

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“Evaluación de factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas
de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el
distrito de Tambopata - Madre de Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

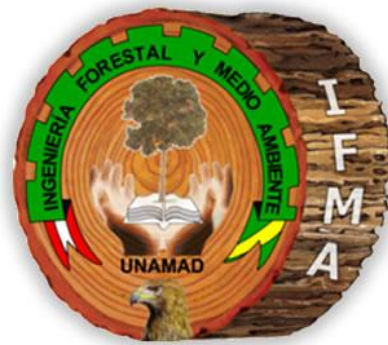
Bachiller: CCARI QUISPE,
Alderson Ruso

ASESOR: Dr. PEÑA
VALDEIGLESIAS, Joel

Co-ASESOR: Dr. GARATE QUISPE,
Jorge Santiago

Puerto Maldonado, octubre 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“Evaluación de factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas
de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el
distrito de Tambopata - Madre de Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bachiller: CCARI QUISPE,
Alderson Ruso

ASESOR: Dr. PEÑA
VALDEIGLESIAS, Joel

Co-ASESOR: Dr. GARATE QUISPE,
Jorge Santiago

Puerto Maldonado, octubre 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

apirepositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

El estudio titulado "Evaluación de factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona en invernadero en cámara de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios" se realizó con el objetivo de obtener el título de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia de factores bióticos y abióticos en el enraizamiento de estacas de tres especies de capirona bajo condiciones de microinvernadero en cámaras de subirrigación, en el vivero de la Estación Experimental San Bernardo del INIA. Las especies de capirona estudiadas fueron *Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*, todas de importancia para la industria forestal y la conservación de la biodiversidad en la Amazonía peruana.

La metodología utilizada se basó en la propagación asexual mediante el uso de estaquillas de diferentes tamaños en las tres especies de capirona, empleando la técnica de enraizamiento en invernadero en cámara de subirrigación. Se evaluaron parámetros como el diámetro del tallo y las dimensiones de las estacas para determinar sus efectos en el enraizamiento. Finalmente, se determinó la dosis más adecuada de bioestimulante (ácido indol-3-butírico) para lograr el enraizamiento exitoso de las estaquillas.

Durante el estudio, se analizaron parámetros cuantitativos como el porcentaje de enraizamiento, supervivencia, mortalidad, brotación en estaquillas, formación de callos, necrosis en brotes recientes, ausencia de necrosis en brotes recientes, longitud promedio de la raíz principal y secundaria, número de estaquillas, tamaño promedio de las estacas, número de raíces y longitud de raíces. Asimismo, se evaluaron parámetros cualitativos como el vigor de las estaquillas, coloración de los brotes y callos, disposición de las estaquillas, arquitectura radial y coloración de las raíces.

INTRODUCCIÓN

El estudio "Evaluación de factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*) en invernadero con cámara de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios" fue una investigación científica que buscó evaluar los efectos de las concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB), el diámetro de las estacas y la capacidad de enraizamiento de tres especies de capirona en invernadero con cámara de subirrigación de la Estación Experimental San Bernardo del Instituto Nacional de Innovación Agraria, ubicada en el distrito de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.

La capirona es una especie arbórea de gran importancia para la región amazónica del Perú debido a sus múltiples usos (Abanto-Rodriguez et al. 2016a). Entre ellos, destacan su uso medicinal, ornamental, maderable y de protección ambiental. A pesar de su relevancia, aún existían limitaciones en su producción en viveros debido a la falta de conocimientos sobre la propagación de esta especie (Linares y Díaz 1992).

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar los factores clave (bioestimulante y dimensiones de estacas) para el enraizamiento de estacas en el crecimiento inicial de tres especies de capirona (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*), con el fin de determinar la mejor combinación para la producción de plántones de la especie con fines comerciales. Para alcanzar este objetivo, se establecieron tres objetivos específicos: A. Evaluar la capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con cámara de subirrigación, B. Evaluar el efecto de la especie y del diámetro de capirona en el desarrollo de las hojas y los brotes en el propagador de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios, y C. Evaluar el efecto del ácido indol-3-butírico en el enraizamiento y desarrollo de las estacas de tres especies de capirona en propagador de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios.

La selección de las especies de capirona a evaluar se basó en el estudio previo de 64 accesiones de capirona por parte del Instituto Nacional de Innovación Agraria en referencia a Eras et al. (2021). Las especies seleccionadas fueron: *Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* Spruce y *Calycophyllum spruceanum*.

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con un esquema factorial de 3A x 3B, considerando tres tratamientos, cuatro repeticiones y diez brotes por cada repetición. Las variables observadas fueron el número de raíces y el porcentaje de enraizamiento, ambos medidos a los 12 días de iniciado el experimento en modificación a lo recomendado por Huinga (2022). Se emplearon el sustrato (pellet de 50 x 95 mm), tres concentraciones de AIB (2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm) y un método de propagación (esquejes) presentado por Abanto-Rodriguez et al. (2016b)

INDICE

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Variables.....	4
1.4.1. Variables independientes	4
1.4.2. Variables dependientes	4
1.5. Operacionalización de variables	5
1.6. Hipótesis.....	6
1.6.1. Hipótesis General.....	6
1.6.2. Hipótesis específica.....	6
1.7. Justificación.....	6
1.7.2. Justificación social	6
1.7.3. Justificación científica.....	7
1.8. Consideraciones éticas.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de estudio	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	9
2.1.3. Antecedentes locales.....	11
2.2. Marco teórico	12

2.2.1. Clasificación sistemática y descripción botánica de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	12
2.2.2. Clasificación sistemática y descripción botánica de <i>Capirona macrophylla</i>	13
2.2.3. Clasificación sistemática y descripción botánica de <i>Calycophyllum spruceanum Benth</i>	14
2.2.3. Clasificación sistemática y descripción botánica de <i>Calycophyllum megistocaulum (K. Krause) C.M. Taylor</i>	15
2.2.4. Propagación de plantas	16
2.2.5. Propagación vegetativa	17
2.2.6. Propagación vegetativa a través de estacas	17
2.2.7. Formación de raíces adventicias	18
2.2.8. Factores que influyen en el enraizamiento de estacas	20
2.2.9. Planta madre como fuente de estacas	21
2.2.10. Factores del medio que influyen en el enraizamiento.....	22
2.2.11. Invernadero de subirrigacion	26
2.2.12. Tipo de sustrato.....	28
2.3. Definición de términos	29
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	31
3.1. Tipo de estudio	31
3.2. Diseño del estudio	31
3.2.1. Selección de sitios de recolección	31
3.2.2. Selección del material vegetativo	35
3.2.3. Extracción de las estacas de capirona.....	35
3.2.4 Desinfección de estaquillas	36
3.2.5 Aplicación de dosis hormonal	37
3.2.6. Sustrato	38
3.2.7. Acido indol-3-butírico	38

3.2.8. Cámara de subirrigacion	39
3.2.9. Instalación de estaquillas	40
3.2.10. Monitoreo	41
3.2.11. Evaluaciones	41
3.2.14. Análisis de datos	43
3.3. Población y Muestra.....	43
3.3.1. Población	43
3.3.2. Muestra.....	44
3.4. Métodos y técnicas.....	45
3.4.1. Características del área de estudio	45
3.4.2. Ubicación del área de estudio	47
3.5. Tratamiento de los datos	47
CAPITULO IV. RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	49
4.1. Capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona.....	49
4.1.1. Sobrevivencia de individuos de capirona	50
4.1.2 Longitud de raíces.....	53
4.1.3 Numero de raíces	54
4.2 Efecto de la especie y del diámetro de capirona en el desarrollo de las hojas y los brotes.	56
4.2.1 Efecto en la Longitud de los brotes.....	56
4.2.2 Efecto en la Longitud de la hoja.....	58
4.3 Efecto del ácido indol-3-butírico en el enraizamiento y desarrollo de las estacas de capirona	59
CONCLUSIONES	65
SUGERENCIAS.....	66
REFERENCIA BIBLIOGRAFICOS.....	67
ANEXOS.....	78

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En las últimas décadas, el consumo de recursos forestales ha aumentado exponencialmente debido al incremento de la población mundial. Este fenómeno se explicó por la globalización, lo que provocó que los principales continentes exportadores de estos recursos, como África y Asia, agotaran sus reservas y vieran en otras regiones, como América del Sur, una nueva oportunidad. Uno de los problemas más grandes que enfrentó América del Sur fue la deforestación causada por la extracción primaria de especies maderables, un problema especialmente frecuente en las zonas rurales y en las comunidades nativas situadas en la ceja de selva. En su mayoría, las poblaciones rurales asociaron el uso de especies de rápido crecimiento a sus cultivos agronómicos; un ejemplo de esto es la capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook f. ex Schumann), que se utilizó para diversos usos domésticos y forestales, tanto a nivel nacional como internacional (Castro 2012; Pinedo 2021).

La capirona tuvo una distribución principal en los países sudamericanos de Brasil, Perú, Ecuador, Colombia y Bolivia. Una de sus principales características fenológicas fue su rápido crecimiento, además de su alto valor ecológico y comercial. Estas características hicieron que fuera una especie candidata para planes de manejo, sistemas silvopastoriles, agroforestería, enriquecimiento de suelo y recuperación de áreas degradadas (Palomino et al., 2003). Estas especies se extendieron en diferentes tipos de bosque, como bosques secundarios, suelos aluviales o inundables, que son característicos de la selva baja en los bosques húmedos tropicales del Perú, Bolivia, Brasil, Colombia y Ecuador (Linares y Díaz 1992).

A pesar de su capacidad de crecimiento acelerado, fue crucial reconocer que la ausencia aparente de problemas en el presente no debía llevar a ignorar los riesgos latentes que enfrentaba la especie. El cambio climático generó alteraciones en los patrones de temperatura y precipitación, lo que podría afectar negativamente la regeneración natural y la distribución geográfica de la capirona. Además, la expansión de la deforestación y la tala ilegal de bosques incrementaron la presión sobre las poblaciones de capirona, reduciendo su hábitat y dificultando su capacidad para propagarse y persistir en el tiempo. La sobreexplotación de esta especie con fines comerciales también podría haber generado desequilibrios ecológicos en los ecosistemas donde se encontraba, afectando a otras especies que dependían de ella (García 2016)

El método de propagación sexual fue uno de los más utilizados en su época, pero presentaba desventajas en su aplicación, como la gran heterogeneidad fenotípica y genotípica, lo cual generaba complicaciones en su manejo en plantaciones. El enraizamiento se veía influenciado por varios factores, como el estrés hídrico o déficit, la optimización de la disposición de luz en la fotosíntesis, así como una adecuada aplicación de sustrato enriquecido con materia orgánica, los cuales contribuían a la propagación de raíces en las estacas (Leakey et al. 1990; Badilla y Gamboa 2005).

El uso de un buen sustrato fue esencial para el desarrollo de la plántula, principalmente en la formación del sistema radicular. Por lo tanto, un buen sustrato aseguraba un adecuado amarre de la estaca al suelo, lo que ayudaba a que la plántula no se inclinara o cayera durante su crecimiento inicial. El sustrato actuaba como soporte principal de la planta en su fase inicial de crecimiento, por lo que debía contar con todo lo necesario para que la planta pudiera absorber nutrientes y desarrollarse adecuadamente. La combinación de los componentes del sustrato debía ser equilibrada y tener un buen balance que permitiera un intercambio gaseoso adecuado, porosidad del suelo, retención de agua y disponibilidad de nutrientes (Pinedo 2021).

Dado que la capirona tenía un valor comercial maderable importante y considerando la escasa información disponible sobre su propagación asexual, se planteó el siguiente estudio con el objetivo principal de evaluar la influencia del tipo de sustrato y del método de propagación en el crecimiento inicial de tres especies de capirona. Para ello, se estableció como objetivo específico determinar la influencia del sustrato en el crecimiento inicial de la capirona. Como segundo objetivo, se buscó evaluar la influencia del método de propagación en el crecimiento inicial de tres tipos de capirona.

1.2. Formulación del problema

Para el presente estudio y el contexto del problema planteado, se formuló las siguientes preguntas de investigación.

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la potencialidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios?
- ¿Cuál es el efecto del diámetro y dimensión de las estacas en el enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios?
- ¿Cuál es la dosis adecuada de bioestimulante de tipo ácido indol-3-butírico para el enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar los factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona (*C. megistocaulum*, *C. macrophylla* y *C. spruceanum*) en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en propagador de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios.
- Evaluar el efecto de la especie y del diámetro de capirona en el desarrollo de las hojas y los brotes en el propagador de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios.
- Evaluar el efecto del ácido indol-3-butírico en el enraizamiento y desarrollo de las estacas de tres especies de capirona en propagador de subirrigación en el distrito de Tambopata - Madre de Dios.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

- Dimensiones de las estacas (Diámetro menos a 7 mm, Diámetro mayor a 7 mm)
- Concentración de ácido indol-3-butírico (2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm)
- Tres tipos de capirona (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* Spruce y *Calycophyllum spruceanum*)

Estas variables son manipuladas y controladas por el investigador para determinar su efecto en el enraizamiento de estacas. El método de propagación se refiere a la forma en que se reproducen las plantas, como la siembra directa, la propagación por estaquillas.

1.4.2. Variables dependientes

Crecimiento inicial de las tres especies de capirona en términos de:

- Altura al ras del suelo
- Longitud de las estacas
- Numero de Hojas
- Capacidad de enraizamiento de estacas.

1.5. Operacionalización de variables

En este estudio se plantea la siguiente tabla de operacionalización de variable (Tabla 1) como se detalla a continuación.

Tabla 1. Tabla de la operacionalización de variables

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Ítems
Variable independiente				
La especie vegetal utilizada como material experimental en el enraizamiento.	Identificación taxonómica de la estaca (<i>C. spruceanum</i> , <i>C. macrophylla</i> y <i>C. megistocaulum</i>).	Diversidad de especies	<i>C. spruceanum</i> ; <i>C. macrophylla</i> ; <i>C. megistocaulum</i>	VI.1
Medida del grosor de la estaca colectada para propagación vegetativa.	Medir con vernier el diámetro a 3–5 cm de la base; clasificar en < 7 mm y ≥ 7 mm.	Longitud diamétrica de la estaca	Diámetro < 7 mm; Diámetro ≥ 7 mm	VI.2
Cantidad de ácido indol-3-butírico (AIB) aplicada como bioestimulante.	Aplicar AIB a la base de la estaca (polvo/solución) según tratamiento.	Nivel de hormona	2000 ppm; 4000 ppm; 6000 ppm	VI.3
Variable dependiente				
Capacidad de las estacas para emitir raíces y establecerse.	Evaluación a las 24 semanas en propagador de subirrigación por tratamiento.	Formación radicular	Porcentaje de enraizamiento; número de raíces; longitud de raíces; presencia de callo	VD.1
Desarrollo morfológico inicial expresado en hojas y brotes.	Medición de número y longitud de hojas y de brotes al final del ensayo.	Crecimiento aéreo	Nº de hojas; longitud de hoja; nº de brotes; longitud de brote	VD.2
Proporción de estacas que permanecen vivas después del tratamiento.	Conteo de estacas vivas a las 24 semanas por unidad experimental.	Tasa de supervivencia	Porcentaje de estacas sobrevivientes	VD.3

Nota: Tomado y modificado de Huinga, 2022, p.21

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

- La combinación de factores clave especie de capirona, diámetro y dimensión de las estacas, y dosis de ácido indol-3-butírico (AIB)— influye de manera significativa en el éxito del enraizamiento de estacas en condiciones de invernadero.

1.6.2. Hipótesis específica

- Existe una diferencia significativa en la capacidad de enraizamiento entre estacas de *Calycophyllum spruceanum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum megistocaulum*.
- El diámetro y la dimensión de las estacas influyen significativamente en la capacidad de enraizamiento, siendo más favorables las estacas de menor diámetro.
- Las concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB) ejercen un efecto significativo en el enraizamiento de las estacas, con dosis diferenciales según la especie de capirona evaluada.

1.7. Justificación

1.7.1. Justificación ecológica

La capirona es importante para la biodiversidad de la región de Madre de Dios y esta juega un papel fundamental para los ecosistemas frágiles o en recuperación, también tienen un papel fundamental en el ecosistema como especies arbóreas que proporcionan alimento y refugio a muchas especies animales, así como regulando el clima y el ciclo hidrológico.

En segundo lugar, la elección y preselección del sustrato y método de propagación vegetativa es crucial para asegurar un buen crecimiento de la etapa inicial de la capirona y así poder asegurar su supervivencia, esta es ideal para planes de manejo o de recuperación de áreas degradadas.

1.7.2. Justificación social

El presente estudio pudo contribuir a la generación de conocimiento y tecnología local que permitiera el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la promoción de prácticas agrícolas y forestales sostenibles en la

región de Madre de Dios. Además, la producción de plántulas de capirona de alta calidad, utilizando técnicas adecuadas de propagación y sustratos apropiados, podría haber tenido un impacto positivo en la economía local al proporcionar una fuente de ingresos para las comunidades y reducir la dependencia de actividades extractivas no sostenibles. Esta investigación también podría haber contribuido a la conservación de la biodiversidad de la región, asegurando la supervivencia y el crecimiento de las especies de capirona, lo que, a su vez, podría haber mejorado la calidad de vida de las comunidades locales al proporcionar alimentos y otros recursos naturales.

1.7.3. Justificación científica

En primer lugar, la investigación contribuyó al avance del conocimiento científico sobre las técnicas de propagación y sustratos adecuados para el crecimiento de las especies de capirona, lo que fue fundamental para la producción de plántulas de alta calidad y la restauración de áreas degradadas en la región amazónica.

En segundo lugar, la investigación ayudó a entender mejor la fisiología de las plantas y los procesos de crecimiento en condiciones naturales y controladas, lo que pudo tener implicaciones importantes para la agricultura y la silvicultura en general. Además, el estudio contribuyó a la identificación de factores clave que afectaron el crecimiento y la supervivencia de las plántulas de capirona, lo que podría ser útil para el desarrollo de prácticas agrícolas y forestales sostenibles y para la conservación de las especies en peligro de extinción.

1.8. Consideraciones éticas

Para realizar el estudio, se solicitaron primero los permisos necesarios a la Escuela Profesional de IFMA para el ingreso al Fundo El Bosque. Asimismo, se presentó una solicitud a la Estación Experimental San Bernardo, que estaba bajo la administración del Instituto Nacional de Innovación Agraria. Se respetaron todas las normas establecidas por la UNAMAD, incluyendo el Reglamento General de Grados y Títulos de la UNAMAD, que fue aprobado con la Resolución de Decanatura N.º 242. Además, se garantizó el respeto a las fuentes bibliográficas y documentos utilizados en la investigación, y se depositaron las muestras obtenidas en el Herbario Alwyn Gentry (HAG) para su identificación y almacenamiento.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Díaz (1991), llevó a cabo un experimento en el vivero del CATIE en Turrialba, Costa Rica, con el propósito de desarrollar métodos efectivos de enraizamiento para estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. y *Gmelina arborea* Linn. En la primera fase, se evaluaron cinco concentraciones de ácido indol-3-butírico (0 %, 0,2 %, 0,4 %, 0,8 %, y 1,6 %) en combinación con tres tipos de sustrato (arena, grava y una mezcla de ambos). En la segunda fase, se seleccionaron las condiciones óptimas identificadas y se probaron estacas de distintas longitudes (4, 6 y 8 cm) y áreas foliares (25, 50 y 100 cm²). El estudio utilizó cámaras de enraizamiento de tecnología básica, adaptadas a programas de desarrollo rural. Los resultados indicaron que, en *C. odorata*, el mejor enraizamiento y brotación se lograron con arena y una concentración de AIB de 0,2 %. En el caso de *G. arborea*, la longitud de 8 cm y un área foliar de 50 cm² permitieron el mayor éxito de enraizamiento. El estudio concluyó que las cámaras de propagación fueron adecuadas para la propagación vegetativa de ambas especies.

Zanoni (1975), realizó un estudio en el vivero del Departamento de Ciencias Forestales del CATIE en Turrialba, Costa Rica, para examinar la capacidad de propagación vegetativa en ocho especies de árboles tropicales: *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cedrela mexicana*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Simarouba amara*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia rosea* y *Toona ciliata* var. *australis*. Este experimento tuvo como objetivo evaluar el impacto del fitorregulador "Rootone-F" en el enraizamiento de estacas apicales, sub-apicales y basales. Las estacas, de 20 cm de longitud y sin hojas, fueron plantadas en un sustrato esterilizado de tierra y arena en proporción 1:1 y

colocadas en cajas de madera bajo condiciones controladas de invernadero. Luego de 12 semanas de crecimiento, se determinó que *Toona ciliata* var. *australis*, *Tabebuia rosea* y *Acrocarpus fraxinifolius* lograron el mayor porcentaje de enraizamiento, siendo las estacas sub-apicales las más efectivas en este proceso. En las otras cinco especies, se observaron altos niveles de latencia y mortalidad, especialmente en *Simarouba amara* y *Eucalyptus deglupta*. El estudio concluyó que Rootone-F mejoró la producción de raíces en las especies con mayor capacidad de enraizamiento.

