estos modelos confirman que:

1. El sustrato es el factor más consistente en el desarrollo radicular (LMR), favoreciendo al musgo *Sphagnum*.
2. El efecto del AIB existe a nivel de tendencia, pero no alcanza significancia estadística fuerte con el número de réplicas actuales.
3. Las conclusiones estadísticas deben considerarse provisionales, recomendándose que futuros estudios repliquen el diseño con mayor número de individuos por tratamiento y profundicen el uso de modelos mixtos para analizar datos con medidas repetidas.

#### **4.8. Síntesis e implicaciones para la propagación de *Tillandsia divaricata***

En conjunto, el análisis de los resultados permite plantear las siguientes conclusiones clave en relación con el objetivo específico de cuantificar NR, LMR y TS por tratamiento:

1. El musgo *Sphagnum* se comporta como un sustrato más favorable que la mezcla de fibra de coco + corteza de pino, al promover longitudes de raíz más altas y mantener tasas de supervivencia elevadas, especialmente en combinación con el tratamiento 0,15 % AIB.

2. En la mezcla de coco + corteza de pino, las dosis altas de AIB (0,15 %) incrementan de forma importante el número de raíces en los individuos sobrevivientes, pero generan una mortalidad muy elevada, lo que resulta inadecuado si el objetivo es conservar la mayor cantidad posible de material vegetativo.
3. La recomendación final depende explícitamente del objetivo de manejo.
  - Si se prioriza la calidad del sistema radicular y la supervivencia (LMR/TS), la combinación 0,15 % AIB + musgo *Sphagnum* es la más adecuada.
  - Si se valorara únicamente el aumento de NR, podrían considerarse dosis altas de AIB en sustratos más limitantes, pero aceptando un riesgo elevado de mortalidad, lo cual no es deseable en programas de conservación.
4. Desde una perspectiva de conservación y restauración, los resultados apoyan el uso de sustratos con buena retención de humedad y aireación (como el musgo *Sphagnum*), junto con el uso de fitohormonas en dosis moderadas–altas (0,15 % AIB), siempre en el marco de ensayos controlados y con evaluación explícita de supervivencia.
5. Finalmente, el reconocimiento de la estructura de medidas repetidas y la incorporación de modelos mixtos en el análisis responden y representan una mejora metodológica importante respecto a un enfoque basado únicamente en ANOVA de una vía con n mal definida. A pesar de las limitaciones de

tamaño de muestra, los patrones observados son coherentes y proporcionan una base sólida para el diseño de futuros estudios de propagación de *Tillandsia divaricata* con fines de conservación.

## 9. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de distintas concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento de vástagos de *Tillandsia divaricata* establecidos en dos tipos de sustrato (mezcla de fibra de coco + corteza de pino y musgo *Sphagnum*), cuantificando el número de raíces (NR), la longitud de la raíz más larga (LMR) y la tasa de supervivencia (TS) por tratamiento. Los resultados obtenidos permiten discutir el papel del sustrato, de la fitohormona y del diseño experimental en la propagación de esta especie epífita, así como sus implicaciones para la conservación.

### 9.1. Respuesta general de *Tillandsia divaricata* al AIB y a los sustratos

En términos generales, *T. divaricata* mostró una elevada capacidad de enraizamiento bajo condiciones controladas, incluso en ausencia de AIB, lo que concuerda con el comportamiento descrito para numerosas bromelias epífitas, cuyas raíces cumplen funciones principalmente de fijación y, en menor medida, de absorción (Hurtado et al., 2017; Estrella et al., 2019). La rápida aparición de raíces desde las primeras evaluaciones sugiere la presencia de estructuras radiculares preformadas o una alta plasticidad fisiológica frente a condiciones favorables de humedad y temperatura.

Este patrón también ha sido reportado en otras especies del género *Tillandsia*, tanto en estudios *ex situ* como *in vitro*, donde el establecimiento inicial ocurre con rapidez cuando se mantienen condiciones ambientales estables (Álvarez, 2017; Hernández et al., 2024). En este sentido, los resultados confirman que *T. divaricata* posee un potencial intrínseco para la propagación vegetativa, lo cual resulta relevante para programas de conservación.

A lo largo del experimento se identificaron dos fases diferenciadas: una fase inicial de establecimiento, caracterizada por altas tasas de supervivencia en todos los tratamientos, y una fase posterior de elongación y diferenciación radicular, en la cual comenzaron a manifestarse diferencias claras entre sustratos y concentraciones de AIB. Durante esta segunda etapa, el musgo *Sphagnum* se comportó como un medio más favorable que la mezcla de fibra de coco + corteza de pino, tanto en términos de LMR como de TS final.

La además de las propiedades físicas e hídricas del sustrato, la respuesta al AIB estuvo modulada por el medio. En el musgo *Sphagnum*, la concentración de 0,15 % de AIB se asoció a los mayores valores de LMR y a una TS elevada ( $\approx 88,9\%$ ), mientras que en la mezcla de coco + corteza de pino, la misma dosis de AIB incrementó de forma importante el NR, pero con una mortalidad muy alta (TS  $\approx 22,2\%$ ). Esto pone de manifiesto que el efecto del regulador de crecimiento no es independiente del sustrato, sino que surge de la interacción entre ambos factores.

## **9.2. Importancia del sustrato en el enraizamiento**

El efecto del sustrato resultó ser el factor más consistente sobre la respuesta radicular, particularmente sobre la longitud de las raíces. El musgo *Sphagnum* promovió valores más elevados de LMR y mantuvo tasas de supervivencia superiores o comparables al control, mientras que la mezcla de coco + corteza de pino presentó una mayor variabilidad y una marcada disminución de la TS cuando se aplicaron dosis altas de AIB.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gómez et al. (2018) y González et al. (2025), quienes señalan que los sustratos con alta retención de humedad y adecuada aireación favorecen el desarrollo radicular en bromelias epífitas, al proporcionar un microambiente estable para las raíces jóvenes. Asimismo, estudios en otras especies vegetales han demostrado que sustratos físicamente inadecuados pueden amplificar el estrés fisiológico inducido por auxinas sintéticas, afectando negativamente la supervivencia (Bautista et al., 2022; Huaman, 2023).

Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos refuerzan la idea de que la selección del sustrato es un componente crítico en la propagación vegetativa, incluso por encima de la dosis hormonal utilizada. Un sustrato subóptimo puede limitar los beneficios potenciales del AIB y comprometer la eficiencia del proceso de enraizamiento.

### 9.3. Efecto del AIB: tendencias biológicas y límites estadísticos

El análisis estadístico formal (ANOVA por sustrato, seguido de Tukey HSD) no detectó diferencias significativas en LMR ni en NR entre las concentraciones de AIB (0 %, 0,10 % y 0,15 %), ni en el sustrato coco + corteza de pino ni en el musgo *Sphagnum*. Esta ausencia de significancia estadística se debe, en parte, al tamaño muestral limitado por tratamiento y a la alta variabilidad intragrupo, especialmente en el tratamiento 0,15 % AIB sobre coco + pino, donde algunos individuos presentan valores muy elevados de NR y LMR, pero la mayoría no sobrevive.

No obstante, aun sin alcanzar el umbral de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), los datos muestran tendencias biológicas claras:

En la mezcla de coco + corteza de pino, la concentración de 0,15 % AIB generó los NR medios más altos en los individuos vivos al final del experimento.

En musgo *Sphagnum*, la misma concentración produjo las LMR más elevadas, un NR ligeramente superior al control y una TS alta.

Desde una perspectiva ecológica y práctica, estas tendencias son relevantes, ya que señalan que el AIB a 0,15 % puede potenciar el enraizamiento siempre que el sustrato proporcione un entorno favorable. Sin embargo, por las limitaciones del experimento (n reducido, heterogeneidad de varianzas, estructura de medidas repetidas), estas diferencias deben interpretarse con cautela y no presentarse como efectos concluyentes en términos estadísticos.

#### **9.4. Compromiso entre crecimiento radicular (LMR/NR) y supervivencia (TS)**

Uno de los hallazgos más importantes del estudio es la existencia de un compromiso claro (trade-off) entre el crecimiento radicular y la supervivencia de los vástagos, especialmente en el sustrato coco + corteza de pino. En este medio, el tratamiento 0,15 % AIB incrementó notablemente el NR y, en menor medida, la LMR, pero a costa de una drástica reducción de la TS, lo que sugiere un exceso de estimulación hormonal y/o estrés combinado por las propiedades físicas del sustrato.

En contraste, en el musgo *Sphagnum*, la concentración de 0,15 % AIB mantuvo una supervivencia alta ( $\approx 88,9\%$ ) y al mismo tiempo favoreció LMR y NR ligeramente superiores al control. Este resultado indica que la misma dosis de AIB puede ser beneficiosa o perjudicial según el sustrato en el que se aplique, y que el diseño de protocolos de propagación debe considerar siempre el equilibrio entre cantidad de raíces formadas y porcentaje de individuos que sobreviven.

Si se prioriza la calidad del sistema radicular y la supervivencia (LMR/TS), la combinación más adecuada es 0,15 % de AIB en musgo *Sphagnum*.

Si el objetivo fuera exclusivamente aumentar el número de raíces (NR), se podría considerar el uso de dosis altas de AIB en sustratos más exigentes; sin embargo, la

pérdida de individuos (baja TS) vuelve poco realista esta estrategia en un contexto de conservación.

### **9.5. Consideraciones metodológicas y reanálisis estadístico**

Los datos presentan pseudorreplicación temporal, ya que cada individuo fue medido en cinco fechas, lo que genera observaciones no independientes. En una primera aproximación, esto podría llevar a inflar artificialmente el tamaño de muestra (n) si se tomaran todas las observaciones como réplicas independientes.

Para atender esta crítica se adoptaron dos decisiones metodológicas:

Uso de una sola observación por individuo en el ANOVA (fecha final), lo que evita tratar como independientes mediciones que en realidad pertenecen al mismo vástago.

Ajuste de modelos mixtos lineales, incorporando al individuo como efecto aleatorio y considerando como efectos fijos el sustrato, la concentración de AIB y la fecha de evaluación.

Los modelos mixtos permitieron:

Reconocer la variabilidad individual y la dependencia entre mediciones repetidas.

Confirmar el papel significativo del sustrato sobre la LMR.

Verificar que el efecto del AIB se manifiesta más como tendencia que como efecto estadísticamente robusto, dado el tamaño muestral.

Este análisis fortalece la validez de las conclusiones, al tiempo que deja explícito que las inferencias estadísticas sobre las concentraciones de AIB deben ser tomadas como provisionales.

#### **9.6. Implicaciones para la conservación y la propagación de *Tillandsia divaricata***

Desde una perspectiva aplicada, los resultados de este estudio sugieren que la propagación de *T. divaricata* con fines de conservación o restauración debería:

Priorizar sustratos de alta retención de humedad y buena aireación, como el musgo *Sphagnum* u otros medios con propiedades físicas similares.

Utilizar AIB en concentraciones moderadas–altas (como 0,15 %), pero siempre evaluando de forma simultánea LMR, NR y TS, para evitar protocolos que generen muchas raíces a costa de una mortalidad excesiva.

Considerar que, aun cuando las diferencias no sean estadísticamente significativas, las tendencias repetidas en favor de ciertas combinaciones (0,15 % AIB + *Sphagnum*) pueden ser muy útiles para diseñar estrategias prácticas de propagación.

Asimismo, el trabajo pone de manifiesto la importancia de acompañar los ensayos de propagación con un análisis estadístico adecuado a la estructura de los datos (medidas repetidas, variabilidad entre individuos), aspecto que es especialmente relevante cuando los resultados serán utilizados para justificar decisiones de manejo en programas de conservación.

## 9.7. Proyección a futuros estudios

Los hallazgos y las limitaciones del presente estudio sugieren varias líneas de trabajo futuro:

Aumentar el número de réplicas por tratamiento y sustrato, con el fin de mejorar la potencia estadística y reducir la influencia de la variabilidad individual.

