UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO Y TIPOS DE SUSTRATO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN, PUCALLPA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

GILARDY MERA ALVARADO

Pucallpa, Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 469-2024-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, a las 11:10 horas del día viernes 04 de octubre del 2024, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que fueron designados según Memo Múltiple Nº 041-2024-UNU-FCFyA-CGT conformado por los siguientes docentes:

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Presidente
Dr. César Mori Montero	Miembro
Mg. Desiderio Vásquez Plácido	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis titulado: "**EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO Y TIPOS DE SUSTRATOS EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE Calycophyllum spruceanum (BENTH) HOOK. F. EX K. SCHUM. (CAPIRONA) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN, PUCALLPA**", presentado por la Bachiller **GILARDY MERA ALVARADO,** asesorado por **Dr. JORGE ARTURO MORI VÁSQUEZ**. Finalizada la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por el Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por la sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO** por **UNANIMIDAD,** recomendando su publicación, previo el levantamiento de las observaciones, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**. Siendo las 12:30 pm del mismo día, se dio por culminado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz
Presidente

Dr. César Mori Montero
Miembro

Mg. Desiderio Vásquez Plácido
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz

Presidente

Dr. César Mori Montero

Secretario

Mg. Desiderio Vásquez Plácido

Miembro

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez

Asesor

Bach. Gilardy Mera Alvarado

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

N° **V/0418-2024**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO Y TIPOS DE SUSTRATO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM (BENTH) HOOK. F. EX K. SCHUM. (CAPIRONA) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN, PUCALLPA**"

Autor(es)	:	**MERA ALVARADO, GILARDY**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. MORI VÁSQUEZ, JORGE ARTURO**

Presenta un **porcentaje de similitud de 8%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 22/08/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, GILARDY MERA ALVARADO.

Autor de la tesis titulada : "EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO Y TIPOS DE SUSTRATO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM (BENTH) HOOK. F. EX. K. SCHUM (CAPIRONA) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN, PUCALLPA".

Sustentada el año: 2024

Asesor(a): Dr. JORGE ARTURO MORI VÁSQUEZ.

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES.

Escuela Profesional: INGENIERÍA FORESTAL.

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 04 / 10 / 2024

Email: gilardy.mera@icloud.com Firma:

Teléfono: 996431989 DNI: 73687722

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A mi madre, quien fue mi mayor ejemplo a seguir, a mi hija, por motivarme día a día a ser mejor.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Gino, por el tiempo y apoyo que me brindó, al Ing. Jorge Mori, por el compromiso y la orientación que me brindó desde el día uno que empecé mi proyecto de tesis.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por haberme acogido en sus aulas durante mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, por los conocimientos y valiosas enseñanzas brindadas en bien de mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xv

RESUMEN xvii

ABSTRACT xviii

INTRODUCCIÓN xix

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Justificación 2

1.3. Objetivos de la investigación 3

1.3.1. Objetivo general 3

1.3.1. Objetivos específicos 4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 5

2.1. Antecedentes de la investigación 5

2.1.1. Antecedentes internacionales 5

2.1.2. Antecedentes nacionales 11

2.1.3. Antecedentes locales 14

2.2. Bases teóricas 18

2.2.1. Taxonomía y descripción de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) 18

2.2.2. Propagación vegetativa 20

2.2.3. Efecto de algunos insumos en el enraizamiento de estacas de *Calycophyllum spruceanum* 24
2.3. Definición de términos básicos 32
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 37
3.1. Método de investigación 37
3.2. Población y muestra 37
3.2.1. Población 37
3.2.2. Muestra 37
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 38
3.3.1. Técnicas 38
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos 38
3.4. Procedimiento de recolección de datos 40
3.4.1. Ubicación del área de estudio 40
3.4.2. Recolección de datos 40
3.5. Tratamiento de datos 46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47
4.1. Porcentaje de supervivencia 47
4.2. Presencia de raíces en porcentaje 54
4.3. Número de raíces 62
4.4. Longitud de raíces 70
4.5. Número de brotes 76
4.6. Número de hojas de los brotes 82
4.7. Longitud de brotes 88
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 94
5.1. Conclusiones 94

5.2. Recomendaciones 95

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96

ANEXOS 106

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tabla de recolección de datos…….. 39

Tabla 2. Variable independiente……. 44

Tabla 3. Variable dependiente……. 44

Tabla 4. Distribución de los tratamientos en estudio…… 45

Tabla 5. Esquema del análisis de varianza ANOVA 2……. 46

Tabla 6. Valores de los porcentajes de supervivencia por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)…….. 47

Tabla 7. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el porcentaje de supervivencia de esquejes de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días…….. 49

Tabla 8. Análisis de varianza AV1 del porcentaje de supervivencia por cada sustrato evaluado a los 45 días…….. 50

Tabla 9. Prueba de DUNNETT del porcentaje de supervivencia para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB……... 51

Tabla 10. Valores del porcentaje de presencia de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)……. 54

Tabla 11. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el porcentaje de presencia de raíces de esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días…….. 57

Tabla 12. Análisis de varianza AV1 del porcentaje de presencia de

raíces por cada sustrato evaluado a los 45 días…… 57

Tabla 13. Prueba de DUNNETT del porcentaje de presencia de raíces para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB …….. 58

Tabla 14. Valores del número de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)…….. 62

Tabla 15. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de raíces en esquejes de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días……. 65

Tabla 16. Prueba de DUNNETT del número de raíces según Dosis de AIB evaluado a los 45 días…… 65

Tabla 17. Prueba de Tukey para el número de raíces según los tipos de sustratos……... 68

Tabla 18. Valores de las longitudes (en mm) de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)…… 70

Tabla 19. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en la longitud de raíces de esquejes de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días…… 72

Tabla 20. Análisis de varianza AV1 de la longitud de raíces por cada sustrato evaluado a los 45 días…… 73

Tabla 21. Prueba de DUNNETT de la longitud de raíces para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB….. 74

Tabla 22. Valores de los números de brotes por tratamiento

(concentraciones de AIB y tipos de sustratos…… 76

Tabla 23. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de brotes en esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días…… 78

Tabla 24. Análisis de varianza AV1 de número de brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días…… 78

Tabla 25. Prueba de DUNNETT de número de brotes para el sustrato Arena según Dosis de AIB…… 79

Tabla 26. Prueba de DUNNETT de número de brotes para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB….. 80

Tabla 27. Valores de los números de hojas de los brotes por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)…….. 82

Tabla 28. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de hojas de los brotes en esquejes de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días…… 84

Tabla 29. Análisis de varianza AV1 de número de hojas de los brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días…….. 84

Tabla 30. Prueba de DUNNETT de número de hojas de los brotes para el sustrato Arena según Dosis de AIB…… 85

Tabla 31. Valores de las longitudes de brotes (en mm) por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)…… 88

Tabla 32. Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en la longitud de brotes en esquejes de

Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días…….. 89

Tabla 33. Análisis de varianza AV1 de la longitud de brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días…… 90

Tabla 34. Prueba de DUNNETT de la longitud de brotes para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB….. 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 1. Distribución de las unidades experimentales dentro del túnel de subirrigación…….. 45

Figura 2. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el porcentaje de la supervivencia de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días…… 47

Figura 3. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el porcentaje de la presencia de raíces en estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días…… 54

Figura 4. Efecto de las concentraciones de ácido indolbutírico en el número de raíces en estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días……. 62

Figura 5. Efecto de los tipos de sustrato en el número de raíces en estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días…… 63

Figura 6. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en la longitud (en mm) de raíces de las estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días…… 70

Figura 7. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el número de brotes en estaquillas de

Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días……. 76

Figura 8. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el número de hojas de los brotes en estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días……. 83

Figura 9. Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en la longitud de brotes en las estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días……..……. 88

Figura 10. Recolección de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum…* 107

Figura 11. Frascos con las diferentes cconcentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm)…….. 107

Figura 12. Estacas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) con muchos brotes y hojas……... 108

Figura 13. Estaca con múltiples raíces…….. 108

Figura 14. Estaca solo con dos raíces…….. 109

Figura 15. Estaca con múltiples raíces, brotes y hojas…… 109

Figura 16. Estaca con brotes…….. 110

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del ácido indolbutírico y tipos de sustrato en el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) en cámaras de sub irrigación. Para ello las muestras fueron seleccionadas utilizando un procedimiento no probabilístico, se identificó los árboles de donde se extrajeron las 240 estacas, los cuales fueron tratados con diferentes concentraciones de ácido indol-3-butírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) y colocados en la cámara de sub irrigación en tres diferentes sustratos (Arena, Aserrín descompuesto y Arena + Aserrín descompuesto (1:1)). Fueron evaluados luego de 45 días, analizados mediante los parámetros estadísticos, y, el análisis de varianza para establecer si existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Para determinar la superioridad de algunos tratamientos sobre otros, a un nivel de probabilidad del 95% se aplicó la prueba de comparación demedias de Tukey. Los mejores resultados son: 99% de supervivencia, 92% de presencia de raíces y 4.8 raíces en promedio en la concentración de 6000 ppm de AIB; 85 mm en promedio de longitud de raíces, 4.3 hojas en promedio y 37.45 mm en promedio de longitud de brote en la concentración de 2000 ppm de AIB; y 1.8 brotes en promedio en la concentración de 0 ppm (testigo). Asímismo, 99% de supervivencia en el sustrato de Arena + Aserrín descompuesto (1:1); 92% de presencia de raíces, 5.6 raíces en promedio, 85 mm en promedio de longitud de raíces, 1.8 brotes en promedio, 4.3 hojas en promedio y 37.45 mm en promedio de longitud de brote en el sustrato de arena.

Palabras claves: Ácido indolbutírico, arena, aserrín descompuesto, *Calycophyllum spruceanum,* enraizamiento, estaquillas.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of indolebutyric acid and types of substrates on the rooting of *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook cuttings. F. former K. Schum. (Capirona) in sub-irrigation chambers. For this, the samples were selected using a non-probabilistic procedure, the trees from which the 240 cuttings were extracted were identified, which were treated with different concentrations of indole-3-butyric acid (0, 2000, 4000 and 6000 ppm) and placed in the sub-irrigation chamber in three different substrates (Sand, Decomposed Sawdust and Sand + Decomposed Sawdust (1:1)). They were evaluated after 45 days, analyzed using the statistical parameters, as well as the analysis of variance to establish if there is a significant statistical difference between the treatments. To determine the superiority of some treatments over others, at a probability level of 95%, Tukey's mean comparison test was applied. The best results are: 99% survival, 92% presence of roots and 4.8 roots on average at the concentration of 6000 ppm of IBA; 85 mm in average root length, 4.3 average leaves and 37.45 mm in average shoot length in the concentration of 2000 ppm of IBA; and 1.8 sprouts on average at the concentration of 0 ppm (control). Likewise, 99% survival in the Sand + Decomposed Sawdust substrate (1:1); 92% presence of roots, 5.6 roots on average, 85 mm on average root length, 1.8 shoots on average, 4.3 leaves on average and 37.45 mm on average shoot length in the sand substrate.

Keywords: Indolebutyric acid, sand, decomposed sawdust, *Calycophyllum spruceanum*, rooting, cuttings.

INTRODUCCIÓN

El estudio del enraizamiento de estaquillas es esencial para la propagación vegetativa de especies forestales, especialmente en el contexto de la conservación y la reforestación. *Calycophyllum spruceanum*, conocido comúnmente como capirona, es una especie de gran importancia ecológica y económica en la región amazónica, debido a su madera de alta calidad y su uso en la medicina tradicional. Sin embargo, la reproducción natural de capirona enfrenta varios desafíos, como la limitada viabilidad de sus semillas y la lenta tasa de crecimiento en condiciones naturales. Por lo tanto, la propagación asexual mediante el enraizamiento de estaquillas se presenta como una alternativa viable para la producción masiva de plántulas.

El ácido indolbutírico (AIB) es una auxina sintética ampliamente utilizada para promover el enraizamiento de estaquillas en diversas especies vegetales. Su eficacia varía según la especie y las condiciones de aplicación, lo que subraya la necesidad de estudios específicos para optimizar su uso. Además, la elección del sustrato adecuado es crucial, ya que influye en la aireación, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes, factores determinantes para el desarrollo radicular.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del AIB y diferentes tipos de sustratos en el enraizamiento de estaquillas de capirona en cámaras de sub irrigación en Pucallpa, una región caracterizada por su clima tropical húmedo. La sub irrigación, una técnica que permite el suministro controlado de agua desde la base del sustrato, puede ofrecer ventajas significativas para el enraizamiento, al mantener un ambiente homogéneo y reducir el estrés hídrico en las estaquillas.

Mediante la experimentación en condiciones controladas, esta investigación busca identificar las combinaciones óptimas de concentraciones de AIB y tipos de sustrato que maximicen el porcentaje de enraizamiento y la calidad de las raíces formadas. Los resultados de este estudio contribuirán al conocimiento técnico necesario para la propagación eficiente de capirona, apoyando esfuerzos de reforestación y manejo sostenible de bosques en la región Amazónica.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La diversidad de flora en la Amazonía peruana alberga una serie de especies de valor comercial, las cuales al ser aprovechadas de manera selectiva se ven afectadas y paulatinamente pueden ir desapareciendo, entre ellas se encuentra el *Calycophyllum spruceanum* (capirona); esta especie es perjudicada por este tipo de aprovechamiento irracional, el cual limita la disponibilidad de semillas tanto en calidad como en cantidad necesaria para producción de plantones y reposición a través de programas de reforestación (Cook *et al.,* 2012).

Frente a esta problemática urge contar con la propagación asexual o vegetativa, ya que, con ella, se podría limitar la absoluta dependencia de las semillas botánicas, garantizando la estabilidad de los caracteres fenotípicos y genéticos de la especie, la producción de gran cantidad de material propagado durante todo el año, de manera constante y permanente, estos métodos pueden adaptarse a las condiciones económicas del pequeño y mediano extractor forestal (Baldini, 2014).

Por ello, en la presente investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto del ácido indolbutírico y tipos de sustrato en el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) en cámaras de subirrigación?

De esta forma se generará conocimientos de propagación más apropiados, para que todos los productores, empresarios, institutos de investigación y universidades, hagan uso de los conocimientos en beneficio de la sociedad. Además, se podrá lograr la mejora en el crecimiento de las plantas de esta especie, no sólo aumentará la calidad de éstas sino también implica una utilización más eficiente del tiempo, la mano de obra y los recursos del vivero. A menudo se usan las técnicas comunes de producción de plantones en vivero sin experimentar con otros procedimientos.

1.2. Justificación

La investigación en el enraizamiento con ácido indolbutírico (AIB) de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* se justifica por varias razones importantes:

Propagación vegetativa: *Calycophyllum spruceanum*, conocido comúnmente como "capirona", es un árbol de gran valor forestal. La propagación sexual (a través de semillas) puede ser lenta y menos efectiva, mientras que la propagación vegetativa mediante estaquillas es una forma más rápida y confiable de obtener nuevas plantas con características genéticas idénticas a las de la planta madre. El uso de AIB en las estaquillas puede mejorar significativamente la tasa de enraizamiento y, por lo tanto, aumentar la eficiencia de propagación.

Conservación de especies: Al mejorar la supervivencia y enraizamiento de las estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* con el uso

de AIB, se pueden obtener nuevas plantas que luego pueden ser reintroducidas en su hábitat natural o en áreas de restauración ecológica.

Reforestación y silvicultura: *Calycophyllum spruceanum* es una especie importante en programas de reforestación y silvicultura debido a su crecimiento rápido y cualidades madereras. La propagación efectiva de esta especie mediante estaquillas puede contribuir a aumentar la disponibilidad de material vegetal para estos programas y, en última instancia, mejorar la cobertura forestal y la producción de madera.

La investigación en enraizamiento con ácido indolbutírico de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* se justifica debido a sus implicaciones en la propagación vegetativa eficiente, la conservación de especies, la reforestación, la silvicultura, y la mejora de cultivos. Al entender y mejorar este proceso, se pueden obtener beneficios tanto para la ciencia como para la sociedad en general.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico y tipos de sustrato en el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) en cámaras de sub irrigación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar el efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) en cámaras de sub irrigación.

- Determinar el efecto de tipos de sustrato en el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) en cámaras de sub irrigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bonfil *et al.,* (2007) realizaron un estudio sobre la producción de callos y raíces en estacas de *Bursera lancifolia*, *B. longipes*, *B fagaroides*, *B. bicolor, B. glabrifolia, B. copallifera* y *B. bipinnata* en respuesta a dos tratamientos: aplicación de ácido indolbutírico (AIB) en polvo (1500 y 10 000 ppm), además de un testigo, con 15-18 estacas por tratamiento. Mantuvieron las estacas por cuatro meses en bolsas con un sustrato de arena, tierra negra y composta en un vivero rural en Huajintlán, SO del Estado de Morelos, al aire libre con riego regular, sin control de humedad atmosférica. Obtuvieron como resultado: un porcentaje alto de formación de callo (27-85%) en seis especies; las especies con mayor producción de raíces fueron *B. fagaroides* (70%) y *B. glabrifolia* (51%), y mencionan que ésta no se incrementó con la aplicación de AIB, al igual que en *B. copallifera* (18%); en *B. lancifolia* (27%) y *B. bipinnata* (29%) no tuvieron respuesta significativa en producción de raíces con la aplicación de AIB; en *B. longipes y B. bicolor* registraron una baja producción de raíces (9 y 11%).

Asi mismo, Loeza *et al.,* (2013) establecieron un experimento de bloques completos al azar con arreglo factorial; sus elementos de estudio fueron *Bursera morelensis* Ram. y *Bursera galeottiana* Engl. Utilizaron el grado alto y bajo de lignificación de estacas para evaluar el porcentaje de

enraizamiento, volumen de raíz y número de brotes aéreos. Sus resultados indican que el porcentaje de mayor de enraizamiento en *B. morelensis* lo logró con poco grado de lignificación, mientras que en *B. galeottiana* fue mayor. Mencionan que esto muestra que la reproducción asexual puede ser una alternativa para la propagación de este género en el estado de Oaxaca.

Por otra parte, Castro *et al.,* (2016) evaluaron el enraizamiento de estacas juveniles de *B. excelsa* asociadas a la aplicación de ácido indolbutírico (AIB) en propagador de subirrigación. Usaron un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 3×3×2; de tratamientos: tres concentraciones (0, 1 y 3 g L^{-1}) de AIB como regulador de crecimiento, tres tipos de estacas (apical, media y basal) y dos tiempos de inmersión (1 y 60 s). A los 180 días evaluaron el número y la longitud media de las raíces, el porcentaje de enraizamiento, la presencia de callo y la supervivencia de las estacas. Sus resultados muestran que las estacas medias y basales sumergidas 1 s a 1 g L^{-1} de AIB tuvieron los porcentajes mayores de enraizamiento, 58.3 % y 41.7%, respectivamente; sus estacas sólo presentaron, en promedio, la formación de una raíz única. Además, menciona que las longitudes medias mayores de raíces lo obtuvieron en las estacas medias sumergidas 1 s en 3 g L^{-1} de AIB (7.0 cm) y 1 g L^{-1} de AIB (6.4 cm).

Igualmente, Ruiz *et al.,* (2005) evaluaron el efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB) en la capacidad de enraizado de diferentes tipos de estacas juveniles de *Gmelina arborea Roxb*. En el ensayo incluyeron tres tipos de estaca (apical, intermedia y basal) y cuatro

concentraciones de AIB (0, 1.0, 1.5 y 2.0 mg g^{-1}), en un diseño factorial completo; evaluaron el contenido inicial de azúcares totales en los tres tipos de estaca, así como su capacidad de enraizado, brotación y características de las raíces formadas. En sus resultados las estacas apicales mostraron mayor capacidad de enraizado (71.8%) y brotación (54.9%) que las estacas basales (43.7 y 38.3%, respectivamente), y formaron 30% más de raíces. Además, mencionan que la aplicación de AIB inhibió la capacidad de enraizado en las estacas apicales, pero la estimuló en las estacas intermedias y basales; el mayor porcentaje de enraizado lo obtuvo las estacas apicales sin AIB (80%) y en las intermedias con 2.0 mg g^{-1} de AIB (83%). No encontraron diferencias significativas en la concentración de azúcares totales entre los tipos de estaca.

De igual manera, Muñoz y Molina (2016) evaluaron el enraizamiento de *Myrceugenia exsucca* al usar dos tipos de esquejes y aplicar distintas concentraciones de ácido indolbutírico (AIB). Usaron un diseño completamente aleatorizado, factorial, con estacas juveniles y maduras, y probaron diferentes concentraciones de AIB (0, 1, 2, 3, 4 y 5 g L^{-1}). Hicieron seis repeticiones, cada una de ellas con 10 estacas. Realizaron el ensayo en cama caliente, con temperaturas entre 20 y 25 °C. Estudiaron las variables: sobrevivencia (%), estacas con callo (%), enraizamiento (%), número de raíces, longitud de raíces (cm) y número de hojas nuevas. Como resultado mencionan que la edad de la estaca influyó significativamente en todas las variables evaluadas, la aplicación de AIB afectó significativamente la sobrevivencia y enraizamiento de esquejes. Lograron con esquejes provenientes de material juvenil y con las dos

mayores concentraciones de AIB los mejores resultados, sobre 85 % de estacas enraizadas.