Sánchez (2011), llevó a cabo una investigación en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, en H. Cárdenas, Tabasco, con el propósito de determinar el tamaño óptimo de estacas y la dosis ideal de ácido indol-3-butírico (AIB) para facilitar el enraizamiento en cuatro especies forestales: *Cedrela odorata* (cedro), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Tabebuia rosea* (macuilís) y *Tabebuia chrysantha* (guayacán). Este estudio se llevó a cabo en propagadores de subirrigación por un período de 45 días, utilizando un diseño factorial de 3x4 completamente aleatorizado, donde se evaluaron diferentes tamaños de estacas (5, 8 y 11 cm) y concentraciones de AIB (0, 500, 1000 y 1500 ppm). Se evaluaron variables como sobrevivencia, formación de callo y porcentaje de enraizamiento. Los resultados mostraron que el macuilís con estacas de 11 cm presentó la mayor formación de callo (86.25%), mientras que en caoba, la dosis de 1000 ppm de AIB fue la más efectiva para el enraizamiento (21.4%), aunque no se encontraron diferencias significativas en el tamaño de las estacas para las variables analizadas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Morales (2016), realizó un estudio en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera del IIAP en Loreto, Perú, con el propósito de analizar el efecto de diversas concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB) y tipos de sustrato sobre el enraizamiento de estaquillas de *Copaífera paupera* (copaiba), una especie forestal apreciada tanto por su madera como por el aceite medicinal que produce. Para ello, se utilizó un diseño experimental completamente al azar con parcelas divididas, que incluyó 12 tratamientos y 25 repeticiones. Se

registraron datos de supervivencia, brotación, enraizamiento y desarrollo radicular. A los 72 días, se observó un enraizamiento destacado en las estaquillas tratadas con 7000 ppm de AIB en arena media, mientras que el uso de arena fina con 3000 ppm de AIB favoreció la supervivencia, formación de callos y enraizamiento. La cascarilla de arroz carbonizada resultó ser superior para la brotación y el crecimiento de raíces. Como conclusión, la dosis de 3000 ppm de AIB fue identificada como la más eficaz para mejorar la supervivencia y brotación.

Vallejos, Gonzales y Arevalo (2014), llevaron a cabo una investigación para establecer una técnica eficaz de propagación asexual de *Calycophyllum spruceanum* mediante el enraizamiento de estacas con fines comerciales. El estudio se centró en evaluar el efecto de la cantidad de hojas (una o dos) y tres niveles de ácido indol-3-butírico (AIB) (2000, 3000 y 4000 ppm) en el enraizamiento de brotes, utilizando microtúneles como entorno de propagación. El experimento fue diseñado bajo un esquema completamente aleatorio (DCA) con un arreglo factorial 3A x 2B, incorporando tres repeticiones por tratamiento y seis brotes en cada repetición. A los 12 días, se encontró que los brotes con dos hojas, combinados con una concentración de 3000 ppm de AIB, lograron un 99 % de enraizamiento en pellets-jiffys como sustrato. La investigación concluyó que el uso adecuado de AIB en estacas con dos hojas resulta en una propagación altamente eficiente de *C. spruceanum*, alcanzando un enraizamiento del 99 %.

Ramirez (2012) en San Martín, sobre el enraizamiento de estaquillas de *Calycophyllum spruceanum*, se evaluaron los efectos del ácido indol-3-butírico (AIB) en tres concentraciones: 2000, 4000 y 8000 ppm, y tres niveles de área foliar: 25, 50 y 100 cm², empleando propagadores de subirrigación. Los tratamientos con 2000 y 4000 ppm de AIB lograron los más altos porcentajes de enraizamiento, alcanzando un 93.33 % y 86.67 %, respectivamente, además de presentar las raíces más largas, con 29.72 y 22.86 cm. En cuanto a la influencia de los niveles de área foliar, las estaquillas con 100 cm² demostraron el mayor porcentaje de enraizamiento, con un 67.50 %.

2.1.3. Antecedentes locales

Vásquez (2015), realizaron en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en Ucayali buscó establecer un protocolo óptimo para el enraizamiento de estacas juveniles de *Swietenia macrophylla* (caoba) en condiciones controladas. Se desarrollaron dos experimentos consecutivos. En el primer ensayo, bajo un diseño de bloques completamente aleatorio, se evaluaron tres granulometrías de arena (fina, media y gruesa) junto con cuatro concentraciones de ácido indol-3-butírico (0, 500, 1000 y 3000 ppm), observándose el mejor enraizamiento (33%) en arena media y una dosis de 3000 ppm. El segundo experimento, también de diseño aleatorio, examinó el tipo de estaca (apical, media y basal), su longitud (2,5 y 4,5 cm) y el área foliar (25 y 50 cm²). Los resultados indicaron que las estacas basales de 4,5 cm de largo y un área foliar de 50 cm², junto con 3000 ppm de AIB y arena media, alcanzaron el enraizamiento más alto (57%), mostrando que esta técnica es efectiva bajo condiciones de cámara de subirrigación.

Soudre et al. (2011), llevaron a cabo un estudio para analizar cómo diferentes concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB), tipos de sustrato y características vegetativas influyen en el enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo). El experimento se desarrolló en propagadores de subirrigación y se llevó a cabo en dos fases sucesivas. En la primera fase, se aplicaron cinco concentraciones de AIB (0, 1000, 2000, 4000 y 8000 ppm) y tres tipos de sustrato (arena fina, arena gruesa y grava fina), siguiendo un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. En la segunda fase, se evaluaron tres posiciones de estacas (apical, media y basal), dos áreas foliares (15 y 30 cm²) y dos longitudes de estaca (4 y 8 cm) mediante un diseño factorial. Las condiciones óptimas se obtuvieron con estacas medias, 30 cm² de área foliar y una dosis de 4000 ppm de AIB en sustrato de arena fina, alcanzando un enraizamiento del 70% junto con una longitud media de raíz de 1.2 cm y 4.6 raíces por estaca.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Clasificación sistemática y descripción botánica de *Calycophyllum spruceanum*

La especie de capirona o también llamada capirona de bajo, capirona negra. (*Calycophyllum spruceanum*), tiene el sinónimo botánico de *Eukylista spruceana* (Reynel et al. 2003).

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae
- Género: *Calycophyllum*
- Especie: *Calycophyllum spruceanum*

Descripción morfológica

Árbol presenta un tronco regularmente cilíndrico y muy recto, con un diámetro que se encuentra en el rango de los 50 a 120 cm y una altura que puede variar de 20 a 35 metros. La copa se encuentra en la parte superior del tronco, mientras que la base de este también es recta (Reynel et al. 2003).

La corteza tiene una superficie lisa y homogénea, con un color verde atractivo y una textura suave y brillante que da la impresión de haber sido cuidadosamente pulida. Además, presenta una especie de corteza de color rojizo y con una textura parecida al papel, que se desprende en grandes y desiguales fragmentos para revelar una superficie verdosa debajo. Por otro lado, la capa interna de la superficie es uniforme y delgada, con un grosor de entre 1 y 2 mm y un tono verdoso-crema (Reynel et al. 2003).

Las ramas que se encuentran en las puntas de esta estructura tienen una sección circular o aplanada, miden alrededor de 5-6 mm de diámetro y, cuando se secan, adquieren un color marrón rojizo. Estas ramas tienen una superficie lisa y brillante y presentan pequeñas protuberancias blanquecinas llamadas lenticelas. Las hojas son simples y opuestas, con una forma elíptica u oblonga que mide entre 5 y 10 mm de longitud y entre 3 y 5 mm de ancho. La nervadura es pinnada, con alrededor de 12 a 15 nervios secundarios que están ligeramente marcados en la superficie superior y sobresalientes en la

parte inferior, al igual que el nervio central. Además, las axilas de los nervios secundarios tienen pequeñas agrupaciones de vellos o domacios en la superficie inferior de la hoja (aumentado 10 veces). Los peciolos miden alrededor de 1.5 a 2.5 cm de longitud (Reynel et al. 2003).

Las características de la planta incluyen hojas simples, que son opuestas decusadas y tienen forma elíptica u oblonga, con la base obtusa y nervaduras pinnadas. Las inflorescencias se presentan en forma de cimas terminales que miden entre 10-15 cm de largo y están compuestas por numerosas flores hermafroditas. Las flores tienen una longitud de 1-1,5 cm y poseen tanto cáliz como corola. Los frutos son cápsulas pequeñas, con forma elipsoide-alargada, que miden entre 5-8 mm de largo y presentan pubescencia en su superficie (Anexo 1). Las semillas contenidas en los frutos son diminutas, alargadas y aladas (Reynel et al. 2003).

2.2.2. Clasificación sistemática y descripción botánica de *Capirona macrophylla*

La especie de capirona o también llamada awachanumi, capirona de altura, capirona de hoja grande (*Capirona macrophylla*) (Reynel et al. 2003).

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Gentianales
- Familia: Rubiaceae
- Género: Capirona
- Especie: *Capirona macrophylla*

Capirona macrophylla es un árbol de gran tamaño, que puede alcanzar los 20-35 metros de altura y con un diámetro de 50-120 cm. Posee un fuste muy recto y cilíndrico, con una copa que se encuentra en el último tercio del árbol y una base recta del fuste (Duke 2019).

La parte exterior de la corteza de *Capirona macrophylla* presenta un color verde uniforme y una textura lisa, lo que le confiere un aspecto de poste pulido. Adicionalmente, posee un ritidoma de color rojizo y con una textura papirácea

que se separa en grandes placas irregulares, exponiendo la superficie verdosa de la corteza. Por otro lado, la corteza interna es delgada, con un grosor que varía entre 1 y 2 mm, y se caracteriza por ser homogénea y tener un tono crema verdoso (SERFOR 2020).

Las ramitas terminales de *Capirona macrophylla* presentan una sección circular o ligeramente aplanada en sus extremos, alcanzando un diámetro de 5 a 6 mm, y adquieren un color marrón rojizo al secarse. Su superficie es lisa y brillante, y están dotadas de lenticelas de tonalidad blanquecina. Las hojas son simples y opuestas, dispuestas en decusadas, con formas elípticas o alargadas, midiendo entre 5 y 10 cm de longitud y 3 a 5 mm de ancho. La lámina foliar es entera, con un ápice agudo y notablemente acuminado, y una base obtusa. La nerviación es de tipo pinnado, con entre 12 y 15 pares de nervios secundarios que se presentan levemente impresos en el haz y resaltados en el envés, al igual que el nervio central. En las axilas de los nervios secundarios se pueden observar pequeños mechones de pelos o domacios en la parte inferior de la hoja (Duke 2019).

Las inflorescencias de *Capirona macrophylla* se presentan como cimas terminales que oscilan entre 10 y 15 cm de largo, compuestas por numerosas flores hermafroditas que cuentan con cáliz y corola. Cada flor tiene una longitud de entre 1 y 1,5 cm. Los frutos se caracterizan por ser cápsulas elipsoides alargadas, con una longitud de 5 a 8 mm, que exhiben una superficie pubescente y contienen pequeñas semillas aladas y alargadas (SERFOR 2020).

2.2.3. Clasificación sistemática y descripción botánica de

Calycophyllum spruceanum Benth

Según Arostegui (1987)

- Reino: Vegetal
- División: Fanerógama
- Clase: Dicotiledónea
- Familia: Rubiaceae

- Género: *Calycophyllum*
- Especie: *Calycophyllum spruceanum* Benth

Nombre común: Capirona de bajo, capirona negra

El árbol se caracteriza por un tronco cilíndrico y recto, con un diámetro que varía entre 50 y 120 cm, y una altura de 20 a 35 metros. La copa se ubica en la parte superior, mientras que la base también es recta (Reynel et al. 2003). La corteza es lisa y de color verde brillante, con una apariencia pulida. Presenta una capa externa rojiza, similar al papel, que se desprende en fragmentos irregulares, dejando al descubierto una superficie verde debajo. La capa interna es delgada, de 1 a 2 mm de grosor, y tiene un tono verdoso-crema (Reynel et al. 2003).

Las ramas apicales de la planta tienen una forma circular o aplanada y un diámetro de entre 5 y 6 mm. Al secarse, adoptan un color marrón rojizo, y su superficie es lisa y brillante, con lenticelas de color blanquecino. Las hojas son simples, opuestas, y presentan formas elípticas o alargadas, con longitudes de 5 a 10 mm y anchos de 3 a 5 mm. Estas hojas poseen nervaduras pinnadas y pequeños domacios en las axilas de los nervios secundarios. Los pecíolos alcanzan longitudes de 1.5 a 2.5 cm (Reynel et al. 2003).

Las inflorescencias se disponen en cimbras terminales que miden entre 10 y 15 cm, y contienen flores hermafroditas de 1 a 1.5 cm. En cuanto a los frutos, son cápsulas de forma elipsoidal que miden de 5 a 8 mm, están cubiertas de una pubescencia y albergan pequeñas semillas aladas (Reynel et al. 2003).

2.2.3. Clasificación sistemática y descripción botánica de *Calycophyllum megistocaulum* (K. Krause) C.M. Taylor

La especie de capirona de altura o también llamada uwachaunim (*Calycophyllum megistocaulum* (K. Krause) C.M. Taylor) (SERFOR 2020).

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida

- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae
- Género: Calycophyllum
- Especie: *Calycophyllum megistocaulum* (K. Krause) C.M. Taylor

Calycophyllum megistocaulum, conocida comúnmente como "capirona", es una especie arbórea que pertenece a la familia Rubiaceae y es originaria de la cuenca del Amazonas en América del Sur. Se encuentra comúnmente en bosques húmedos de tierras bajas y bosques inundables de regiones tropicales (Gentry 1993)

Este árbol puede alcanzar alturas de hasta 35 metros y tener un diámetro de tronco de hasta 100 cm. Su corteza es grisácea y lisa, con ramas horizontales que se extienden ampliamente. Las hojas son opuestas, elípticas y miden entre 10 y 25 cm de largo por 5 a 15 cm de ancho. La superficie superior de las hojas es verde oscuro y brillante, mientras que la superficie inferior es de color verde pálido y opaco. Las pequeñas flores blancas se agrupan en inflorescencias axilares o terminales, y el fruto es una cápsula alargada que contiene numerosas semillas pequeñas (Taylor 1988).

En las regiones donde se encuentra, la capirona es una especie importante en la medicina tradicional. Ha sido utilizada para tratar la malaria, la fiebre, el dolor y la inflamación, y también se ha utilizado como tónico para fortalecer el sistema inmunológico y como afrodisíaco (Gentry 1993)

2.2.4. Propagación de plantas

La propagación de plantas es el proceso de reproducción de plantas, ya sea de forma sexual (mediante semillas) o asexual. El objetivo de este proceso es producir plantas nuevas a partir de una planta madre, lo que permite la expansión de especies vegetales de interés, la creación de clones genéticos o la adquisición de variedades particulares con características deseables. La propagación puede ocurrir de varias maneras, incluida la siembra de semillas, esquejes, acodos, injertos y división de rizomas, entre otras. Cada técnica se

adapta a diferentes tipos de plantas y situaciones específicas, y se utiliza ampliamente en la horticultura, la agricultura y la jardinería para producir plantas de manera controlada y eficiente (Atzori y Caparrotta 2023).

2.2.5. Propagación vegetativa

La propagación vegetativa es la reproducción de plantas sin semillas. Este método crea una nueva planta idéntica genéticamente a la planta original utilizando una parte de una planta madre (como un tallo, hoja, raíz o brote). Esto implica que la nueva planta tendrá las mismas cualidades y características que la planta madre. En la horticultura y la agricultura, la propagación vegetativa es comúnmente utilizada para clonar plantas con características deseables (Nkongho et al. 2023).

2.2.6. Propagación vegetativa a través de estacas

Alvarado y Munzón (2019) manifiesta que la propagación mediante estacas implica la extracción de brotes, ramas o raíces de la planta madre, que luego se colocan en un sustrato adecuado para promover el desarrollo de raíces y la brotación aérea, con el objetivo de formar una nueva planta. Este proceso se basa en la capacidad de cualquier parte de la planta, ya sea raíz, tallo o hoja, para generar raíces cuando se separa de la planta original y se somete a condiciones controladas que favorecen su enraizamiento (Cuéllar y Arrieta 2010).

La estaca es una porción de la planta que contiene yemas caulinares y hojas, y se induce a desarrollar raíces y brotes mediante intervenciones químicas, mecánicas y/o ambientales (Hernández et al. 2014). Una vez que la estaca ha enraizado, se le denomina "barbado" (Ruiz et al. 2005). De acuerdo con (Ríos et al. 2022), en un sentido más amplio, el término estaca también puede referirse a raíces, hojas o segmentos de hojas que se utilizan con el fin de generar nuevas plantas.

La multiplicación de árboles de interés forestal y arbustos ornamentales a través de la propagación vegetativa por estacas de tallo se considera uno de los métodos más comunes a nivel global, aplicándose tanto en especies de hoja caduca como en las de hoja perenne y estrecha, como es el caso de las coníferas (Bello, Coy y Perez 2022). Este enfoque se utiliza de manera extensa en la propagación comercial de diversas plantas florales en invernaderos y es habitual en la multiplicación de una amplia variedad de especies frutales.

2.2.7. Formación de raíces adventicias

La formación de raíces adventicias en estacas involucra una serie de procesos anatómicos y fisiológicos complejos, los cuales son inducidos por la acción conjunta de auxinas y cofactores de enraizamiento, producidos principalmente en las hojas y yemas de la planta (Morales 2016). Según lo señalado por Morales 2022; Jordan et al. (2010), estos cofactores internos juegan un papel crucial en la rizogénesis, siendo determinantes para la iniciación de raíces adventicias en estacas.

El proceso de cicatrización y regeneración de las estacas ocurre en tres etapas principales. En primer lugar, se forma una placa necrótica que sella la herida mediante la producción de una capa suberosa (suberina) y obstruye el xilema con depósitos de goma. En segundo lugar, a los pocos días, se genera una capa de células parenquimáticas, conocida como callo. Finalmente, en la tercera etapa, algunas células ubicadas cerca del cambium vascular y del floema comienzan la formación de raíces adventicias (Morales 2016).

Las raíces adventicias suelen formarse a partir de células localizadas cerca del floema en los vasos conductores. Estas células experimentan división y crean un callo, del que posteriormente se desarrollan las raíces. Cuando una planta herbácea sufre una lesión, las células parenquimatosas cercanas a la herida se desdiferencian y comienzan a dividirse, generando un callo cicatricial que está compuesto por células parenquimatosas con diversos grados de lignificación. En el caso de las especies leñosas, este callo

generalmente se origina en el cambium, aunque también puede surgir de la corteza o de la médula. A medida que el callo avanza en su desarrollo, algunas de sus células se diferencian y dan origen a nuevos tejidos, como brotes caulinares o radicales, que finalmente se conectan con los sistemas conductores de la planta (Morales 2016).

Según Hartmann y Kester (1995) los cambios anatómicos en el tallo durante la formación de raíces adventicias se pueden clasificar en cuatro fases fundamentales. Primero, ocurre la desdiferenciación de células maduras, que pierden su especialización inicial. Luego, en la segunda etapa, algunas células cercanas a los haces vasculares adquieren características meristemáticas y se convierten en los iniciadores de las raíces. Posteriormente, en la tercera fase, estas células comienzan a desarrollarse como primordios radicales bien organizados. Finalmente, en la última fase, estos primordios emergen a través del tejido del tallo, estableciendo conexiones vasculares con los tejidos conductores de la estaca, permitiendo el desarrollo de nuevas raíces.

Carrillo et al. (2024a), describe que el origen de las raíces adventicias puede darse en varios tejidos, siendo el cambium, el floema y el periciclo los más relevantes, mientras que la corteza, la médula y el xilema tienen menor participación. Paez et al. (2018), coincide al señalar que, en estacas de tallo, las raíces adventicias suelen originarse en el floema secundario joven, aunque también pueden desarrollarse a partir del cambium, los radios vasculares o la médula. Sin embargo, Beakbany, también citado por Díaz (1991), resalta que los anillos de esclerénquima ubicados en la periferia del punto de origen de las raíces pueden llegar a constituir una barrera anatómica para su desarrollo.

La presencia de hojas en las estacas desempeña un papel crucial en la promoción de la formación de raíces, posiblemente debido a su capacidad para generar auxinas, hormonas clave en este proceso (Solís, Jiménez y Arias 2015). Este efecto se manifiesta principalmente en las zonas situadas justo debajo de las hojas y yemas, lo que sugiere que el transporte polar de auxinas desde el ápice hacia la base de la estaca es un factor determinante en la

inducción de raíces. Además, es probable que otros factores internos, más allá de las auxinas, contribuyan a este efecto estimulante sobre la rizogénesis (Carrillo et al. 2024b).

Las auxinas, que se producen en las hojas y los meristemos apicales a partir del triptófano, se trasladan lentamente a través de las células parenquimatosas hacia los haces vasculares del tallo. A diferencia de otros solutos, como azúcares o iones, que se transportan mediante los tubos cribosos del floema, las auxinas se desplazan de una célula a otra a una velocidad aproximada de 1 cm/hora en tallos y raíces. Este proceso de transporte es polar, moviéndose de forma basipétala en el tallo (hacia la parte inferior) y acropétala en las raíces (hacia las puntas), lo que indica la dirección específica del flujo en ambos tipos de órganos (Strasburger 1994; Morales 2016).