Explorar nuevas combinaciones de sustratos y dosis intermedias de AIB (por ejemplo, 0,05 % o 0,20 %), que podrían ofrecer un balance diferente entre crecimiento radicular y supervivencia.

Evaluar otros parámetros fisiológicos (estado hídrico, contenido de clorofila, producción de hijuelos) que complementen la información sobre NR, LMR y TS.

Aplicar de manera sistemática modelos mixtos y otros enfoques adecuados para medidas repetidas, de modo que la interpretación estadística sea coherente con el diseño experimental desde el inicio.

En conjunto, la discusión de los resultados muestra que, aunque el efecto del AIB no pudo demostrarse como estadísticamente significativo en todos los casos, las tendencias observadas, la importancia del sustrato y el compromiso entre crecimiento y supervivencia aportan elementos valiosos para la propagación de *Tillandsia divaricata* y su manejo en contextos de conservación y restauración ecológica.

## 10. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de cuantificar el número de raíces (NR), la longitud de la raíz más larga (LMR) y la tasa de supervivencia (TS) de *Tillandsia divaricata* en cada tratamiento de AIB y tipo de sustrato. A lo largo de cinco fechas de evaluación se obtuvo información detallada sobre la dinámica del enraizamiento en vástagos establecidos en mezcla de fibra de coco + corteza de pino y en musgo *Sphagnum*, bajo tres concentraciones de AIB (0 %, 0,10 % y 0,15 %).

El tipo de sustrato mostró un efecto más consistente sobre el desarrollo radicular que la concentración de AIB.

En general, el musgo *Sphagnum* se asoció con mayores valores de LMR y con tasas de supervivencia elevadas, mientras que la mezcla de fibra de coco + corteza de pino presentó una respuesta más variable y una reducción importante de TS cuando se aplicaron las concentraciones más altas de AIB. Los modelos mixtos lineales confirmaron que el sustrato explica una parte significativa de la variación en LMR.

Desde el punto de vista estadístico, no se detectaron diferencias significativas entre las concentraciones de AIB para LMR ni para NR dentro de cada sustrato.

Los ANOVA de una vía realizados por sustrato en la fecha final, complementados con pruebas post hoc de Tukey HSD, no mostraron diferencias significativas ( $\alpha =$

0,05) entre 0 %, 0,10 % y 0,15 % de AIB. La ausencia de significancia estadística se relaciona con el tamaño muestral limitado y con la variabilidad intragrupo observada, especialmente en los tratamientos con 0,15 % de AIB.

Aun sin significancia estadística, se identificaron tendencias biológicas claras en la respuesta al AIB.

En la mezcla de coco + corteza de pino, la concentración de 0,15 % de AIB se asoció con los valores más altos de NR en los individuos vivos, acompañados de una fuerte disminución de la TS. En el musgo *Sphagnum*, la misma concentración se relacionó con las LMR más elevadas, un NR ligeramente superior al control y una TS alta. Estas tendencias indican que la influencia del AIB depende fuertemente del sustrato y de la interacción entre crecimiento radicular y supervivencia.

Los resultados evidencian un compromiso entre crecimiento radicular (LMR y NR) y supervivencia (TS), especialmente en la mezcla de coco + corteza de pino. En este sustrato, los tratamientos con mayores concentraciones de AIB incrementaron el número de raíces y, en algunos casos, la longitud de estas, pero acompañados de una disminución marcada de la supervivencia. En contraste, en musgo *Sphagnum* la combinación de crecimiento radicular y TS fue más equilibrada, lo que muestra que la respuesta de *T. divaricata* a la fitohormona no puede interpretarse sin considerar el medio físico en el que se desarrollan las raíces.

El análisis mediante modelos mixtos permitió abordar adecuadamente la estructura de medidas repetidas y la pseudorreplicación señalada en las observaciones metodológicas.

El uso de una sola observación por individuo en el ANOVA (fecha final) y la incorporación del individuo como efecto aleatorio en los modelos mixtos lineales evitaron inflar artificialmente el tamaño muestral y mostraron que la variabilidad entre individuos y el factor sustrato tienen un peso importante en la respuesta observada. En este contexto, las conclusiones estadísticas sobre las concentraciones de AIB deben considerarse condicionadas por el diseño y el número de réplicas disponibles.

En conjunto, el estudio aporta una caracterización cuantitativa del enraizamiento de *Tillandsia divaricata* bajo diferentes combinaciones de sustrato y AIB, y establece una base experimental y metodológica para futuros trabajos.

Los patrones identificados en NR, LMR y TS, así como la aplicación de modelos acordes con la estructura de los datos, constituyen un punto de partida útil para seguir profundizando en la propagación vegetativa de esta especie y en la comprensión de su respuesta a reguladores de crecimiento en condiciones controladas.

## 11. RECOMENDACIONES

Para el manejo y propagación de *Tillandsia divaricata* en condiciones controladas

Se recomienda priorizar el uso de sustratos con buena retención de humedad y aireación, similares al musgo *Sphagnum*, para la propagación de vástagos de *Tillandsia divaricata*, ya que estos medios favorecen el desarrollo radicular y contribuyen a mantener altas tasas de supervivencia.

El uso de AIB en concentraciones del rango moderado–alto, cercanas al 0,15 %, debe realizarse preferentemente en sustratos físicamente adecuados. En medios más exigentes, como la mezcla de fibra de coco + corteza de pino, la aplicación de concentraciones altas de AIB requiere precaución debido al incremento de la mortalidad observado en los vástagos.

Es conveniente mantener un control estricto de las condiciones ambientales en las cámaras de propagación, especialmente temperatura, humedad relativa y ventilación, de manera similar a las condiciones manejadas en este estudio, con el propósito de reducir el estrés hídrico y favorecer la emisión y elongación de raíces.

Resulta útil registrar de forma sistemática las variables número de raíces, longitud de la raíz más larga y tasa de supervivencia durante las fases de establecimiento y elongación, de modo que los protocolos de propagación puedan ajustarse de manera

continúa y se identifique con claridad el momento en que los vástagos están en condiciones de ser trasladados a otras etapas de manejo.