Del mismo modo, Bautista *et al.,* (2022) evaluaron la capacidad de enraizamiento de estacas de plantas madre de *Pinus patula* de 15 y 18 meses de edad, con diferente concentración de fertilización y condición de crecimiento (manejo), y con la aplicación de 5000 × 10^{-6} (5000 ppm) de ácido indol-3-butírico (AIB) en solución líquida o con el producto comercial Radix® en pasta. A las 14 semanas de establecido el ensayo evaluaron el porcentaje de supervivencia, estacas con callo y raíces, así como el número, longitud de raíces primarias y presencia de raíces secundarias. Encontraron efectos significativos ($p \leq 0.05$) en los factores evaluados y en su interacción. Mencionan que la aplicación de AIB en solución durante 10 o 20 s ocasionó el mayor porcentaje de enraizamiento (> 25%), 2 - 3 veces más que el testigo (8.5%); la fertilización de la planta madre con 7 g L^{-1} de Osmocote® bajo malla sombra provocó una mortalidad elevada de las estacas (30%). No encontraron diferencias en longitud de raíz más larga, ni en longitud promedio de raíces primarias y, además, que la combinación de planta madre de 18 meses con fertilización de 5 g L^{-1} de Osmocote® en invernadero y la aplicación de AIB en solución líquida por 20 s produjo 73.8% de enraizado, valor aceptable en un programa operativo de clonación de *Pinus patula*.

De la misma forma, Rivera *et al.,* (2016) comparó el sustrato perlita vs. mezcla de turba con vermiculita, edad de planta madre (12, 18 y 24 meses) y concentración de ácido indolbutírico (AIB) (0, 5000 y 10 000 ppm) (i.e., mg L^{-1}) en el enraizado de estacas de *Pinus patula*, mediante un

arreglo factorial en diseño experimental de bloques completos al azar. Evaluaron después de 14 semanas la supervivencia, enraizado, número y longitud de raíces, presencia de raíces secundarias y desarrollo de callo. Mencionan que en el sustrato con perlita se presentó el mayor porcentaje de enraizado de las estacas (21.4 vs. 14.7%), la capacidad de enraizado se redujo casi a la mitad (de 29.2 a 15.8% en el sustrato de perlita) al aumentar de 12 a 24 meses la edad de las plantas madre; además que el AIB inhibió la formación de raíces en las estacas de menor edad, pero no en las de 24 meses.

De igual forma, Mesén y Trejos (1997) evaluaron los efectos de tres sustratos, cinco concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB), tres longitudes de estaca y tres áreas foliares sobre la capacidad de enraizamiento de estacas juveniles del San Juan (*Vochysia guatemalensis*), utilizando propagadores de subirrigación. Obtuvieron porcentajes de enraizamiento superiores al 90%. Afirman que, la especie puede ser enraizada fácilmente en grava o arena, utilizando estacas de 6 cm de longitud con áreas foliares de 30 o 50 cm^2; obtuvieron los mejores porcentajes de enraizamiento sin aplicación hormonal, aunque concentración crecientes de AIB desde 0.1% hasta 0.8% redujeron el tiempo de iniciación de raíces y mejoraron la calidad del sistema radical formado, sin embargo, comentan que las concentración más altas probadas (0,4% y 0,8%) causaron una reducción significativa en el porcentaje de enraizamiento.

De manera similar, Castrillón *et al.,* (2008) en su trabajo tuvieron el objetivo de caracterizar la viabilidad y el potencial de enraizamiento de

estacas de agraz en dos diferentes sustratos bajo invernadero, utilizando auxinas AIB (ácido indolbutírico), ANA (ácido naftalenacético) y AIA (ácido indolacético) en diferentes concentraciones. Su estudio se dividió en dos fases, la primera tenía el objetivo de evaluar el efecto de tres auxinas AIA, AIB y ANA en diferentes concentraciones (1, 10, 20 mg L^{-1} de ANA, 50, 200 y 500 mg L^{-1} de ANA y AIB), sobre la viabilidad y enraizamiento de agraz en dos sustratos (suelo + turba en relación 1:1 y turba). Su segunda fase tenía como objetivo evaluar AIB en distintas concentraciones (0, 50, 100, 500, 1.000 y 2.000 mg L^{-1}), sobre un solo sustrato (escoria + suelo en relación 1:1), para analizar el potencial de enraizamiento de la especie. Sus resultados de investigación mostraron que los tratamientos con AIB y AIA aumentan la viabilidad de las estacas de agraz. Las estacas jóvenes de agraz demostraron actividad rizogénica y el uso de hormonas fue viable para inducir el desarrollo de las raíces adventicias en esta especie. Sus resultados sugieren que el mejor tratamiento para enraizar las estacas fue AIB 200 mg L^{-1} aplicado a la base de las estacas mezclado con talco, el porcentaje de enraizamiento del tratamiento después de dos meses de aplicación fue 18,7% y, a su vez, presentó el mayor número de raíces por planta, con un promedio de 3,3.

Por su parte, Latsague *et al.,* (2008) evaluaron la capacidad reproductiva mediante propagación por estacas de *Berberidopsis corallina*. Para ello colectaron estacas semileñosas durante marzo de 2007 en el sector Villa Las Araucarias, Región de La Araucanía. Sus estacas fueron tratadas con ácido indolbutírico (AIB) en distintas concentraciones (0, 500, 1.000 y 1.500 mg L^{-1}) como factor de enraizamiento. Después de cinco

meses de mantenidas las estacas en cama caliente obtuvieron un 87% de enraizamiento total. Mencionan que la concentración de AIB de 1.000 mg L^{-1} mostró los mejores resultados respecto al proceso de rizogénesis con un 90% de enraizamiento. Además, encontraron el mayor promedio de longitud de raíces en ese mismo tratamiento con un promedio de 13,64 cm. El mayor número de raíces lo obtuvieron en el tratamiento 1.500 mg L^{-1} con un valor promedio de 38,11 raíces por estaca. Concluyen que *B. corallina* puede ser reproducido vegetativamente a través de la rizogénesis de estacas tratadas con AIB, como una práctica para contribuir a la recuperación de esta especie.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Arévalo *et al.,* (2014) evaluaron el enraizamiento de estacas de *Calycophyllum spruceanum* bajo el efecto del número de hojas (una y dos), y tres concentraciones de ácido indol-3-butírico (2000, 3000 y 4000 ppm) utilizando microtúneles como ambientes de enraizamiento. Su estudio lo realizaron en el vivero de la Empresa REFORESTA PERU S.A.C. ubicado en la Región San Martín. Emplearon un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3A x 2B, el cual constó de tres repeticiones por tratamiento y seis brotes por cada una de las tres repeticiones. Menciona que, al término de 12 días, los brotes de dos hojas con concentración de AIB de 3000 ppm mostraron enraizamientos de 99%, haciendo uso de pellets - jiffys como sustrato.

Ademas, Vallejos *et al.,* (2014) evaluaron el enraizamiento de estaquillas de *Cedrelinga catenaeformis* (tornillo), bajo el efecto de tres

concentraciones de ácido indol-3-butírico (2000, 3000 y 4000 ppm) y dos cantidades de foliolos (tres y cuatro foliolos), utilizando microtúneles como estructura de protección. Realizaron el estudio en el vivero de la empresa Reforesta Perú S.A.C. ubicado en la Región San Martín. Emplearon un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3A x 2B, el cual constó de tres repeticiones por tratamiento y seis brotes por repetición. Determinaron al término de 15 días que los brotes de tres foliolos y con concentración de AIB de 3000 ppm mostraron enraizamientos de 94.88% teniendo a los pellets Jiffy® como sustrato.

Por otro lado, Salcedo (2009) realizó el enraizamiento de estacas juveniles de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) utilizando dos concentraciones de fitohormona a 200 ppm y 400 ppm de ácido indolacético (AIA), instalados en cámara de sub irrigación, utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones por tratamiento, evaluó el tiempo de enraizamiento, porcentaje de enraizamiento, incremento en altura y diámetro de brotes en plántulas enraizadas a partir de estacas juveniles llevadas a fase de vivero. Concluye que las variables altura y diámetro de los brotes con 400 ppm de AIA (8,70 mm altura) y 200 ppm de AlA (0,11 mm de diámetro); obtuvieron resultados satisfactorios respecto al testigo. Menciona que el testigo evidencio mayor porcentaje de mortandad en los brotes de estacas enraizadas en fase de vivero (42%), teniendo mejores efectos en el porcentaje de supervivencia en los 200 ppm (74%) y 400 ppm (69%) de ácido indolacético (AIA).

Asi mismo, Moncada (2012) evaluó los efectos de tres concentraciones de ácido indol-3-butírico (2000, 4000 y 8000 ppm) y tres

niveles de área foliar (25, 50 y 100 cm^2) sobre la capacidad de enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) utilizando propagadores de subirrigación. Realizó el ensayo en el vivero del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana en San Martín (IIAP) empleando el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 4A x 3B con 10 repeticiones (unidad experimental una estaquilla). Evaluó: enraizamiento (%), número de raíces, longitud de raíz mayor (cm), brotación (%), y mortalidad (%). Menciona que, luego de 30 días, las concentraciones 2000 y 4000 ppm obtuvieron en promedio el mayor porcentaje de enraizamiento (93.33 y 86.67 %) y longitud de raíz mayor (29.72 y 22.86 cm), y en la concentración de 8000 ppm obtuvo en promedio el mayor número de raíces (10.96). Concluye que es posible propagar la especie forestal capirona por estaquillas (más de 93% de enraizamiento) si se aplica la concentración adecuada de AIB.

En cambio, Cachique *et al*., (2011) realizaron 2 ensayos consecutivos de enraizamiento de estacas juveniles de la especie *Plukenetia volubilis* (sacha inchi) en cámaras de subirrigación en el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP-San Martín. En el primer ensayo probaron 2 tipos de sustratos y 5 concentración de ácido indolbutírico para la inducción de enraizamiento y en el segundo ensayo evaluaron 3 longitudes de estacas y 4 áreas foliares. Lograron el enraizamiento empleando arena de textura media como sustrato con aplicación de 0.2% de ácido indolbutírico como inductor hormonal y el uso de estacas basales o intermedias de 8 cm de longitud con áreas foliares de 50 y 100 cm^2.

Mientras tanto, Mendoza *et al.,* (2020), determinaron las concentraciones adecuadas de 2,4 diclorofenoxiacético y Kelpak en el enraizamiento de estacas de *Vaccinium floribundum* (arándano). Llevaron a cabo la fase experimental en el invernadero del Instituto de la Papa y Cultivos Andinos (IPACA), donde probaron diferentes concentraciones de 2,4 D y Kelpak. Sus resultados al ser analizados estadísticamente arrojaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas, concluyendo que la concentración de 1% Kelpak ejerce un efecto favorable en el enraizamiento de estacas de *V. floribundum*.

2.1.3. Antecedentes locales

Manihuari (2022) evaluó la influencia de tres tipos de sustrato (cascarilla de arroz carbonizada, fibra de palma y Turba de sphagnum) y cuatro concentraciones de ácido indol-3-butírico (0, 6000, 8000 y 10000 ppm) en el enraizamiento de estacas juveniles y producción de plantones de *Copaifera paupera* (Herzog) Dwyer (Copaiba) en túneles de subirrigación. Utilizó un diseño completamente al azar de factorial 3 x 4, con 10 repeticiones y 2 estacas por unidad experimental. Evaluó el porcentaje de supervivencia, porcentaje de enraizamiento, número de brotes, longitud de brotes, número de raíces y longitud de raíz. Al término de 90 días observó que ninguno de los sustratos ni concentración había obtenido influencia significativa que los diferencie en el porcentaje de enraizamiento y supervivencia de estacas. Concluye que no existe un efecto significativo de los sustratos y concentración de AIB probados en el enraizamiento de estacas y producción de plantones.

Ademas, Mermao (2012) analizó la propagación de estacas de *Miroxilon balsamun*, para ello, realizó el ensayo usando cinco concentraciones de AIB (0, 2000, 4000, 6000 y 8000 ppm), en dos sustratos (arena de río y fibra de coco), en un diseño completamente randomizado; obteniendo un enraizamiento de 77.78% en la concentración de 4000 ppm en sustrato de arena de río; un 50% de raíz y brote en la concentración de 4000 ppm en arena de río, 100% de supervivencia en la concentración de 2000, 4000 y 6000 ppm en arena de río, 1.55 raíces en promedio por estaca con concentración de 4000 ppm en arena de río, 5.47 cm en longitud de raíz promedio por estaca con concentración de 4000 ppm en arena de río, 0.67 brotes por estaca con 4000 ppm y arena de río, en longitud de brote promedio no tuvo diferencia significativa, 1.95 callos promedio por estaca con 0 ppm y en fibra de coco.

Asi mismo, Oliva (2005), instaló la prueba de enraizamiento de estacas de *Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh, (camu camu), en la estación experimental del IIAP en Ucayali, utilizando ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA), bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos, un testigo y tres repeticiones; consideró 15 estacas por tratamiento. Sus tratamientos fueron: 200 ppm de AIB con 24 horas de inmersión, 200 ppm de AIB con 48 horas, 200 ppm de ANA con 24 horas y 200 ppm de ANA con 48 horas de inmersión y un testigo sin aplicación. Evaluó las variables: número y longitud de brotes, número y longitud de raíces y porcentaje de enraizamiento. A los 30 días encontró el mejor comportamiento en el tratamiento testigo con 4.5 y 4.73 cm en longitud y número de brotes respectivamente sin diferencias significativas;

en relación a las demás variables sí encontró diferencias significativas (Tukey 0.05%), determinando como mejor tratamiento a 200 ppm AIB con 48 horas de inmersión, seguido por 200 ppm AIB con 24 horas de inmersión con 80 y 60% de enraizamiento, 5.13 y 2.33 en número de raíces, 4.56 y 2.55 cm en longitud de raíces respectivamente.

De igual manera, Abanto *et al.,* (2015) determinaron el efecto del Ácido Indolbutírico y tipo de estacas en el enraizamiento de *Theobroma grandiflorum*, en cámaras de subirrigación. Lo realizaron mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial 2A x 5B, con 3 repeticiones y 10 estacas por unidad experimental. El factor A lo constituyeron por dos niveles: estacas semileñosas (apicales) y estacas leñosas (medias), y el factor B por cinco concentraciones de AIB: 0, 1000, 3000, 6000 y 9000 ppm. Evaluaron después de 90 días y observaron que hubo interacción estadística significativa para las variables: porcentaje de enraizamiento, longitud y número de raíces. Para las variables porcentaje de callo y porcentaje de mortalidad encontraron efecto simple del tipo de estaca y concentración de AIB. En el proceso de enraizamiento encontraron los mejores resultados en las estacas apicales combinado con las concentraciones de 6000 y 9000 ppm de AIB, con 30% y 43,33% respectivamente.

Igualmente, Braga (2019), evaluó el efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de tallo en *Myrciaria dubia* (HBK Mc Vaugh) Clon E3-F7, de plantas de 12 años; seleccionó estacas de 15 cm de longitud de la parte media de tallo con dos pares de hojas al 50% de área foliar. Utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (0,

150, 300, 450, 600 mg L^{-1} de AIB), tres repeticiones y cada unidad experimental de 24 estacas. Evaluó las variables: número de callos, número de raíces y longitud de raíz (cm). Afirma que el mejor tratamiento en número de callos fue de 0 mg L^{-1} AIB (37,55 callos), número de raíces el de 600 mg L^{-1} AIB (3,11 raíces) y para la longitud de raíces de 450 mg L^{-1} AIB (6,21 cm).

En cambio, Pinedo (2022) analizó la propagación de estacas juveniles de *Mansoa alliacea* (Lam.) A.H. Gentry (Ajo sacha), en cámara de sub-irrigación. Utilizó 360 estacas de 10 arbustos aplicando tres niveles de concentraciones de AIB: 0, 2000, 4000 y 6000 ppm y tres tipos sustratos: arena, aserrín descompuesto y arena + aserrín descompuesto, aplicó el diseño completamente al azar (DCA). Concluye que los tratamientos con mayor porcentaje de sobrevivencia fueron la Arena y 2000 ppm de AIB, Aserrín + Arena y 2000 ppm de AIB y Arena y 4000 ppm de AIB; presentaron un 96.67% respectivamente; los tratamientos con mejor porcentaje de enraizamiento fueron la Arena y 2000 ppm de AIB, Arena y 6000 ppm de AIB y Aserrín y 6000 ppm de AIB; presentaron un 80% respectivamente; en cuanto al porcentaje de callos fue mayor el tratamiento de Aserrín + Arena y 2000 ppm de AIB que presentó 76.67%; el mayor porcentaje de Brotes Foliares lo obtuvo el tratamiento Aserrín y 6000 ppm de AIB que presentó 40.00%; y finalmente el tratamiento con mayor longitud en centímetros de raíces fue el Aserrín y 6000 ppm de AIB con 8.86 cm.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Taxonomía y descripción de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona)

- **Nombre común:** capirona, capirona del bajo, capirona de hoja chica.
- **Sinónimos:** *Eukylista spruceana* Benth.

Flores (2018) menciona que la especie *Calycophyllum spruceanum* (Capirona), es un árbol de hasta 35 m de altura y 80 cm de diámetro, fuste recto y cilíndrico, sin embargo, Magnanini y Magnanini (2002) señalan que en Brasil se halló un árbol de 30 m de altura y un diámetro a la altura del pecho de 1,10 m.

Corteza: Externa de color verde petróleo, ritidoma coriáceo de color rojizo que se desprende anualmente dejando al descubierto la corteza brillante.

Hojas: Láminas elípticas u oblongas, 5-10 cm de largo por 3-5 cm de ancho, pecíolos de 1,5-2,5 cm de longitud, acanalados; láminas enteras, cartáceas, ápice agudo, acuminado, base obtusa, nervios secundarios 12-15 pares, levemente impresos en el haz y en relieve en el envés; al igual que el nervio central, las axilas de los nervios secundarios con diminutos pelos o domatios en el envés, menciona (Flores, 2018).

Inflorescencias terminales: Flores blancas, aromáticas, bisexuales, 1-1,5 cm de longitud. Cápsulas pequeñas, elipsoide-alargadas,

5-8 mm de largo, pubescentes en su superficie; se abren en dos valvas cuando maduran, (Reynel *et al.,* 2003). Semillas pequeñas, comprimidas, con alas laterales, sus dimensiones incluyendo el ala varían de 5 a 6 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, embrión bien desarrollado con cotiledones foliáceos. Entre 10-30 semillas por fruto y entre 3-6 millones de semillas por kg (Flores, 2018).

La floración y fructificación ocurren todos los años: La floración dura de 2 a 4 meses (marzo a junio). La maduración de los frutos dura 3 a 5 meses y la diseminación de semillas empieza en agosto, pero alcanza su máxima intensidad en los meses de septiembre y octubre. Frecuentemente durante la diseminación de semillas se presenta una defoliación total o parcial de la copa (Flores, 2018).

La densidad básica de la madera: Es de 0,74 gr/cm^3 (IPCC 2006), se usa para construcción, palos de escoba y también para parquet, posee buen poder calorífico (Flores, 2018).

Se reportan varios usos medicinales para esta especie: El polvo de la corteza seca es aplicado en forma externa para el tratamiento de diversas micosis cutáneas (Desmarchelier y Witting, 2000). Ducke (1925), señala una amplia variedad de usos medicinales de esta planta: antidiabético, antioxidante, antiséptico, astringente, bactericida, cicatrizante, insecticida y estimulante, empleándose principalmente la corteza. Se distribuye por Brasil y Perú. Crece en Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali (Flores, 2018).

Es una especie heliófita, frecuente en bosques secundarios pioneros y tardíos, en suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables y en las zonas ribereñas. Se halla también en bosques primarios. Pueden llegar a formar extensas agrupaciones más o menos homogéneas llamadas “capironales” en las orillas de los principales ríos amazónicos (Flores, 2018).

2.2.2. Propagación vegetativa

La propagación vegetativa permite mantener el genotipo intacto y asegurar la conservación de germoplasma valioso, además de multiplicar genotipos superiores y aumentar la ganancia genética en periodos muy cortos al utilizar tanto los componentes aditivos como los no aditivos de la varianza genética total (Zobel y Talbert, 1988).

El éxito de la propagación vegetativa a través del enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación depende de la minimización del déficit hídrico, optimización de la fotosíntesis, así como del empleo de sustratos adecuados y reguladores de crecimiento que favorezcan la formación y desarrollo de raíces (Leakey *et al.,* 1990). Los factores más importantes asociados al enraizamiento en un determinado sustrato son la aireación, buen drenaje, facilidad de esterilización y soporte adecuado de las estacas (Hartmann *et al*., 1997).

El número de raíces producidos es altamente influenciado por la habilidad de la estaca de proveer carbohidratos, ya sea de reserva o producidos mediante fotosíntesis, al área donde surgen las raíces (Lovell y White, 1986). No se recomienda utilizar estacas demasiado cortas porque

la hoja queda en contacto permanente con el sustrato, lo cual puede favorecer la pudrición de la hoja, además la hoja debe cortarse a un tamaño tal que se logre el mejor balance entre las desventajas de la transpiración y las ventajas de la fotosíntesis (Mesén, 1993).