El callo es una masa de células parenquimáticas que pueden presentar diferentes grados de lignificación (Hartmann y Kester 1995). Aunque la formación de callos en las estacas puede parecer un indicador de éxito en el enraizamiento, no es necesariamente un reflejo de este proceso, ya que las raíces no se desarrollan a partir del callo, sino de la continuidad de los radios vasculares de la estaca (Latsague, Sáez y Hauenstein 2008). En la mayoría de las especies vegetales, el desarrollo de callo y raíces ocurre de manera independiente. Cuando ambos procesos coinciden, es resultado de condiciones internas y ambientales favorables que influyen en su desarrollo simultáneo (Hartmann y Kester 1995).

2.2.8. Factores que influyen en el enraizamiento de estacas

La identificación de árboles sobresalientes, conocidos como árboles plus, constituye la fase inicial y crucial en la implementación de una fuente semillera y el desarrollo de un programa de mejoramiento genético forestal (Ramos y Domínguez 2016). Este proceso es esencial para optimizar el uso de la especie en función de su destino final, ya sea para la producción de madera

o para obtener otros productos forestales no maderables, según lo indicado por los objetivos específicos del programa (Vallejos et al. 2009a).

Las características fenotípicas que se buscan mejorar pueden variar entre especies y también a lo largo del tiempo. Mientras que algunas de estas características se manifiestan en la fase juvenil, otras lo hacen en la etapa adulta. Los rasgos que están fuertemente influenciados por la genética presentan un valor genético cercano al valor fenotípico, lo que permite que la selección fenotípica sea una herramienta viable para su mejora (Cazzola et al. 2019). No obstante, ciertos rasgos, como el volumen, están significativamente condicionados por factores ambientales, lo que les otorga una baja heredabilidad.

La FAO define un "árbol plus" como aquel que exhibe características fenotípicas superiores en comparación con otros individuos de la misma especie. Para ser clasificado como tal, debe cumplir con ciertos criterios específicos, que aseguran su calidad. Según (Vallejos et al. 2009b) entre las pautas clave para su selección se incluyen: su crecimiento en rodales coetáneos con densidad uniforme, ser un árbol dominante (o en algunos casos, co-dominante), presentar un diámetro mayor al promedio del rodal, y tener un fuste recto y cilíndrico. Además, debe poseer una copa equilibrada y de pequeño diámetro, con ramas cortas, de inserción cercana a los 90°. También debe mostrar tolerancia a plagas, enfermedades o deficiencias, tener propiedades tecnológicas de la madera adecuadas y no estar ubicado en el borde del rodal.

2.2.9. Planta madre como fuente de estacas

El enraizamiento diferencial de las estacas según su posición en el árbol es un fenómeno relevante, atribuido a la distribución desigual de hormonas vegetales y reservas nutricionales en distintas partes de la planta (Porta y Jiménez 2019). Las estacas tomadas de los extremos de ramas y tallos, particularmente en la yema terminal, tienden a enraizar mejor, lo cual podría explicarse por la mayor concentración de compuestos endógenos que promueven el enraizamiento (Hernández, Salgado y Ambriz 2016). Además,

en estas estacas terminales, la diferenciación celular es menor, lo que facilita la presencia de más células con capacidad de volverse meristemáticas (Hartmann y Kester 1995).

En ciertas especies, las estacas obtenidas de ramas laterales muestran un porcentaje de enraizamiento superior en comparación con las que se obtienen de ramas terminales robustas (Ramos 2015). Sin embargo, es crucial destacar que las plantas propagadas a partir de estacas de ramas laterales pueden manifestar un patrón de crecimiento indeseado, denominado topófisis (Ramos 2015; Porta y Jiménez 2019; Vallejos et al. 2009b; Cazzola et al. 2019; Hartmann y Kester 1995). La topófisis se refiere a la continuidad de características de crecimiento particulares en función del origen de la estaca. Por ejemplo, una estaca procedente de un tallo ortotrópico mantendrá un crecimiento vertical, mientras que una estaca tomada de una rama con un hábito plageotrópico exhibirá un crecimiento horizontal, replicando ese patrón en su descendencia vegetativa (Hartmann y Kester 1995).

2.2.10. Factores del medio que influyen en el enraizamiento

Luz

La irradiancia, el fotoperíodo y la calidad de la luz son factores clave que deben ajustarse según las necesidades específicas de cada especie para asegurar una adecuada tasa fotosintética (Osorio et al. 2023). Esto es crucial para garantizar la producción de carbohidratos suficientes, lo que contribuye tanto a la supervivencia de las estacas como a la iniciación de raíces (Torres 2003), sin comprometer su vigor vegetativo. Al mismo tiempo, es fundamental evitar la exposición directa de las estacas a la radiación solar intensa, ya que puede causar daños en los tejidos más delicados (Torres 2003).

El enraizamiento de las estacas puede verse afectado tanto por niveles insuficientes como excesivos de radiación solar. En condiciones de radiación por debajo del nivel óptimo, la limitación en el proceso de enraizamiento se debe a la falta de carbohidratos y a un suministro insuficiente de auxinas en la base de la estaca. Por otro lado, cuando la radiación supera el umbral

óptimo, puede ocurrir una acumulación excesiva de carbohidratos, la fotodegradación de auxinas, alteraciones en el balance hídrico y modificaciones en las concentraciones de sustancias que promueven o inhiben el crecimiento (Strasburger 1994; Ramos 2015).

La luz desempeña un papel crucial en todos los aspectos del crecimiento y desarrollo vegetal, actuando como la principal fuente de energía para el proceso de fotosíntesis. Tanto la duración como la intensidad de la luz son factores esenciales que influyen en la producción de hormonas, especialmente auxinas, y en la fotosíntesis, procesos que son fundamentales para la síntesis de carbohidratos (Hartmann y Kester 1995). Esta producción es vital para la iniciación y el desarrollo de raíces y yemas en esquejes. Se ha observado que en ciertas especies, los mayores porcentajes de enraizamiento se logran bajo condiciones de fotoperíodos prolongados y con iluminación continua, lo que resalta la importancia de gestionar adecuadamente las condiciones lumínicas para optimizar el crecimiento de las plantas (Morales 2016).

Temperatura Ambiental

Las altas temperaturas del aire pueden inducir prematuramente el desarrollo de yemas en lugar de las raíces, así como incrementar la pérdida de agua a través de las hojas (Hartmann y Kester, 1996), lo que resulta desfavorable para el proceso de propagación. Estas condiciones también exacerban la transpiración, lo que puede llevar al necrosamiento de los tejidos (Torres 2003) y aumentan la tasa respiratoria, conduciendo al agotamiento de las reservas nutricionales.

Por otro lado, las bajas temperaturas tienden a reducir la tasa fotosintética (Torres 2003), disminuyendo el metabolismo de las estacas y prolongando el tiempo necesario para el enraizamiento. En casos extremos, estas temperaturas pueden hacer que las condiciones sean inapropiadas para el desarrollo y crecimiento radicular (Torres 2003).

Dado que la temperatura está relacionada con el nivel de irradiación, la implementación de sombra puede ser una estrategia eficaz para evitar el

aumento excesivo de la temperatura en el sustrato de enraizamiento y en el aire circundante de las estacas (Morales 2016).

Enraizador

La oxigenación del sustrato de enraizamiento es esencial para el éxito en la macropropagación (Palacios y Rout 2019) , subrayando que la proporción de aire y agua en el medio afecta considerablemente la disponibilidad de oxígeno en la parte basal de la estaca, lo cual es un factor determinante para la formación de raíces. Un entorno que se encuentra excesivamente saturado de agua, especialmente si carece de oxígeno, fomenta la aparición de pudrición. Asimismo, un riego inapropiado o un exceso de oxígeno en el suelo pueden provocar la formación de callo en la base de la estaca y disminuir el crecimiento radicular en general. Por consiguiente, es fundamental elegir adecuadamente el sustrato de enraizamiento para facilitar un desarrollo óptimo de las raíces (Rosero Alpala et al. 2023).

Humedad relativa

En situaciones de baja humedad ambiental, se registra un aumento en la evapotranspiración que puede llevar a la deshidratación de las estacas. Según Abanto et al. (2020) destacan la importancia de mantener un nivel elevado de humedad relativa durante las etapas iniciales del enraizamiento, con el fin de reducir la evapotranspiración y evitar el marchitamiento de los propágulos. Esto es especialmente crucial, ya que las hojas son sumamente susceptibles a la pérdida de agua por evaporación, una situación que no se puede compensar de manera efectiva mediante la absorción de agua a través de la base de la estaca, aun cuando esta esté sumergida.

La deshidratación se erige como una de las principales causas de mortalidad de las estacas antes de que las raíces se desarrollen. Para que se produzca la división celular necesaria para la formación de raíces, es esencial que las células del tejido de la estaca mantengan su turgencia. Dado que las raíces aún no han emergido, la pérdida de agua puede ser considerable, ya sea a través de las hojas o de los brotes en crecimiento. Este problema se acentúa

especialmente en especies que requieren un tiempo prolongado para generar raíces, así como en el uso de estacas que aún conservan hojas o que son de consistencia herbácea (Torres 2003; Morales 2016).

Influencia de moduladores del desarrollo

En el ámbito de la biotecnología vegetal, se han identificado diversos compuestos sintéticos que, al ser aplicados a las plantas, generan efectos análogos a los provocados por las hormonas vegetales naturales. Estos compuestos, conocidos como reguladores del crecimiento vegetal o fitoreguladores, no deben considerarse hormonas propiamente dichas (Borjas, Julca y Alvarado 2020).

La función de las auxinas en la promoción del crecimiento de raíces adventicias en la parte basal de las estacas está ampliamente reconocida. Estas hormonas vegetales favorecen la formación de primordios radicales y facilitan el desplazamiento de carbohidratos y cofactores hacia la base de la estaca, lo que a su vez estimula el desarrollo de las raíces (Burgos, Cenóz y Prause 2009). Las auxinas ejercen un efecto directo sobre la división y elongación celular, además de aumentar el transporte de carbohidratos y cofactores desde las hojas hacia la base de la estaca, contribuyendo así a la generación de los primordios iniciales (Burgos, Cenóz y Prause 2009; Morales 2016)

El transporte de auxinas se realiza de manera polar; en el tallo, el movimiento es basípeto (hacia la base), mientras que en la raíz es acrópeto (hacia el ápice) (Fanego, 2006). Este transporte polar se debe a la diferencia en el potencial hídrico del tallo, siendo positivo en la base y negativo en el ápice. Dado que el ácido indolacético (AIA) es electronegativo, es repelido por las células apicales y atraído hacia las basales (Fanego 2006). El movimiento de auxinas suele ocurrir a través de los tejidos de forma global, en lugar de por conductos específicos del xilema y del floema, implicando una interacción entre el AIA y la membrana plasmática de las células vegetales (Fanego, 2006).

AIB

El ácido indolbutírico (AIB) es una fitohormona sintética que comparte similitudes químicas con el ácido indolacético (AIA) y ha demostrado ser más eficaz que otros compuestos en la mayoría de las especies vegetales. Debido a sus propiedades, el AIB es ampliamente utilizado como agente para inducir el enraizamiento. Su principal ventaja radica en su baja toxicidad en un rango amplio de concentraciones, su resistencia a la degradación por luz y microorganismos, y su insolubilidad en agua, lo que le permite persistir por más tiempo en el sitio de aplicación y, por ende, ejercer un efecto prolongado (Morales 2016; Guigues 2019; Sánchez 2011).

La aplicación de reguladores de crecimiento se vuelve fundamental cuando hay un exceso en la relación entre citocininas y auxinas. Para lograr un equilibrio adecuado, es esencial mantener una proporción correcta de auxinas, giberelinas y citocininas, lo que ayuda a equilibrar los factores que promueven e inhiben la formación de raíces. La utilización de fitohormonas sintéticas externas, como el ácido indolacético (AIA), el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA), es una práctica habitual para regular esta relación. Estos reguladores tienen la capacidad de aumentar el nivel de auxinas en el tejido, lo que resulta en mejoras en el porcentaje, la velocidad, la calidad y la uniformidad del enraizamiento (Torres 2003).

2.2.11. Invernadero de subirrigación

En numerosos países tropicales, el alto costo y el mantenimiento complicado de los sistemas de nebulización y otros métodos de propagación los hacen inapropiados, salvo para proyectos comerciales de gran escala (Perez et al. 2019). Esto ha llevado al desarrollo del propagador de polietileno, una solución económica y simplificada para condiciones sin acceso a electricidad y agua potable (More, Cuellar y Salazar 2021). Este dispositivo, también conocido como cámara de subirrigación, funciona como un miniinvernadero que proporciona agua por capilaridad y minimiza la evaporación (Mesén, 1998). Ha demostrado ser efectivo en América Central y África, ofreciendo

una opción accesible para la propagación de diversas especies tropicales en entornos rurales y de bajo presupuesto (More, Cuellar y Salazar 2021)

La cámara de subirrigación, un diseño accesible y económico, se basa en un marco de madera o metal cubierto con polietileno para soportar el agua (More, Cuellar y Salazar 2021). El sistema incluye varias capas de materiales, comenzando con piedras grandes (6-10 cm de diámetro) y seguidas por piedras pequeñas y grava. Esta estructura asegura que el medio de enraizamiento en la capa superior se mantenga húmedo por capilaridad (Figura 4). Para monitorizar el nivel de agua, se emplea un cilindro de bambú o plástico, mientras que marcos internos dividen el propagador para permitir el uso de diferentes sustratos (Villegas et al. 2018). La cámara se cubre con una tapa ajustada y forrada de plástico para conservar la humedad.

Una cámara de subirrigación ideal debería medir 1 metro de ancho por 2.5 metros de largo, con una altura de entre 0.5 y 1 metro y una cubierta inclinada (Villegas et al. 2018; More, Cuellar y Salazar 2021; Perez et al. 2019; Ramos 2015; Hernández, Salgado y Ambriz 2016). Hartmann y Kester (1995) sugieren que el uso de sombras en estas estructuras mejora el control de temperatura y regula la radiación solar. Vásquez (2015) recomienda utilizar aproximadamente 80 litros de agua y cambiarla cada seis meses, empleando tubos plásticos de 4 pulgadas de diámetro para la irrigación. Adicionalmente, Sánchez (2011) propone cubrir la cámara con una malla negra a 2 metros del suelo para reducir la temperatura y la cantidad de luz en un 80%.

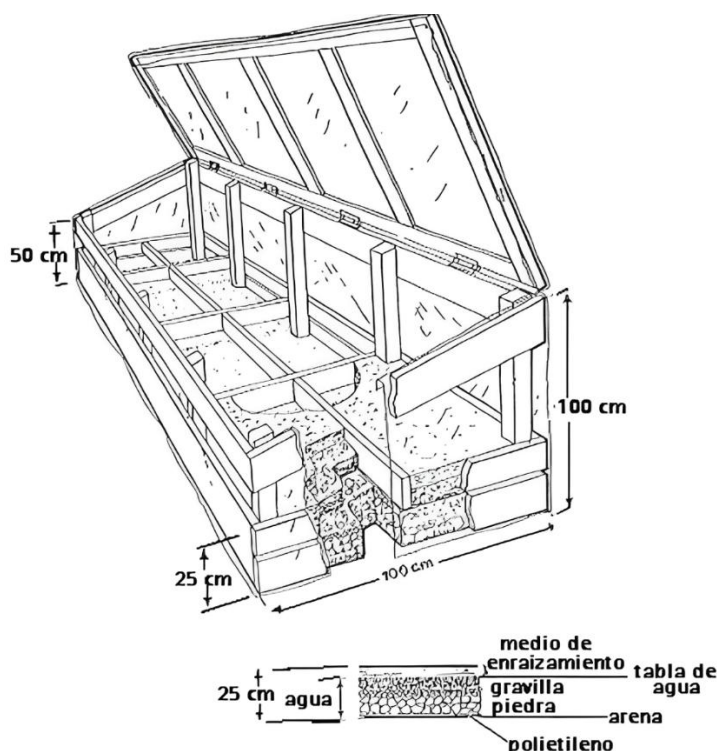


Figura 1. Características de la cámara de sub-irrigación. Adaptado de Mesén, (1998)

2.2.12. Tipo de sustrato

Arena

La utilización de arena como sustrato para el enraizamiento es muy valorada por su capacidad de aireación y su adecuada retención de humedad. Este material permite realizar perforaciones con facilidad y facilita tanto la inserción como la extracción de las estacas que han desarrollado raíces (Villegas et al. 2018). Además, la arena es un recurso económico y fácil de conseguir, y su granulometría debe ser adecuada para mantener la humedad alrededor de las estacas, al mismo tiempo que favorece el drenaje del agua (Hartmann y Kester, 1995).

En la propagación de vegetales, el uso de arena de cuarzo es bastante habitual. Se aconseja esterilizar este material a través de fumigación o tratamiento térmico antes de su utilización para garantizar que esté limpio. La arena de cuarzo no contiene nutrientes minerales ni tiene capacidad de amortiguación o intercambio catiónico, lo que lleva a su combinación frecuente

con sustratos orgánicos para mejorar sus propiedades (Hartmann y Kester, 1995).

El tipo de arena utilizada puede afectar el éxito del enraizamiento en diversas especies. Por ejemplo, *Cedrela odorata* logra mejores tasas de enraizamiento en arena gruesa, mientras que *Swietenia macrophylla* se desarrolla de manera más efectiva en arena de textura media y *Cedrelinga cateniformis* prefiere arena fina (Ramos 2015; Hernández, Salgado y Ambriz 2016; Latsague, Sáez y Hauenstein 2008; Sánchez 2011; Soudre et al. 2011; Vásquez 2015)

2.3. Definición de términos

- **Acido indol butírico:** El AIB es una hormona sintética utilizada en la propagación de plantas mediante esquejes, ya que estimula la formación de raíces en ellos. Un estudio publicado en la revista "Scientia Horticulturae" evaluó la eficacia del AIB como enraizante en varias especies de plantas y encontró que fue efectivo en la mayoría de ellas. (Wang et al. 2018).
- **Asexual:** La reproducción asexual es un proceso en el que se crean nuevos organismos sin la participación de células sexuales o gametos. En su lugar, un solo tipo de célula o parte del cuerpo de un organismo adulto se utiliza para generar un nuevo individuo (Matsuura et al. 2009).
- **Genotipo:** El genotipo de las plantas se refiere al conjunto de genes que controlan su crecimiento, desarrollo, metabolismo y respuesta a estímulos ambientales, y se encuentran en el ADN de sus células. La capacidad de adaptación de una planta a diferentes condiciones ambientales y su resistencia a enfermedades y plagas pueden verse afectadas por su genotipo (Buyel 2019).
- **Fenotipo:** El fenotipo de una planta se refiere a sus características observables y físicas, tales como su forma, tamaño, color, textura y estructura de hojas, flores y frutos. Estas características son el resultado de la interacción entre el genotipo de la planta y factores ambientales como la luz, la temperatura, la humedad y los nutrientes

del suelo. Según un estudio publicado en "Plant Physiology" (Nicotra et al. 2010).

- **Morfotipo:** El término morfotipo se refiere a la forma y estructura general de una planta, que puede ser utilizada para clasificar y diferenciar distintas especies de plantas en función de sus rasgos físicos y observables, como tamaño, forma, textura y color.
- **Germoplasma:** Conjunto de material genético que se hereda de una generación a otra en plantas y otros organismos.
- **Regeneración:** Proceso de crecimiento de nuevas plantas a partir de semillas o material vegetativo.
- **Mutación:** Cambio en la secuencia de ADN que puede dar lugar a variaciones genéticas.
- **Taxonomía:** Clasificación y organización de los seres vivos en categorías jerárquicas.
- **Diversidad Genética:** Variedad de genes presentes en una población o especie.
- **Especie Endémica:** Especie que se encuentra exclusivamente en una región geográfica específica.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo experimental y aplicado (Condo y Pazmiño 2015), ya que implica la manipulación de una o más variables independientes (en este caso, la concentración de ácido indol-3-butírico y el diámetro de la estaca) para poder determinar su efecto en las variables dependientes (enraizamiento) (Gatica 2015; Abanto-Rodriguez et al. 2016b; Huinga 2022). En este estudio experimental, se seleccionaron una muestra de individuos que será asignada al azar en diferentes tratamientos para poder controlar los posibles efectos de variables confusas. Luego, se evaluaron la variable dependiente después de haberse evaluado el efecto de las variables independientes.

3.2. Diseño del estudio

3.2.1. Selección de sitios de recolección

El material vegetativo para preparar proviene de la colección de germoplasma de capirona del Instituto Nacional de Innovación Agraria, el cual incluye registros de la dispersión de capirona en el distrito de Tambopata, así como en las localidades de Las Piedras, Manu y Tahuamanu, abarcando las tres provincias de Madre de Dios. La distribución de estas especies se encuentra principalmente en dos tipos de cobertura vegetal: bosque de terraza alta y bosque de terraza baja o bajío (Figura 5). Las áreas de investigación abarcan altitudes de 125 a 210 msnm, y de acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú 2020) la temperatura media es de 26.5 °C, con precipitaciones que alcanzan los 2120 mm. En este contexto, se clasificaron dos tipos de bosque (MINAM 2015).