Al tomar decisiones sobre el manejo de los vástagos, es importante no basarse en una sola variable, sino considerar simultáneamente el número de raíces, la longitud de la raíz más larga y la supervivencia, buscando un equilibrio entre la calidad del sistema radicular y la conservación del material vegetal disponible.

Para futuros estudios e investigación

Se sugiere incrementar el número de réplicas por tratamiento y sustrato, con el fin de mejorar la potencia estadística de los análisis y disminuir la influencia de la variabilidad individual, en especial en los tratamientos que involucran concentraciones altas de AIB.

Es pertinente explorar nuevas combinaciones de sustratos y dosis intermedias de AIB, incluidas concentraciones entre 0,05 % y 0,20 %, que permitan identificar rangos óptimos de hormona en distintos medios de enraizamiento y reducir la mortalidad asociada a dosis elevadas.

Para futuros trabajos, se recomienda aplicar desde la planificación experimental modelos estadísticos adecuados para datos de medidas repetidas, como modelos

mixtos lineales, de forma que la estructura de pseudorreplicación temporal quede incorporada explícitamente en el análisis.

Resulta de interés incorporar otras variables fisiológicas y morfológicas complementarias, como el estado hídrico, el contenido relativo de clorofila, la producción de hijuelos y parámetros de crecimiento aéreo, con el propósito de obtener una visión más integral de la respuesta de *Tillandsia divaricata* a los tratamientos de AIB y al tipo de sustrato.

Asimismo, se considera relevante realizar estudios de seguimiento en condiciones de campo o en ambientes semi controlados, que permitan evaluar la adaptación de los individuos propagados a partir de los distintos tratamientos y comprobar si las tendencias observadas en laboratorio se mantienen bajo condiciones más cercanas a su hábitat natural.

Finalmente, se plantea la posibilidad de comparar el AIB con otros reguladores de crecimiento, incluyendo diferentes auxinas o combinaciones con citoquininas, con el objetivo de determinar si existen alternativas hormonales que potencien el enraizamiento de *Tillandsia divaricata* con menores niveles de estrés y mortalidad.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. (2018). *Biomonitoreo atmosférico en la provincia de San Juan*.  
Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=368359>
- Alcantara, J., Acero, J., Alcántara, J., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci_arttext)
- Álvarez, S. (2017). *Morfogénesis in vitro de Tillandsia imperialis E. Morren ex Roetzl (Bromeliaceae) mediante la inducción de brasinoesteroides y auxinas*. Obtenido de <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/5544>
- Arévalo, J., & Aponte, H. (2020). Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima / Perú). *Ecología Aplicada*, 19(1).  
doi:<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i1.1441>
- Asunción, E., Villa, J., Hernández, E., & Alvarez, J. (2021). Función, identificación e importancia de fitohormonas: una revisión. *Bioteχνología vegetal*, 21(4). Obtenido de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/710>
- Ayasta, J., & Juárez, A. (2020). El género *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el departamento de Lambayeque, Perú. *Rev. peru biol.*, 27(2), 189 - 204.  
doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i2.15718>.
- Bautista, G., Vargas, J., Jiménez, M., & López, M. (2022). Manejo de planta y aplicación de AIB en el enraizado de estacas de *Pinus patula*. *Madera y bosques*, 28(1). doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812060>

- Borjas, R., Julca, A., & Alvarado, L. (2020). Las auxinas pertenecen a uno de los grupos más relevantes de las fitohormonas, son encargadas de regular procesos clave como la división y elongación celular. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2).  
doi:<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>
- Cervera, J., Leirana, J., & Navarro, J. (2018). Factores ambientales relacionados con la cobertura de *Agave angustifolia* (Asparagaceae) en el matorral costero de Yucatán, México. *Acta botánica mexicana*, 1(124).  
doi:<https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1252>
- Chambilla, K. (2025). *GESTIÓN AMBIENTAL Y CONCIENCIA ECOLÓGICA SOBRE LOS TILLANDSIALES (HIERBA SIEMPRE VIVA) EN LOS POBLADORES DEL DISTRITO DE ALTO DE LA ALIANZA, REGIÓN TACNA, 2023*. Obtenido de <http://repositorio.ulc.edu.pe/handle/ULC/332>
- Crisostomo, L., & Quintana, D. (diciembre de 2024). *Influencia de los ácidos indolbutírico y naftalenacético en el crecimiento del bambú (Guadua angustifolia Kunth) bajo condiciones de vivero para la Selva Central*. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/5023>
- Estrella, E., Flores, M., Blancas, G., & Alarcón, F. (2019). El género *Tillandsia*: historia, usos, química y actividad biológica. *Boletín Latinoamericano Y Del Caribe De Plantas Medicinales Y Aromática*, 18(3).  
doi:<https://doi.org/10.37360/blacpma.19.18.3.16>
- Farré, C. (2020). *El gran libro de los cactus y otras plantas crasas*. Parkstone International. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=nd0WEAAAQBAJ&dq=>
- Gómez, L., Mondragón, D., & Méndez, E. (2018). Aprovechamiento sustentable de Bromelias EpífiPropuesta comercial del vivero comunitario “Las Bromelias”, Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria De Ciencias Económicas*, 8(21). doi:<https://doi.org/10.46589/rdiasf.v0i21.70>

- González, C., Cuevas, C., & Hoyos, J. (2025). Cultivo de *Tillandsia Ionantha* Planch, como Alternativa de Aprovechamiento Sustentable en Recursos Forestales no Maderables. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(1), 1839-1849.  
doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1.15957](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.15957)
- Hernández, E., Rangel, S., Canul, J., & Barros, E. (2024). Regeneración in vitro de *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther. *Polibotánica*, 1(57).  
doi:<https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.10>
- Huaman, A. (2023). *Efecto de tres auxinas en la propagación asexual de tres variedades de coffea arabica l. en vivero*. Obtenido de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3243?locale-attribute=es>
- Hurtado, H., Orozco, J., & Betancur, J. (2017). Las bromelias, en su mayoría epifitas pertenecientes a zonas tropicales. *RIAA*, 8(2). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285353>
- Lebrón, B., & Guerrero, Á. (2023). Diversidad y composición florística del bosque seco y semideciduo de la Reserva Forestal Guanito, provincia San Juan, República Dominicana. *Acta botánica mexicana*, 1(130).  
doi:<https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2093>
- León, S. (2019). *Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador*. PUCE. Obtenido de <https://ulibros.com/libro-rojo-de-las-plantas-endemicas-del-ecuador-ni830.html>
- Liria, J. (2023). Áreas de endemismo de Ecuador: un análisis a partir de datos de distribución de especies de plantas, animales y hongos. *Revista mexicana de biodiversidad*, 1(93).  
doi:<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4031>
- López, J. (2017). *Variación interpoblacional de la fenología de floración y producción de frutos de Tillandsia carlos-hankii matuda (Bromeliaceae)*.