Se requiere un invernadero para un enraizamiento exitoso con tres factores clave: a) reducción de la fotosíntesis mediante sombra, b) alta humedad relativa (> 80-90%) y manejo adecuado del estrés hídrico, y c) temperatura de 30-35 °C (con microtúnel de plástico transparente bajo la sombra). La estructura del invernadero debe ser sencilla y funcional, afirma (Murillo, 2002).

Todas las técnicas de macropropagación dependen de la capacidad de las células meristemáticas indiferenciadas para dividirse y diferenciarse para formar nuevos brotes o raíces (Hartmann *et al.,* 2010). Aunque a veces es posible desarrollar nuevos brotes a partir de los tejidos de las raíces, generalmente es más fácil desarrollar nuevas raíces a partir de los tejidos de los brotes (Leakey, 2014).

Cosecha y transporte de esquejes

Mesén (1998) menciona que, una vez cortado el brote, se le está eliminando la fuente normal de suministro de agua (las raíces), pero las hojas siguen perdiendo agua por transpiración, así que deben tomarse las medidas necesarias para mantener la turgencia del material. Los rebrotes deben ser cosechados en horas de la mañana o de la tarde, evitando las horas más calientes del día. Deben colocarse inmediatamente en un recipiente con agua o envueltos en papel húmedo dentro de bolsas de

plástico. Nunca deben dejarse expuestos al sol.

Leakey *et al.,* (1990) menciona que, si se van a transportar por distancias largas, es conveniente colocarlos en capas alternas de papel húmedo dentro de hieleras que contengan una capa de cubos de hielo en el fondo para bajar la temperatura. El mantenimiento de la turgencia del material, a lo largo de todo el periodo de propagación es uno de los factores críticos en el éxito del enraizamiento.

Sub-irridador

Para Leakey *et al.,* (1990), el subirrigador es básicamente un marco de madera o de metal rodeado por plástico transparente para hacerlo impermeable. Los primeros 25 cm se cubren con capas sucesivas de piedras grandes (6 – 10 cm de diámetro), piedras pequeñas (3 – 6 cm) y grava, y los últimos 5 cm se cubren con sustrato de enraizamiento (arena fina, aserrín, etc.). Los 20 cm basales se llenan con agua, de manera que el sustrato de enraizamiento siempre se mantendrá húmedo por capilaridad. Para introducir el agua u observar su nivel, se utiliza un cilindro de bambú o cualquier otro material insertado verticalmente a través de las diferentes capas del material. Internamente se utilizan marcos de reglas que le dan apoyo a la estructura y a la vez proporcionan subdivisiones que permiten el uso de sustratos diferentes dentro del mismo propagador.

Microambiente de propagación

El microambiente ideal debe mantener niveles óptimos de irradiación, temperaturas adecuadas en el aire, el sustrato y las hojas y

buen balance de agua en las estacas. Durante el proceso de enraizamiento se requiere cierta cantidad de luz para permitir una tasa adecuada de fotosíntesis en las estacas. Sin embargo, la irradiación excesiva provoca el cierre de estomas y la consecuente reducción en el intercambio gaseoso, perdida de turgencia e incluso la muerte de la estaca (Loach, 1986).

Sustancia promotora del enraizamiento

El AIB es una auxina sintética químicamente similar al AIA que en la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectiva que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora del enraizamiento. Tiene las ventajas de que no es tóxica en un amplio rango de concentraciones, no se degrada fácilmente por la luz o microorganismos al ser insoluble en agua, permanece por más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto (Blazich, 1988).

Mesén (1998) menciona que la técnica de inmersión rápida consiste en introducir la base de la estaca en una solución concentrada de la auxina por pocos segundos e insertar inmediatamente la estaca en el medio de propagación; así mismo, afirma que cuando se utiliza AIB o ANA, la auxina debe diluirse en alcohol puro, lo cual requiere la evaporación del alcohol mediante la aplicación de una corriente de aire (por ejemplo, mediante un ventilador común) antes de introducir la estaca en el medio de enraizamiento. Esta técnica es rápida, permite tratar varias estacas a la vez y es más económica en comparación con el uso de preparados comerciales en polvo. Cuando se utiliza alcohol como solvente tiene la desventaja de que es necesaria la acción adicional de evaporar el alcohol

y es difícil controlar la cantidad absorbida por las diferentes estacas.

2.2.3. Efecto de algunos insumos en el enraizamiento de estacas de *Calycophyllum spruceanum*

El enraizado de estacas es una de las técnicas de propagación vegetativa más utilizadas en la clonación masiva de individuos seleccionados, con características deseables y superiores, para maximizar productividad, calidad y uniformidad de las plantaciones forestales (Bettinger *et al.,* 2009).

La formación de raíces adventicias, parte esencial en la propagación vegetativa por estacas de especies maderables (Legué *et al.,* 2014), es regulada por factores ambientales y reguladores de crecimiento (De-Klerk *et al.,* 1999), y es promovida por altas concentraciones de auxinas y bajas de citocininas (Steffens y Rasmussen, 2016). Las auxinas tienen el efecto mayor en la formación de raíces adventicias; de manera endógena, el ácido indolacético (AIA) se encuentra en las ramas y hojas jóvenes (Sedaghathoor *et al*., 2016); aplicado de manera exógena, el ácido indol-3-butírico (AIB) es la auxina más utilizada para este propósito (De-Klerk *et al.,* 1999).

Guan *et al.,* (2015) mencionan que la formación de raíces se divide en tres etapas:

- **Inducción:** Que incluye los eventos químicos y moleculares que preceden a los cambios morfológicos.
- **Iniciación:** Donde la división y diferenciación celular permiten la formación de primordios y meristemos.

- **Extensión:** Donde las raíces adventicias continúan su crecimiento y emergen.

Legué *et al.,* (2014) consideran una etapa adicional, previa a la inducción, la activación, donde las células se vuelven competentes para recibir las señales de inducción. Durante la etapa de inducción aumentan de manera temporal los niveles endógenos de auxinas, alcanzando los valores más altos de AIA durante las primeras 24 horas posteriores al corte de la estaca. En la fase de iniciación y extensión estos niveles disminuyen debido a que las altas concentraciones de auxinas pueden inhibir dichos procesos (Osterc y Stampar, 2011). El AIB en polvo o pasta puede permanecer en la estaca durante todo el proceso de formación de raíces inhibiendo la aparición y extensión de estas; mientras que el AIB en solución líquida solo está presente en la fase de inducción (Kroin, 1992).

La nutrición de la planta madre es otro factor involucrado en el enraizamiento posterior de las estacas, la cantidad de brotes y la calidad de estos (Martínez *et al.,* 2012). La nutrición influye en los procesos asociados con la morfogénesis, y nutrientes como el nitrógeno se relacionan con el crecimiento de la planta, la tolerancia al estrés hídrico y la producción de brotes (Kanmegne *et al.,* 2017). Steffens y Rasmussen (2016) indican que la nutrición de la planta madre también influye en la arquitectura de la raíz de las estacas. La nutrición de la planta madre es un factor importante y que mantener una planta vigorosa, sin deficiencias nutrimentales, proporciona una ventaja competitiva adicional en el número y calidad de los brotes, así como en la supervivencia y crecimiento de las estacas posterior al enraizamiento (Álvarez *et al.,* 2016).

Un enraizador es una hormona de las familias de las auxinas, complejos de formulación concentrada que induce a la formación del sistema radicular, basados en la correlación de dos tipos de auxinas: ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftilacético (ANA), dependiendo su concentración del grado de lignificación de los tejidos de cada planta, (Vera 2014). El ácido indolbutírico (AIB) es una auxina efectiva para promover el enraizamiento de estacas en un gran número de especies afirma (Hartmann *et al.,* 1997).

Los principales puntos de acción se encuentran en las células no diferenciadas producidas por el exceso de auxinas en el ambiente vegetal en presencia de citoquininas y tener la capacidad de inducir la producción de diferentes raíces adventicias sobre los tejidos de hojas y tallos recién cortados. Dadas las funciones que posee esta hormona es considerada como un tipo de morfógeno capaz de inducir la diferenciación celular de órganos como raíces, tallos y hojas, y así mismo, dar origen a ellos, (Alcántara *et al.,* 2019).

Araujo (2014), manifiesta que las citoquininas tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, suelen inducir la iniciación y elongación de las raíces al igual que pueden activar la senescencia de las hojas, permitiendo estimular el desarrollo fotomorfogénico vegetal y jugar un rol importante en el aumento y generación de la producción de brotes a nivel vegetal.

Efecto del sustrato en el enraizamiento de estacas de *Calycophyllum spruceanum*

Leakey (2014) recomienda el uso de sustratos con buena aireación, alta capacidad de retención de agua, buen drenaje, asépticos y capaces de crear un ambiente propicio para el enraizamiento. así mismo recomienda que el medio de enraizamiento debe permitir la respiración de los tejidos y evitar la anoxia, la cual estimula la putrefacción y la mortalidad.

Dentro de los muchos sustratos utilizados se destaca el uso de arena, pues ésta ayuda al crecimiento de raíces ramificadas delgadas y flexibles, las cuales son apropiadas para extraer y volver a planta. Diversas investigaciones han encontrado diferencias para cada especie al probar distintos sustratos. La arena fina ha sido frecuentemente usada por dar buenos resultados, incluyendo a *Cedrela odorata* (Díaz, 2021).

Salisbury y Ross (2000), señalan que el crecimiento y morfología de las raíces sigue un control genético, pero también influye su entorno edáfico; en este mismo sentido (Fitter, 1996), señala que la humedad del suelo influye en el área, desarrollo y supervivencia radicular. Afecta el alargamiento, pero no la diferenciación de las raíces. Además, factores como oxígeno, textura del suelo, CO_2, luz y reguladores de crecimiento también son relevantes.

Arena como sustrato

El uso de arena como sustrato en cámaras de subirrigación tiene varias ventajas y desventajas, Leakey (2014) menciona las siguientes:

Ventajas

- **Buen drenaje:** La arena tiene una excelente capacidad de drenaje, lo que evita el encharcamiento y la acumulación de agua alrededor de las raíces, previniendo problemas de pudrición.
- **Aireación adecuada:** La estructura granular de la arena permite una buena circulación de aire en el sustrato, lo que es beneficioso para la respiración de las raíces.
- **Distribución uniforme del agua:** La arena permite una distribución más uniforme del agua en el perfil del suelo, asegurando que las raíces reciban agua de manera constante.
- **Control de enfermedades:** La buena aireación y drenaje reducen la proliferación de hongos y bacterias patógenas en el sustrato.

Desventajas

- **Baja capacidad de retención de agua:** La arena no retiene bien el agua, lo que puede requerir riegos más frecuentes para mantener un nivel adecuado de humedad para las plantas.
- **Pobre capacidad de retención de nutrientes:** La arena tiene una baja capacidad de intercambio catiónico, lo que significa que no retiene bien los nutrientes. Esto puede requerir una fertilización más frecuente o la adición de otros materiales al sustrato para mejorar la retención de nutrientes.
- **Compactación:** Con el tiempo, la arena puede compactarse, reduciendo su capacidad de drenaje y aireación, lo que puede afectar negativamente el crecimiento de las raíces.

- **Costos y disponibilidad:** Dependiendo de la región, la arena adecuada para usar como sustrato puede ser costosa o difícil de encontrar.
- **Necesidad de manejo cuidadoso:** Para evitar la compactación y asegurar una distribución adecuada del agua y nutrientes, el manejo de la arena como sustrato requiere atención y cuidado continuos.

Aserrín descompuesto como sustrato

El uso de aserrín descompuesto como sustrato en cámaras de subirrigación tiene varias ventajas y desventajas, Loeza *et al.,* (2013) menciona las siguientes:

Ventajas

- **Buena retención de agua:** El aserrín descompuesto tiene una excelente capacidad de retención de agua, lo que puede reducir la frecuencia de riego y mantener un nivel de humedad constante para las plantas.
- **Mejora la estructura del suelo:** El aserrín descompuesto puede mejorar la estructura del suelo, aumentando su capacidad de aireación y permitiendo un mejor crecimiento de las raíces.
- **Aporte de materia orgánica:** A medida que el aserrín se descompone, aporta materia orgánica al suelo, mejorando su fertilidad y estructura a largo plazo.

- **Regulación de temperatura:** Los sustratos orgánicos como el aserrín descompuesto pueden ayudar a regular la temperatura del suelo, protegiendo las raíces de las fluctuaciones extremas de temperatura.

Desventajas

- **Descomposición continua:** El proceso de descomposición del aserrín consume nitrógeno del suelo, lo que puede resultar en una deficiencia de nitrógeno para las plantas a menos que se complemente con fertilizantes adecuados.
- **Riesgo de compactación:** Aunque inicialmente mejora la estructura del suelo, el aserrín descompuesto puede llegar a compactarse con el tiempo, reduciendo la aireación y el drenaje.
- **Variabilidad en la calidad:** La calidad del aserrín descompuesto puede variar según el tipo de madera y el grado de descomposición, lo que puede afectar su rendimiento como sustrato.
- **Posibilidad de acidez:** Dependiendo del tipo de madera de la que provenga el aserrín, puede aumentar la acidez del suelo, lo que podría requerir ajustes del pH mediante la adición de cal u otras enmiendas.
- **Riesgo de plagas y enfermedades:** Si el aserrín no está completamente descompuesto o está contaminado, puede albergar plagas y enfermedades que podrían afectar las plantas.

Mezcla de aserrín descompuesto y arena en una proporción 1:1 como sustrato

Mezclar aserrín descompuesto y arena en una proporción 1:1 para usar como sustrato en cámaras de subirrigación puede combinar las ventajas de ambos materiales y mitigar algunas de sus desventajas. Según Leakey (2014) las ventajas y desventajas de esta mezcla son:

Ventajas

- **Mejor retención de agua y drenaje:** La mezcla proporcionará una retención de agua equilibrada gracias al aserrín, mientras que la arena mejorará el drenaje, evitando encharcamientos.
- **Mejor aireación:** La arena contribuye a la aireación del sustrato, mientras que el aserrín descompuesto, al mantener su estructura, también ayuda a evitar la compactación excesiva.
- **Mejora de la estructura del suelo:** La combinación de arena y aserrín descompuesto mejorará la estructura del suelo, proporcionando un ambiente adecuado para el crecimiento de las raíces.
- **Aporte de materia orgánica:** El aserrín descompuesto aporta materia orgánica, que puede mejorar la fertilidad del sustrato con el tiempo.
- **Regulación de temperatura:** La mezcla puede ayudar a regular la temperatura del suelo, protegiendo las raíces de las fluctuaciones extremas de temperatura.

Desventajas

- **Necesidad de manejo cuidadoso de nutrientes:** El aserrín descompuesto puede consumir nitrógeno durante su descomposición. Será necesario vigilar y suplementar con fertilizantes para evitar deficiencias nutricionales.
- **Variabilidad en la calidad del aserrín:** La calidad y el grado de descomposición del aserrín pueden variar, lo que afectará la uniformidad y el rendimiento del sustrato.
- **Posibilidad de acidez:** Dependiendo del tipo de madera del aserrín, la mezcla puede tender a ser ácida, lo que podría requerir ajustes del pH.
- **Potencial de compactación con el tiempo:** Aunque la mezcla ayuda a prevenir la compactación inicial, con el tiempo, el aserrín puede descomponerse más y compactarse, lo que podría reducir la aireación y el drenaje.
- **Riesgo de plagas y enfermedades:** Si el aserrín no está completamente descompuesto o está contaminado, puede albergar plagas y enfermedades que podrían afectar las plantas.

2.3. Definición de términos básicos

- **Ácido Indolbutírico:** Es una auxina sintética químicamente similar al AIA (ácido indolacético) que en la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectiva que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora del enraizamiento. Tiene las ventajas de que no es tóxica en un amplio rango de

concentraciones, no se degrada fácilmente por la luz o microorganismos al ser insoluble en agua, permanece por más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto (Blazich, 1988).

- **Auxina:** El término auxina se deriva de la palabra griega auxein que significa crecer. Los compuestos generalmente se consideran auxinas si pueden caracterizarse por su capacidad para inducir el alargamiento celular en los tallos y por lo demás se parecen al ácido indolacético (la primera auxina aislada) en su actividad fisiológica. Las auxinas generalmente afectan otros procesos además del alargamiento celular de las células madre, pero esta característica se considera crítica para todas las auxinas y, por lo tanto, "ayuda" a definir la hormona (Arteca, 1996).

- **Esquejes:** Los esquejes de madera blanda son fragmentos de brotes nuevos cortados de perennifolias leñosas o plantas de hoja caduca a principios de verano antes de que los tallos hayan empezado a endurecerse (Toogood, 1999).

- **Fotosíntesis:** Es un proceso de anabolismo autótrofo. Constituye no sólo la forma de nutrición del reino vegetal sino por la base de la alimentación de todas las cadenas tróficas. Consta de dos fases: una luminosa y otra oscura. En ellas se produce la transformación no sólo de materia inorgánica en orgánica, sino también de energía luminosa en energía química de enlace (Ocampo, 2014).

- **Genotipo:** El genotipo se determina por la descripción del material físico real conformado por el ADN que los padres pasan a un organismo. Para los organismos que se reproducen sexualmente, esa materia física consiste en el ADN aportado por dos progenitores al huevo fertilizado. Para los organismos, plantas clonales o animales que se reproducen asexualmente, el material heredado es una copia directa del ADN de su progenitor (Rival, 2013).

- **Invernadero:** Es una Construcción Agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior (Hernández, 2024).

- **Raíces Adventicias:** Las raíces adventicias de una planta son un tipo de sistema radical que presentan numerosas especies vegetales y sirven para la absorción de agua y nutrientes del suelo. El origen o formación de las raíces adventicias es a partir del tallo, y no como en el sistema de raíces primarias y secundarias cuyo origen es a partir de la radícula o de la raíz principal respectivamente. (Blanco, 2024).

- **Reforestación:** La reforestación consiste en repoblar zonas deforestadas para recuperar bosques destruidos en el pasado

reciente. Ante la pérdida de grandes masas forestales, vitales para la absorción de CO_2, la generación de oxígeno y la lucha contra el cambio climático, se hace necesaria la plantación masiva de árboles nuevos con el objetivo de evitar la pérdida de ecosistemas y frenar el deterioro del planeta (Iberdrola, 2024).

- **Silvicultura:** Es un aprovechamiento de los bosques para necesidades humanas, pero siempre teniendo en cuenta el bienestar del propio bosque y su uso responsable. Las técnicas de silvicultura que se aplican tienen dos objetivos en mente: la persistencia de la masa forestal y su uso múltiple (Garnica, 2024).

- **Sustrato:** Es el espacio físico dónde se desarrolla la raíz de las plantas, es decir, cualquier medio distinto al suelo ya sea natural, mineral u orgánico que promueven la aireación, retención de nutrientes y agua, y brindan el soporte necesario para el desarrollo de la planta (Agro-Activo, 2024).

- **Vivero:** Un vivero es un lugar donde se cultivan las plantas para venta. En estos espacios es común encontrar plantas, árboles y otros productos relacionados con la jardinería; pues aquí se preparan y mantienen estas plantas y especies vegetales hasta que están listas para ser vendidas. Además de su función comercial, los viveros también pueden tener un papel importante en la conservación de especies vegetales, cultivando plantas endémicas o nativas, o algunas especies raras que necesitan ser protegidas

para la conservación y uso en la restauración de hábitats naturales (Tierra-plantas, 2024).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación

La investigación fue aplicada, según Hernández (2017). De nivel experimental, correlacional y cuantitativo, realizando un ensayo que permitió cumplir con el objetivo propuesto. Se empleó un Diseño Completamente al Azar, donde se probaron tres tipos de sustratos (Arena, Aserrín descompuesto, Arena + Aserrín descompuesto [1:1]), influenciados por cuatro concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000, 6000 ppm); asimismo se precisaron de 240 estaquillas.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo conformada por las ramas juveniles de 20 individuos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) de 5 años de edad de la plantación “El Aguajal”, Ubicado en el distrito de Nueva Requena, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali; en las coordenadas UTM 514818 m E y 9085802 m N.

3.2.2. Muestra

Las muestras fueron seleccionadas utilizando un procedimiento no probabilístico, formándose las denominadas muestras dirigidas, estas suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización

(Hernández, 2017). Con este método se realizó la selección de los elementos de muestra, de acuerdo con el juicio y criterio del investigador, Tamayo (2016), que en este caso fue el que se encuentre en estadios juveniles. Asimismo, las ramas terminales debieron encontrarse completamente sanos. La muestra estuvo constituida por 240 estacas juveniles de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona).

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas

Para la recolección de información necesaria en la elaboración de la investigación se utilizó la técnica de observación de variables como la supervivencia de las estacas, presencias de raíz en las estacas, contando el número de raíces, número de brotes, número de hojas de los brotes y midiendo longitud de raíces, longitud del brote mayor.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de información necesaria en la elaboración de la investigación se utilizó un cuestionario con el cual se colectaron los valores de las variables en estudio. El cuestionario se presenta en la tabla 1 se detallan los datos cualitativos y cuantitativos que se tomaron por repetición:

Tabla 1

Tabla de recolección de datos.