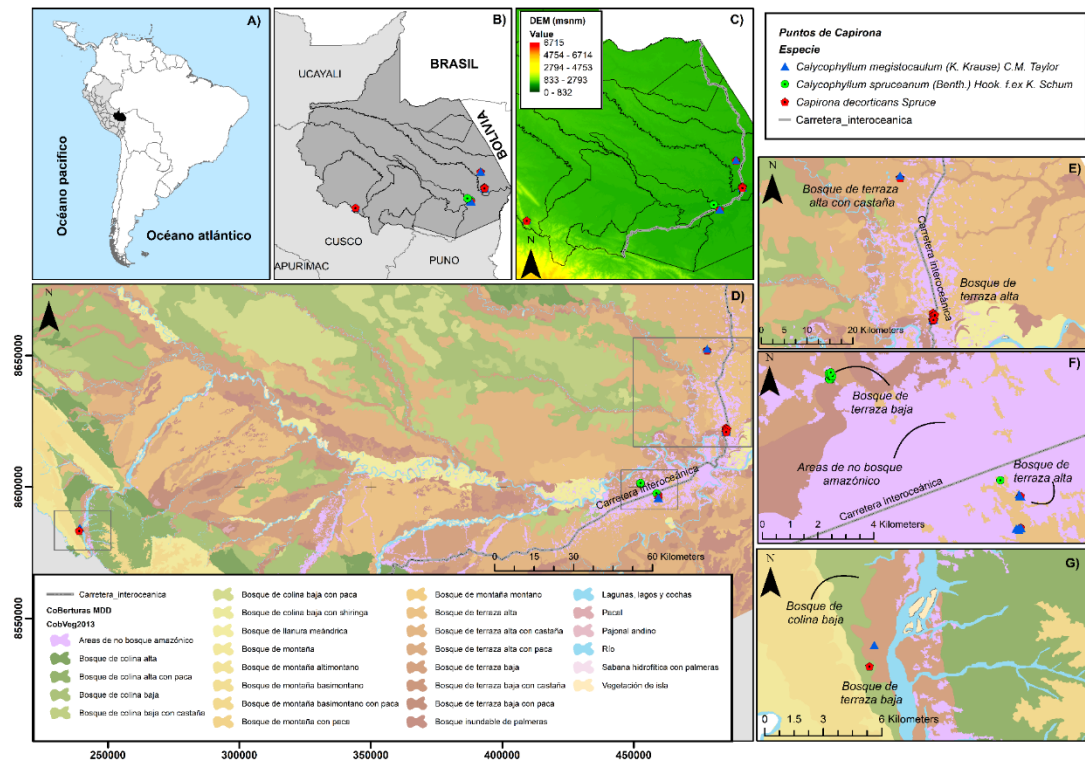


Figura 2. Mapa de ubicación de las zonas de estudio donde se sitúa en dos tipos de bosque (Bosque de terraza alta con castaña y bosque inundable)

La selección de los árboles de capirona tuvo en cuenta factores como la edad, el diámetro y la altura. Se eligieron árboles juveniles, ya que son fisiológicamente más adecuados para la propagación rápida. Se recolectaron 10 árboles por cada especie, considerando cinco árboles en cada tipo de bosque, resultando en un total de 30 árboles madre (Tabla 2).

Los criterios utilizados para la selección de los árboles candidatos se basaron en características fenológicas isométricas. Se estableció que los árboles debían presentar un buen estado fitosanitario, un fuste recto y un diámetro a la altura del pecho superior a 10 cm. Además, se requería que la altura total de los árboles fuera mayor a 12 m.

Tabla 2. Procedencia y Ubicación de los árboles seleccionados.

Localidad	Árbol	Tipo de Bosque	Fecha	Especie	Este (X)	Norte (Y)	Altitud	Estado	Diam. Copa	Altura	DAP
LOBOYOC	BTA.Arb01	B. terraza alta	3/03/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485184	8622226	255	Juvenil 1	3.70	13.00	17.00
LOBOYOC	BTA.Arb03	B. terraza alta	14/03/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485113	8621955	257	juvenil	2.75	15.00	16.60
LOBOYOC	BTA.Arb09	B. terraza alta	28/03/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485085	8620978	257	Juvenil 1	3.00	15.00	10.00
LOBOYOC	BTA.Arb11	B. terraza alta	28/03/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485192	8621023	257	juvenil 2	3.20	15.50	13.50
LOBOYOC	BTA.Arb14	B. terraza alta	21/04/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485152	8622053	253	juvenil 2	2.22	15.00	17.00
LOBOYOC	BTB.Arb21	B.terrazza baja	25/04/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485203	8621126	256	Adulto 1	3.20	17.00	30.24
LOBOYOC	BTB.Arb23	B.terrazza baja	2/05/2023	<i>C. megistocaulum</i>	485258	8622041	257	juvenil 2	5.00	15.00	30.00
MONTERREY	BTB.Arb28	B.terrazza baja	6/05/2023	<i>C. megistocaulum</i>	477897	8652546	283	juvenil 2	6.00	20.00	25.10
MONTERREY	BTB.Arb29	B.terrazza baja	6/05/2023	<i>C. megistocaulum</i>	477909	8652533	282	Adulto 1	7.00	18.50	28.70
SAN BERNARDO	BTB.Arb30	B.terrazza baja	20/05/2023	<i>C. megistocaulum</i>	459426	8596996	235	Juvenil 1	3.50	5.50	7.66
LOBOYOC	BTA.Arb02	B. terraza alta	7/03/2023	<i>C. macrophylla</i>	485113	8622504	238	Adulto 1	4.20	16.00	14.60
LOBOYOC	BTA.Arb04	B. terraza alta	14/03/2023	<i>C. macrophylla</i>	485153	8621932	259	Adulto 1	3.00	16.00	21.00
LOBOYOC	BTA.Arb07	B. terraza alta	21/03/2023	<i>C. macrophylla</i>	484996	8620967	255	Adulto 2	7.00	23.00	35.50
LOBOYOC	BTA.Arb08	B. terraza alta	28/03/2023	<i>C. macrophylla</i>	485071	8620974	256	Juvenil 1	5.50	6.00	16.00
LOBOYOC	BTA.Arb10	B. terraza alta	28/03/2023	<i>C. macrophylla</i>	485081	8620990	256	Juvenil 1	2.00	15.00	12.00
LOBOYOC	BTA.Arb17	B.terrazza baja	21/04/2023	<i>C. macrophylla</i>	485215	8621092	260	juvenil 2	3.50	17.00	16.00
LOBOYOC	BTA.Arb18	B.terrazza baja	21/04/2023	<i>C. macrophylla</i>	485212	8621100	260	juvenil 2	2.00	15.00	19.00
LOBOYOC	BTB.Arb24	B.terrazza baja	2/05/2023	<i>C. macrophylla</i>	485489	8621986	259	Juvenil 1	2.00	9.00	10.50
LOBOYOC	BTB.Arb25	B.terrazza baja	2/05/2023	<i>C. macrophylla</i>	485524	8622078	258	Juvenil 1	2.50	9.00	10.00
MONTERREY	BTB.Arb26	B.terrazza baja	6/05/2023	<i>C. macrophylla</i>	477896	8652094	287	Adulto 1	8.70	17.00	39.00
AGUAS NEGRAS	BTB.Arb35	B. terraza alta	25/05/2023	<i>C.spruceanum</i>	452596	8601202	189	juvenil 2	3.00	7.50	21.08
AGUAS NEGRAS	BTB.Arb36	B. terraza alta	26/05/2023	<i>C.spruceanum</i>	452594	8601207	189	Juvenil 1	2.60	5.00	7.34
AGUAS NEGRAS	BTB.Arb37	B. terraza alta	26/05/2023	<i>C.spruceanum</i>	458679	8597581	227	Juvenil 1	4.40	6.20	10.86
AGUAS NEGRAS	BTB.Arb38	B. terraza alta	26/05/2023	<i>C.spruceanum</i>	452546	8601250	189	Juvenil 1	2.00	11.00	13.09

AGUAS NEGRAS	BTB.Arb39	B. terraza alta	26/05/2023	<i>C.spruceanum</i>	452535	8601244	189	Adulto 1	4.00	10.00	38.32
AGUAS NEGRAS	BTA.arb.45	B.terrazza baja	9/06/2023	<i>C.spruceanum</i>	452541	8601356	189	juvenil 2	5.50	14.50	19.00
AGUAS NEGRAS	BTA.arb.46	B.terrazza baja	9/06/2023	<i>C.spruceanum</i>	452539	8601373	191	Juvenil 1	6.00	10.60	16.00
AGUAS NEGRAS	BTA.arb.47	B.terrazza baja	9/06/2023	<i>C.spruceanum</i>	452546	8601395	193	Juvenil 1	5.00	9.30	14.00
AGUAS NEGRAS	BTA.arb.48	B.terrazza baja	9/06/2023	<i>C.spruceanum</i>	452523	8601420	193	Juvenil 1	4.00	7.40	12.00
AGUAS NEGRAS	BTA.arb.57	B.terrazza baja	12/07/2023	<i>C.spruceanum</i>	452591	8601361	206	adulto 1	9.50	11.90	21.65

3.2.2. Selección del material vegetativo

El material vegetativo se obtuvo de las ramas juveniles o ápices de los árboles jóvenes de las tres especies de capirona, las cuales están distribuidas en dos tipos de cobertura vegetal. Estos árboles, que forman parte del banco de germoplasma del INIA presentan diámetros que oscilan entre 20 y 55 cm y tienen una altura promedio de 15 a 35 m. La recolección del material vegetativo se llevó a cabo por la mañana y el material fue almacenado en bolsas y ciplot para su transporte a la ciudad de Puerto Maldonado, con el fin de prevenir su deshidratación. Las estacas, que provienen de las ramas tiernas de los árboles, son fácilmente enraizables (Figura 6). Sin embargo, dado que se trata de un banco de germoplasma, no es posible realizar cortes en el tronco para fomentar el rebrote de estacas.



Figura 3. Escalamiento de árboles de capirona y cosecha de ramas

3.2.3. Extracción de las estacas de capirona

Las estaquillas se obtuvieron mediante la recolección de muestras de brotes terminales de las plantas, seleccionando únicamente aquellos que estaban sanos y vigorosos. No se consideraron las estaquillas provenientes de ramas leñosas o secas. Se priorizó el uso de yemas apicales o brotes tiernos de cada rama, evitando aquellas con exceso de leño o que presentaban signos de desecación. Para el experimento, se utilizaron estaquillas con un diámetro

mayor a 7 mm, así como otras menores a este tamaño. Cada estaquilla incluyó dos hojas, las cuales fueron recortadas a la mitad durante el proceso de instalación en el área fluvial.

Propagación vegetativa asexual para cada especie

- Cantidad de tratamientos: 3.0
- Cantidad de estacas repetición: 10
- Cantidad de estacas en cada tratamiento: 40
- Cantidad total de estacas: 720
- Distanciamiento entre estacas: 10 cm
- Longitud de las estacas: 10 cm y 15cm
- Diámetro basal de las estacas: mayor 7mm y menor 7mm
- Numero de hojas en promedio al inicio: 3 hojas

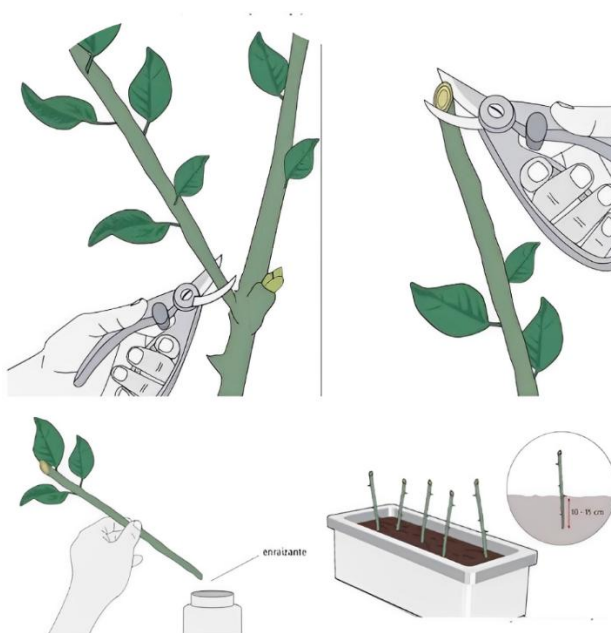


Figura 4. Método de recolección de las estacas para la propagación asexual de capiróna

3.2.4 Desinfección de estaquillas

Las estacas de Capiróna se sumergieron durante un período de 10 segundos en una solución preparada con 10 litros de agua y 20 gramos de Traslata 80 WP, plaguicida agrícola. Luego, las estacas fueron cubiertas con una pasta selladora específica para cortes y podas. La instalación se llevó a

cabo inmediatamente después del proceso de desinfección y la aplicación de la pasta selladora (Figura 8).



Figura 5. Desinfección de estaquillas antes de aplicar las hormonas

3.2.5 Aplicación de dosis hormonal

La solución de ácido indol-3-butírico (AIB) a concentraciones de 2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm fue aplicada en la base de las estaquillas, sumergiendo 1 cm de la base durante 10 segundos. Posteriormente, se dejaron a temperatura ambiente durante otros 10 segundos para permitir la volatilización del alcohol y asegurar que solo la hormona quedara fijada en las estaquillas (Figura 9).



Figura 6. Aplicación de dosis de hormona acetil 3 butírico a las estacas de capirona

3.2.6. Sustrato

Arena

El sustrato de arena fina de río X3 (agregado) fue secado a temperatura ambiente y, posteriormente, colocado en camas de 3 m² con una altura de 20 cm de arena en las camara de subirrigación. Las camaras fueron desinfectadas con una solución de agua y plaguicida agrícola Traslate 80W, aplicando 45 litros por cada cámara de subirrigación utilizando una regadera de plantas (Figura 10).



Figura 7. Instalación y agregado del sustrato de arena a las camara de subirrigacion

3.2.7. Acido indol-3-butírico

Las estaquillas fueron sometidas a tratamiento con tres concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB): 2000, 4000 y 6000 ppm. Las soluciones hormonales se elaboraron disolviendo AIB químicamente puro en alcohol al 96% en cantidades exactas. Para conseguir la concentración de 2000 ppm, se mezclaron 0.2 gramos de ácido indol-3-butírico en 100 ml de alcohol al 96%. De manera análoga, para las concentraciones de 4000 ppm y 6000 ppm, se usaron 0.4 gramos y 0.6 gramos de ácido indol-3-butírico, respectivamente, también en 100 ml de alcohol al 96% (Figura 11).



Figura 8. Preparación de la dosis de hormona químicamente puro

3.2.8. Cámara de subirrigacion

Características

Fue construido sobre una base de tubo de aluminio de 1 1/2 pulgadas y cubierto con policarbonato blanco. Las dimensiones de la cámaras de subirrigacion son 3 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de altura, con un área total de 3 m². En la base se colocó un plástico azul de 1.5 m de doble capa, sellando la base. La cámara de subirrigación se instaló en un área plana para permitir una distribución uniforme del agua. En el interior de la cámara, se construyó un techo con una altura de 3 m, de tipo invernadero, revestido con una malla Rachell al 80% para regular la radiación solar y la temperatura dentro de las cámaras (Figura 12).

➤ **Medidas de la cámara de sub-irrigación para el experimento**

- Largo: 3.0 m
- Ancho: 1.0 m
- Área total: 3.0 m²
- Material: Cemento
- Espesor: 20 cm
- Altura: 10 cm
- Techo: Malla raschel 80%



Figura 9. Características de la infraestructura de las camaras de subirrigacion

3.2.9. Instalación de estaquillas

En el proceso de colocar las estaquillas, se hicieron huecos de cerca de 3 cm de profundidad en el sustrato de arena, en los cuales se introdujeron las estacas, manteniendo una separación de 10 cm entre ellas, dentro de la cámara de subirrigación (Figura 13).



Figura 10. Instalación y posicionamiento de las estacas a las camas

3.2.10. Monitoreo

En la cámara de subirrigación se realizó la medición con un termohigrómetro digital, que permitió registrar la temperatura y la humedad interna de la cámara de propagación. Los datos fueron registrados una vez al mes durante tres meses.

Temperatura interna

Se realizaron inspecciones cada dos días con el fin de identificar y solucionar problemas patológicos, además de retirar hojas muertas o estacas que presentaban signos de necrosis.

3.2.11. Evaluaciones

Porcentaje de enraizamiento de capirona. Al finalizar la evaluación del experimento, se cuantificó el número de raíces en las estacas que lograron enraizar, empleando un programa de análisis de imágenes.

Sobrevivencia de los individuos de capirona. El porcentaje de supervivencia se midió al concluir el experimento, determinando cuántas estacas presentaron signos de vitalidad en comparación con el total de estacas plantadas.

Longitud de brotes

La longitud de los brotes de las estacas de Capirona se midió utilizando un calibrador vernier, asegurando precisión en la obtención de las dimensiones. Se registraron las mediciones en milímetros y, para complementar el análisis, se tomaron fotografías de cada muestra. Posteriormente, estas imágenes se procesaron con el programa ImageJ, que permitió medir la longitud de los brotes de forma digital, garantizando una evaluación más exhaustiva y precisa de los datos obtenidos.

Longitud de raíces

La longitud de las raíces de Capirona se midió al finalizar el experimento. Para ello, se tomó una fotografía utilizando una regla metálica o flexómetro, empleada para realizar mediciones lineales precisas en trabajos de campo. Posteriormente, los datos fueron procesados en el programa ImageJ.

Numero de raíces

El número de raíces se determinó mediante un conteo cuidadoso de las imágenes tomadas durante el experimento. Utilizando el programa ImageJ, se analizaron las fotografías de las estacas de Capirona, lo que facilitó la identificación y contabilización de las raíces emergentes. Este enfoque digital aseguró una mayor precisión en el conteo, permitiendo una evaluación más detallada del desarrollo radicular de las estacas.

Longitud de hojas

La longitud de las hojas se midió utilizando un calibrador vernier para obtener mediciones precisas en milímetros. Se tomaron fotografías de cada hoja para documentar su desarrollo. Posteriormente, estas imágenes fueron procesadas con el programa ImageJ, que permitió medir digitalmente la longitud de las hojas, asegurando una evaluación exacta y consistente de los datos recolectados.

Diámetro de estaca

El diámetro de las estacas se midió utilizando un calibrador vernier, lo que permitió obtener mediciones precisas en milímetros. Este método garantizó la exactitud en la evaluación del diámetro de cada estaca, facilitando un análisis confiable del crecimiento y desarrollo de estas.

Diseño Experimental

El diseño experimental fue un DCA con arreglo factorial y 10 repeticiones.

El factor 1 estuvo integrado por las especies de capirona:

- *Calycophyllum megistocaulum*
- *Capirona macrophylla*
- *Calycophyllum spruceanum*)

El factor 2 fueron las hormonas enraizantes en 3 concentraciones de ácido indol-3-butírico:

- 2000 ppm
- 4000 ppm
- 6000 ppm)

El factor 3 fueron los diámetros de las estacas:

- Diámetro menos a 7 mm
- Diámetro mayor a 7 mm

Tabla 3. Diseño experimental y organización de tratamientos para una especie

Factor																			
Especie		E1						E2						E3					
Enraizante		d1		d2		d3		d1		d2		d3		d1		d2		d3	
Diametro		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2	Ø1	Ø2
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			

3.2.14. Análisis de datos

Antes de efectuar los análisis se comprobaron los supuestos del Análisis de varianza, tales como normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia.

En el caso de incumplimiento de los supuestos del Análisis de varianza se hicieron pruebas no paramétricas como la de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney en función a la cantidad de variables a evaluarse.

Todos los análisis se efectuaron con el software R studio, y la base de datos se manejó íntegramente con el software Excel

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por 720 estacas de las tres especies (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*), procedentes de 64 individuos (Tabla 2) de dos tipos de bosque representativos del departamento de Madre de Dios: el bosque de tierra firme y el bosque inundable. Esta selección se realizó bajo criterios de representatividad y disponibilidad de material vegetativo sano,

garantizando que las accesiones reflejaran la variabilidad existente en los dos tipos de bosque.

La investigación forma parte del proyecto “Caracterización morfológica de la colección in situ de germoplasma de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum.) en Madre de Dios, Perú”, desarrollado por la Estación Experimental Agraria San Bernardo – INIA. En este marco, los árboles donantes fueron clasificados según su estado de desarrollo, tomando como referencia su diámetro y estructura de crecimiento, siguiendo el criterio propuesto por (He et al. 2022). para analizar la pérdida de individuos en bosques maduros. Se establecieron tres categorías:

1. Juvenil: 10 – 20 cm de diámetro
2. Adulto 1: 21 – 30 cm de diámetro
3. Adulto 2: > 30 cm de diámetro

La modalidad más frecuente registrada en las accesiones correspondió a la categoría juvenil, la cual fue priorizada en la selección, considerando que en esta etapa las plantas presentan mayor vigor fisiológico y capacidad de respuesta en los ensayos de propagación vegetativa.