Obtenido de

[http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/handle/LITER\\_CIIDIROAX/392](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/handle/LITER_CIIDIROAX/392)

Lozano, D., Yaguana, C., & Aguirre, Z. (2022). Diversidad arbustiva, herbácea y de epifitas del bosque montano de las reservas naturales. *Bosques Latitud Cero*, 12(2), 62 - 75. Obtenido de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9350044>

Martínez, I., Villaseñor, J., Aguilera, L., & Arriaga, M. (2018). Angiospermas nativas documentadas en la literatura para el Estado de México, México. *Acta botánica mexicana*, 1(124).

doi:<https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1273>

Paz, E. (2023). *Uso del ácido indol butírico para la propagación de plátano en la provincia del Dorado*. Obtenido de

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

Porta, H., & Jiménez, G. (2020). Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22(1). doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.160>

Quintero, L. (2022). *Biodiversidad epífita vascular subandina como estrategia de educación ambiental*. Obtenido de

<https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/8050a8ad-426d-4c01-b669-6d48e6b01395>

Rodríguez, J., Valencia, S., González, L., & Martínez, A. (2017). Descripción anatómica de estomas y tricomas foliares de *Tidestromia lanuginosa* (Nutt) Standl (Amaranthaceae), proveniente de los municipios de Saltillo, Coah. y Lampazos de Naranjo, N.L., México. *Agraria*, 14(3), 91 - 96.

doi:<https://doi.org/10.59741/agraria.v14i3.550>

Téllez, B., García, J., MacSwiney, C., & López, J. (2025). Biología floral, sistema reproductivo y polinizadores efectivos de la bromelia epífita *Tillandsia*

limbata. *Botanical Sciences*, 103(1).

doi:<https://doi.org/10.17129/botsci.3582>

## 13. ANEXOS



Facultad de  
Ciencias del Mar  
*Biología Marina*

La Libertad, 28 de julio del 2025

Señor Ingeniero  
Ferdinan Cruz, MSc.  
**Coordinador Laboratorio de Ciencias Químicas y Biológicas**  
**Universidad Estatal Península de Santa Elena**  
En su despacho. -

De mi consideración,

Yo, Génesis Alejandra Cabrera Sosoranga, portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0706203486, estudiante de la Facultad de Ciencias del Mar, carrera de Biología, me dirijo a usted de manera respetuosa para solicitar el permiso de ocupar un área del laboratorio de Ciencias Biológicas.


La presente solicitud tiene como finalidad realizar el proyecto de integración curricular titulado: "Evaluación del ácido indolbutírico (AIB) como estimulador enraizante en *Tillandsia divaricata* sobre distintos tipos de sustrato."

El espacio requerido es para colocar contenedores donde estarán las bromelias en estudio.

Agradezco de antemano su atención y quedo atenta a cualquier requerimiento adicional para formalizar esta solicitud.

Por su atención a la presente reitero mi agradecimiento.

Atentamente

  
Génesis Alejandra Cabrera Sosoranga

Estudiante tesista

C.I. 0706203486

Cel. 0959266299

Email: [cabrerasosoranga@gmail.com](mailto:cabrerasosoranga@gmail.com)

  
Blga. Dadsania Rodríguez, MSc.

Docente

"UPSE crece sin límites"

Dirección: Campus matriz, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
[www.upse.edu.ec](http://www.upse.edu.ec)

*Anexo 1: Solicitud para uso del Laboratorio de Ciencias Biológicas de la UPSE*



*Anexo 2: Área de laboratorio destinada a la ubicación de las cámaras de propagación utilizadas en el experimento.*



*Anexo 3: Registro de codificación y asignación de etiquetas a cada caja de propagación para la identificación individual de las plantas.*



*Anexo 4: Codificación complementaria mediante escala de colores aplicada a las cajas de propagación para facilitar la diferenciación de los tratamientos.*



*Anexo 5: Trasplante de las plántulas en los distintos sustratos: musgo sphagnum y mezcla de fibra de coco con corteza de pino y vista final de la cámara de propagación con las plantas establecidas y monitoreo de temperatura y humedad mediante termohigrómetro.*



*Anexo 6: Área de experimentación finalizada, con la disposición de todos los tratamientos y el grupo control en las cámaras de propagación, cada una equipada con termohigrómetros para el monitoreo de las condiciones ambientales.*



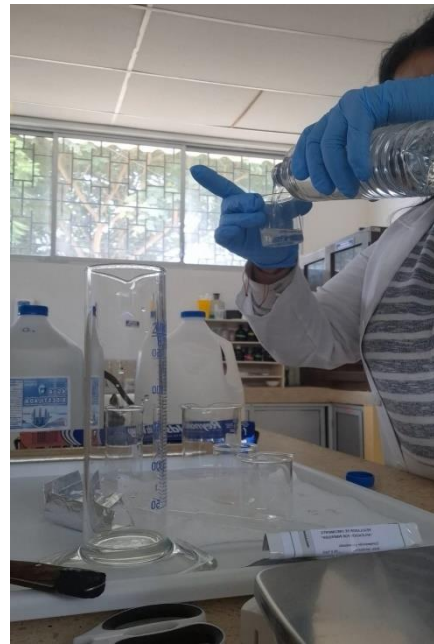
*Anexo 7: Instrumentos y técnicas empleadas para la toma de medidas durante la recolección de resultados, incluyendo calibrador digital y registros en hoja de datos.*