Tratamiento/ Repetición	Vivo/ muerto	Presencia de raíz (si/no)	N° raíces	Longitud de raíces	N° de brotes	N° de hojas de los brotes	Longitud del brote mayor
T_1							
R_{1-1}							
R_{1-2}							
R_{1-3}							
R_{1-4}							
R_{1-5}							
…							
R_{4-5}							
T_2							
…							
T_{12}							
R_{12-5}							

Los datos con los cuales se llenó la tabla fueron según las características de cada estaca. Para “Vivo/muerto” el dato fue 0 si la estaca estaba muerta o 1 si estaba vivo; Presencia de raíz (si/no), fue 0 si no presentaba o 1 si presentaba raíces; N° raíces, fue el número o cantidad de raíces presentes; longitud de raíces, fue la longitud en mm de la raíz de mayor extensión; N° de brotes, fue el número o cantidad de brotes presentes; N° de hojas de los brotes, fue la cantidad de hojas de todos los brotes, y longitud del brote mayor, fue la longitud en mm del brote de mayor extensión.

3.4. Procedimiento de recolección de datos

3.4.1. Ubicación del área de estudio

El trabajo de investigación se desarrolló en instalaciones propias, ubicada en Jr. Los Olivos Mz 2 Lt 3 – A.H 7 de Junio, Pucallpa, distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali.

3.4.2. Recolección de datos

Recolección de estacas

Primero se identificó los árboles de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona), de los cuales se extrajeron las estacas para la investigación. La recolección de las estaquillas se realizó entre las 5 y 7 de la mañana en la plantación “El Aguajal”, en donde se utilizó tijera podadora, esponja, balde, bandejas, guantes, bolsas de plástico grande, etiquetas, mica transparente Nº 08; luego del corte de las ramas, estas fueron introducidas en una caja hermética que contenía hielo para evitar su desecación. Fueron trasladadas al vivero de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, en donde se seccionaron las estacas y recibieron un tratamiento antifúngico, siendo estas sumergidas en una solución fungicida a base de PROTEXÍN (10 ml/10 L) en 10 litros de agua.

Construcción de cámara de subirrigación

Las cámaras de subirrigación, donde se realizó la propagación vegetativa se construyó con antelación y fue construida con madera,

utilizando listones y tablas (6 listones de 2” x 1”, 10 tablillas), 2 kg de clavos de 2” y 1.5”, un martillo, un serrucho, una wincha de 10 m, una cajita de tachuelas, 3 bisagras de 2” y 15 metros de mica de plástico número 8, (Cachique, 2014).

La cámara de subirrigación fue acondicionado con divisiones especiales que generaban 3 áreas de iguales dimensiones para colocar en ellos los 3 tipos de sustratos, evitando que los sustratos y sus líquidos entren en contacto directo.

Preparación de sustrato

Para la preparación dentro de la cámara se colocó una primera capa de piedras grandes y luego piedras pequeñas debidamente lavadas y desinfectadas.

Se prepararon los sustratos, Arena, Aserrín descompuesto y Arena + Aserrín descompuesto (1:1), debidamente lavadas y desinfectadas. Para el caso de la mescla de Arena + Aserrín descompuesto, la combinación se realizó en la proporción 1 a 1. Una vez preparado cada sustrato, estos fueron colocados en la cámara de subirrigación, en cada una de las áreas acondicionadas con su respectiva división.

Para nivelar el sustrato fue necesario utilizar una pequeña plancha de poliestireno expandido de manera que el sustrato superficial quede parejo, seguidamente se hicieron pequeños hoyos, 240 en total, con una profundidad de 3 cm en el sustrato, a un espaciamiento de 10 cm de ancho y 10 cm de largo. Las etiquetas para identificar los tratamientos por estaquilla se colocaron una vez terminado de hacer los hoyos.

Tratamiento de las estacas

El regulador de crecimiento ácido indol-3-butírico fue disuelto en solvente, utilizando alcohol puro (96°). Para el tratamiento hormonal de las estaquillas se preparó una solución de AIB a 2000 ppm, disolviendo 0.2 g de AIB enrazado a 100 ml de alcohol puro (96°). La solución auxínica (AIB) fueron en concentraciones de 0, 2000, 4000 y 6000 ppm, las soluciones por separado fueron vaciadas en envases de vidrio limpios en los cuales se introdujeron la base de las estacas en el número designado en cada tratamiento por un periodo de 5 segundos con evaporación inmediata del alcohol con una corriente de aire proveniente de un ventilador pequeño.

Establecimiento y colocación de las estaquillas

Las estaquillas fueron colocadas dentro de las cámaras de sub irrigación. Para impedir que las estacas pierdan demasiada agua al incrementarse su transpiración y terminen marchitándose, se colocaron mallas raschel, diseñadas para ese propósito; dejando al material utilizado transmitir suficiente cantidad de luz para activar la fotosíntesis de las plantas.

Cuidados durante el período de propagación

Una vez que las estaquillas fueron establecidas dentro de la cámara de sub irrigación éstos se asperjaron con agua mediante un aspersor manual, especialmente después de períodos de alta temperatura. Fue conveniente mantener cerrada la tapa a fin de evitar disminución en la humedad relativa dentro del propagador. Se realizó inspecciones

interdiarias para detectar y corregir problemas patológicos, eliminar hojas caídas o estacas con síntomas de necrosis que podrían ser foco de infección, para observar y mantener el nivel del agua y para evaluar el avance en el proceso de enraizamiento.

Evaluación final y repique del material enraizado

Luego de 45 días de haber sido instalado las estaquillas, se realizó la evaluación final de:

- **Cantidad de estaquillas con y sin raíces para hallar el porcentaje de mortalidad y porcentaje de enraizamiento:** Se realizó al final del ensayo, contándose el número de estaquillas con o sin raíces en base al total de unidades experimentales por tratamiento y por repetición.
- **Conteo de las raíces presentes por cada estaquilla:** Se realizó al final del ensayo, contándose el número de raíces en cada estaquilla en base al total de unidades experimentales por tratamiento y por repetición.
- **Medición de la raíz con mayor longitud por cada estaquilla, para esto se utilizó un vernier mecánico:** Se realizó al final del ensayo, midiendo la raíz con mayor longitud en cada estaquilla en base al total de unidades experimentales por tratamiento y por repetición.
- **Conteo de brotes en las estaquillas:** Se realizó al final del ensayo, contando la cantidad de brotes en cada estaquilla en base al total de unidades experimentales por tratamiento y por repetición.

Descripción de variables analizados en el objetivo específico

Variable independiente (X_i)

Tabla 2

Variable independiente

Variable	Indicador (Factor)	Índices (Niveles)
Sustrato (A)	Tipo de sustrato	B1 = Arena B2 = Aserrín descompuesto B3 = Arena + Aserrín descompuesto (1:1)
Regulador de enraizamiento (B)	Concentración de ácido indolbutírico	A1 = 0 ppm A2 = 2000 ppm A3 = 4000 ppm A4 = 6000 ppm

Variables dependientes (Yi):

Tabla 3

Variable dependiente

Variable	Indicador	Índices
Factores de Enraizamiento	Supervivencia (Vivo/Muerto)	% vivos neto
	Presencia de raíz (si/no)	% de estacas con raíz
	Raíces	N° de raíces
	Longitud de raíces	cm
	Brotes	N° de brotes
	Hojas de los brotes	N° de hojas de los brotes
	Longitud del brote mayor	cm

Diseño experimental

Se utilizó el diseño Estadístico Completo al Azar (DCR) con arreglo factorial de 3Ax4B, que contempló como factor (A) el Tipo de sustrato y factor (B) al regulador de enraizamiento o Concentración de ácido indolbutírico, 4 repeticiones por tratamiento y 5 estacas por repetición. Los tratamientos a aplicar, los factores y los niveles de evaluación fueron como se muestra en tabla 4:

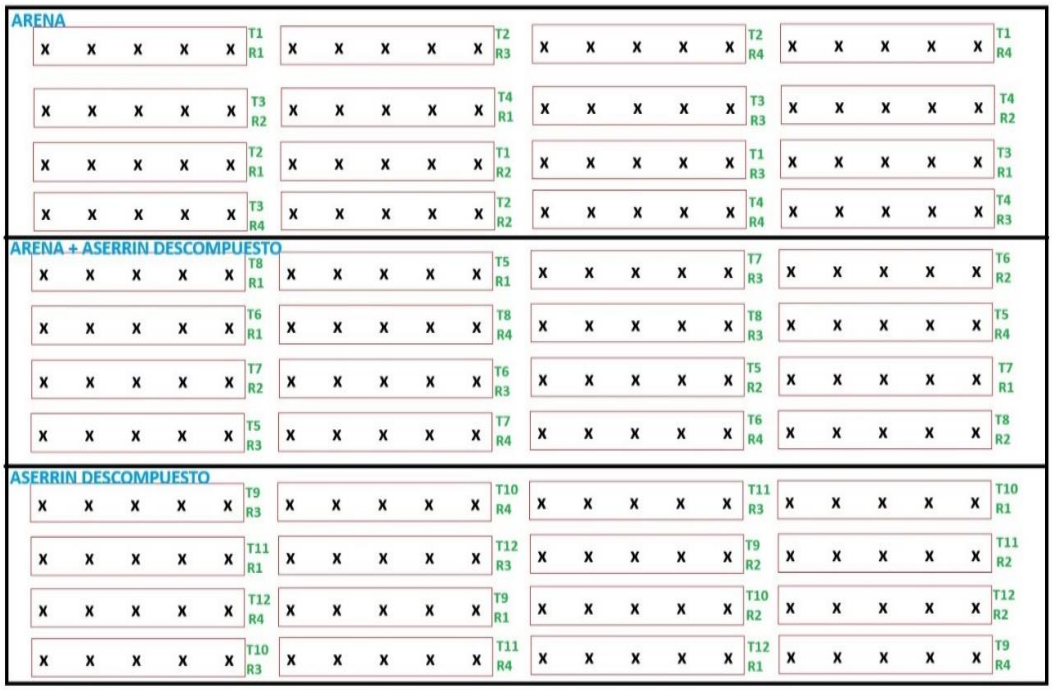
Tabla 4

Distribución de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Clave	Sustrato	Concentración de AIB
T_1	A_1B_1	Arena	0 ppm
T_2	A_1B_2	Arena	2000 ppm
T_3	A_1B_3	Arena	4000 ppm
T_4	A_1B_4	Arena	6000 ppm
T_5	A_2B_1	Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm
T_6	A_2B_2	Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm
T_7	A_2B_3	Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm
T_8	A_2B_4	Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm
T_9	A_3B_1	Aserrín descompuesto	0 ppm
T_{10}	A_3B_2	Aserrín descompuesto	2000 ppm
T_{11}	A_3B_3	Aserrín descompuesto	4000 ppm
T_{12}	A_3B_4	Aserrín descompuesto	6000 ppm

Figura 1

Distribución de las unidades experimentales dentro del túnel de subirrigación



3.5. Tratamiento de datos

3.5.1. Aplicación de prueba estadística inferencial

Los resultados de las mediciones fueron analizados mediante los parámetros estadísticos, como también, el análisis de varianza para establecer si existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Para determinar la superioridad de algunos tratamientos sobre otros, a un nivel de probabilidad del 95% se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 5

Esquema del análisis de varianza ANOVA 2

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	$a-1$	SC_A	$\frac{SC_A}{a-1}$	$\frac{CM_A}{CM_{Error}}$			
Entre Dosis de AIB	$b-1$	SC_B	$\frac{SC_B}{b-1}$	$\frac{CM_B}{CM_{Error}}$			
Interacción A x B	$(a-1)(b-1)$	SC_{AB}	$\frac{SC_{ab}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{CM_{AB}}{CM_{Error}}$			
Error	$ab(r-1)$	SC_{Error}	$\frac{SC_{Error}}{ab(r-1)}$				
Total	$abr-1$	SC_{Total}					

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Porcentaje de supervivencia

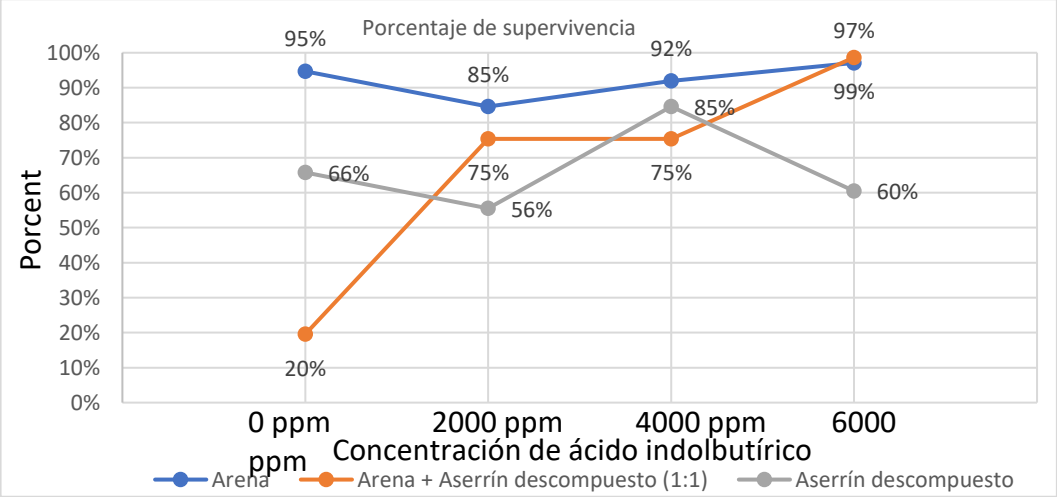
Tabla 6

Valores de los porcentajes de supervivencia por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	95%	85%	92%	97%	92%
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	20%	75%	75%	99%	67%
Aserrín descompuesto	66%	56%	85%	60%	67%
Promedio	60%	72%	84%	85%	

Figura 2

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el porcentaje de la supervivencia de estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 6 se muestran los valores de los porcentajes de supervivencia por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 60%, 2000 ppm: 72%, 4000 ppm: 84% y 6000 ppm: 85%; y tipos de sustratos, Arena:

92%, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 67%, Aserrín descompuesto: 67%) y en la figura 2 se detalla el efecto de los factores de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), y Dosis o Concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) respecto a los porcentajes promedio de supervivencia de las estaquillas de *C. spruceanum*. Se observa que los porcentajes de supervivencia en el sustrato arena son semejantes en todas las concentraciones de AIB (línea azul), con valores altos de porcentaje de supervivencia, rondando el 90%; concordando con Cordova (2016), el cual evaluó el efecto del ácido-3-indolbutírico en la producción de clones de *Simarouba amara* (Marupa) a partir de estaquillas en cámaras de subirrigación con sustrato de arena, determinando que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos (dosis de AIB) respecto al porcentaje de supervivencia. Sin embargo, los resultados son diferentes a lo obtenido por Moncada (2012), que en ensayos de enraizamiento de estacas de la misma especie (capirona) y en sustrato de arena, observó el aumento en la mortalidad de las estaquillas al aumentar concentraciones de AIB y una mortalidad de 100% en sus estaquillas de testigo.

Así mismo, en el sustrato de aserrín descompuesto, figura 2 (línea gris), los valores de porcentaje son semejantes en todas las concentraciones de AIB, con valores que van de 56% al 85%. De igual manera Manihuari (2022) en su investigación de enraizamiento de estaquillas de *copaifera paupera* (herzog) dwyer (copaiba) en tres diferentes tipos de sustratos orgánicos (Cascarilla de arroz, Fibra de palma

y Turba de sphagnum), no encontró diferencias estadísticas significativas en el factor dosis de AIB respecto del porcentaje de estacas vivas, con un promedio de 37% de supervivencia.

Se observa en la figura 2 (línea naranja), que en el sustrato de Arena + Aserrín descompuesto (1:1), el testigo presenta un porcentaje de supervivencia de 20% y en las concentraciones de 2000, 4000 y 6000 ppm, el porcentaje de supervivencia es de 75%, 75% y 99% respectivamente, siendo estos diferentes significativamente al testigo, pero similares entre estos.

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos y de la interacción, así como una diferencia estadística significativa de las dosis de AIB en la supervivencia de las estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 7

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el porcentaje de supervivencia de esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	1.071	2	0.535	7.208	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	0.802	3	0.267	3.599	2.866	4.377	*
Interacción AxB	1.587	6	0.264	3.560	2.364	3.351	**
Error	2.674	36	0.074				
Total	6.13	47					

Datos transformados con $sin^{-1}\sqrt{\%}$.

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1.

Tabla 8

Análisis de varianza AV1 del porcentaje de supervivencia por cada sustrato evaluado a los 45 días

Sustratos	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	0.117	3	0.039	0.399	3.490	5.953	N.S.
	Error	1.170	12	0.097				
	Total	1.287	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	2.023	3	0.674	14.788	3.490	5.953	**
	Error	0.547	12	0.046				
	Total	2.570	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	0.249	3	0.083	1.042	3.490	5.953	N.S.
	Error	0.958	12	0.080				
	Total	1.207	15					

Datos transformados con $sin^{-1}\sqrt{\%}$.

En la tabla 8 se analizó el efecto de la concentración de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) en cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), en relación al porcentaje de supervivencia de las estaquillas de *C. spruceanum*. Para los sustratos Arena y Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto del porcentaje de supervivencia de las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1), se observa una diferencia altamente significativa del porcentaje de supervivencia de las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico

presenta mayor o menor porcentaje de supervivencia de las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett, cuyos resultados se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Prueba de DUNNETT del porcentaje de supervivencia para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.68}$		Inferior al testigo	Superior al testigo
0.46	± 0.40		< 0.05	> 0.86
Concentración de ácido indolbutírico		6000 ppm	4000 ppm	2000 ppm	0 ppm
Promedio		1.45	1.05	1.05	0.46

Según el análisis de Dunnett, los promedios de supervivencia de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000, 4000 y 6000 ppm están por encima del testigo, siendo la concentración de 6000 ppm la de mayor supervivencia, este sería la concentración recomendada para la reproducción por estacas de esta especie en el sustrato indicado.

La diferencia en la supervivencia de las estaquillas en los distintos sustratos puede atribuirse a varias características inherentes a cada tipo de sustrato y cómo estos afectan el ambiente radicular y las necesidades de las plantas. A continuación, se exploran las posibles razones detrás de estos resultados:

Supervivencia en arena (mayores al 85%, sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

- **Excelente Drenaje**: La arena tiene una capacidad de drenaje muy alta, lo que evita el encharcamiento y reduce el riesgo de pudrición

de las raíces. Esto crea un ambiente más favorable para la supervivencia de las estaquillas.

- **Buena Aireación**: La estructura granular de la arena permite una excelente aireación del sustrato, lo que es crucial para la respiración de las raíces y el desarrollo inicial de las estaquillas (Leakey, 2014).

Supervivencia en aserrín descompuesto (66% en promedio, sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

- **Alta Retención de Agua:** El aserrín descompuesto retiene agua de manera eficiente, proporcionando un suministro constante de humedad para las estaquillas. Sin embargo, esto puede ser un problema si el aserrín retiene demasiada agua, lo que podría llevar a la saturación y pudrición de las raíces en algunos casos.

- **Aporte de Materia Orgánica:** A medida que el aserrín se descompone, libera nutrientes que pueden beneficiar el crecimiento de las estaquillas. No obstante, el proceso de descomposición también puede consumir nitrógeno, afectando la disponibilidad de este nutriente esencial (Loeza *et al.,* 2013).

Supervivencia en la mezcla de arena y aserrín descompuesto (20% en concentraciones de AIB de 0 ppm y mayor a 75% a partir de 2000 ppm)

- **Incompatibilidad Inicial del Sustrato:** La mezcla de arena y aserrín descompuesto puede no haber alcanzado un equilibrio óptimo en términos de retención de agua y aireación. Si la mezcla no se realizó de manera uniforme, podría haber áreas del sustrato

que retienen demasiada agua y otras que no retienen suficiente, creando un ambiente inconsistente para las estaquillas.

- **Problemas de Descomposición:** El aserrín descompuesto en la mezcla puede haber seguido descomponiéndose y consumiendo nitrógeno del sustrato, dejando menos nitrógeno disponible para las estaquillas y afectando negativamente su supervivencia.

- **Complicaciones de Manejo del pH:** El aserrín puede acidificar el sustrato. En una mezcla, esto podría haber llevado a fluctuaciones en el pH que no son tan pronunciadas en sustratos individuales, afectando la capacidad de las estaquillas para absorber nutrientes de manera efectiva**.**

- **Efecto Combinado de Retención de Agua y Aireación**: La combinación de arena y aserrín descompuesto puede haber creado una condición en la que ni la retención de agua ni la aireación eran óptimas. Esto podría haber resultado en un entorno en el que las raíces jóvenes tenían dificultades para establecerse debido a la falta de consistencia en la humedad y la aireación del sustrato (Leakey, 2014). Sin embargo, estos inconvenientes pudieron ser contrarrestados con la adición de AIB, que es una auxina que estimula la formación de raíces adventicias en las estaquillas, aumentando la probabilidad de supervivencia y establecimiento de las plantas. Con un mejor desarrollo radicular inducido por el AIB, las estaquillas pueden absorber agua y nutrientes de manera más eficiente, mejorando su crecimiento y supervivencia. Un sistema

radicular bien desarrollado puede ser más resistente a enfermedades y patógenos del suelo, lo que contribuye a una mayor supervivencia de las estaquillas (Alcántara *et al.,* 2019).