Adicionalmente, se evaluó la forma del fuste, que fue clasificada botánicamente en dos categorías: liso o rugoso, según el criterio descrito por Shearman y Varner (2021). Esta caracterización permitió complementar la descripción de las accesiones y garantizar la coherencia en la selección del material experimental.

3.3.2. Muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por 240 estacas por especie de capirona (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*). La selección de este tamaño muestral respondió al criterio metodológico señalado por Abanto-Rodriguez et al. (2016c) quienes recomiendan contar con al menos 10 plantas por unidad experimental (Tabla 3) en estudios de enraizamiento de estacas de capirona, asegurando validez en el diseño.

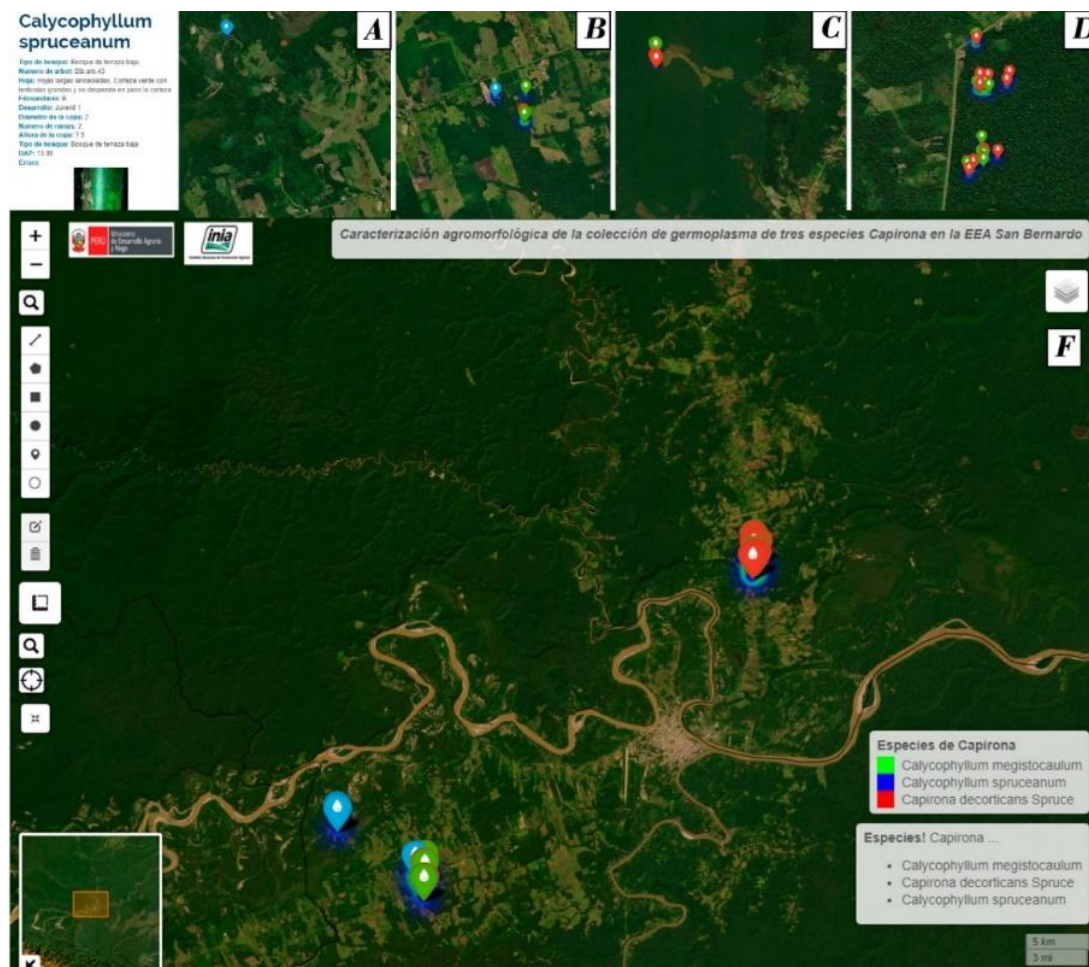


Figura 1. Mapa de Ubicación de los árboles donantes de las tres especies de capirona. A. Zona de aguas negras en el C.P. San Bernardo. B. EEA San Bernardo -INIA. C. Zona de Monterrey en el C.P. Planchón. D. Km 17 Fundo el Bosque.

3.4. Métodos y técnicas

Las variables analizadas incluyeron el número de raíces y el porcentaje de enraizamiento, ambas evaluadas a los 12 días después de la siembra. Se utilizó un sustrato (pellet de 50 x 95 mm), tres concentraciones de AIB (2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm) y un método de propagación (esquejes)., esto se aplicaron a los tres tipos de capirona (*Calycophyllum megistocaulum*, *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum*). Como se presenta en el (Tabla 3) el diseño se presenta 3 tipo de concentraciones de ácido indol-3-butirico con 03 tratamientos (Dosis) y 4 repeticiones esta fue para las tres especies de capirona mediante un método de propagación (asexual).

3.4.1. Características del área de estudio

➤ Humedad

La Estación Experimental de San Bernardo-INIA presenta una humedad relativa del 80%, lo cual se debe a las constantes precipitaciones que se registran entre los meses de octubre y marzo, mientras que en los meses de mayo a setiembre se registra un descenso en los niveles de humedad. Debido a estas características climáticas, se dice que Madre de Dios tiene dos estaciones distintas: una estación lluviosa y otra seca (SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú 2020).

➤ **Temperatura**

Las temperaturas registradas en la EEA San Bernardo oscilan entre 22.5 °C y 38.7 °C. Sin embargo, entre los meses de junio a agosto, se registra una temperatura promedio de 8 °C. Este fenómeno climático se explica por el movimiento de masa de aire procedente del altiplano, ubicado al sur de Bolivia, que ingresa en la zona (SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú 2020).

➤ **Precipitación**

Presenta abundantes precipitaciones pluviales (SENAMHI 2020), con una precipitación de 2120 mm, está en los bosques húmedo tropical del Perú (Britto 2017).

➤ **Suelo**

Los suelos de la EEA San Bernardo es Gleysol dístrico - Lixisol háplico - Fluvisol dístrico. Los Gleysol dístricos son suelos que se desarrollan en terrenos con acumulación de agua estancada, por lo que presentan un alto contenido de humedad y baja presencia de oxígeno en sus horizontes superficiales. Estos suelos suelen tener una coloración grisácea debido a la reducción de hierro. Los Lixisol háplicos, también conocidos como suelos rojos tropicales, se caracterizan por ser ricos en hierro y aluminio, y tener un horizonte superficial rico en nutrientes. Estos suelos son comunes en regiones tropicales y subtropicales, y se desarrollan en climas cálidos y húmedos. Suelen ser fértiles y aptos para la agricultura, pero pueden ser vulnerables a la erosión y la degradación del suelo debido a prácticas agrícolas intensivas. Los Fluvisol dístricos son suelos que se desarrollan en terrenos planos y cercanos a cuerpos de agua, como ríos y arroyos. Estos suelos son ricos en

materia orgánica y minerales, y suelen ser fértiles y aptos para la agricultura (Torres 2006).

➤ **Vegetación**

De acuerdo con la clasificación y mapeo cartográfico por MacroZEE 2008, se registra dos unidades de vegetación, donde las instalaciones del vivero estarán en una zona con desbosque y a unos 300 m de un bosque primario.

➤ **Ecología**

Con lo manifestado por (Holdridge 1967) el área de estudio está situada en una zona de vida ecológica con la clasificación de Bosque subtropical (Bh-s)

3.4.2. Ubicación del área de estudio

➤ **Ubicación geográfica**

El estudio se realizó en los meses de Julio a diciembre del 2023 en el vivero de la Estación Experimental San Bernardo del Instituto Nacional de Innovación Agraria, la cual está situada en el distrito Tambopata en el departamento de Madre de Dios, en las coordenadas UTM 19L 458702.90 E y 8597583.80 N.

➤ **Ubicación Político**

- Ubicación: Estación Experimental Agraria San Bernardo
- Sector: San Bernardo
- Distrito: Tambopata
- Provincia: Tambopata
- Departamento: Madre de Dios

3.5. Tratamiento de los datos

Se utilizó el paquete de Office 2019, especialmente la hoja de cálculo Excel, la cual nos ayudó a clasificar, filtrar, ordenar y registrar los datos recolectados. Estos datos fueron almacenados en formato "Delimitado por tabulación" para que puedan ser importados al paquete estadístico R, junto con su emulador R-Studio versión 4.2.3. (RStudio 2021). Se realizará toda la estadística en el programa de libre acceso R, se utilizaron diferentes paquetes gráficos (Wickham 2016; Kassambara 2020; Patil 2018). Para poder determinar la varianza y así evaluar la comparación de medias de cada uno de los tratamientos se empleó la prueba de Tukey con un grado de significancia del 5% en referencia a (Abanto-Rodriguez et al. 2016a) la cual nos dará como

resultado cual es el grado de efecto de las dosis de ácido indol-3-butirico y también los 3 tipos de tratamientos en la variables dependientes (Porcentaje de sobrevivencia (%), Porcentaje de estaquillas con brotes (%), Coloración de los brotes, Coloración de los callos, Promedio de la longitud de la raíz principal, Promedio de longitud de la raíces secundarias, Numero de estaquillas, Tamaño promedio de estacas, Numero de raíces, Longitud de raíces, Colocación de las estaquillas).

CAPITULO IV. RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

4.1. Capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona

Durante el período de evaluación de seis meses, se observaron variaciones en la temperatura dentro de las camaras de subirrigacion. Se realizaron mediciones de temperatura en la primera, duodécima y vigésimo cuarta semana, registrando las temperaturas mínimas, máximas y promedio. Destaca que la temperatura máxima alcanzó los 32.4 °C durante la semana correspondiente a la época seca, mientras que la temperatura mínima en esa misma semana fue de 24.2 °C (Figura 15). Tras la aplicación del riego en la cámara de subirrigacion , se buscó mantener la temperatura promedio dentro de un rango de 27.5 °C a 28.5 °C, como se recomienda para el crecimiento óptimo de las especies forestales.

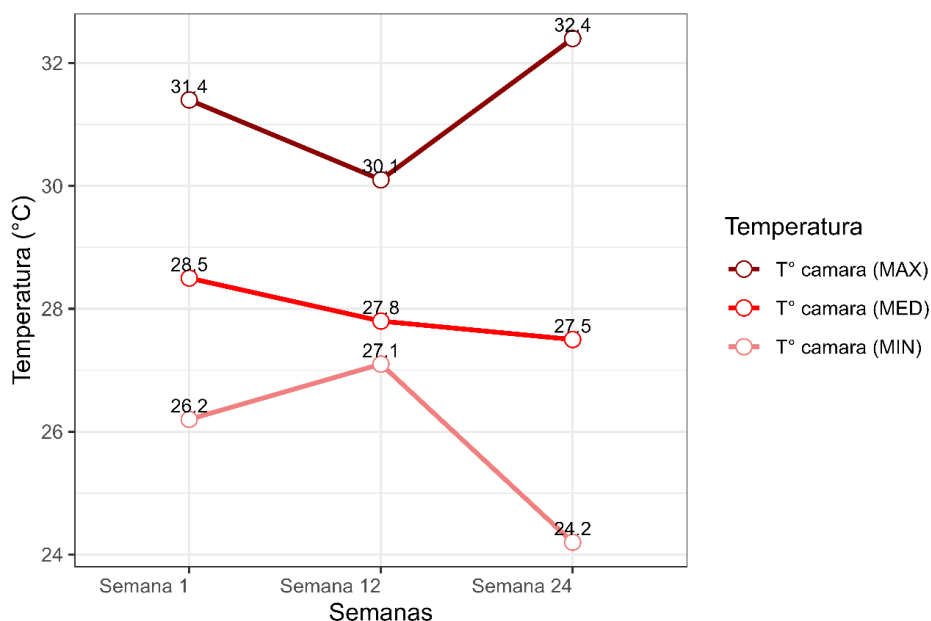


Figura 12. Rango de temperatura en camaras de subirrigacion en 6 meses de evaluación

Por otro lado, en cuanto a la humedad relativa, se observaron variaciones entre los tres períodos de medición. La humedad relativa mínima registrada fue del 64.1%, mientras que la máxima alcanzó el 69.4%. En la semana 12 se obtuvo el mayor registro de humedad relativa, con un 71.2%. El valor mínimo de la humedad máxima fue del 64.1% (Figura 16). El rango promedio de humedad osciló entre 65.3% y 63.5%, manteniéndose en un rango estable de 65% a 70%.

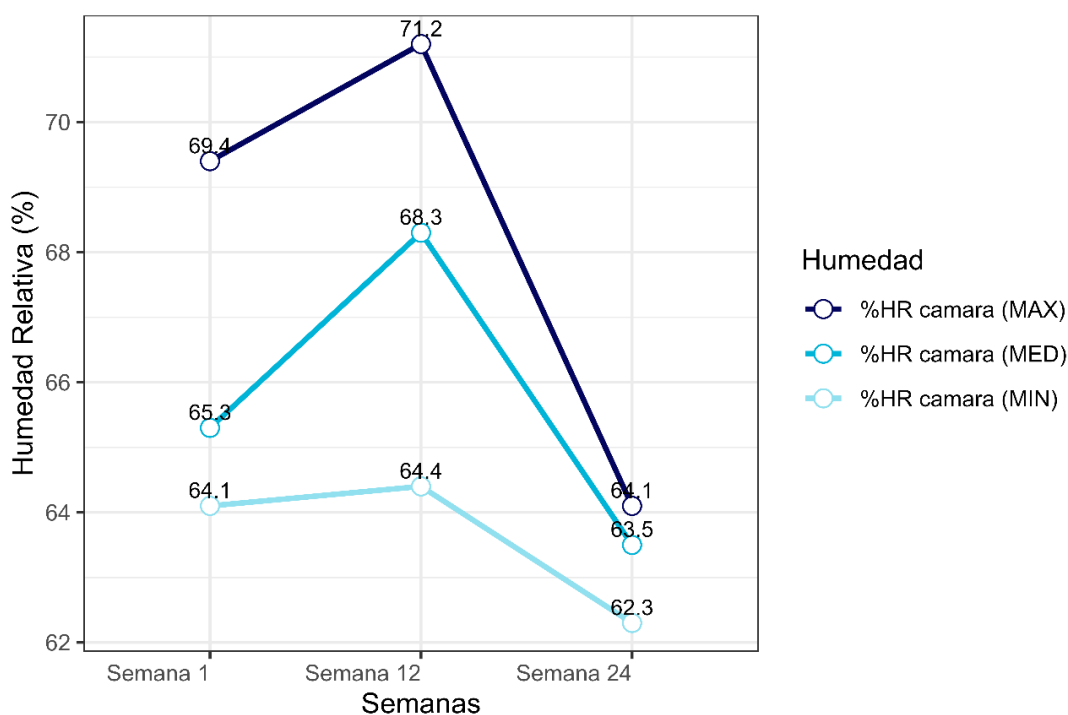


Figura 2. Rango de humedad relativa dentro de las camaras de subirrigacion en 6 meses de evaluación

4.1.1. Supervivencia de individuos de capirona

Del análisis de los resultados observados, se puede apreciar que *Calycophyllum spruceanum* refiere a un crecimiento progresivo del número de individuos respecto a la concentración de AIB, aunque en el rango de AIB = 6000 ppm se alcanza el máximo número de 145 individuos con un diámetro menor a 7 mm. Por su parte, *Capirona macrophylla* se comporta de manera

similar, refiriéndose a 150 sujetos en grupo, igual de diámetro < 7 mm, aunque, Dicho sea de paso, en el caso de los de 2000 ppm cuanto menos para este diámetro, la supervivencia es extremadamente baja solo 25 sujetos (Figura 17).

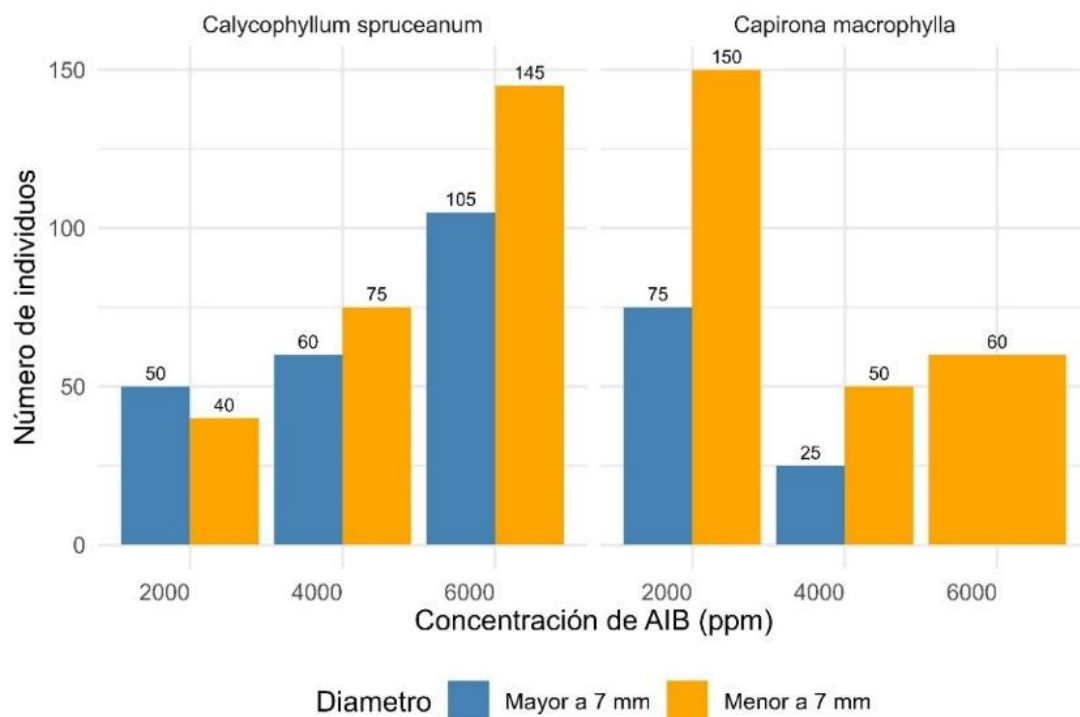


Figura 14. Número de individuos sobreviviente por concentración de hormona y en dos especies de capirona

Se demuestra que el incremento del diámetro de la estaca reduce el porcentaje de supervivencia, aunque este disminuye en menor proporción con respecto al tratamiento. Este resultado podría ser atribuido a la afinidad de las estacas de mayor diámetro, las que, aunque necesitan de la concentración más alta de AIB, son sensibles a ella. Este comportamiento sugiere que el tratamiento disponible de 6000 ppm de AIB es más efectivo para las estacas de menor diámetro independientemente de la especie, siguiendo la tendencia de un incremento de la concentración de AIB que se traduce en un mayor porcentaje de supervivencia. Sin embargo, a medida que se incrementa la concentración y el diámetro de la estaca, la supervivencia tiende a disminuir, lo que puede estar relacionado a la sensibilidad de estacas de mayor diámetro a concentraciones más altas de AIB crucial que las condiciones de tratamiento

puedan ser adaptadas para cada especie de acuerdo al tamaño de la estaca para optimizar las tasas de enraizamiento y supervivencia.

En cuanto a la concentración de hormona utilizada (ácido indol butírico), se analizaron las diferencias entre dos concentraciones (AIB). El valor de p obtenido fue de 0.28, lo que indica que no se encontraron diferencias significativas en la supervivencia de las estacas asociadas con las distintas concentraciones de la hormona. Este resultado sugiere que, dentro del rango de concentraciones evaluado, la variación en la dosis de ácido butírico no tuvo un impacto significativo en la supervivencia de las estacas de Capirona.

Estos resultados de supervivencia coinciden con el estudio realizado por Lizana, (2019), quien analizó el porcentaje de supervivencia en estacas de *Polylepis sp.* En su investigación, se encontraron diferencias significativas en la supervivencia dependiendo de la concentración de la hormona y el origen de las estacas, con un rango de supervivencia que varía del 66% al 30%.

Estos hallazgos subrayan que, aunque la concentración de la hormona es un factor importante, no es el único determinante de la supervivencia de las estacas; otras variables, como el diámetro de las estacas, también juegan un papel crucial. En el caso de las tres especies de capirona evaluadas en el presente estudio, se observó que una de las especies, *Calycophyllum megistocaulum* no sobrevivió a ninguna de las concentraciones ni diámetros en las cámaras de subirrigación (Figura 9). Esto podría atribuirse a su alto contenido leñoso y su susceptibilidad a ataques de hongos, lo que sugiere que ciertas características intrínsecas de la especie pueden influir negativamente en la supervivencia, independientemente de los tratamientos aplicados.