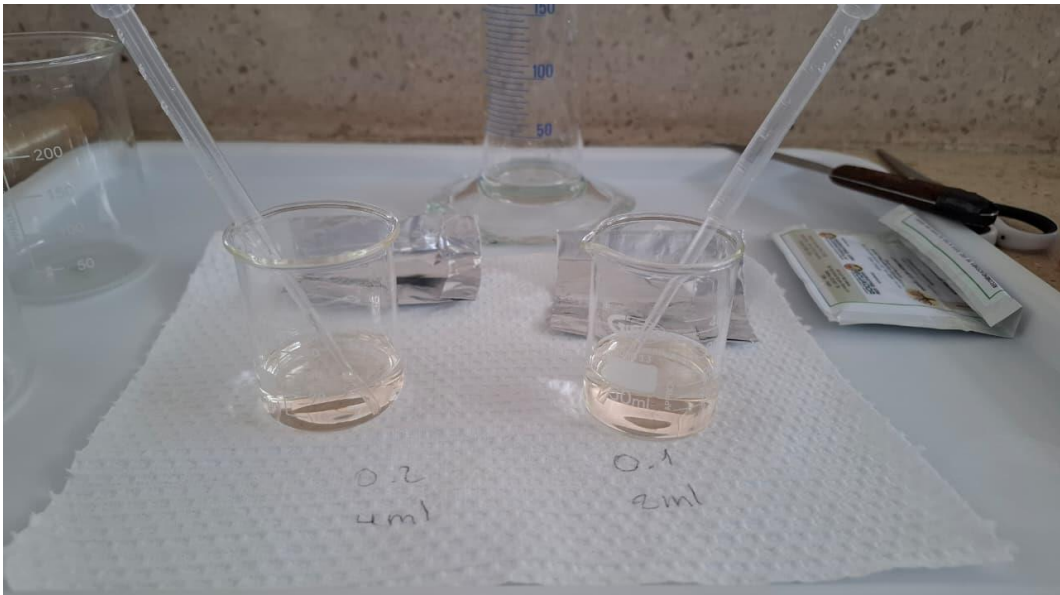
*Anexo 8: Materiales utilizados en la preparación de las soluciones de AIB, probeta, vasos de precipitación, etanol, agua destilada y reactivos.*



*Anexo 10: Pesaje y organización de las concentraciones de AIB destinadas a los diferentes tratamientos.*



*Anexo 9: Disolución del AIB en etanol como parte del procedimiento de preparación de las soluciones experimentales.*



*Anexo 11: Preparación de las soluciones de AIB en dos concentraciones, diluidas en etanol al 96%.*



**Anexo 12:** *Proceso de inmersión de las plántulas en las distintas concentraciones de AIB para el tratamiento experimental.*



**Anexo 13:** *Plántulas escurriendo tras la inmersión, antes de ser reubicadas en sus respectivas cámaras de propagación.*

*Tabla 8: Datos de 07/08/2025*

<b>CÓDIGO</b>	<b>LONGITUD (MM)</b>	<b>N° DE RAICES</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>SUPERVIVENCIA</b>
<b>A00C01</b>	20,35	8	23,8	74	SI
<b>A00C02</b>	11,59	6	23,8	74	SI
<b>A00C03</b>	32,11	4	23,8	74	SI
<b>A02T04</b>	9,68	2	23,5	79	SI
<b>A02T05</b>	29,9	6	23,5	79	SI
<b>A02T06</b>	23,23	5	23,5	79	SI
<b>A02T07</b>	33,26	6	23,6	76	SI
<b>A02T08</b>	29,61	10	23,6	76	SI
<b>A02T09</b>	12,6	5	23,6	76	SI
<b>A02T10</b>	35,63	2	23,8	77	SI
<b>A02T11</b>	30,1	9	23,8	77	SI
<b>A02T12</b>	14,8	1	23,8	77	SI
<b>A03T13</b>	46,26	12	23,7	77	SI
<b>A03T14</b>	23,15	7	23,7	77	SI
<b>A03T15</b>	6,6	5	23,7	77	SI
<b>A03T16</b>	23,05	3	23,8	76	SI
<b>A03T17</b>	44,48	8	23,8	76	SI
<b>A03T18</b>	28,35	5	23,8	76	SI
<b>A03T19</b>	50,57	10	23,3	77	SI
<b>A03T20</b>	10,45	7	23,3	77	SI
<b>A03T21</b>	6,66	5	23,3	77	SI
<b>M00C22</b>	20,4	7	23,9	77	SI

<b>M00C23</b>	61,98	6	23,9	77	SI
<b>M00C24</b>	30,29	7	23,9	77	SI
<b>M02T25</b>	23,11	8	23,8	77	SI
<b>M02T26</b>	68,44	4	23,8	77	SI
<b>M02T27</b>	27,19	6	23,8	77	SI
<b>M02T28</b>	17,56	7	23,4	76	SI
<b>M02T29</b>	33	9	23,4	76	SI
<b>M02T30</b>	38,06	4	23,4	76	SI
<b>M02T31</b>	17,8	7	23,5	78	SI
<b>M02T32</b>	37,35	7	23,5	78	SI
<b>M02T33</b>	19,15	4	23,5	78	SI
<b>M03T34</b>	65,61	12	23,8	77	SI
<b>M03T35</b>	60,44	10	23,8	77	SI
<b>M03T36</b>	13,8	6	23,8	77	SI
<b>M03T37</b>	20,5	5	23,7	77	SI
<b>M03T38</b>	52,52	10	23,7	77	SI
<b>M03T39</b>	52,26	5	23,7	77	SI
<b>M03T40</b>	64,03	8	23,6	74	SI
<b>M03T41</b>	16,16	5	23,6	74	SI
<b>M03T42</b>	38,95	5	23,6	74	SI