4.2. Presencia de raíces en porcentaje

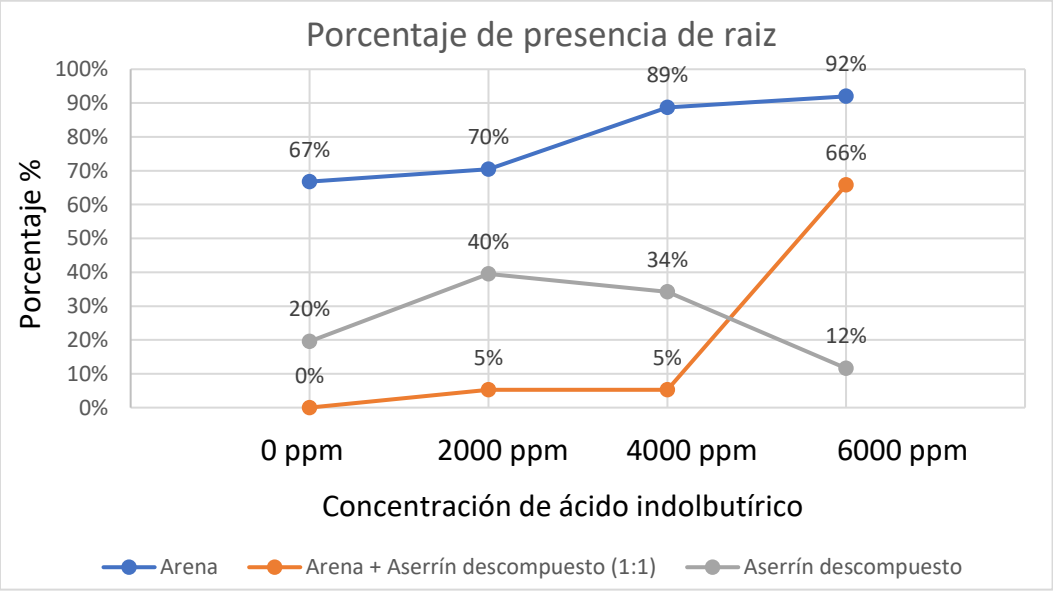
Tabla 10

Valores del porcentaje de presencia de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	67%	70%	89%	92%	79%
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0%	5%	5%	66%	19%
Aserrín descompuesto	20%	40%	34%	12%	26%
Promedio	29%	38%	43%	56%	

Figura 3

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el porcentaje de la presencia de raíces en estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 10 se muestran los valores de los porcentajes de presencia de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 29%, 2000 ppm: 38%, 4000 ppm: 43% y 6000 ppm: 56%; y tipos de sustratos, Arena: 79%, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 19%, Aserrín descompuesto: 26%) y en la figura 3 se detalla el efecto de los factores de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), y Dosis o Concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) respecto a los porcentajes promedio de presencia de raíces en las estaquillas de *C. spruceanum*. Se observa que en el sustrato de arena (línea azul) se tiene los mayores porcentajes de presencia de raíces respecto a los otros dos sustratos, con valores de 67% a 92%, sin embargo, no hay diferencia significativa del porcentaje de presencia de raíces entre las concentraciones de AIB en este sustrato. En este sustrato, se obtuvo el mayor porcentaje de presencia de raíz (92%) en la dosis de AIB de 6000 ppm, sin embargo, Moncada (2012), obtuvo un mayor porcentaje de enraizamiento a menores concentraciones de AIB, un 93.33% de enraizamiento en estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) con la dosis de AIB de 2000 ppm. Esta diferencia puede deberse a las características genotípicas únicas que tiene cada individuo, lo que hace que algunos genotipos sean mucho más fáciles de enraizar que otros.

Se observa también en la figura 3, que en el sustrato de aserrín descompuesto (línea gris) se presentaron porcentajes de presencia de raíces sin diferencia significativa respecto a las diferentes concentraciones de AIB, con valores de ente 40% y 12%; de igual manera Manihuari (2022) usando AIB y sustratos orgánicos en su investigación de enraizamiento de

estacas juveniles y producción de plantones de *copaifera paupera* (copaiba), no encontró diferencias significativas para ninguna de sus fuentes de variación y con un porcentaje de enraizamiento promedio de 37%. Sin embargo, Tang (2014) en su investigación de enraizamiento de estacas juveniles de *Tabebuia serratifolia*, en el sustrato aserrín encontró diferencias significativas entre dosis de AIB, encontrando mayor porcentaje de enraizamiento en la dosis testigo de 0 ppm.

Se destaca de la figura 3, que en el sustrato de Arena + Aserrín descompuesto (1:1) (línea Naranja), el porcentaje de presencia de raíces del testigo (0 ppm) es de 0%, y que los porcentajes para las concentraciones de 2000 y 4000 ppm es de 5% y que este valor no presenta diferencia significativa al testigo (Según prueba de DUNNETT). Mientras que el porcentaje de presencia de raíces en la concentración de 6000 ppm presentó un valor de 66%, siente este, diferente significativamente al testigo (Según prueba de DUNNETT).

En la tabla 11 se presentan los resultados del análisis de varianza. Se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos y de la interacción, así como una diferencia estadística significativa de las dosis de AIB en la presencia de raíces en estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 11

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el porcentaje de presencia de raíces de esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	5.124	2	2.562	32.599	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	0.922	3	0.307	3.912	2.866	4.377	*
Interacción A x B	1.702	6	0.284	3.610	2.364	3.351	**
Error	2.829	36	0.079				
Total	10.578	47					

Datos transformados con $sin^{-1}\sqrt{\%}$.

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1.

Tabla 12

Análisis de variancia AV1 del porcentaje de presencia de raíces por cada sustrato evaluado a los 45 días

Sustratos	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	0.322	3	0.107	0.810	3.490	5.953	N.S.
	Error	1.589	12	0.132				
	Total	1.910	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	2.024	3	0.675	14.619	3.490	5.953	**
	Error	0.554	12	0.046				
	Total	2.578	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	0.279	3	0.093	1.624	3.490	5.953	N.S.
	Error	0.687	12	0.057				
	Total	0.966	15					

Datos transformados con $sin^{-1}\sqrt{\%}$.

En la tabla 12 se analizó el efecto de la Concentración de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) en cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), en relación al porcentaje de la presencia de raíces en las estaquillas de *C. spruceanum*. Para los sustratos Arena y Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto del porcentaje de presencia de raíces en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1), se observa una diferencia altamente significativa del porcentaje de presencia de raíces en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico presenta mayor o menor porcentaje de presencia de raíces en las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett, cuyos resultados se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

Prueba de DUNNETT del porcentaje de presencia de raíces para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3} \quad \boldsymbol{d = 2.68}$		Inferior al testigo	Superior al testigo
0.00	± 0.41		< - 0.41	> 0.41
Concentración de ácido indolbutírico	6000 ppm	4000 ppm	2000 ppm	0 ppm
Promedio	0.95	0.23	0.23	0.00

Según el análisis de Dunnett, los valores transformados del porcentaje de presencia de raíces de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000 y 4000 ppm no presentan diferencia significa al

testigo y mientras que el porcentaje de la concentración de 6000 ppm es superior significativamente al testigo.

La diferencia en el porcentaje de presencia de raíces en los diferentes sustratos al usar ácido indolbutírico (AIB) puede atribuirse a cómo cada sustrato afecta el ambiente radicular y la disponibilidad del AIB para las estaquillas. Aquí se presentan las posibles razones detrás de estos resultados:

Presencia de raíces en arena (80% en promedio sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

- **Excelente Drenaje:** La arena proporciona un excelente drenaje, lo que previene el encharcamiento y reduce el riesgo de pudrición de las raíces. Este ambiente bien drenado es ideal para el enraizamiento de las estaquillas.

- **Buena Aireación:** La estructura granular de la arena permite una buena aireación del sustrato, lo que es crucial para la respiración de las raíces y el desarrollo inicial de las estaquillas.

- **Distribución Eficaz del AIB:** En un medio bien aireado y drenado, el AIB puede ser absorbido más eficazmente por las estaquillas, promoviendo el enraizamiento (Leakey, 2014).

Presencia de raíces en aserrín descompuesto (26% en promedio, sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

- **Alta Retención de Agua:** El aserrín descompuesto retiene mucha

agua, lo que puede llevar a un ambiente excesivamente húmedo. Este exceso de humedad puede causar pudrición de las raíces y crear condiciones desfavorables para el enraizamiento, incluso con AIB.

- **Descomposición y Consumo de Nutrientes:** El proceso de descomposición del aserrín consume nitrógeno y otros nutrientes del sustrato, lo que puede dejar menos nutrientes disponibles para las estaquillas, afectando su capacidad para enraizar.

- **Compactación:** Con el tiempo, el aserrín descompuesto puede compactarse, reduciendo la aireación y creando un ambiente menos favorable para el enraizamiento (Loeza *et al.,* 2013).

Presencia de raíces en la mezcla de arena y aserrín descompuesto (inferior a 5% en todas las concentraciones de AIB, excepto en 6000 ppm con 66%)

- **Incompatibilidad de las Propiedades del Sustrato:** La mezcla de arena y aserrín descompuesto puede no haber alcanzado un equilibrio óptimo entre retención de agua y aireación. Esta inconsistencia puede crear zonas en el sustrato que son demasiado húmedas o demasiado secas, afectando negativamente el enraizamiento.

- **Retención Irregular de Agua:** La combinación de materiales con diferentes capacidades de retención de agua puede resultar en una distribución irregular de la humedad. Las áreas con exceso de agua

pueden llevar a la pudrición de las raíces, mientras que las áreas secas pueden impedir la absorción eficaz del AIB.

- **Descomposición en el Sustrato:** El aserrín descompuesto en la mezcla puede continuar descomponiéndose y consumir nutrientes del sustrato, afectando la disponibilidad de nutrientes esenciales para las estaquillas.

- **Problemas de Aireación:** La mezcla puede no proporcionar una aireación adecuada si el aserrín descompuesto se compacta, reduciendo el espacio poroso necesario para la respiración de las raíces (Leakey, 2014). Sin embargo, el aumento significativo en la presencia de raíces con una concentración de 6000 ppm de AIB en el sustrato mezclado sugiere que una concentración más alta de hormona era necesaria para superar las limitaciones del sustrato y promover el enraizamiento. Las concentraciones más bajas de AIB no fueron suficientes para inducir el enraizamiento en el sustrato mezclado debido a factores como la absorción ineficaz, la dilución de la hormona, y las propiedades físicas y químicas combinadas del sustrato. Este resultado destaca la importancia de ajustar las concentraciones de AIB en función del tipo de sustrato y las necesidades específicas de las plantas para optimizar el enraizamiento (Alcántara et al., 2019).

4.3. Número de raíces

Tabla 14

Valores del número de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	1.82	2.58	2.89	2.97	2.57
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	1.00	1.13	1.37	2.52	1.50
Aserrín descompuesto	1.23	1.80	1.74	1.76	1.63
Promedio	1.35	1.83	2.00	2.42	

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$.

Figura 4

Efecto de las concentraciones de ácido indolbutírico en el número de raíces en estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días

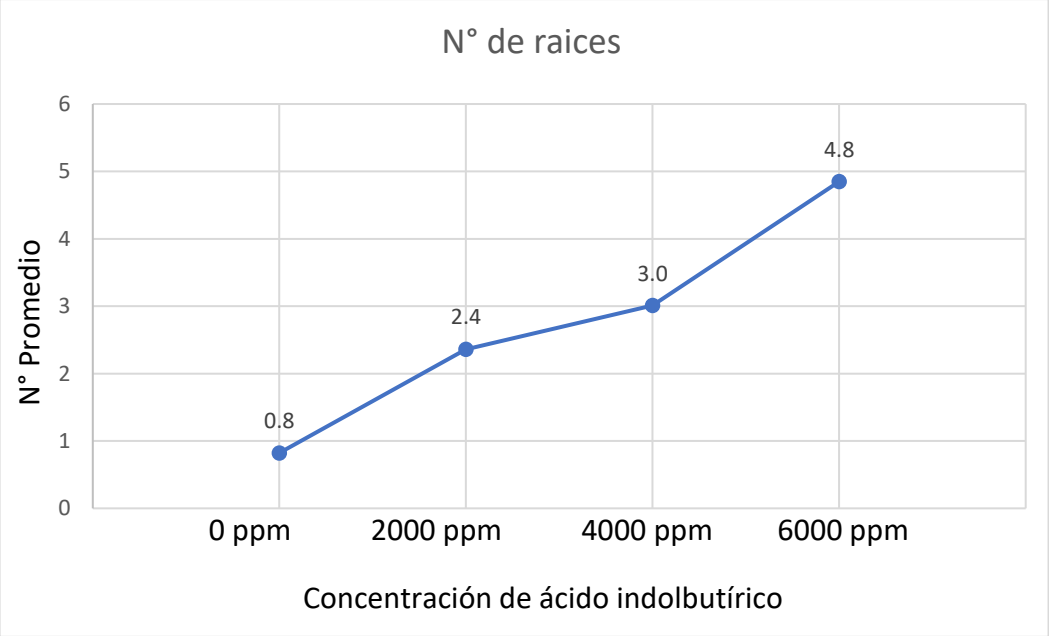
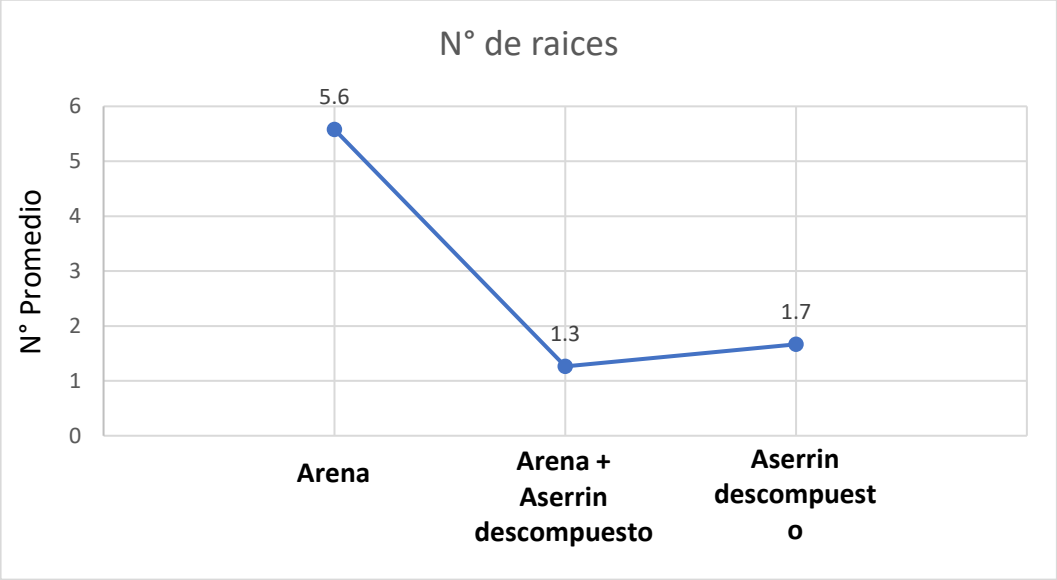


Figura 5

Efecto de los tipos de sustrato en el número de raíces en estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 14 se muestran los valores del número de raíces (Datos transformados con $\sqrt{x+1}$) por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 1.35, 2000 ppm: 1.83, 4000 ppm: 2.00 y 6000 ppm: 2.42; y tipos de sustratos, Arena: 2.57, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 1.50, Aserrín descompuesto: 1.63) y en la figura 4 se observa que a medida que se aumenta la dosis de AIB, el promedio del número de raíces también aumenta, aunque, según el análisis de la prueba de Dunnett, la dosis de 6000 ppm es diferente al testigo, con un promedio de 4.8 raíces por estaquilla; de igual manera, Moncada (2012), en estaquillas de *C. spruceanum* y sustrato de arena, encontró una tendencia de que a mayor dosis de AIB, mayor número de raíces y que en todas las dosis, la cantidad de raíces era diferente significativamente al del testigo, como en el caso de la dosis de AIB de 8000 ppm, donde encontró en promedio la mayor

cantidad de raíces (10.96). Sin embargo Manihuari (2022) no encontró diferencia significativa para ninguna de las dosis en su análisis de enraizamiento de estacas juveniles de *Copaifera paupera,* determinando que la cantidad de raíces obtenido es semejante al del testigo (9.33); de igual manera, Cordova (2016), comprobó que no existe diferencia significativa entre sus tratamientos de dosis de AIB respecto al número de raíces en estaquillas de *Simarouba amara* (Marupa) y también, Tang (2014) no encontró diferencia significativa en su análisis de número de raíces en estacas juveniles de *Tabebuia serratifolia* en ninguna de las dosis de AIB.

En la figura 5 se puede observar claramente que en sustrato arena se tiene el mayor promedio de número de raíces, con un valor de 5.6, respecto a los otros dos tipos de sustratos y respaldado por la prueba de Tukey; de igual manera, Tang (2014), obtuvo en estacas de *Tabebuia serratifolia* el mayor promedio de numero de raíces en el sustrato arena, con un valor de 1.69.

En la tabla 15 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos y de las dosis de AIB, no obstante, la interacción no presenta diferencia estadística significativa en el número de raíces en estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 15

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de raíces en esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluados a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	10.719	2	5.360	25.842	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	7.033	3	2.344	11.304	2.866	4.377	**
Interacción A x B	2.935	6	0.489	2.359	2.364	3.351	N.S.
Error	7.466	36	0.207				
Total	28.154	47					

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$.

Número de raíces según Dosis de AIB

En la tabla 16 se muestran los promedios generales del número de raíces en las estaquillas por cada Concentración de ácido indolbutírico y la Prueba de Dunnett. Según esta prueba, los valores transformados del número de raíces de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000 y 4000 ppm no presentan diferencia significativa al valor del testigo, y el valor transformado de número de raíces de la concentración de ácido indolbutírico de 6000 ppm es superior al testigo significativamente.

Tabla 16

Prueba de DUNNETT del número de raíces según Dosis de AIB evaluado a los 45 días

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 36 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.45}$		Inferior al testigo	Superior al testigo
1.35	± 0.79		< 0.56	> 2.14
Concentración de ácido indolbutírico	6000 ppm	4000 ppm	2000 ppm	0 ppm
Promedio	2.42	2.00	1.83	1.35

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$.

Los resultados observados en el número de raíces según las diferentes dosis de AIB indican que el ácido indolbutírico (AIB) tiene un efecto positivo en la promoción del enraizamiento de las estaquillas. A continuación, se explican las posibles razones detrás de estos resultados:

El AIB es una auxina sintética que promueve la formación de raíces adventicias. A medida que aumenta la concentración de AIB, se estimula más intensamente el enraizamiento, resultando en un mayor número de raíces. Las plantas pueden tener un umbral de respuesta hormonal que debe ser superado para inducir el enraizamiento. Concentraciones más bajas de AIB (2000 ppm y 4000 ppm) superan este umbral inicial, pero no alcanzan el nivel óptimo. La concentración de 6000 ppm proporciona una dosis suficiente para maximizar la respuesta enraizadora. Las concentraciones más altas de AIB pueden mejorar la capacidad de las estaquillas para desarrollar un sistema radicular más extenso y eficiente, lo que a su vez mejora la absorción de agua y nutrientes y apoya un mayor crecimiento radicular. El AIB promueve la división y expansión celular en las zonas de enraizamiento. A mayores concentraciones, este efecto se intensifica, resultando en un mayor número de raíces formadas (Alcántara *et al.,* 2019).

- **0 ppm (Promedio de 0.8 raíces):** Sin la adición de AIB, las estaquillas dependen únicamente de sus hormonas endógenas y condiciones ambientales. La baja formación de raíces indica que las hormonas naturales no son suficientes para promover un enraizamiento significativo en este sustrato.

- **2000 ppm (Promedio de 2.4 raíces):** A esta concentración, se proporciona un estímulo adicional para el enraizamiento, superando el umbral inicial necesario para inducir la formación de algunas raíces adicionales.

- **4000 ppm (Promedio de 3 raíces):** La concentración de 4000 ppm de AIB proporciona un estímulo más fuerte, resultando en un mayor número de raíces comparado con 2000 ppm, pero aún no es suficiente para maximizar completamente el potencial de enraizamiento.

- **6000 ppm (Promedio de 4.8 raíces):** Esta concentración de AIB proporciona un estímulo óptimo para la formación de raíces, resultando en el mayor número de raíces formadas. Esto indica que 6000 ppm es una concentración efectiva para maximizar el enraizamiento en el sustrato utilizado (Alcántara *et al.,* 2019).