4.1.2 Longitud de raíces

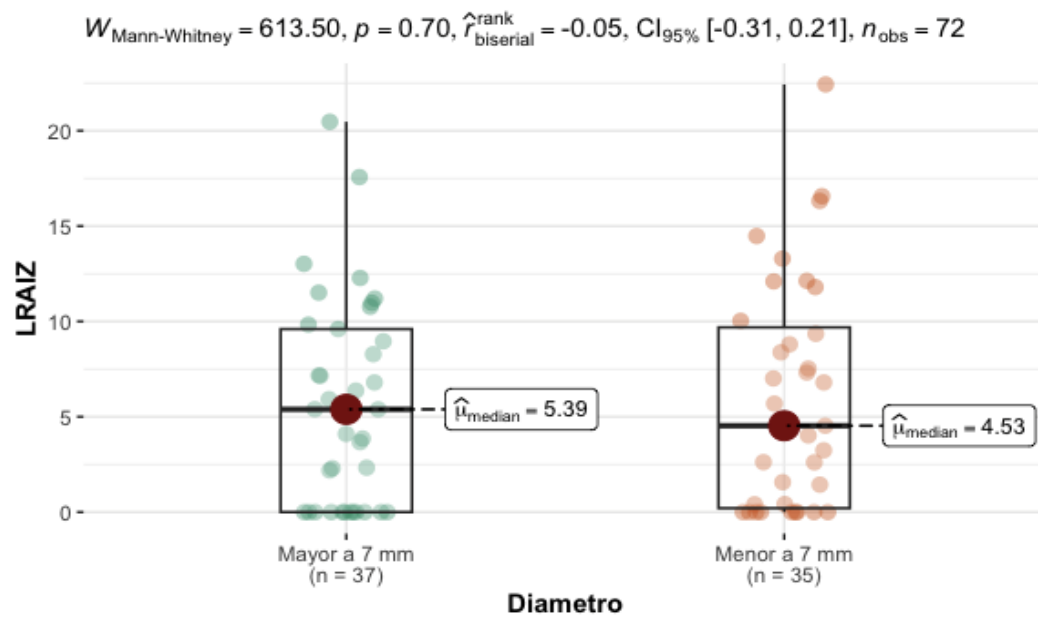


Figura 15.- Longitud de raíces de capirona en función del espesor de la estaca

No se encontró diferencia significativa en la longitud de las raíces de las plantas, en la figura 18 se observa que la prueba no paramétrica de U Mann, Whitney el valor de $p = 0.70$ nos confirma que la longitud de las raíces es igual significativamente para ambos diámetros de las estacas.

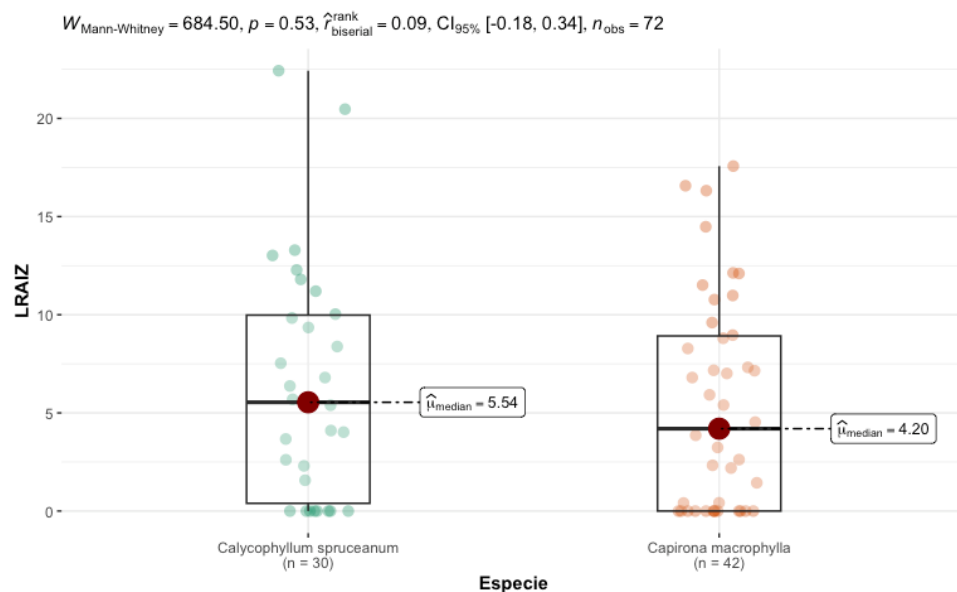


Figura 16.- Comparación de la longitud de las raíces de capirona para las dos especies evaluadas

No se encontró diferencias significativas entre la longitud de las raíces de las especies *Calycophyllum spruceanum* y *Capirona macrophylla*, tal como se puede ver en la prueba de Mann Whitney, donde el valor de $P = 0.53$, inferior a 0.05, por lo que se concluye que la longitud de raíces en el presente experimento es igual para ambas especies (Figura 19).

En el estudio realizado por Morales (2016) sobre el enraizamiento de estacas de *Copaifera paupera* utilizando diversas dosis de ácido indol-3-butírico (AIB) y diferentes tipos de sustrato, se pone de manifiesto el efecto de esta hormona en el desarrollo y crecimiento radicular. Aunque los tratamientos con 3000 ppm de AIB mostraron resultados superiores en términos de supervivencia, brotación y formación de callos, los resultados de esta investigación indican que no existen diferencias significativas en la longitud de las raíces al comparar las distintas dosis de AIB y los tipos de sustrato. En particular, el análisis no paramétrico de Mann-Whitney produjo un valor de $p = 0.70$, lo que implica que la longitud de las raíces no se ve influenciada de manera significativa por el diámetro de las estacas en el contexto de este experimento.

4.1.3 Numero de raíces

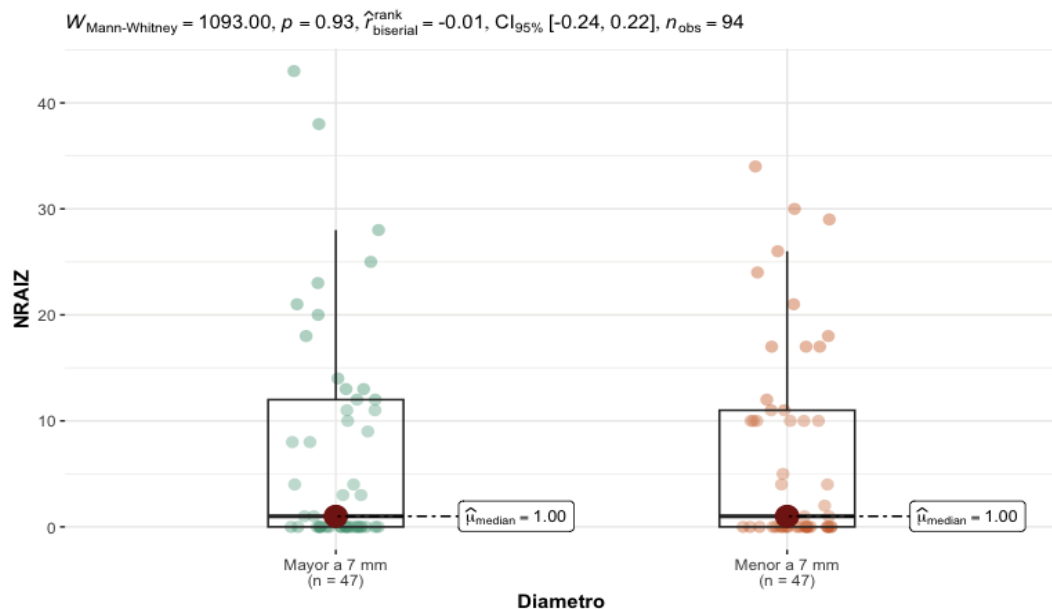


Figura 17. Número de raíces de *capirona* en función del diámetro de las estacas evaluadas.

De acuerdo a las figuras 20 y 21, el número de raíces fue igual, y no hubo diferencia significativa entre los dos diferentes diámetros de las estacas de

capirona evaluadas ($p=0.93$), asimismo el número de raíces también fue igual para las dos especies evaluadas en el experimento, ($p=0.30$).

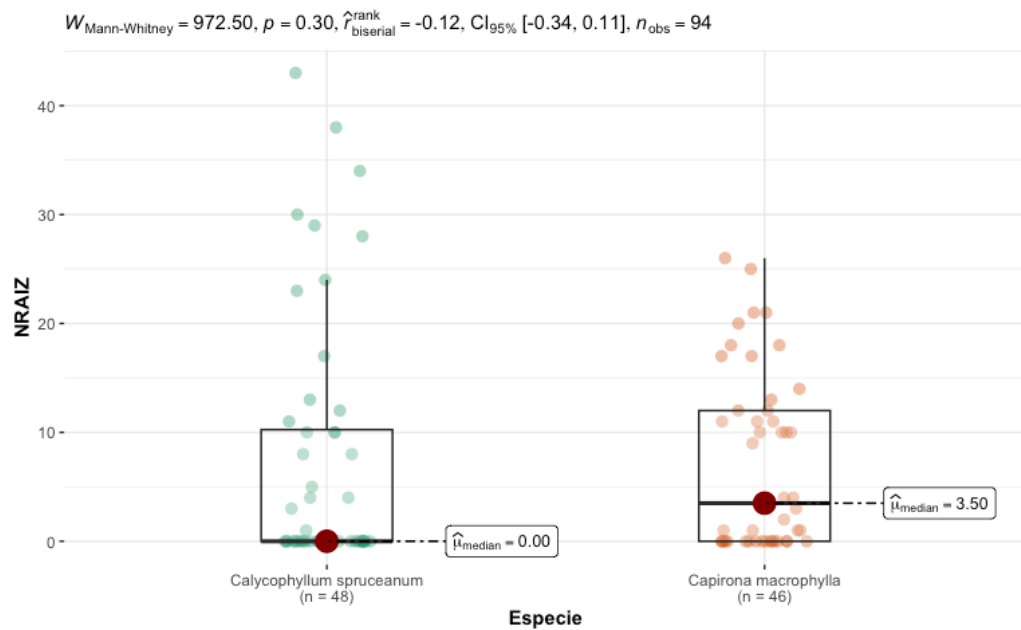


Figura 18. Comparación del número de raíces de capirona para las dos especies evaluadas

En el estudio de Morales (2016), se evaluó el enraizamiento de *Copaifera paupera* bajo diferentes dosis de ácido indol-3-butírico (AIB) y tipos de sustrato. Los resultados mostraron que la dosis de 7000 ppm y el uso de arena media promovieron el mayor enraizamiento, mientras que la dosis de 3000 ppm en combinación con arena fina (T2) resultó en los mejores índices de sobrevivencia, presencia de callos y enraizamiento. Estos hallazgos resaltan el papel crítico del AIB para inducir enraizamiento, particularmente en combinación con sustratos adecuados, como la arena media y la cascarilla de arroz carbonizada. Los resultados del estudio, por otro lado, no mostraron diferencias significativas en el número de raíces entre los diámetros de las estacas de Capirona ($p=0.93$) ni entre las especies evaluadas ($p=0.30$). Aunque el AIB es conocido por estimular el crecimiento de raíces, en este caso específico, su efecto no fue determinante en el número de raíces formadas. Esta diferencia con los resultados de Morales podría deberse a variaciones en las especies estudiadas o en las condiciones experimentales, como los sustratos o el ambiente de propagación. Mientras que Morales

destaca la influencia positiva del AIB en el enraizamiento, los resultados del estudio sugieren que otros factores podrían jugar un rol igual o más importante en la formación de raíces en Capirona.

4.2 Efecto de la especie y del diámetro de capirona en el desarrollo de las hojas y los brotes.

4.2.1 Efecto en la Longitud de los brotes

La longitud de los brotes de capirona en la cámara de subirrigación no se vio influenciada por el diámetro de las estacas, ya que, según la figura 22, no existen diferencias significativas en las longitudes para ambos diámetros ya que el valor de P es igual a 0.87, indicándonos que los promedios de la longitud de los brotes son similares en ambos casos

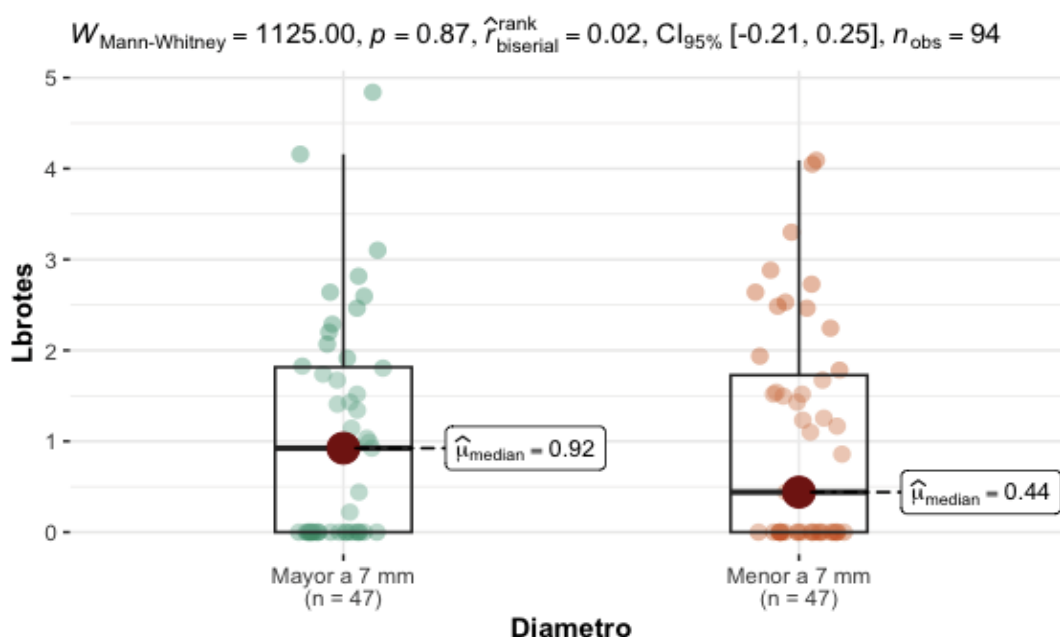


Figura 19.- Longitud de los brotes de acuerdo a diámetro de las estacas

Comparando la longitud de los brotes en las dos especies evaluadas (*Calycophyllum spruceanum* y *Capirona Macrophylla*), se encontró que existen diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba de Mann Whitney, donde el valor de P es inferior a 0.05. Observándose que la *Capirona*

Macrophylla tiene una mayor longitud de los brotes en comparación con la otra especie (Figura 23)

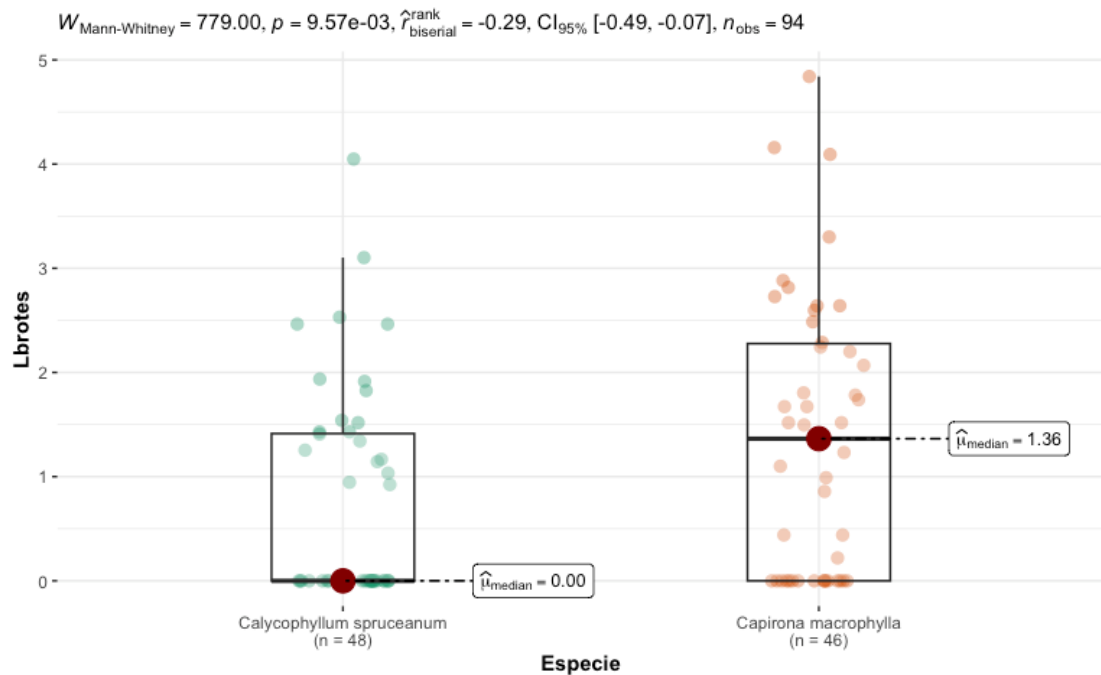


Figura 20.- Longitud de los brotes de acuerdo a la especie evaluada

En el estudio de Moncada (2012), se evaluaron los efectos del ácido indol-3-butírico (AIB) y el tamaño del área foliar en el proceso de enraizamiento de *Calycophyllum spruceanum*. Según Moncada, las concentraciones de 2000 y 4000 ppm de AIB promovieron los porcentajes más altos de enraizamiento (93.33% y 86.67%) y la longitud de las raíces (29.72 y 22.86 cm). Por otro lado, la dosis de 8000 ppm aumentó de manera significativa la cantidad de raíces. Los hallazgos indican que la aplicación de AIB es crucial para lograr un enraizamiento efectivo en las estacas de capirona, lo que resalta la relevancia del uso de hormonas en la propagación de esta especie forestal.

Los resultados muestran que, a pesar de la variabilidad en el diámetro de las estacas, no se observaron diferencias significativas en la longitud de los brotes de capirona ($p=0.87$), lo que sugiere que el diámetro no influyó en el crecimiento de los brotes bajo las condiciones de subirrigación. Sin embargo, al comparar las dos especies evaluadas (*Calycophyllum spruceanum* y *Capirona macrophylla*), se encontraron diferencias significativas en la longitud

de los brotes, siendo *Capirona macrophylla* la especie con mayor crecimiento. En comparación con los hallazgos de Moncada, ambos estudios destacan la relevancia de la hormona AIB en el enraizamiento, aunque los efectos sobre la longitud de los brotes y raíces pueden depender de otros factores, como la especie y las condiciones del experimento.

4.2.2 Efecto en la Longitud de la hoja

La longitud de las hojas de capirona en la cámara de subirrigación no se vio influenciada por el diámetro de las estacas, ya que, según la figura 24, no existen diferencias significativas en las longitudes para ambos diámetros ya que el valor de P es igual a 0.85, indicándonos que los promedios de la longitud de las hojas son similares estadísticamente en ambos casos

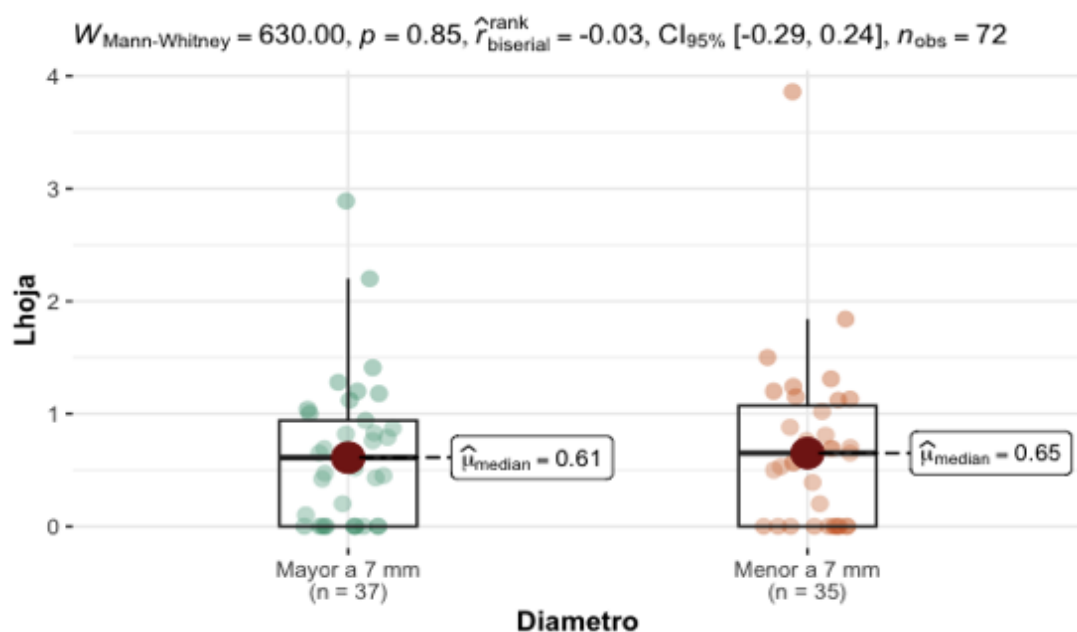


Figura 21.- Longitud de las hojas de acuerdo al diámetro de la estaca

Comparando la longitud de las hojas en las dos especies evaluadas (*Calycophyllum spruceanum* y *Capirona Macrophylla*), no se encontró que existen diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba de Mann Whitney, donde el valor de $P = 0.27$. Así las longitudes de las hojas en ambos casos son similares estadísticamente (Figura 25)

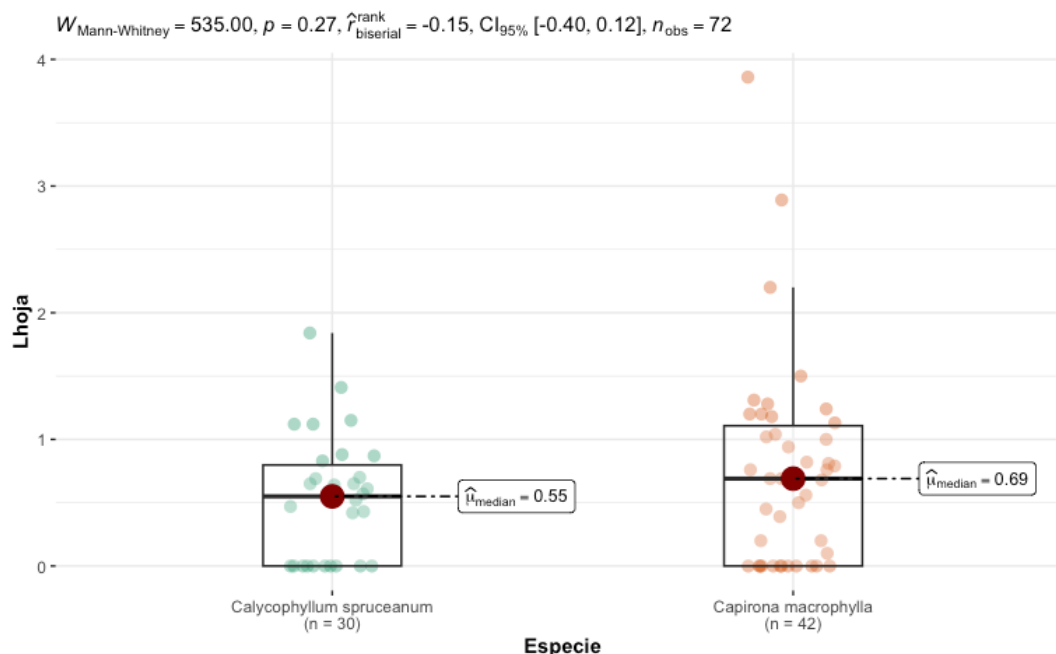


Figura 22.- Longitud de las hojas de acuerdo con la especie evaluada

Los hallazgos mostraron que no hubo diferencias significativas en la longitud de las hojas de *Calycophyllum spruceanum* y *Capirona macrophylla* ($p=0.27$), lo que sugiere que, en términos de crecimiento foliar, ambas especies presentan un comportamiento similar bajo las condiciones experimentales. En general, mientras que AIB desempeña un papel crucial en el enraizamiento, como se observa en los estudios de Soudre y Moncada, nuestros resultados sugieren que la longitud de las hojas no se ve influenciada de manera significativa por las condiciones estudiadas en el experimento. Esto sugiere que el impacto de AIB puede variar dependiendo del tipo de órgano evaluado.