*Tabla 9: Datos de 20/08/2025*

<b>CÓDIGO</b>	<b>LONGITUD (MM)</b>	<b>N° DE RAICES</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>SUPERVIVENCIA</b>
<b>A00C01</b>	20,47	8	23,5	74	SI
<b>A00C02</b>	12,36	6	23,5	74	SI
<b>A00C03</b>	32,95	4	23,5	74	SI
<b>A02T04</b>	12,09	2	23,5	74	SI
<b>A02T05</b>	36,06	6	23,5	74	SI
<b>A02T06</b>	26,34	5	23,5	74	SI
<b>A02T07</b>	35,39	6	23,6	76	SI
<b>A02T08</b>	29,83	10	23,6	76	SI
<b>A02T09</b>	12,01	5	23,6	76	SI
<b>A02T10</b>	36,97	2	23,7	77	SI
<b>A02T11</b>	31,04	9	23,7	77	SI
<b>A02T12</b>	15,08	1	23,7	77	SI
<b>A03T13</b>	48,49	12	23,7	77	SI
<b>A03T14</b>	22,95	7	23,7	77	SI
<b>A03T15</b>	6,96	5	23,7	77	SI
<b>A03T16</b>	22,31	3	23,8	76	SI
<b>A03T17</b>	44,45	8	23,8	76	SI
<b>A03T18</b>	28,3	5	23,8	76	SI
<b>A03T19</b>	51,49	10	23,5	77	SI
<b>A03T20</b>	10,4	7	23,5	77	SI
<b>A03T21</b>	6,61	5	23,5	77	SI
<b>M00C22</b>	20,68	7	23,5	77	SI

<b>M00C23</b>	61,96	6	23,5	77	SI
<b>M00C24</b>	30,65	7	23,5	77	SI
<b>M02T25</b>	24,54	8	23,8	76	SI
<b>M02T26</b>	69,78	4	23,8	76	SI
<b>M02T27</b>	27,36	6	23,8	76	SI
<b>M02T28</b>	18,48	7	23,6	78	SI
<b>M02T29</b>	33,95	9	23,6	78	SI
<b>M02T30</b>	38,69	4	23,6	78	SI
<b>M02T31</b>	18,03	7	23,8	77	SI
<b>M02T32</b>	38,44	7	23,8	77	SI
<b>M02T33</b>	21,32	4	23,8	77	SI
<b>M03T34</b>	66,01	12	23,8	77	SI
<b>M03T35</b>	60,45	10	23,8	77	SI
<b>M03T36</b>	16,65	6	23,8	77	SI
<b>M03T37</b>	20,12	5	23,7	74	SI
<b>M03T38</b>	52,5	10	23,7	74	SI
<b>M03T39</b>	52,95	5	23,7	74	SI
<b>M03T40</b>	65,12	8	23,7	74	SI
<b>M03T41</b>	18,75	5	23,7	74	SI
<b>M03T42</b>	39,62	5	23,7	74	SI

Tabla 10: Datos de 09/09/2025 (Aplicación de AIB)

<b>CÓDIGO</b>	<b>LONGITUD (MM)</b>	<b>N° DE RAICES</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>SUPERVIVENCIA</b>
A00C01	20,65	9	23,6	75	SI
A00C02	13,55	6	23,6	75	SI
A00C03	34,24	4	23,6	75	SI
A02T04	15,81	3	22,8	75	SI
A02T05	45,54	6	22,8	75	SI
A02T06	31,12	5	22,8	75	SI
A02T07	38,66	7	22,5	74	SI
A02T08	30,17	10	22,5	74	SI
A02T09			22,5	74	NO
A02T10	39,03	2	22,8	74	SI
A02T11	32,49	9	22,8	74	SI
A02T12	15,51	1	22,8	74	SI
A03T13	51,93	14	23,3	74	SI
A03T14			23,3	74	NO
A03T15	7,52	5	23,3	74	SI
A03T16	21,16	2	23,2	73	SI
A03T17			23,2	73	NO
A03T18			23,2	73	NO
A03T19	52,91	24	23,2	74	SI
A03T20			23,2	74	NO
A03T21			23,2	74	NO
M00C22	21,12	7	24,9	73	SI

<b>M00C23</b>			24,9	73	NO
<b>M00C24</b>	31,21	7	24,9	73	SI
<b>M02T25</b>	26,73	10	23,4	74	SI
<b>M02T26</b>	71,85	4	23,4	74	SI
<b>M02T27</b>	27,61	7	23,4	74	SI
<b>M02T28</b>	19,9	8	23,1	74	SI
<b>M02T29</b>	35,4	9	23,1	74	SI
<b>M02T30</b>	39,65	4	23,1	74	SI
<b>M02T31</b>	18,39	7	23,3	77	SI
<b>M02T32</b>	40,12	7	23,3	77	SI
<b>M02T33</b>	24,66	4	23,3	77	SI
<b>M03T34</b>	66,63	12	23,4	75	SI
<b>M03T35</b>	67,16	6	23,4	75	SI
<b>M03T36</b>	20,33	7	23,4	75	SI
<b>M03T37</b>	20,63	5	23,6	75	SI
<b>M03T38</b>			23,6	75	NO
<b>M03T39</b>	54,02	6	23,6	75	SI
<b>M03T40</b>	66,8	10	24,6	73	SI
<b>M03T41</b>	22,47	5	24,6	73	SI
<b>M03T42</b>	40,66	7	24,6	73	SI

Tabla 11: Datos de 29/09/2025

<b>CÓDIGO</b>	<b>LONGITUD (MM)</b>	<b>N° DE RAICES</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>SUPERVIVENCIA</b>
A00C01	22,69	9	25,9	65	SI
A00C02	13,77	6	25,9	65	SI
A00C03	35,1	4	25,9	65	SI
A02T04			24,3	70	NO
A02T05	46,92	6	24,3	70	SI
A02T06	31,71	5	24,3	70	SI
A02T07	39,07	7	23,9	70	SI
A02T08	30,49	10	23,9	70	SI
A02T09			23,9	70	NO
A02T10	40,12	2	24,1	71	SI
A02T11			24,1	71	NO
A02T12	15,6	1	24,1	71	SI
A03T13			24,1	72	NO
A03T14			24,1	72	NO
A03T15	8,13	3	24,1	72	SI
A03T16	21,65	2	24,2	70	SI
A03T17			24,2	70	NO
A03T18			24,2	70	NO
A03T19	53,74	24	24,3	70	SI
A03T20			24,3	70	NO
A03T21			24,3	70	NO
M00C22	21,38	7	27,5	65	SI