Número de raíces según los tipos de sustratos

En la tabla 17 se muestran los promedios generales del número de raíces en las estaquillas por cada tipo de sustrato y la Prueba de Tukey; según esta prueba, el promedio del número de raíces de las estaquillas puestas en el sustrato de arena es diferente significativamente al número de raíces de las estaquillas puestas en los sustratos de aserrín descompuesto y en el aserrín descompuesto + arena; siendo el promedio del número de raíces de las estaquillas puestas en el sustrato de arena (5.6) mayor al de los otros dos sustratos (1.2 y 1.7). Los promedios del

número de raíces de las estaquillas puestas en el sustrato de aserrín descompuesto y en la mescla de aserrín descompuesto + arena, no presentan diferencia significativa entre ellos.

Tabla 17

Prueba de Tukey para el número de raíces según los tipos de sustratos

Hipótesis	Diferencia u_i	$\boldsymbol{w = 0.26} \rightarrow q = 0.26 \;\; p = 3 \;\; gl = 36 \;\; \alpha = 0.05$		
Ho: u1=u2=u3	1.06	> W → Rho		
Ho: u1=u2	0.93	> W → Rho		
Ho: u2=u3	0.13	< W → Aho		
Sustratos	u1 arena	u2 aserrín	u3 arena + aserrín	
Promedio	2.57	1.63	1.50	

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$.

Los resultados del número promedio de raíces formadas según el sustrato indican que el tipo de sustrato tiene un impacto significativo en el enraizamiento de las estaquillas. Aquí se explican las posibles razones detrás de estos resultados:

Arena (Promedio de 5.6 raíces)

La arena proporciona un drenaje superior, lo que evita el encharcamiento y reduce el riesgo de pudrición de las raíces. Esto crea un ambiente óptimo para la formación de raíces. La estructura granular de la arena permite una excelente aireación del sustrato, crucial para la respiración de las raíces y el desarrollo inicial de las estaquillas. Aunque la arena no retiene mucha agua, su capacidad para mantener una humedad uniforme y evitar la saturación crea condiciones favorables para el enraizamiento (Leakey, 2014).

Aserrín Descompuesto (Promedio de 1.7 raíces)

El aserrín descompuesto retiene mucha agua, lo que puede llevar a un ambiente excesivamente húmedo y a la pudrición de las raíces. Aunque retiene más agua que la arena, esta retención excesiva puede ser perjudicial. La descomposición del aserrín consume nitrógeno y otros nutrientes del sustrato, dejando menos nutrientes disponibles para las estaquillas y afectando negativamente su enraizamiento. Con el tiempo, el aserrín descompuesto puede compactarse, reduciendo la aireación y creando un ambiente menos favorable para el enraizamiento (Loeza *et al.,* 2013).

Mezcla de Arena y Aserrín Descompuesto (Promedio de 1.3 raíces)

La mezcla de arena y aserrín descompuesto puede resultar en una retención de agua y aireación inconstante, creando zonas en el sustrato que son demasiado húmedas o demasiado secas. Esta inconsistencia puede ser desfavorable para el enraizamiento. Aunque la mezcla busca equilibrar las propiedades de drenaje de la arena y la retención de agua del aserrín, puede no haber logrado un equilibrio óptimo, resultando en un ambiente subóptimo para el enraizamiento. La presencia de aserrín descompuesto en la mezcla puede continuar descomponiéndose, consumiendo nutrientes del sustrato y afectando la disponibilidad de nutrientes esenciales para las estaquillas (Leakey, 2014).

4.4. Longitud de raíces

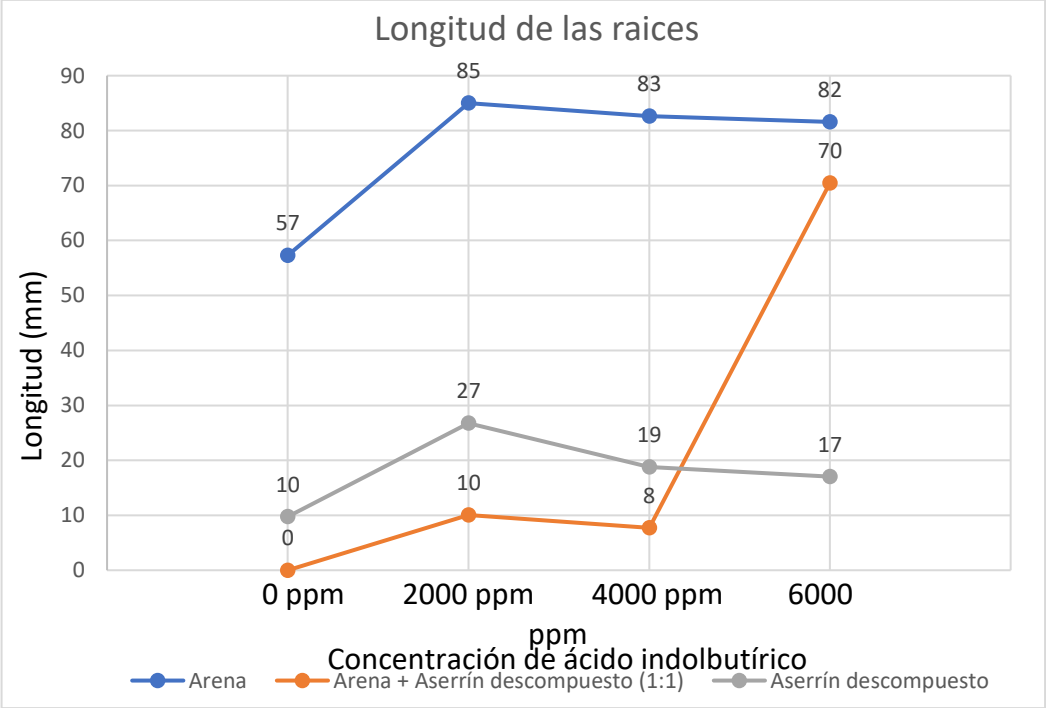
Tabla 18

Valores de las longitudes (en mm) de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	57	85	83	82	77
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0	10	8	70	22
Aserrín descompuesto	10	27	19	17	18
Promedio	22	41	36	56	

Figura 6

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en la longitud (en mm) de raíces de las estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 18 se muestran los valores de las longitudes (en mm) de raíces por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 22 mm, 2000 ppm:

41 mm, 4000 ppm: 36 mm y 6000 ppm: 56 mm; y tipos de sustratos, Arena: 77 mm, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 22 mm, Aserrín descompuesto: 18 mm) y en la figura 6 se detalla el efecto de los factores de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), y Dosis o Concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) respecto al promedio de la longitud de raíces en las estaquillas de *C. spruceanum*. Se observa que en el sustrato de arena (línea azul) se tiene los mayores promedios de longitud de raíces respecto a los otros dos sustratos, con valores de 57 mm a 85 mm, sin embargo, no hay diferencia significativa de promedios de longitud de raíces entre las concentraciones de AIB en este sustrato. Por el contrario, Moncada (2012), analizando estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) en sustrato de arena, si encontró diferencias en la dosis de 2000 ppm con un promedio de longitud de raíz de 29.72 mm respecto al testigo (5.79 mm).

Se observa también en la figura 6, que en el sustrato de aserrín descompuesto (línea gris) se presentaron promedios de longitud de raíces sin diferencia significativa respecto a las diferentes concentraciones de AIB, con valores de ente 10 mm y 27 mm. Asimismo, Manihuari (2022) en su análisis de longitud de raíz en estacas vivas de copaiba en sustrato orgánico y diferentes dosis de AIB, determino que no existen diferencias estadísticas entre dosis de AIB, con un promedio de 4.7 mm; de igual manera Cordova (2016) determino respecto a la longitud de raíces, que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de dosis de AIB en su análisis de enraizamiento de estaquillas de *Simarouba amara* (Marupa).

Se destaca de la figura 6, que en el sustrato de Arena + Aserrín descompuesto (1:1) (línea naranja), el promedio de longitud de raíces del testigo (0 ppm) es de 0 mm, y que los promedios de longitud de raíces para las concentraciones de 2000 y 4000 ppm es de 10 mm y 8 mm y que estos valores no presentan diferencia significativa al testigo (Según prueba de DUNNETT). Mientras que el promedio de longitud de raíces en la concentración de 6000 ppm presento un valor de 70 mm, siendo este, diferente significativamente al testigo (Según prueba de DUNNETT).

En la tabla 19 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos, las dosis de AIB y de la interacción en la longitud (en mm) de raíces en las estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 19

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en la longitud de raíces de esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	34259.20	2	17129.598	52.866	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	7058.50	3	2352.832	7.261	2.866	4.377	**
Interacción A x B	8259.38	6	1376.563	4.248	2.364	3.351	**
Error	11664.58	36	324.016				
Total	61241.65	47					

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1.

Tabla 20

Análisis de varianza AV1 de la longitud de raíces por cada sustrato evaluado a los 45 días

Sustratos	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	2018.59	3	672.863	1.071	3.490	5.953	N.S.
	Error	7535.59	12	627.966				
	Total	9554.18	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	12714.74	3	4238.247	29.779	3.490	5.953	**
	Error	1707.86	12	142.322				
	Total	14422.6	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	584.548	3	194.849	0.966	3.490	5.953	N.S.
	Error	2421.130	12	201.761				
	Total	3005.678	15					

En la tabla 20, se analizó el efecto de las concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) en cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), en relación a la longitud de raíces en las estaquillas de *C. spruceanum*. Para los sustratos Arena y Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto de la longitud de raíces en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1), se observa una diferencia altamente significativa de la longitud de raíces en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico presenta mayor o menor promedio de longitud de raíces en las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett cuyos resultados se presentan en la tabla 21.

Tabla 21

Prueba de DUNNETT de la longitud de raíces para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.68}$	Inferior al testigo	Superior al testigo
0.00	± 22.61	< - 22.61	> 22.61

Concentración de ácido indolbutírico	6000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	0 ppm
Promedio (mm)	70.45	10.05	7.70	0.00

Según la prueba de Dunnett, los valores promedios de la longitud de raíces de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000 y 4000 ppm no presentan diferencia significativa al valor del testigo, mientras que el valor promedio de la longitud de raíces de la concentración de ácido indolbutírico de 6000 ppm es superior significativamente al testigo.

Los resultados de la longitud de las raíces en los diferentes sustratos y concentraciones de AIB indican que tanto las propiedades físicas del sustrato como la concentración de AIB tienen un impacto significativo en el crecimiento radicular. A continuación, se presenta una explicación detallada de estos resultados:

Sustrato de Arena (Promedio de 76 mm sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

La arena proporciona un excelente drenaje y una buena aireación, lo que permite que las raíces crezcan sin obstáculos. La ausencia de encharcamiento y la adecuada oxigenación del sustrato son condiciones ideales para el crecimiento radicular. Aunque la arena no retiene mucha agua, su capacidad para mantener una humedad uniforme y evitar la

saturación crea condiciones estables que favorecen el crecimiento uniforme de las raíces. La estructura granular de la arena facilita la distribución del AIB, asegurando que las raíces reciban la hormona de manera uniforme, lo que promueve un crecimiento radicular constante en todas las concentraciones (Leakey, 2014).

Sustrato de Aserrín Descompuesto (Promedio de 18 mm en promedio, sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

El aserrín descompuesto retiene mucha agua, lo que puede llevar a condiciones excesivamente húmedas y al riesgo de pudrición de las raíces, limitando su crecimiento. La descomposición del aserrín consume nutrientes, especialmente nitrógeno, lo que puede dejar a las raíces sin los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo. El aserrín descompuesto puede compactarse con el tiempo, reduciendo la aireación y creando un ambiente menos favorable para el crecimiento radicular (Loeza *et al.,* 2013).

Mezcla de Arena y Aserrín Descompuesto

- **En las concentraciones de 0, 2000 y 4000 ppm de AIB (sin diferencia significativa al testigo, 0 mm),** la mezcla puede resultar en zonas del sustrato con diferentes niveles de humedad y aireación, creando un ambiente desfavorable para el crecimiento de las raíces. Las concentraciones más bajas de AIB pueden no ser suficientes para superar las limitaciones del sustrato mezclado y promover un crecimiento radicular significativo.

- **En la concentración de 6000 ppm de AIB (Promedio de 70 mm),** el AIB es suficientemente potente para estimular el crecimiento radicular, incluso en un sustrato menos ideal como la mezcla de arena y aserrín descompuesto. La alta concentración de AIB puede haber compensado las desventajas del sustrato mezclado, promoviendo un crecimiento radicular significativo (Alcántara *et al.,* 2019).

4.5. Número de brotes

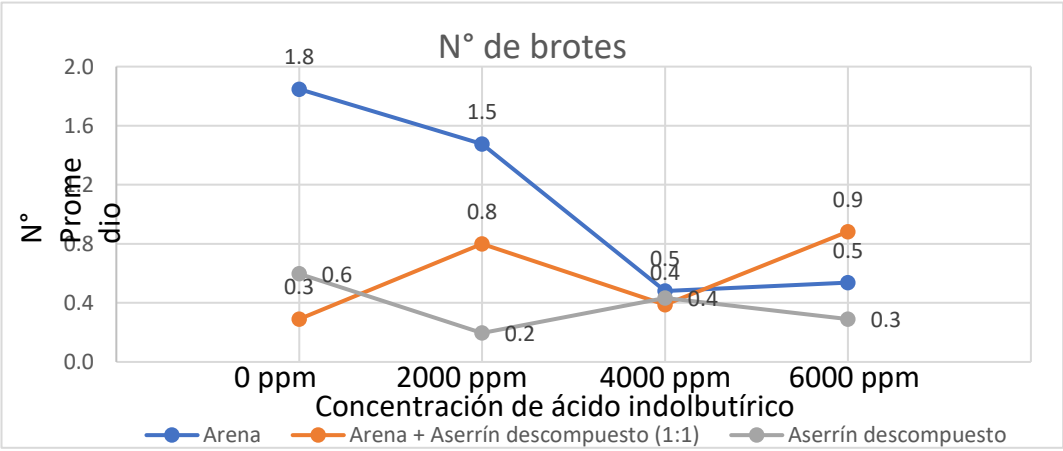
Tabla 22

Valores de los números de brotes por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	1.8	1.5	0.5	0.5	1.1
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0.3	0.8	0.4	0.9	0.6
Aserrín descompuesto	0.6	0.2	0.4	0.3	0.4
Promedio	0.9	0.8	0.4	0.6	

Figura 7

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el número de brotes en estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 22, se muestran los valores de los números de brotes por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 0.9, 2000 ppm: 0.8, 4000 ppm: 0.4 y 6000 ppm: 0.6; y tipos de sustratos, Arena: 1.1, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 0.6, Aserrín descompuesto: 0.4) y en la figura 7 se resume visualmente los resultados generales del efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el número de brotes en estaquillas de *C. spruceanum*. Se observa que en el sustrato arena no existe diferencia de la dosis de AIB de 2000 ppm con el testigo, con 1.8 y 1.5 brotes por estaquilla en promedio respectivamente, mientras que las dosis de 6000 y 4000 ppm presentaron números de brotes menores y diferentes estadísticamente al testigo. Estos resultados discrepan con lo obtenido por Moncada (2012), que menciona que hay diferencia significancia estadística en las estaquillas que fueron tratadas con AIB frente a sin aplicación de AIB y siendo el número de brotes mayor al del testigo; así también, Cordova (2016) en la determinación de numero de brotes estaquillas de *Simarouba amara* determinó que no existe diferencia significativa entre dosis de AIB. En el sustrato aserrín descompuesto no se encontraron diferencias en el número de brotes en estaquillas de *C. spruceanum* entre las dosis de AIB; de igual manera, Manihuari (2022) en su análisis de enraizamiento de estacas de *Copaifera paupera* (copaiba) en sustrato orgánico, determino que no existen diferencias estadísticas en el número de brotes entre las dosis de AIB aplicadas, obteniendo en promedio 7 mm.

En la tabla 23 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de

cada uno de los sustratos, las dosis de AIB y de la interacción en el número de brotes en las estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 23

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de brotes en esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	0.547	2	0.274	18.584	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	0.211	3	0.070	4.766	2.866	4.377	**
Interacción A x B	0.695	6	0.116	7.869	2.364	3.351	**
Error	0.530	36	0.015				
Total	1.983	47					

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1.

Tabla 24

Análisis de varianza AV1 de número de brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días

Sustratos	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	0.675	3	0.225	11.165	3.490	5.953	**
	Error	0.242	12	0.020				
	Total	0.917	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	0.165	3	0.055	4.245	3.490	5.953	*
	Error	0.156	12	0.013				
	Total	0.321	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	0.066	3	0.022	1.988	3.490	5.953	N.S.
	Error	0.133	12	0.011				
	Total	0.199	15					

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

En la tabla 24 se analizó el efecto de las concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) para cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), en relación al número de brotes en las estaquillas de *C. spruceanum*. Para el sustrato Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto número de brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en los sustratos Arena y Arena + Aserrín descompuesto (1:1), se observa una diferencia altamente significativa y significativa, respectivamente, en el número de brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico presenta mayor o menor número de brotes en las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett para cada tipo de sustrato (Arena y Arena + Aserrín descompuesto (1:1)), cuyos resultados se presentan en la tabla 25 y 26.

Tabla 25

Prueba de DUNNETT de número de brotes para el sustrato Arena según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.68}$			Inferior al testigo	Superior al testigo
1.69	± 0.27			< 1.42	> 1.96
Concentración de ácido indolbutírico	0 ppm	2000 ppm	6000 ppm	4000 ppm	
Promedio	1.69	1.57	1.24	1.22	

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

Según la prueba de Dunnett, el valor transformado del número de brotes de la concentración de ácido indolbutírico de 2000 ppm no presenta

diferencia significativa al testigo, mientras que los valores transformados del número de brotes de las concentraciones de ácido indolbutírico de 4000 y 6000 ppm, son inferiores significativamente al testigo. Los valores promedio del número de brotes sin transformar y una apreciación detallada de forma gráfica de las diferencias se puede observar en la figura 7.

Tabla 26

Prueba de DUNNETT de número de brotes para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3} \ \boldsymbol{d = 2.68}$	Inferior al testigo	Superior al testigo
1.14	± 0.22	< 0.92	> 1.35

Concentración de ácido indolbutírico	6000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	0 ppm
Promedio	1.37	1.34	1.18	1.14

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

Según la prueba de Dunnett, los valores transformados del número de brotes de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000 y 4000 ppm no presenta diferencia significativa al testigo, mientras que el valor transformado del número de brotes de la concentración de ácido indolbutírico de 6000 ppm es superior significativamente al testigo.

Los resultados del análisis del número de brotes en las diferentes dosis de AIB y sustratos indican que tanto la dosis de AIB como el tipo de sustrato influyen en la brotación de las estaquillas. A continuación, se presenta una explicación detallada de estos resultados:

Sustrato de Arena

En la dosis de 0 ppm, 1.8 brotes y 2000 ppm de AIB, 1.5 brotes sin diferencia significativa al testigo, **l**a arena proporciona un ambiente bien drenado y aireado, favorable tanto para el enraizamiento como para la brotación. A dosis de 0 y 2000 ppm, las hormonas endógenas de las estaquillas junto con el bajo AIB son suficientes para promover una brotación relativamente alta. En la dosis de 4000 y 6000 ppm de AIB (0.5 brotes, significativamente menos que las dosis más bajas), a concentraciones altas (4000 y 6000 ppm), el AIB puede tener un efecto inhibitorio en la brotación. Las auxinas a altas concentraciones pueden inhibir el desarrollo de brotes mientras promueven el enraizamiento (Alcántara *et al.,* 2019).

Mezcla de Arena y Aserrín Descompuesto

En las dosis de 0, 2000 y 4000 ppm de AIB (0.5 brotes en promedio, sin diferencias significativas al testigo) la mezcla de arena y aserrín descompuesto puede proporcionar condiciones subóptimas para la brotación debido a la inconsistencia en la retención de agua y la aireación. A dosis de 0, 2000 y 4000 ppm, el AIB no es suficiente para superar las desventajas del sustrato y promover una brotación significativa. En la dosis de 6000 ppm de AIB (0.9 brotes, significativamente más que las dosis anteriores) el AIB proporciona suficiente estímulo para promover un número ligeramente mayor de brotes, aunque el efecto no es tan pronunciado como en el sustrato de arena (Leakey, 2014).

Sustrato de Aserrín Descompuesto, sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB

Todas las Dosis de AIB, sin diferencias significativas con un promedio de 0.4 brotes; el aserrín descompuesto retiene mucha agua y puede crear un ambiente demasiado húmedo y pobre en nutrientes debido a la descomposición, lo que no es favorable para la brotación. En este sustrato, el AIB no parece tener un efecto significativo en la brotación. Esto puede deberse a que las condiciones desfavorables del sustrato predominan sobre los posibles beneficios del AIB (Loeza *et al.,* 2013).