4.3 Efecto del ácido indol-3-butírico en el enraizamiento y desarrollo de las estacas de capirona

No se detectó diferencias estadísticas entre las tres dosis de ácido indol butírico utilizadas en el enraizamiento de las estacas, principalmente se observan este efecto en la longitud de las raíces evaluadas al final del experimento. La prueba de Kruskal-Wallis nos indica que el valor de $P = 0.07$, mostrándonos estadísticamente que las dosis de 2000 4000 y

6000 ppm del ácido indol butírico utilizadas tienen el mismo efecto en el crecimiento longitudinal de las raíces de las especies evaluadas (figura 26)

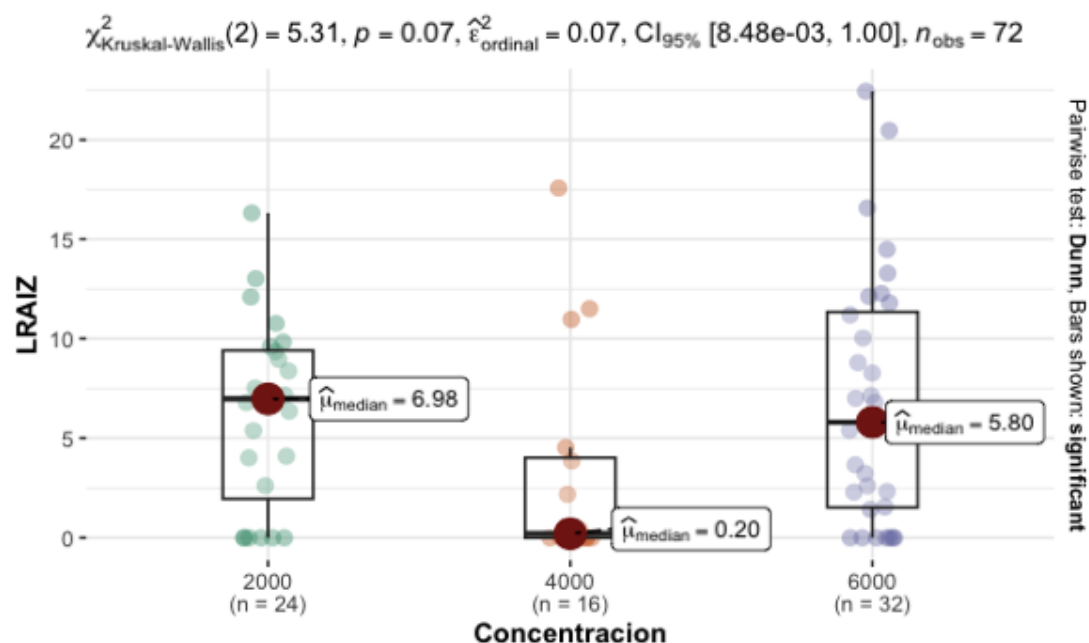


Figura 23. Efecto de las hormonas en la longitud de las raíces

La aplicación del ácido indol butírico en las estacas de Capirona tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) encontrándose que las dosis de 2000 y 6000 ppm produjeron mayor cantidad de raíces en las estacas al final del experimento, obteniéndose menos cantidad de raíces con la aplicación de 4000 ppm de ácido indol butírico (Figura 27).

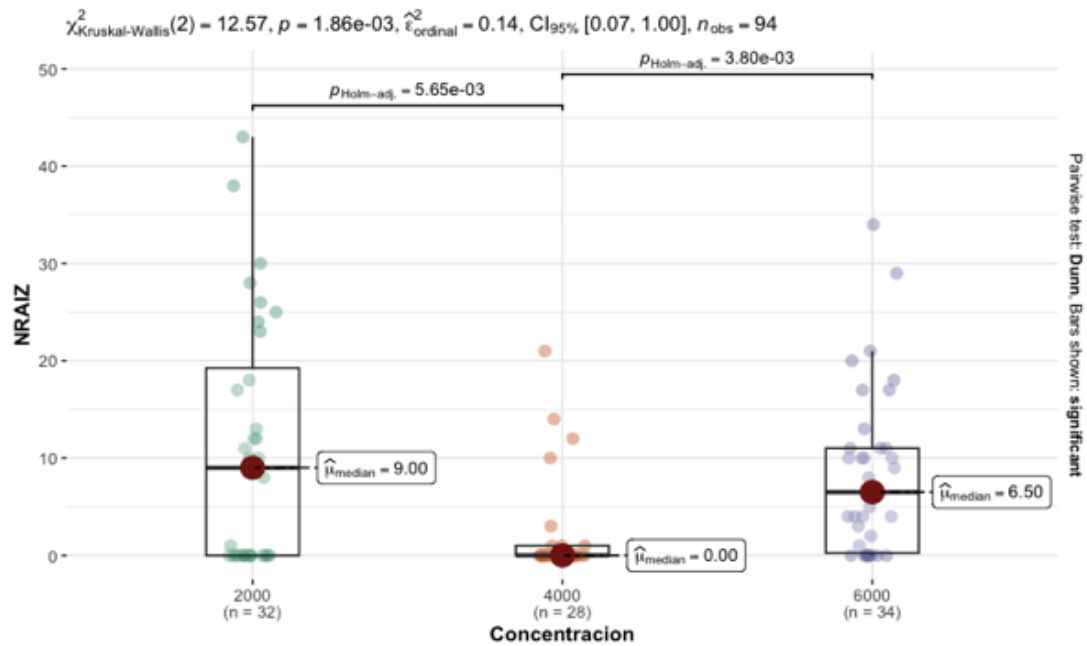


Figura 24. Efecto de las hormonas en el número de las raíces

De la misma forma, con la aplicación del ácido indol butírico en las estacas de Capirona tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) encontrándose que las dosis de 2000 y 6000 ppm produjeron brotes más largos en las estacas al final del experimento, obteniéndose brotes más cortos con la aplicación de 4000 ppm de ácido indol butírico (Figura 28).

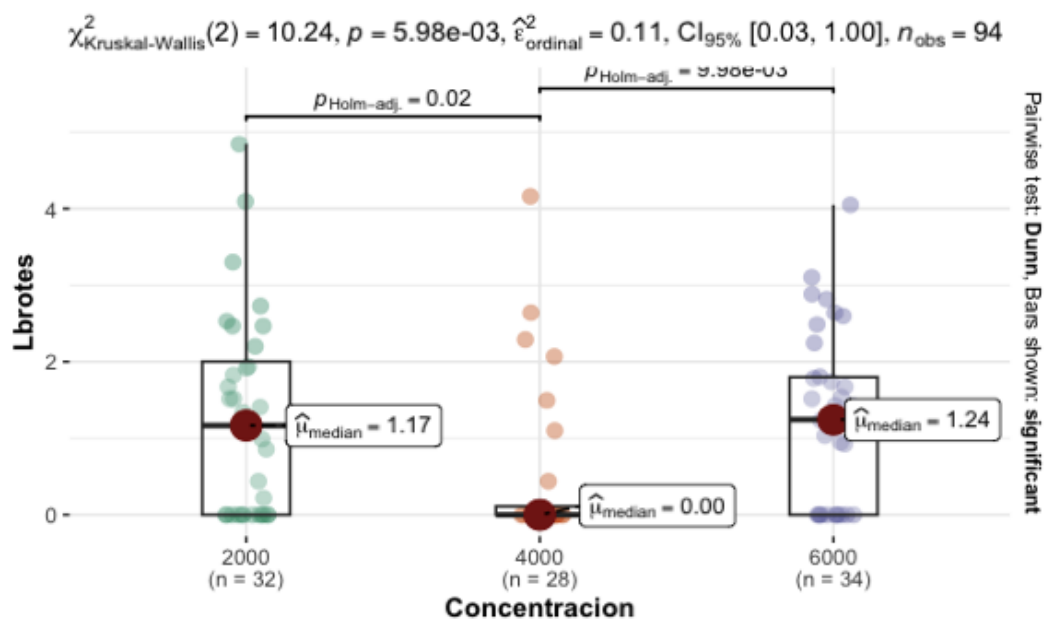


Figura 25. Efecto de las hormonas en la longitud de los brotes

La longitud de la hoja que se desarrolló en las estacas de Capirona no se vio influenciada por la aplicación del ácido indol butírico (2000 4000 y 6000 ppm), mostrándonos la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.10$) que las dosis de la hormona utilizada utilizadas tienen el mismo efecto en el crecimiento longitudinal de las hojas de las especies evaluadas (Figura 29)

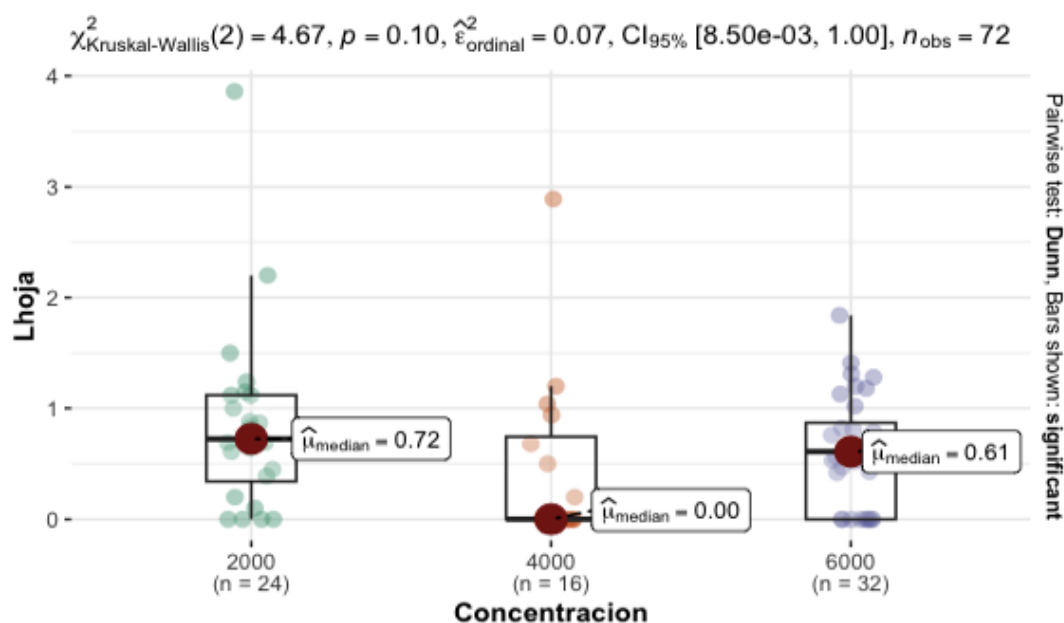


Figura 26. Efecto de las hormonas en la longitud de las hojas

El estudio de Vallejos, Gonzales y Arévalo (2014) demostró que el uso de ácido indol-3-butírico (AIB) a 3000 ppm en estaquillas con dos hojas logró un enraizamiento del 99 % en *Calycophyllum spruceanum*, lo que establece una metodología viable para la propagación a escala comercial. Los resultados destacaron la efectividad de los microtúneles como ambiente de enraizamiento, junto con el uso de pellets de jiffy como sustrato, proporcionando un entorno óptimo para el desarrollo de raíces.

Estos hallazgos contrastan con los resultados del estudio, donde no se encontraron diferencias significativas en la longitud de las raíces entre los diámetros de las estacas evaluadas, lo cual fue corroborado por la prueba de Mann-Whitney ($p=0.70$).

Además, los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en la longitud de las raíces entre las especies *Calycophyllum spruceanum* y *Capirona macrophylla* ($p=0.53$), lo que sugiere que, aunque el AIB puede promover el enraizamiento, su impacto en la longitud de las raíces no es determinante en las condiciones de mi experimento. En conclusión, aunque el AIB a 3000 ppm es efectivo para promover el enraizamiento en condiciones óptimas, como en el estudio de Vallejos et al., la longitud de las raíces parece estar menos influenciada por este factor en las condiciones evaluadas en mi investigación.

En la comparación de los resultados de Vásquez (2015) y nuestros hallazgos, ambos estudios evidencian la importancia de las condiciones específicas de enraizamiento y la influencia del ácido indol-3-butírico (AIB) se utiliza en la propagación vegetativa, aunque su efecto varía en intensidad. Según lo reportado por Vásquez (2015), al aplicar una dosis de 3000 ppm de AIB junto con arena de textura media como sustrato, se logró el porcentaje más elevado de enraizamiento (33%) en *Swietenia macrophylla* (conocida como caoba), mientras que en el segundo ensayo, las estacas basales con mayor longitud y área foliar también tuvieron un enraizamiento significativo (57%).

Por otro lado, los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre las dosis de 2000, 4000 y 6000 ppm de AIB en la longitud de las raíces de *Calycophyllum spruceanum* ($p=0.07$). Sin embargo, sí se encontró un efecto significativo en la cantidad de raíces, donde las dosis de 2000 y 6000 ppm favorecieron un mayor número de raíces, mientras que la dosis de 4000 ppm produjo menos raíces ($p<0.05$). Ambos estudios sugieren que el AIB es un factor clave para estimular el enraizamiento, pero los efectos varían según la especie y las condiciones experimentales. Mientras Vásquez destaca la dosis de 3000 ppm para *S. macrophylla*, nuestros hallazgos sugieren una mayor variabilidad en la respuesta de *C. spruceanum*.

Soudre et al. (2011) revelan que el enraizamiento de estacas de *Cedrelinga cateniformis* se optimiza con una dosis de 4000 ppm de AIB y el uso de arena

fina, logrando un enraizamiento del 70% en estaquillas de tipo media. Esto resalta la importancia de la combinación adecuada de hormonas y sustratos en el proceso de propagación. En contraste, los hallazgos del presente estudio sobre *Calycophyllum spruceanum* y *Capirona macrophylla* indican que, aunque se observaron variaciones en la longitud de hoja, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos tratados con diferentes concentraciones de AIB. Los análisis no paramétricos sugieren que otros factores, como el diámetro de las estacas o las condiciones ambientales, podrían estar influyendo en el desarrollo, lo que resalta la complejidad del enraizamiento y la necesidad de un enfoque integral en la investigación de la propagación vegetativa.

La comparación entre los resultados de Soudre et al. (2011) y Moncada (2012) resalta la relevancia del ácido indol-3-butírico (AIB) en el proceso de enraizamiento de diversas especies forestales, aunque su eficacia varía en función de la especie y las condiciones del experimento. Soudre et al. (2011) determinaron que en *Cedrelinga cateniformis*, una concentración de 4000 ppm de AIB combinada con arena fina como sustrato logró un enraizamiento aceptable del 70%, con una longitud media de raíz de 1.2 cm. Por otro lado, Moncada (2012) observó que en *Calycophyllum spruceanum*, las dosis de 2000 y 4000 ppm de AIB resultaron en porcentajes de enraizamiento del 93.33% y 86.67%, respectivamente, con longitudes de raíz significativamente superiores (29.72 y 22.86 cm), lo que resalta el efecto positivo de AIB en esta especie.

CONCLUSIONES

En este estudio se identificaron como factores clave para el enraizamiento de estacas de capirona la especie, el diámetro de las estacas y la dosis de ácido indol-3-butírico (AIB). Se evidenció que *Capirona macrophylla* y *Calycophyllum spruceanum* respondieron positivamente bajo condiciones de invernadero, mientras que *Calycophyllum megistocaulum* no mostró capacidad de enraizamiento, posiblemente debido a sus características leñosas y al tipo de material vegetativo empleado aceptando la hipótesis alternativa. En *C. macrophylla*, las estacas de menor diámetro (< 7 mm) tratadas con 2000 ppm de AIB alcanzaron el mayor porcentaje de enraizamiento (41,67 %), mientras que en *C. spruceanum* la mejor respuesta se obtuvo con estacas delgadas tratadas con 6000 ppm de AIB (30,53 %). Estos resultados confirman que la respuesta al enraizamiento es diferencial entre especies y depende de la interacción entre diámetro y concentración hormonal aceptando la hipótesis alternativa.

Asimismo, los análisis mostraron que las estacas más delgadas tuvieron ventajas fisiológicas, expresadas en mayor número y longitud de raíces, lo que favorece la absorción de agua y nutrientes y, por tanto, la capacidad de enraizamiento. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia general entre diámetros y especies, sí se observaron tendencias claras en los parámetros morfológicos de raíces y brotes. Esto demuestra que la selección de estacas juveniles, combinada con dosis adecuadas de AIB, constituye un factor determinante para optimizar el enraizamiento en estas especies forestales aceptando la hipótesis alternativa.

Finalmente, la investigación permite concluir que los factores clave que condicionan el éxito de la propagación vegetativa de capirona son: la especie, el diámetro de la estaca y la concentración de AIB aplicada. La interacción entre estos factores explica las diferencias en el comportamiento experimental y resalta la necesidad de ajustar los protocolos de propagación para cada especie. Estos hallazgos respaldan la hipótesis planteada y contribuyen al desarrollo de estrategias de conservación y manejo de germoplasma de

capirona, estableciendo bases para futuras investigaciones orientadas a optimizar la propagación de especies con baja respuesta, como *C. megistocaulum*.

SUGERENCIAS

Basado en los resultados obtenidos, se sugiere ajustar las estrategias de propagación para optimizar el enraizamiento de estacas de capirona. Primero, dado que no se observaron diferencias significativas en la capacidad de enraizamiento entre las especies bajo las concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB) evaluadas, se recomienda experimentar con diferentes dosis de AIB para cada especie específica, ya que algunas pueden responder mejor a concentraciones más altas o más bajas. La interacción significativa entre la especie y la concentración de AIB destaca la importancia de personalizar el tratamiento hormonal según las características particulares de cada especie para mejorar la tasa de enraizamiento.

Además, aunque el diámetro de las estacas no mostró efectos significativos en el porcentaje de enraizamiento ni en la supervivencia, se recomienda continuar investigando otras variables, como la procedencia de las estacas y las condiciones ambientales en el invernadero, para identificar factores que puedan influir en el éxito del enraizamiento. La falta de influencia del diámetro sugiere que el tamaño por sí solo no es un determinante clave, y un enfoque más integral podría ser necesario para mejorar los resultados.