<b>M00C23</b>	21,16	6	27,5	65	SI
<b>M00C24</b>	31,26	7	27,5	65	SI
<b>M02T25</b>	27,93	8	24,6	70	SI
<b>M02T26</b>	73,06	4	24,6	70	SI
<b>M02T27</b>			24,6	70	NO
<b>M02T28</b>	20,63	8	24,5	69	SI
<b>M02T29</b>			24,5	69	NO
<b>M02T30</b>			24,5	69	NO
<b>M02T31</b>	19,57	7	24,6	71	SI
<b>M02T32</b>	40,75	7	24,6	71	SI
<b>M02T33</b>	26,14	4	24,6	71	SI
<b>M03T34</b>	66,75	12	26,4	65	SI
<b>M03T35</b>	67,41	6	26,4	65	SI
<b>M03T36</b>	20,64	7	26,4	65	SI
<b>M03T37</b>	20,87	5	25,3	70	SI
<b>M03T38</b>			25,3	70	NO
<b>M03T39</b>	54,1	6	25,3	70	SI
<b>M03T40</b>	66,12	10	25,4	66	SI
<b>M03T41</b>	22,53	5	25,4	66	SI
<b>M03T42</b>	40,71	7	25,4	66	SI

Tabla 12: Datos 14/10/2025.

<b>CÓDIGO</b>	<b>LONGITUD (MM)</b>	<b>N° DE RAICES</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>SUPERVIVENCIA</b>
A00C01	22,73	9	23,2	79	SI
A00C02	14,11	6	23,2	79	SI
A00C03	35,12	4	23,2	79	SI
A02T04			23,2	78	NO
A02T05	47,65	6	23,2	78	SI
A02T06	31,73	5	23,2	78	SI
A02T07			23	76	NO
A02T08	30,6	10	23	76	SI
A02T09			23	76	NO
A02T10	40,58	2	23,3	77	SI
A02T11			23,3	77	NO
A02T12	15,46	1	23,3	77	SI
A03T13			23,6	76	NO
A03T14			23,6	76	NO
A03T15	9,33	3	23,6	76	SI
A03T16			23,9	73	NO
A03T17			23,9	73	NO
A03T18			23,9	73	NO
A03T19	60,03	24	23,8	74	SI
A03T20			23,8	74	NO
A03T21			23,8	74	NO
M00C22	21,58	7	24,9	74	SI

<b>M00C23</b>	21,52	6	24,9	74	SI
<b>M00C24</b>	31,52	7	24,9	74	SI
<b>M02T25</b>			23,7	74	NO
<b>M02T26</b>	74,91	4	23,7	74	SI
<b>M02T27</b>			23,7	74	NO
<b>M02T28</b>	20,88	8	23,4	76	SI
<b>M02T29</b>			23,4	76	NO
<b>M02T30</b>			23,4	76	NO
<b>M02T31</b>	20,61	7	23,3	74	SI
<b>M02T32</b>	42,91	7	23,3	74	SI
<b>M02T33</b>	26,24	4	23,3	74	SI
<b>M03T34</b>	67,03	12	24,1	77	SI
<b>M03T35</b>	67,64	6	24,1	77	SI
<b>M03T36</b>	21,06	7	24,1	77	SI
<b>M03T37</b>	21,11	5	23,3	79	SI
<b>M03T38</b>			23,3	79	NO
<b>M03T39</b>	55,43	6	23,3	79	SI
<b>M03T40</b>	67,12	10	23,3	77	SI
<b>M03T41</b>	27,73	5	23,3	77	SI
<b>M03T42</b>	42,88	7	23,3	77	SI

*Anexo 14: Tablas de datos obtenidos, mediante la toma de parámetros y medidas.*



# TESIS GENESIS CABRERA COPILATIO

9%  
Textos  
superfluos



- < 1% Similitudes
  - 0 % similitudes entre oraciones
  - 0 % entre las fuentes mencionadas
- 1% Oraciones no reconocidas
- 2% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS GENESIS CABRERA COPILATIO.docx  
ID del documento: d42719a2c6e071e0d9c71e0c022c02d7f04  
Tamaño del documento original: 80,38 KB

Depositante: DADIANA SOBAYA RODRIGUEZ MORALES  
Fecha de depósito: 01/11/2023  
Tipo de carga: Interfaz  
Fecha de fin de análisis: 01/11/2023

Número de palabras: 1.2.281  
Número de caracteres: 79.827

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://agrosalia.com/">agrosalia.com</a>   Cómo Actúan Las Hormonas Regulares En El Crecimiento Y Desa... <a href="https://agrosalia.com/tema-actuan-las-hormonas-regulares-en-el-crecimiento-y-desarrollo-de-las-plantas/">https://agrosalia.com/tema-actuan-las-hormonas-regulares-en-el-crecimiento-y-desarrollo-de-las-plantas/</a>	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
2	<a href="https://hall.hanalei.net/">hall.hanalei.net</a>   Estandarización de un protocolo colorimétrico para la cuantifica... <a href="https://hall.hanalei.net/52894293/">https://hall.hanalei.net/52894293/</a>	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
3	<a href="https://es.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926641023000198">es.sciencedirect.com</a>   Respuestas de las plantas a señales internas y externas.pdf <a href="https://es.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926641023000198">https://es.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926641023000198</a>	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	Documento de otro usuario: <a href="#">acc101</a> 🔗 Ver más de este grupo	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

**Fuente ignorada** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="#">ANTEPROYECTO GENESIS CABRERA.docx</a>   ANTEPROYECTO GENESIS CA... 🔗 Ver más de este grupo	2%		🔗 Palabras idénticas: 2% (273 palabras)