4.6. Número de hojas de los brotes

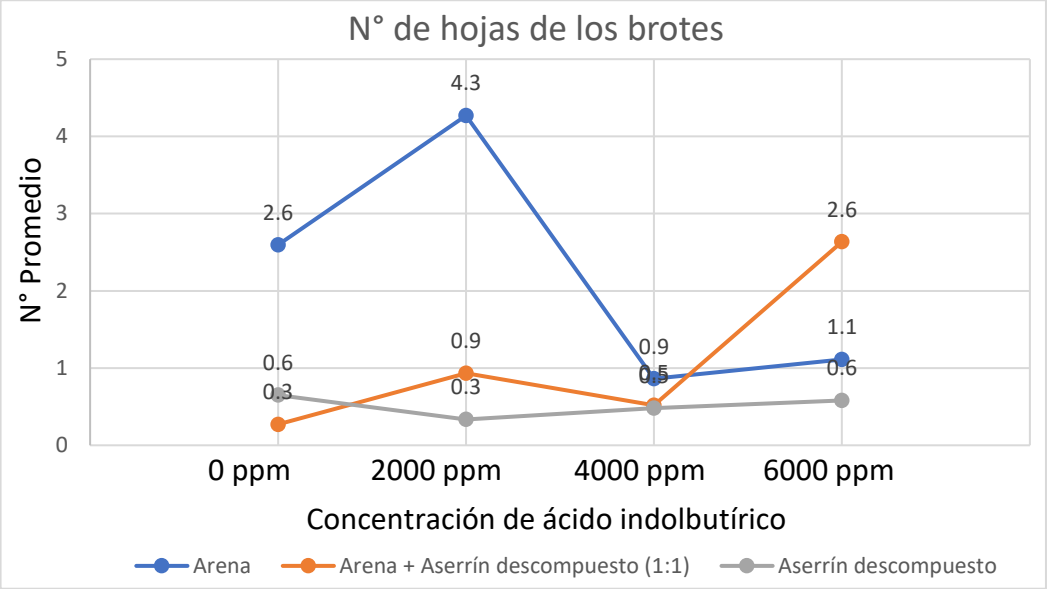
Tabla 27

Valores de los números de hojas de los brotes por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	2.6	4.3	0.9	1.1	2.2
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0.3	0.9	0.5	2.6	1.1
Aserrín descompuesto	0.6	0.3	0.5	0.6	0.5
Promedio	1.2	1.8	0.6	1.4	

Figura 8

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en el número de hojas de los brotes en estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 27 se muestran los valores de los números de hojas de los brotes por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 1.2, 2000 ppm: 1.8, 4000 ppm: 0.6 y 6000 ppm: 1.4; y tipos de sustratos, Arena: 2.2, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 1.1, Aserrín descompuesto: 0.5) y en la figura 8 resalta la dosis de 2000 ppm en el sustrato de arena, el cual tiene el mayor número promedio de hojas de los brotes (4.3) en estaquillas de *C. spruceanum*.

En la tabla 28 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos y de la interacción, sin embargo, no existe una diferencia estadística significativa de las dosis de AIB en el número de hojas de los brotes en estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 28

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en el número de hojas de los brotes en esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	2.259	2	1.130	10.584	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	0.790	3	0.263	2.467	2.866	4.377	N.S.
Interacción A x B	2.902	6	0.484	4.531	2.364	3.351	**
Error	3.843	36	0.107				
Total	9.794	47					

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1

Tabla 29

Análisis de varianza AV1 de número de hojas de los brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días

Sustratos	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	2.221	3	0.740	6.134	3.490	5.953	**
	Error	1.448	12	0.121				
	Total	3.670	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	1.433	3	0.478	3.244	3.490	5.953	N.S.
	Error	1.767	12	0.147				
	Total	3.199	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	0.038	3	0.013	0.241	3.490	5.953	N.S.
	Error	0.628	12	0.052				
	Total	0.665	15					

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

En la tabla 29 se analizó el efecto de las Dosis o Concentración de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) para cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), respecto del número de hojas de los brotes en las estaquillas de *C. spruceanum*. Para los sustratos Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto del número de hojas de los brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en el sustrato Arena, se observa una diferencia altamente significativa del número de hojas de los brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico presenta mayor o menor número de hojas de los brotes en las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett, cuyos resultados se presentan en la tabla 30.

Tabla 30

Prueba de DUNNETT de número de hojas de los brotes para el sustrato Arena según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.68}$			Inferior al testigo	Superior al testigo
1.90	± 0.66			< 1.24	> 2.55
Concentración de ácido indolbutírico		2000 ppm	0 ppm	6000 ppm	4000 ppm
Promedio		2.30	1.90	1.45	1.36

Datos transformados con $\sqrt{x+1}$

Según la prueba de Dunnett, los valores transformados del número de hojas de los brotes de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000, 4000 y 6000 ppm no presentan diferencia significativa al testigo.

Los resultados del análisis del número de hojas de los brotes según el sustrato, y la falta de influencia significativa de las diferentes dosis de AIB, sugieren que las propiedades físicas y químicas del sustrato juegan un papel más importante en la formación de hojas que la concentración de AIB. A continuación, se presenta una explicación detallada de estos resultados:

Sustrato de Arena (Promedio de 2.2 hojas por brote sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

La arena proporciona un excelente drenaje y una buena aireación, lo que permite que las raíces se desarrollen adecuadamente. Un sistema radicular sano y bien desarrollado es fundamental para la absorción de nutrientes y el crecimiento de hojas. Aunque la arena no retiene mucha agua, su capacidad para mantener una humedad uniforme sin encharcamiento crea un ambiente estable que favorece el crecimiento y desarrollo de hojas (Leakey, 2014).

Sustrato de Mezcla de Arena y Aserrín Descompuesto (Promedio de 1 hoja por brote sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

La mezcla de arena y aserrín descompuesto puede crear zonas con diferentes niveles de humedad y aireación, lo que puede ser desfavorable para el crecimiento de raíces y, por ende, afectar negativamente el desarrollo de hojas. La descomposición del aserrín puede consumir nutrientes importantes del sustrato, dejando menos disponibles para las

plantas. Esto puede limitar el crecimiento y desarrollo de hojas (Leakey, 2014).

Sustrato de Aserrín Descompuesto (Promedio de 0.5 hojas por brote sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

El aserrín descompuesto retiene mucha agua, lo que puede llevar a condiciones de encharcamiento. El exceso de humedad puede afectar negativamente el crecimiento de raíces y, en consecuencia, el desarrollo de hojas. La descomposición del aserrín consume nutrientes, especialmente nitrógeno, lo que puede dejar a las plantas con menos recursos para crecer y desarrollar hojas (Loeza et al., 2013).

Falta de Influencia Significativa de las Dosis de AIB

El AIB es una auxina que principalmente promueve el enraizamiento. Aunque puede tener algún efecto en el crecimiento general de la planta, su principal función no es estimular la formación de hojas. Por lo tanto, las diferencias en las concentraciones de AIB no tuvieron un impacto significativo en el número de hojas. Las condiciones físicas y químicas del sustrato tienen un impacto más directo en el crecimiento de las hojas que la concentración de AIB. Si el sustrato no proporciona un ambiente adecuado para el desarrollo de raíces y la absorción de nutrientes, el crecimiento de las hojas será limitado, independientemente de la dosis de AIB utilizada (Alcántara *et al*., 2019).

4.7. Longitud de brotes

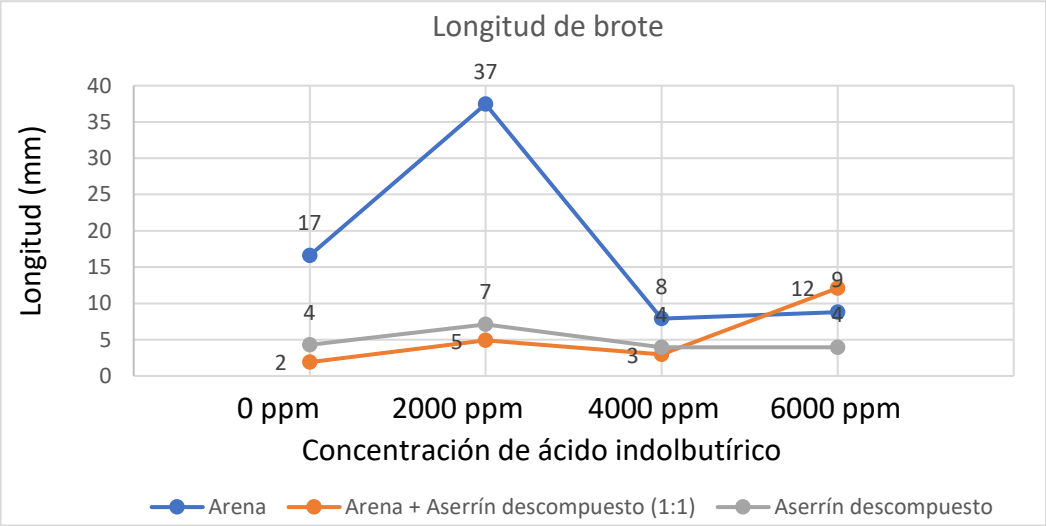
Tabla 31

Valores de las longitudes de brotes (en mm) por tratamiento (concentraciones de AIB y tipos de sustratos)

Sustrato	Concentración de AIB				Promedio
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm	
Arena	16.60	37.45	7.90	8.80	17.69
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	1.9	4.9	2.95	12.1	5.46
Aserrín descompuesto	4.3	7.1	3.95	3.95	4.83
Promedio	7.60	16.48	4.93	8.28	

Figura 9

Efecto de los tipos de sustrato y concentración de ácido indolbutírico en la longitud de brotes en las estaquillas de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) evaluados a los 45 días



En la tabla 31 se muestran los valores de las longitudes (en mm) de brotes por tratamiento (concentraciones de AIB, 0 ppm: 7.60 mm, 2000 ppm: 16.48 mm, 4000 ppm: 4.93 y 6000 ppm: 8.28; y tipos de sustratos, Arena: 17.69, Arena + Aserrín descompuesto (1:1): 5.46, Aserrín

descompuesto: 4.83) y en la figura 9, resalta la dosis de 2000 ppm en el sustrato de arena, el cual tiene el mayor promedio de longitud de brotes (37 mm) en estaquillas de *C. spruceanum*; sin embargo, este valor no presenta diferencia significativa con el testigo de 0 ppm. En lo que respeta al sustrato aserrín descompuesto, no se encontraron diferencias significativas en la longitud del brote entre dosis de AIB, estos resultados son similares a lo obtenido por, Manihuari (2022) que al evaluar las longitudes de los brotes en estacas de *Copaifera paupera,* determino que no existe diferencia significativa estadística entre dosis de AIB.

En la tabla 32 se presentan los resultados del análisis de varianza, se observa que existe una diferencia estadística altamente significativa de cada uno de los sustratos, así como una diferencia estadística significativa de las dosis de AIB y de la interacción en la longitud (en mm) de brotes en las estacas de *C. Spruceanum*.

Tabla 32

Análisis de varianza del efecto de la concentración de AIB y del sustrato en la longitud de brotes en esquejes de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook. f. ex K. Schum evaluado a los 45 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Entre Sustratos	1681.605	2	840.803	8.916	3.259	5.248	**
Entre Dosis de AIB	895.07	3	298.357	3.164	2.866	4.377	*
Interacción A x B	1652.455	6	275.409	2.921	2.364	3.351	*
Error	3394.84	36	94.301				
Total	7623.97	47					

Debido al rechazo de la hipótesis nula, el cual indica una interacción altamente significativa entre las variables de tipos de sustrato y concentración de ácido, se desdobló el AV2 en 3 AV1.

Tabla 33

Análisis de varianza AV1 de la longitud de brotes por cada sustrato evaluado a los 45 días

	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{obs}	F_{tab} alfa 0.05	F_{tab} alfa 0.01	Sig.
Arena	Entre Dosis de AIB	2266.088	3	755.363	3.286	3.490	5.953	N.S.
	Error	2758.310	12	229.859				
	Total	5024.398	15					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	Entre Dosis de AIB	253.508	3	84.503	5.871	3.490	5.953	*
	Error	172.710	12	14.393				
	Total	426.218	15					
Aserrín descompuesto	Entre Dosis de AIB	27.93	3	9.310	0.241	3.490	5.953	N.S.
	Error	463.82	12	38.652				
	Total	491.75	15					

En la tabla 33 se analizó el efecto de las concentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm) para cada uno de los tipos de sustratos (Arena, Arena + Aserrín descompuesto (1:1) y Aserrín descompuesto), en relación a la longitud de brotes en las estaquillas de *C. spruceanum*. Para los sustratos Arena y Aserrín descompuesto, no existe diferencia significativa respecto de la longitud de brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Sin embargo, en el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1), se observa una diferencia significativa de la longitud de brotes en las estaquillas entre las concentraciones de ácido indolbutírico. Para determinar cuál concentración de ácido indolbutírico presenta mayor o menor promedio de longitud de brotes en las estaquillas respecto al testigo (0 ppm) se realizó la Prueba de Dunnett, cuyos resultados se presentan en la tabla 34.

Tabla 34

Prueba de DUNNETT de la longitud de brotes para el sustrato Arena + Aserrín descompuesto (1:1) según Dosis de AIB

Testigo 0 ppm	Valor de Dunnett $\alpha = 0.05 \quad gl = 12 \quad \boldsymbol{p = 3 \;\; d = 2.68}$		Inferior al testigo	Superior al testigo
1.9	± 7.19		< - 5.29	> 9.09
Concentración de ácido indolbutírico		6000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	0 ppm
Promedio (mm)		12.10	4.90	2.95	1.90

Según el análisis Dunnett, los valores promedios de la longitud de brotes de las concentraciones de ácido indolbutírico de 2000 y 4000 ppm no presentan diferencia significativa al valor del testigo, mientras que el valor promedio de la longitud de brotes de la concentración de ácido indolbutírico de 6000 ppm es superior significativamente al testigo.

Los resultados del análisis de la longitud de los brotes según el sustrato y las dosis de AIB sugieren que la influencia del sustrato es más determinante para el crecimiento de los brotes que las dosis de AIB. A continuación, se presenta una explicación detallada de estos resultados:

Sustrato de Arena (Promedio de 19 mm sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

La arena proporciona un excelente drenaje y una buena aireación, lo que favorece el desarrollo radicular y, en consecuencia, el crecimiento de los brotes. La estabilidad en la humedad y la disponibilidad de oxígeno en la arena crean un ambiente óptimo para el desarrollo de brotes largos y saludables. La longitud de los brotes no mostró diferencias significativas respecto a las dosis de AIB en la arena, lo que sugiere que las condiciones

favorables del sustrato compensan cualquier variación en la concentración de AIB. El AIB puede no ser el factor limitante en este sustrato óptimo, (Leakey, 2014).

Sustrato de Aserrín Descompuesto (Promedio de 4 mm sin diferencias significativas entre concentraciones de AIB)

El aserrín descompuesto retiene mucha agua, lo que puede provocar encharcamiento y pudrición de las raíces, limitando el crecimiento de los brotes. La descomposición del aserrín consume nutrientes, especialmente nitrógeno, dejando menos disponibles para las plantas y afectando negativamente el crecimiento de los brotes. La longitud de los brotes no mostró diferencias significativas respecto a las dosis de AIB en el aserrín descompuesto, lo que sugiere que las condiciones desfavorables del sustrato predominan sobre los posibles beneficios del AIB (Loeza *et al.,* 2013).

Mezcla de Arena y Aserrín Descompuesto

En las concentraciones de 0, 2000 y 4000 ppm de AIB (Promedio de 3 mm, sin diferencias significativas) la mezcla de arena y aserrín descompuesto puede tener una retención de agua y aireación inconstante, creando un ambiente menos favorable para el crecimiento de brotes. A concentraciones más bajas (0, 2000 y 4000 ppm), el AIB no es suficiente para superar las limitaciones del sustrato mezclado y promover un crecimiento significativo de los brotes. En la concentración de 6000 ppm de AIB (Promedio de 9 mm, significativamente mayor), el AIB proporciona

suficiente estímulo para promover un crecimiento notablemente mayor de los brotes, superando las limitaciones del sustrato mezclado. La alta concentración de AIB puede haber compensado las desventajas del sustrato mezclado, permitiendo un crecimiento de brotes más significativo (Alcántara *et al.,* 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La concentración de AIB y el sustrato influyen en el porcentaje de enraizamiento de las estacas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona), obteniéndose los mayores porcentajes utilizando arena y 6000 ppm de AIB, así mismo se obtuvo mayor cantidad de brotes utilizando 2000 ppm en arena y 6000 ppm utilizando como sustrato arena más aserrín descompuesto.

- Existe un efecto directo de la concentración de AIB en el enraizamiento de las estacas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona), a mayor concentración de AIB, mayor enraizamiento, habiéndose obtenido los mayores porcentajes a una concentración de 6000 partes por millón. Pero no existe una tendencia definida en la formación de brotes, formándose un mayor número de brotes a 2000 ppm cuando se usa arena y a 6000 ppm cuando se usa arena más aserrín descompuesto.

- Existe una influencia de los sustratos en el porcentaje de enraizamiento de las estacas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona), el sustrato con en el que se obtuvo los mayores porcentajes de enraizamiento es la arena.

5.2. Recomendaciones

- Realizar análisis de enraizamiento en rangos de concentración de ácido indolbutírico superiores a 6000 ppm para determinar si los indicadores de supervivencia, presencia, número o longitud de raíces mejora, ya que según nuestros resultados de 0 a 6000 ppm los valores tendieron a mejorar.

- Realizar análisis de enraizamiento solo en sustrato de arena, ya que se obtuvo los mejores resultados en este sustrato, y enfocare en otros tratamientos, como porcentaje de hoja de las estaquillas.

- Realizar análisis de viabilidad de las estaquillas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y determinar la posibilidad de la producción de clones de esta especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, C., Cardoso, P., Alves, E., Rengifo, C., Pérez, W., Rosello, E. & Jaymes, M. (2015). Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estacas en el enraizamiento de copoazú en cámaras de subirrigación. *Ciencia Amazónica*, 104-109.

Agro-Activo. (2024). *Agro-Activo*. Obtenido de Tipos de sustratos para las plantas: https://agroactivocol.com/sin-categoria/tipos-de-sustratos-para-las-plantas/#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%20UN%20SUSTRATO%3F,el%20desarrollo%20de%20la%20planta.

Alcántara, J., Acero, J., Alcántara, J., & Sánchez, R. (2019). *Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal.* Nova: 109-129.

Álvarez, C., Valledor, L., Sáez, P., Sánchez, M. & Ríos, D. (2016). Proteomic analysis through adventitious rooting of Pinus radiata stem cuttings with different rooting capabilities. *American Journal of Plant Sciences*, 1888–1904.

Araujo, J. (2014). *Incidencia de la aplicación de citoquininas en tres estados fenológicos y dos sectores del tallo en la brotación de basales en el cultivo de pitahaya.* Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Arévalo, L., Gonzales, L. & Vallejos, G. (2014). Enraizamiento de brotes de capirona Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook. f. ex Schum., en la amazonía peruana. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2215-2504.

Arteca, R. (1996). *Plant growth substances: Principles and applications.* NY, USA, 332p: Chapman and Hall Press.

Baldini. (2014). *Arboricultura General.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid - Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola.

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*, 1-11.

Bettinger, M., Clutter., M., Siry, J., Kane, M. & Pait, J. (2009). Broad implications of southern United States pine clonal forestry on planning and management of forests. *International Forestry Review*, 331–345.

Blanco, L. (24 de Abril de 2024). *Quora*. Obtenido de ¿Qué son las raíces adventicias?

Blazich, F. (1988). Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. *Adventitious Root Formation in Cuttings. Portland, Oregon. Dioscorides Press*, 132 - 149.

Bonfil, C., Mendoza, P., & Ulloa, J. (2007). Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género bursera. *Agrociencia*, 103-109.

Braga Vasquez, S. M. (2019). Efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de tallo en Myrciaria dubia (HBK Mc Vaugh) Clon E3-F7, Yarinacocha – Ucayali, Perú. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. Obtenido de: https://api-repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f2e40517-9c1e-4f57-a319-79ef93b65750/content

Cachique, D. (2014). *Construcción e implementación del propagador de subirrigación.* Perú: Obtenido del manual Técnico-Propagación Vegetiva del Sancha inchi - IIAP.

Cachique, D., Rodriguez, Á., Ruiz, H., Vallejos, G. & Solis, R. (2011). Propagación vegetativa del sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación en la amazonia peruana. *Folia Amazónica*, 95 - 100.

Castrillón, J., Carbajal, E., Ligarreto, G. & Magnitskiy, S. (2008). El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (Vaccinium meridionale Swartz). *Agronomía Colombiana*, vol. 26, núm. 1, pp. 16-22.

Castro, I., Alves, O., De Assis, F. & Wendling, I. (2016). Enraizamiento de estacas juveniles de Bertholletia excelsa con diferentes concentraciones de ácido indol-butírico. *Agrociencia*, 227-238.

Cook, B., Yoon, J. & Zeng, N. (2012). Magnitud y causas de cambio de las proyecciones del modelo climático del IPCC. *Earth Interactions*, 1-27.

Cordova Flores, F. G. (2016). Selección y efecto del ácido-3-indolbutírico en la producción de clones de Simarouba amara Aubl (Marupa), en Pucallpa-Perú. *Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.*

De-Klerk, G.-J., Van Der Krieken, W. & De Jong, J. (1999). Review the formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 189–199.

Desmarchelier, C. & Witting, F. (2000). *Sesenta plantas medicinales de la Amazonia Peruana:.* Lima, Perú. 270 p.: Ecología, Etnomedicina y Bioactividad.

Díaz, E. (2021). *Técnicas de enraizamiento de estacas juveniles de Cedrela odorata L. y Gmelina arborea Linn.* Costa Rica: CATIE. 93 p.

Ducke, A. (1925). *Archivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro 4.* Rio de Janeiro: Brasil. pv.

Fitter, A. (1996). *Characteristics and functions of root systems.* New York: Plant roots.

Flores Bendezú, Y. (2018). *Árboles nativos de la Región Ucayali. Estación Experimental Agraria Pucallpa.* Pucallpa, Perú.: 375 p.

Garnica. (11 de Abril de 2024). *Garnica*. Obtenido de Silvicultura: ¿Qué es y cuál es su papel clave en la sostenibilidad?: Obtenido de: https://www.garnica.one/blog/silvicultura-que-es-y-sus-funciones.html

Guan, L., Murphy, A., Peer, W., Gan, L., Li, Y. & Cheng, Z. (2015). Physiological and molecular regulation of adventitious root formation. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 506–521.

Hartmann, H., Kester, D. & Davis, J. (1997). *Plant propagation: principles and practices. 6th Edition.* New York. EEUU. 770pp.: Englewood Clipps / Prentice Hall.

Hartmann, H., Kester, D., Davies, F. & Geneve, R. (2010). *Hartmann and Kester's Plant Propagation: Principles and Practices, eighth ed. Upper Saddle River,.* Nueva Jersey: Prentice-Hall.

Hernández, R. (2017). *Metodología de la investigación, Sexta Edición.(M.G, Education, Editor) Recuperando el 30 de abril del 2021.* Universidad Florencio Del Castillo.

Hernández, R. (2024). *Hydroenv*. Obtenido de Guía: ¿Qué es un invernadero? Tipos y Usos.

Iberdrola. (24 de Abril de 2024). *Iberdrola*. Obtenido de La reforestación, una alternativa para revertir la desertificación. Obtenido de:

https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-reforestacion

Kanmegne, G., Mbouobda, H., Fotso, C. & Omokolo, D. (2017). The influence of stockplant fertilization on tissue concentrations of nitrogen, carbohydrates and amino acids and on the rooting of leafy stem cuttings of Cola anomala K. Schum (Malvaceae). *New Forests*, 17–31.

Kroin, J. (1992). Advances using indole-3-butyric acid (IBA) dissolved in water for rooting cuttings, transplanting, and grafting. *Combined Proceedings International Plant Propagators´ Society*, 489–492.

Latsague, M., Sáez, P., & Hauenstein, E. (2008). Inducción de enraizamiento en estacas de Berberidopsis corallina con ácido indolbutírico. *BOSQUE*, 29(3): 227-230.

Leakey, B., Mesén, F., Tchoundjeu, Z., Longman, A., Dick, J., Newton, A. & Muthoka, N. (1990). Low technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review 69(3)*, 247-257.

Leakey, R. (2014). Plant cloning: Macro-propagation. En *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Vol 4* (págs. 349-359). San Diego: Elsevier Publishers.

Legué, V., Rigal, A. & Bhalerao, R. (2014). Adventitious root formation in tree species: Involvement of transcription factors. *Physiologia Plantarum*, 192–198.

Loach, K. (1986). Rooting of cuttings in relation to the propagation medium. Combined proceedings. *The International Plant Propagators Society, (U.K). v 35*, 437-485.

Loeza, J., Díaz, E., Campos, J. & Orlando, J. (2013). Efecto de lignificación de estacas sobre enraizamiento de Bursera morelensis Ram. y Bursera galeottiana Engl. en la Universidad de la Cañada en Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca, México. *Ciencia Ergo Sum*, 222-226.

Lovell, P. & White, J. (1986). Anatomical changes during adventitious root formation. *Lackson, M.B. (Ed). New root formation in plants and cuttings. Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht.*, 111-140.

Magnanini, A., & Magnanini, C. (2002). *Árvores gigantescas da terra e as maiores assinaladas no Brasil.*

Manihuari Rioja, A. D. (2022). Influencia de sustratos, dosis de ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas juveniles y producción de plantones de copaifera paupera (herzog) dwyer (copaiba) en túneles de subirrigación. *Universidad Nacional de Ucayali.*

Martínez, C., Kidelman, A., Feito, I., Velasco, T., Alía, R., Gaspar, M. & Majada, J. (2012). Optimization of seasonality and mother plant nutrition for vegetative propagation of Pinus pinaster Ait. *New Forests*, 651–663.

Mendoza, W., Lopéz, S., Mostacero, J., Gil, A., Lopéz, A. & De La Cruz, A. (2020). Determinación de las concentraciones adecuadas de 2,4 diclorofenoxiacético y Kelpak en el enraizamiento de estacas de Vaccinium floribundum Kunth “pushgay”. *Manglar*, 21-25.

Mermao, T. (2012). Influencia de diferentes concentraciones de ácido indolbutírico y sustratos en el enraizamiento de estacas juveniles de myroxylon balsamun. Harms. (estoraque) en propagadores de sub-irrigación, pucallpa. *Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.*

Mesén, F. (1993). Vegetative propagation of Central American hardwoods. *Thesis Ph.D. University of Edinburgh, Institute of Terrestrial Ecology, Scotland.* 231.

Mesén, F. (1998). *Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación.* Costa Rica: C. R.: CATIE.

Mesén, F. & Trejos, E. (1997). Propagación vegetativa del San Juan (Vochysia guatemalensis Donn. Smith) mediante enraizamiento de estacas juveniles. *Revista Forestal Centroamericana*, 19-24.

Moncada Ramirez, C. M. (2012). Efecto del ácido indol-3-butírico y niveles de área foliar en el enraizamiento de estaquillas de Calycophyllum spruceanum (benth) h. schum “capirona” en cámaras de sub irrigación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Obtenido de: https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d47a9ba0-0e3e-4451-9818-c09d7c6aaafc/content

Muñoz, M. & Molina, R. (2016). Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y edad de las estacas en el enraizamiento de Myrceugenia exsucca. *BOSQUE*, 637-641.

Murillo, O. (2002). Utilización de técnicas hidropónicas para la propagación de especies forestales. *Instituto Tecnológico de Costa Rica-ITCR.*

Ocampo, N. (24 de Abril de 2014). *Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*. Obtenido de Sistema de Univerisdad Virtual - Fotosintesis: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf

Oliva Cruz, C. A. (2005). Efecto de fitorreguladores enraizantes y la temperatura en el enraizamiento de estacas de Myrciaria dubia (HBK) Mc Vaugh, camu camu arbustivo, en Ucayali-Perú. *Folia Amazónica - IIAP*, 14 (2).

Osterc, G. & Stampar, F. (2011). Differences in endo/exogenous auxin profile in cuttings of different physiological ages. *Journal of Plant Physiology*, 2088–2092.

Pinedo Borgo, S. (2022). Propagación de estacas juveniles de Mansoa alliacea (Lam.) A.H. Gentry (Ajo Sacha), por efecto de concentraciones de Ácido Indolbutírico y tipos de sustratos en cámara de sub irrigación, Atalaya – Ucayali – Perú. *Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.*

Reynel, C., Pennington, T., Pennington, R., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Árboles útiles de la Amazonía Peruana y sus usos: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies.* Lima, Perú. 509 p.: ICRAF.

Rival, A. (2013). Genotipo y fenotipo. Exploración de la caja negra de los mejoradores. *Palmas*, 161-167.

Rivera, M., Vargas, J., López, J., Villegas, Á., & Jiménez, M. (2016). Enraizamiento de estacas de Pinus patula. *Fitotec*, 385 - 392.

Ruiz, R., Vargas, J., Cetina, V. & Villegas, Á. (2005). Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de Gmelina arborea Roxb. *Fitotec*, 319 – 326.

Salcedo, B. (2009). Efecto del ácido indol-acetico (AIA) en el enraizamiento de estacas juveniles de "capirona" Calycophyllum spruceanum (benth) hook f. ex., instalados en cámara de sub-irrigación. *Universidad Nacional Agraria*

de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables.

Salisbury, F. & Ross, W. (2000). *Fisiología de las plantas.* Madrid, España. 988 pp: Paraninfo.

Sedaghathoor, S., Kayghobadi, S., & Tajvar, Y. (2016). Rooting of Mugo pine (Pinus mugo) cuttings as affected by IBA, NAA and planting substrate. *Forest Systems*, 25(2).

Steffens, B. & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 603–617.

Tamayo, G. (2016). *Diseños Muestrales en la Investigación SEMENTRE ECONOMICO.* Universidad de Medellín: Vol. 4, n° 7. Recuperando el 30 de Abril del 2021.

Tang Rengifo, H. (2014). Efecto de dos tipos de sustrato y cuatro dosis de acido indolbutirico en el enraizamiento de estacas juveniles de Tabebuia serratifolia (Vahl) en propagadores de sub-irrigación, en Pucallpa-Ucayali, Perú. *Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela académico Profecional de Ingenieria Forestal.*

Tierra-plantas. (2024). *Tierra de plantas*. Obtenido de ¿Qué es un vivero?: concepto, tipos, objetivos y más. Obtenido de: https://tierradeplantas.com/que-es-un-vivero/

Toogood, A. (1999). Plant propagation. *Ed. Picks.*, 204p.

Vallejos, G., Gonzales, L. & Arévalo, L. (2014). Enraizamiento de brotes de tornillo (Cedrelinga catenaeformis Ducke), en la Amazonía peruana. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 60-64.

Vera, C. (2014). *The influence of antidesiccants on field perfomance and physiologya of 2+0 ponderosa pine (Pinus ponderosa Dougl.) seedlings. Ph. D, Thesis.* Oregon: Oregon State University.

Zobel, B. & Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.* México. 554pp.: Limusa.

ANEXOS

ANEXO 1

FOTOS DE LOS TRABAJOS DE ANÁLISIS DE ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN.

Figura 10

Recolección de estaquillas de Calycophyllum spruceanum



Figura 11

Frascos con las diferentes cconcentraciones de ácido indolbutírico (0, 2000, 4000 y 6000 ppm)



Figura 12

Estacas de Calycophyllum spruceanum (Capirona) con muchos brotes y hojas



Figura 13

Estacas con múltiples raíces



Figura 14

Estacas con dos raíces



Figura 15

Estaca con múltiples raíces, brotes y hojas



Figura 16

Estaca con brotes



ANEXO 2

DATOS RECOLECTADOS DEL ANÁLISIS DE ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook. f. ex K. Schum. (Capirona) EN CÁMARAS DE SUB IRRIGACIÓN

Sustrato	Concentración de AIB	Tratamiento	Repetición - Estaca	Vivo/ muerto	Presencia de raíz (si/no)	N° raíces	Longitud de raíces (mm)	N° de brotes	N° de hojas de los brotes	Longitud del brote mayor (mm)
Arena	0 ppm	T1	R1-1	0						
Arena	0 ppm	T1	R1-2	1	0			2	5	10
Arena	0 ppm	T1	R1-3	1	1	7	88	2	4	22
Arena	0 ppm	T1	R1-4	1	0			2	2	19
Arena	0 ppm	T1	R1-5	1	0			2		14
Arena	0 ppm	T1	R2-1	1	1	2	75	3	4	25
Arena	0 ppm	T1	R2-2	0						
Arena	0 ppm	T1	R2-3	1	0			2	4	15
Arena	0 ppm	T1	R2-4	1	0			2	2	14
Arena	0 ppm	T1	R2-5	1	1	7	120	2	3	22
Arena	0 ppm	T1	R3-1	1	1	4	168	2	4	15
Arena	0 ppm	T1	R3-2	1	1	5	115	2	6	15
Arena	0 ppm	T1	R3-3	1	0			2		6
Arena	0 ppm	T1	R3-4	1	1	2	50	2		12
Arena	0 ppm	T1	R3-5	1	1	3	60	2	5	13
Arena	0 ppm	T1	R4-1	1	1	5	139	2	3	33
Arena	0 ppm	T1	R4-2	1	1	2	45	2	7	31
Arena	0 ppm	T1	R4-3	1	1	3	95	2		26
Arena	0 ppm	T1	R4-4	1	1	1	82	2		17
Arena	0 ppm	T1	R4-5	1	1	6	109	2	3	23
Arena	2000 ppm	T2	R1-1	1	0			1		13

Arena	2000 ppm	T2	R1-2	1	1	18	150	3	11	170
Arena	2000 ppm	T2	R1-3	1	1	12	160	2		5
Arena	2000 ppm	T2	R1-4	1	1	19	83	4	18	135
Arena	2000 ppm	T2	R1-5	1	1	16	170	2	4	65
Arena	2000 ppm	T2	R2-1	1	1	8	165	2	10	80
Arena	2000 ppm	T2	R2-2	1	1	7	88	2	7	5
Arena	2000 ppm	T2	R2-3	0						
Arena	2000 ppm	T2	R2-4	1	1	2	125	2	4	15
Arena	2000 ppm	T2	R2-5	1	1					
Arena	2000 ppm	T2	R3-1	1	1	7	140	2	3	15
Arena	2000 ppm	T2	R3-2	1	1	9	110	1	6	25
Arena	2000 ppm	T2	R3-3	1	1	7	120	3	9	55
Arena	2000 ppm	T2	R3-4	0						
Arena	2000 ppm	T2	R3-5	0						
Arena	2000 ppm	T2	R4-1	1	0			1		4
Arena	2000 ppm	T2	R4-2	1	1	4	114	2	7	34
Arena	2000 ppm	T2	R4-3	0						
Arena	2000 ppm	T2	R4-4	1	1	8	150	2	4	40
Arena	2000 ppm	T2	R4-5	1	1	5	125	1	4	88
Arena	4000 ppm	T3	R1-1	1	1	12	150	2	5	45
Arena	4000 ppm	T3	R1-2	1	1	18	115			
Arena	4000 ppm	T3	R1-3	1	1	3	134	1	6	15
Arena	4000 ppm	T3	R1-4	1	1	9	140	1	3	24
Arena	4000 ppm	T3	R1-5	1	1	2	55			
Arena	4000 ppm	T3	R2-1	0						
Arena	4000 ppm	T3	R2-2	0						
Arena	4000 ppm	T3	R2-3	1	1	6	89			
Arena	4000 ppm	T3	R2-4	1	1	21	120			
Arena	4000 ppm	T3	R2-5	1	1	13	82			

Arena	4000 ppm	T3	R3-1	1	1	1	50			
Arena	4000 ppm	T3	R3-2	1	1	23	111			
Arena	4000 ppm	T3	R3-3	1	1	2	40	2	1	6
Arena	4000 ppm	T3	R3-4	1	1	5	149			
Arena	4000 ppm	T3	R3-5	1	1	2	35			
Arena	4000 ppm	T3	R4-1	1	0			1	3	15
Arena	4000 ppm	T3	R4-2	1	1	13	155	2		10
Arena	4000 ppm	T3	R4-3	0						
Arena	4000 ppm	T3	R4-4	1	1	10	115	1	2	43
Arena	4000 ppm	T3	R4-5	1	1	8	113			
Arena	6000 ppm	T4	R1-1	1	1	23	125			
Arena	6000 ppm	T4	R1-2	1	1	8	70	1	4	35
Arena	6000 ppm	T4	R1-3	1	1	14	128	2	5	40
Arena	6000 ppm	T4	R1-4	1	1	6	100	2	4	10
Arena	6000 ppm	T4	R1-5	1	1	8	70			
Arena	6000 ppm	T4	R2-1	1	1	5	60	1	2	30
Arena	6000 ppm	T4	R2-2	1	1	14	96			
Arena	6000 ppm	T4	R2-3	1	0					
Arena	6000 ppm	T4	R2-4	1	1	14	107			
Arena	6000 ppm	T4	R2-5	1	1	6	93			
Arena	6000 ppm	T4	R3-1	0						
Arena	6000 ppm	T4	R3-2	1	1	11	120	1	6	25
Arena	6000 ppm	T4	R3-3	1	1	2	77	1	1	8
Arena	6000 ppm	T4	R3-4	1	1	4	123	1	3	23
Arena	6000 ppm	T4	R3-5	0						
Arena	6000 ppm	T4	R4-1	1	1	7	144			
Arena	6000 ppm	T4	R4-2	1	1	7	70	1		3
Arena	6000 ppm	T4	R4-3	1	1	5	73			
Arena	6000 ppm	T4	R4-4	1	1	8	94	1		2

Arena	6000 ppm	T4	R4-5	1	1	21	82			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R1-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R1-2	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R1-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R1-4	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R1-5	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R2-1	1	0			2		5
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R2-2	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R2-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R2-4	1	0				1	12
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R2-5	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R3-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R3-2	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R3-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R3-4	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R3-5	1	0			1		2
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R4-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R4-2	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R4-3	1	0			2	3	9
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R4-4	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	0 ppm	T5	R4-5	1	0			1	2	10
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R1-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R1-2	1	0			1		2
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R1-3	1	0			1		5
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R1-4	1	0			2		1
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R1-5	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R2-1	1	0			2	3	7
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R2-2	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R2-3	0						

Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R2-4	1	0			2	2	6
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R2-5	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R3-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R3-2	1	1	5	127	1	2	28
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R3-3	1	0			1	3	18
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R3-4	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R3-5	1	0			2		7
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R4-1	1	1	1	74	2	8	15
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R4-2	1	0			1		3
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R4-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R4-4	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	2000 ppm	T6	R4-5	1	0			1	2	6
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R1-1	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R1-2	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R1-3	1	1	18	125	1	2	17
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R1-4	1	0			2	1	15
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R1-5	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R2-1	1	1	4	29			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R2-2	1	0			1		2
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R2-3	1	0			1	2	11
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R2-4	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R2-5	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R3-1	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R3-2	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R3-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R3-4	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R3-5	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R4-1	1	0			1	3	7
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R4-2	1	0					

Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R4-3	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R4-4	1	0			2	3	7
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	4000 ppm	T7	R4-5	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R1-1	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R1-2	1	1	2	150			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R1-3	1	0			1		5
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R1-4	1	1	9	185	1	2	38
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R1-5	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R2-1	1	1	3	94	1	1	7
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R2-2	1	1	8	94	1	2	30
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R2-3	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R2-4	1	1	7	115	1	4	35
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R2-5	1	1	4	135	1	4	23
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R3-1	1	1	5	35			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R3-2	1	1	35	127	3	1	5
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R3-3	0						
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R3-4	1	0					
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R3-5	1	1	3	83	4	32	65
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R4-1	1	0			2	7	4
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R4-2	1	1	1	55			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R4-3	1	1	24	44	2	4	10
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R4-4	1	1	5	165			
Arena + Aserrín descompuesto (1:1)	6000 ppm	T8	R4-5	1	1	6	127	1	2	20
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R1-1	0						
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R1-2	0						
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R1-3	0						
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R1-4	1	0			2		3
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R1-5	0						
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R2-1	0						

Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R2-2	1	0			2	4	15
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R2-3	1	1	1	10			
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R2-4	1	0					
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R2-5	1	1	1	35	1		3
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R3-1	1	0			1	2	15
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R3-2	1	0			1		3
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R3-3	1	0			2		11
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R3-4	0						
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R3-5	1	1	3	35			
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R4-1	1	0			1	2	8
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R4-2	1	1	3	60	2	6	28
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R4-3	1	1	3	55			
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R4-4	1	0					
Aserrín descompuesto	0 ppm	T9	R4-5	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R1-1	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R1-2	1	1	6	65			
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R1-3	1	1	4	60			
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R1-4	1	1	3	40			
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R1-5	1	0					
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R2-1	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R2-2	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R2-3	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R2-4	1	1	4	55	1	1	6
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R2-5	1	1	4	96			
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R3-1	1	1	9	76	1	2	15
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R3-2	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R3-3	1	0					
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R3-4	1	0			1		6
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R3-5	0						

Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R4-1	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R4-2	1	1	11	85	1	4	115
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R4-3	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R4-4	0						
Aserrín descompuesto	2000 ppm	T10	R4-5	1	1	4	58			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R1-1	1	0					
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R1-2	1	0			2		7
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R1-3	1	0			2	4	17
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R1-4	0						
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R1-5	1	1	12	55			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R2-1	1	1	16	55	1	4	38
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R2-2	1	0			1		3
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R2-3	1	0			1		1
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R2-4	1	0					
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R2-5	1	1	1	7			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R3-1	1	0			1		3
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R3-2	1	0			1	2	10
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R3-3	1	0					
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R3-4	0						
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R3-5	1	1	2	43			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R4-1	0						
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R4-2	1	1	2	56			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R4-3	0						
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R4-4	1	1	8	100			
Aserrín descompuesto	4000 ppm	T11	R4-5	1	1	2	60			
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R1-1	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R1-2	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R1-3	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R1-4	1	0					

Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R1-5	1	1	5	4	1		5
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R2-1	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R2-2	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R2-3	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R2-4	1	0			1		3
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R2-5	1	1	26	145	1	5	25
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R3-1	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R3-2	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R3-3	1	1	18	192	2	6	40
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R3-4	1	0			1	2	6
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R3-5	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R4-1	1	0					
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R4-2	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R4-3	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R4-4	0						
Aserrín descompuesto	6000 ppm	T12	R4-5	0						