Finalmente, en el caso específico de *Calycophyllum megistocaulum*, que no mostró capacidad de enraizamiento ni crecimiento, se aconseja explorar nuevas estrategias de propagación. Dado que las estacas tomadas de ramas terminales no resultaron efectivas, se recomienda realizar estudios adicionales utilizando yemas provenientes del tronco o brotes nuevos. La falta de información específica sobre esta especie subraya la necesidad de investigación adicional para establecer métodos de propagación más adecuados y efectivos, que podrían incluir la evaluación de diferentes partes de la planta para mejorar el enraizamiento.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICOS

- ABANTO, C., FARIAS, W., CARDOSO, P., SILVA, R.H. da, ALVES, E., GONÇALVES, M., GARCÍA DE LIMA, J.V., TADASHI, R., LOPES, J.L., MAFFEI, M.Á., SOUZA, C.C. y PAES, L.F., 2020. Determinación de evapotranspiración y coeficiente de cultivo de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 26, no. 3, pp. 175-188. ISSN 1027152X. DOI 10.5154/r.rchsh.2019.10.020.
- ABANTO-RODRIGUEZ, C., GARCÍA-SORIA, D., GUERRA-ÁREVALO, W., MURGA- ORRILLO, H., SALDAÑA-RÍOS, G., VÁZQUEZ-REÁTEGUI, D. y TADASHI-SAKAZAK, R., 2016a. Organic substrates in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) plants Production. *Scientia Agropecuaria*, vol. 7, pp. 341-347. ISSN 20779917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2016.03.23.
- ABANTO-RODRIGUEZ, C., GARCÍA-SORIA, D., GUERRA-ÁREVALO, W., MURGA- ORRILLO, H., SALDAÑA-RÍOS, G., VÁZQUEZ-REÁTEGUI, D. y TADASHI-SAKAZAK, R., 2016b. Organic substrates in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) plants Production. *Scientia Agropecuaria*, vol. 7, pp. 341-347. ISSN 20779917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2016.03.23.
- ABANTO-RODRIGUEZ, C., GARCÍA-SORIA, D., GUERRA-ÁREVALO, W., MURGA- ORRILLO, H., SALDAÑA-RÍOS, G., VÁZQUEZ-REÁTEGUI, D. y TADASHI-SAKAZAK, R., 2016c. Organic substrates in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) plants Production. *Scientia Agropecuaria*, vol. 7, pp. 341-347. ISSN 20779917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2016.03.23.
- ALVARADO, A. y MUNZÓN, M., 2019. Evaluación de la efectividad de gel de sábila y agua de coco como enraizantes naturales en diferentes sustratos para propagación asexual de árboles de *Ficus benjamina*. *Agronomía Costarricense*, ISSN 2215-2202. DOI 10.15517/rac.v44i1.40002.

- ATZORI, G. y CAPARROTTA, S., 2023. Different salt stress response in Kalanchoe plants during vegetative and asexual propagation. *South African Journal of Botany*, vol. 154, pp. 282-288. ISSN 02546299. DOI 10.1016/j.sajb.2023.01.027.
- BADILLA, Y. y GAMBOA, O., 2005. Enraizamiento de estacas de especies forestales. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)*. S.l.:
- BELLO, N., COY, C.A. y PEREZ, M.M., 2022. Revisión sistemática sobre tipos de sustratos utilizados en la propagación de orquídeas bajo invernadero. *Revista Mutis*, vol. 13, no. 1, pp. 1-18. ISSN 2256-1498. DOI 10.21789/22561498.1887.
- BORJAS, R., JULCA, A. y ALVARADO, L., 2020. Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, vol. 8, no. 2, pp. 150-164. ISSN 2308-3859. DOI 10.36610/j.jsab.2020.080200150.
- BRITTO, B., 2017. Actualización de las Ecorregiones Terrestres de Perú propuestas en el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Perú. *Gayana. Botánica*, vol. 74, no. ahead, pp. 0-0. DOI 10.4067/s0717-66432017005000318.
- BURGOS, Á.M., CENÓZ, P.J. y PRAUSE, J., 2009. Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *UDO Agrícola*, vol. 9,
- BUYEL, J.F., 2019. Plant Molecular Farming – Integration and Exploitation of Side Streams to Achieve Sustainable Biomanufacturing. *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, ISSN 1664-462X. DOI 10.3389/fpls.2018.01893.
- CARRILLO, E., AGUILERA, A., MELLADO, Ma.E. y BELTRÁN, E., 2024a. Participación del transporte simplástico de las auxinas durante el desarrollo de las plantas. *CienciaUAT*, pp. 06-18. ISSN 2007-7858. DOI 10.29059/cienciauat.v18i2.1833.
- CARRILLO, E., AGUILERA, A., MELLADO, Ma.E. y BELTRÁN, E., 2024b. Participación del transporte simplástico de las auxinas

- durante el desarrollo de las plantas. *CienciaUAT*, pp. 06-18. ISSN 2007-7858. DOI 10.29059/cienciauat.v18i2.1833.
- CASTRO, D., 2012. *Diagnóstico y caracterización de la enfermedad causada por Phytophthora s.p. en una plantación de Calycophylleum spruceanum en el Codo del Pozuzo* [en línea]. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina. [consulta: 14 abril 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1692>.
- CAZZOLA, F., MAGLIA, F., GUINDÓN, F. y BERMEJO, C.J., 2019. Selección de progenitores para planes de cruzamiento en arveja (*Pisum sativum* L.) y estimación de parámetros genéticos mediante el uso de blup. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*, no. 33, pp. 007-012. ISSN 2250-8872. DOI 10.35305/agro33.261.
- CHOQUENEIRA, J., 2025. *Caracterización morfológica de tres especies de la familia Rubiaceae en dos tipos de bosque en el distrito de Las Piedras - Tambopata, Madre de Dios* [en línea]. Puerto Maldonado: UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS. [consulta: 15 septiembre 2025]. Disponible en:
<https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1326>.
- CONDO, L. y PAZMIÑO, J., 2015. *Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias*. S.l.: s.n.
- CUÉLLAR, N.D. y ARRIETA, J.M., 2010. Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L, (Cayeno) en condiciones de campo y vivero. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, vol. 11, no. 1, pp. 61-72. ISSN 2500-5308. DOI 10.21930/rcta.vol11_num1_art:196.
- DÍAZ, E., 1991. *Técnicas de enraizado de estacas juveniles de Cedrela odorata L. y Gmelina arborea Linn.* Costa Rica: Centro agronomico tropical de investigacion y enseñanza.
- DUKE, J.A., 2019. *Handbook of Edible Weeds*. S.l.: CRC Press. ISBN 9781351071062.

- ERAS, V., MORENO, J., CORREA, G. y YAGUANA, M., 2021. Morphological characterization of the vegetative and reproductive organs of *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) in the Loja province (Ecuador). *Revista del Centro de estudio y desarrollo de la Amazonia*, vol. 11, pp. 13-21. ISSN 1390-5902.
- FANEGO, A., 2006. *Aportes a la metodología de propagación de Bougainvillea glabra Choisy*. La Habana: Universidad Agraria de la Habana.
- GARCÍA, M.E., 2016. La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción + Limpia*, vol. 11, no. 2, pp. 161-168. ISSN 19090455. DOI 10.22507/pml.v11n2a13.
- GATICA, N., 2015. *Acido indol 3 butirico con diferentes sustratos en la formacion de callos y el enraizamiento en estaquillas de Aniba rosaeodora Ducke #PALO DE ROSA" en Jenaro Herrera Loreto*. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- GENTRY, A., 1993. Four New Genera of Rubiaceae from South America. *A Journal for Botanical Nomenclature*, pp. 209-215.
- GUIGUES, A.A., 2019. Evaluación de crecimiento de plantulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta* en diferentes sustratos durante su fase de propagación, Lima. [en línea], pp. 95. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3897>.
- HARTMANN, H. y KESTER, D., 1995. *Propagación de plantas*. Continental. Distrito Federal de México: s.n.
- HE, Y., LIU, H., YANG, Q., CAO, Y., YIN, H., ZHOU, Z., YU, Q. y WANG, X., 2022. Neighborhood Effects on Tree Mortality Depend on Life Stage of Neighbors. *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, ISSN 1664-462X. DOI 10.3389/fpls.2022.838046.
- HERNÁNDEZ, A., SALGADO, R. y AMBRIZ, E., 2016. Propagación de *Dalbergia congestiflora* (Fabaceae) por estaca: efecto de la concentración de AIB y la posición de la estaca. *Nova Scientia*, vol. 8, no. 17, pp. 87. ISSN 2007-0705. DOI 10.21640/ns.v8i17.497.
- HERNÁNDEZ, F., CARRILLO, G., PEDRAZ, M.E., DE LA CRUZ, E. y MENDOZA, Ma. del C., 2014. Regeneración in vitro de brotes de

- Polianthes tuberosa L. a partir de yemas vegetativas de la inflorescencia y de tejido de cormo. *Nova Scientia*, vol. 7, no. 13, pp. 32. ISSN 2007-0705. DOI 10.21640/ns.v7i13.6.
- HOLDRIDGE, L.R., 1967. *Life zone ecology*. S.l.: s.n. ISBN B0007JDYF2.
- HUINGA, J., 2022. PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE CANELÓN (Aniba canelilla (Kunth) Mez) MEDIANTE EL MÉTODO DE ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS UTILIZANDO CÁMARA DE SUBIRRIGACIÓN, TAMBOPATA-MADRE DE DIOS". . Puerto Maldonado:
- JORDAN, M., PREHN, D., GEBAUER, M., NEUMANN, J., PARADA, G.M., VELOZO, J. y SAN MARTÍN, R., 2010. Adventitious root initiation in adult and juvenile cuttings of Guindilia trinervis, an endemic plant of Chile suitable for biodiesel production. *Bosque (Valdivia)*, vol. 31, no. 3, pp. 195-201. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002010000300003.
- KASSAMBARA, A., 2020. *ggpubr:"ggplot2" Based Publication Ready Plots* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. Disponible en: <https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/>.
- LATSAGUE, M., SÁEZ, P. y HAUENSTEIN, E., 2008. Inducción de enraizamiento en estacas de Berberidopsis corallina con ácido indolbutírico. *Bosque (Valdivia)*, vol. 29, no. 3, pp. 227-230. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002008000300006.
- LEAKEY, R., MESEN, J., TCHOUNDJEU, Z., LONGMAN, K., DICK, J., NEWTON, A., MATIN, A., GRACE, J., MUNRO, R. y MUTHOKA, P., 1990. LOW-TECHNOLOGY TECHNIQUES FOR THE VEGETATIVE PROPAGATION OF TROPICAL TREES. *Commonw. For. Rev* [en línea]. S.l.: [consulta: 14 abril 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283960965_Low-technology_techniques_for_the_vegetative_propagation_of_tropical_trees.
- LINARES, C. y DÍAZ, E., 1992. *Monografía sobre capirona: Calycophyllum spruceanum*. Lima: Cámara Nacional Forestal.

- LIZANA, S., 2019. *Enraizamiento de estacas de queñual (polylepis spp.) de diferentes procedencias y concentraciones hormonales de aib en cámara de sub-irrigación, Huancayo*. Huancayo: Universidad científica del Sur.
- MATSUURA, K., VARGO, E.L., KAWATSU, K., LABADIE, P.E., NAKANO, H., YASHIRO, T. y TSUJI, K., 2009. Queen Succession Through Asexual Reproduction in Termites. *Science*, vol. 323, no. 5922, pp. 1687-1687. ISSN 0036-8075. DOI 10.1126/science.1169702.
- MESÉN, F., 1998. *Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- MINAM, 2015. *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. S.l.: Ministerio del Ambiente.
- MORALES, A., 2022. *Efecto del abonamiento en el crecimiento inicial en plantaciones de Calycophyllum Spruceanum (Benth) Hook F. Ex Schuman, Satipo*. Satipo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- MORALES, E.J., 2016. *Propagación vegetativa de copaiba (Copaifera paupera (Herzog) Dwyne) mediante enraizamiento de estaquillas juveniles en cámaras de subirrigación, en Jenaro Herrera, Loreto, Perú*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- MORE, P., CUELLAR, J. y SALAZAR, E., 2021. Propagación vegetativa de *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page "ulcumano" en cámara de subirrigación en Chanchamayo / Perú. *Ecología Aplicada*, vol. 20, no. 1, pp. 15. ISSN 1993-9507. DOI 10.21704/rea.v20i1.1687.
- NICOTRA, A.B., ATKIN, O.K., BONSER, S.P., DAVIDSON, A.M., FINNEGAN, E.J., MATHESIOUS, U., POOT, P., PURUGGANAN, M.D., RICHARDS, C.L., VALLADARES, F. y VAN KLEUNEN, M., 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, vol. 15, no. 12, pp. 684-692. ISSN 13601385. DOI 10.1016/j.tplants.2010.09.008.

- NKONGHO, R.N., NDAM, L.M., AKONEH, N.N., TONGWA, Q.M., NJILAR, R.M., AGBOR, D.T., SAMA, V., OJONGAKPA, O.T. y NGONE, A.M., 2023. Vegetative propagation of F1 tomato hybrid (*Solanum lycopersicum* L.) using different rooting media and stem-nodal cuttings. *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 11, pp. 100470. ISSN 26661543. DOI 10.1016/j.jafr.2022.100470.
- OSORIO, M.A., RODRÍGUEZ, L., SIERRA, R. y TERÁN, W., 2023. Curvas de respuesta fotosintética a la luz: elucidando la capacidad fotosintética de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) aclimatadas a plena luz en Cundinamarca, Colombia. *Botanical Sciences*, vol. 101, no. 2, pp. 435-448. ISSN 2007-4476. DOI 10.17129/botsci.3118.
- PAEZ, V. de los A., ALBORNOZ, P.L., LIZARRAGA, E.F., SOBRERO, M.T. y CHAILA, S., 2018. Anatomía foliar y caulinar, y caracterización fitoquímica foliar de *Flaveria bidentis* y *F. haumanii* (Asteraceae) de Santiago del Estero, Argentina. *Acta Botanica Mexicana*, no. 126, ISSN 2448-7589. DOI 10.21829/abm126.2019.1409.
- PALACIOS, A.H. y ROUT, N.P., 2019. Efecto de diferentes medios y sustratos en el enraizamiento y adaptación de rosa transgénica. *Agronomía Mesoamericana*, pp. 115-129. ISSN 2215-3608. DOI 10.15517/am.v30i1.29541.
- PATIL, I., 2018. ggstatsplot: «ggplot2» Based Plots with Statistical details. *CRAN* [en línea], DOI 10.5281/zenodo.2074621. Disponible en: <https://cran.r-project.org/package=ggstatsplot>.
- PEREZ, V.R., PANDURO, N.M., SANCHEZ, J.G., CHUYMA, M.M. y VILLEGAS, P.P., 2019. EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE *Annona muricata* “GUANÁBANA” EN CÁMARA DE SUBIRRIGACIÓN. *Folia Amazónica*, vol. 28, no. 1, pp. 33-41. ISSN 2410-1184. DOI 10.24841/fa.v28i1.453.

- PINEDO, N., 2021. INFLUENCIA DEL SUSTRATO DE ALMACIGO Y LA EDAD DE REPIQUE EN LA SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook f. ex Schumann) EN JAÉN-PERÚ. [en línea]. Jaen: [consulta: 14 abril 2023]. Disponible en: <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/4807>.
- PORTA, H. y JIMÉNEZ, G., 2019. Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 22, ISSN 2395-8723. DOI 10.22201/fesz.23958723e.2019.0.160.
- RAMIREZ, C., 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* [en línea]. Tesis. Tingo Maria: Universidad Nacional Agraria de la Selva. [consulta: 11 julio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2213>.
- RAMOS, A.E., 2015. *Propagación por estacas de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) provenientes de árboles candidatos a plus en condiciones de cámara de sub-irrigación*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- RAMOS, A.E. y DOMÍNGUEZ, G., 2016. SELECCIÓN DE ÁRBOLES DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) COMO CANDIDATOS A ÁRBOLES "PLUS" PARA ENSAYOS DE REJUVENECIMIENTO Y BROTAÇÃO. *Ecología Aplicada*, vol. 15, no. 2, pp. 115. ISSN 1993-9507. DOI 10.21704/rea.v15i2.751.
- REYNEL, C., PENNINGTON, R.T., PENNINGTON, T.D., FLORES, C. y DAZA, A., 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana. *Talleres Gráficos de Botánica*,
- RÍOS, M.R., ROCHA, S.P., NIELLA, F., KELLER, H.A. y DUARTE, E.R., 2022. Factores que afectan el enraizamiento adventicio y brotación en estacas de *Hyptis australis* (Lamiaceae). *Revista Peruana de Biología*, vol. 29, no. 1, pp. e20809. ISSN 1727-9933. DOI 10.15381/rpb.v29i1.20809.

- ROSETO ALPALA, M.G., VELÁSQUEZ ARROYO, C.E., GARNICA MONTAÑA, J.P., TAPIE, W.A. y MACIAS VIVARES, A.D.J., 2023. Enraizamiento de propágulos de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. en el Banco de Germoplasma de Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, pp. 52472. ISSN 2215-3608. DOI 10.15517/am.2023.52472.
- RSTUDIO, T., 2021. *Integrated Development Environment for R* [en línea]. 2021. Boston,MA: s.n. 4.0.1. Disponible en: <http://www.rstudio.com/>.
- RUIZ, R., VARGAS, J.J., CETINA, V.M. y VILLEGAS, Á., 2005. EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) Y TIPO DE ESTACA EN EL ENRAIZADO DE *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 28, no. 4, pp. 319. ISSN 0187-7380. DOI 10.35196/rfm.2005.4.319.
- SÁNCHEZ, G., 2011. *Propagación vegetativa de cuatro especies forestales utilizando un propagador de subirrigación*. Tabasco: Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- SENAMHI, 2020. *Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional*. S.l.: s.n. vol. 53. ISBN 9788578110796.
- SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2020. CLIMAS DEL PERÚ - Mapa de Clasificación Climática Nacional. [en línea]. S.l.: [consulta: 8 abril 2023]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>.
- SERFOR, S.N.F. y de F.S., 2020. *Manual para la Identificación Botánica de Especies Forestales de la Amazonía Peruana*. Lima: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
- SHEARMAN, T.M. y VARNER, J.M., 2021. Variation in Bark Allocation and Rugosity Across Seven Co-occurring Southeastern US Tree Species. *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 4, ISSN 2624-893X. DOI 10.3389/ffgc.2021.731020.
- SOLÍS, C.A., JIMÉNEZ, V. y ARIAS, J., 2015. Propagación asexual de azul de mata (<i>Indigofera tinctoria</i> (OERST.) d. n.

- gibson, fam. acanthaceae) por medio de estacas. *Agronomía Costarricense*, ISSN 2215-2202. DOI 10.15517/rac.v39i2.21778.
- SOUDRE, M., MUERAS, L., LIMACHE, A., GUERRA, H., MESEN, F. y PEREZ, F., 2011. PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE TORNILLO *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) MEDIANTE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS JUVENILES EN PROPAGADOR DE SUBIRRIGACIÓN. *Folia Amazónica*, vol. 20, no. 1-2, pp. 83. ISSN 2410-1184. DOI 10.24841/fa.v20i1-2.334.
- STRASBURGER, E., 1994. *Tratado de botánica*. Omega. Barcelona: s.n.
- TAMAYO, G., 2001. Diseños muestrales en la investigación. . S.l.:
- TAYLOR, C., 1988. Rubiaceae of the Guianas. *Bulletin of the British Museum*, pp. 105-210.
- TAYLOR, C., 1992. Notes on the Rubiaceae of Peru. *Novon* [en línea], [consulta: 21 abril 2023]. ISSN 1055-3177. Disponible en: <https://tropicos.org/name/27909943>.
- TEISHER, J. y STIMMEL, H., 2023. Tropicos Specimens Non-MO. *Missouri Botanical Garden*,
- TORRES, A.G.M., 2003. *Relação entre sazonalidade, desrama e carboidratos no crescimento do eucalipto na propagação vegetativa por miniestaquia*. Piracicaba: Universidade de São Paulo.
- TORRES, R.E., 2006. SUELOS Y CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LAS TIERRAS. [en línea]. Iquitos: Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/>.
- VALLEJOS, G., GONZALES, L.E. y AREVALO, L.A., 2014. Enraizamiento de brotes de capirona *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex Schum., en la amazonía peruana. *Revista forestal mesoamericana Kuru* [en línea], Disponible en: www.tec.ac.cr/revistaforestal.
- VALLEJOS, J., BADILLA, Y., PICADO, F. y MURILLO, O., 2009a. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, ISSN 2215-2202. DOI 10.15517/rac.v34i1.6704.

- VALLEJOS, J., BADILLA, Y., PICADO, F. y MURILLO, O., 2009b. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, ISSN 2215-2202. DOI 10.15517/rac.v34i1.6704.
- VÁSQUEZ, L., 2015. Propagación vegetativa de *Swietenia macrophylla* (caoba) mediante enraizamiento de estaquillas juveniles en cámaras de subirrigación, en Pucallpa, Perú. *Conocimiento Amazonico*, vol. 2,
- VILLEGAS, P.P., REÁTEGUI, R.C., VARGAS FLORES, J.I. y SÁNCHEZ, J.G., 2018. EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACIDO INDOLBUTÍRICO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTAQUILLAS DE *Dipteryx micrantha* Harms (SHIHUAHUACO) EN CÁMARA DE SUB IRRIGACIÓN, YARINACocha – UCAYALI. *REPOSITORIO DE REVISTAS DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE PUCALLPA*, vol. 2, no. 02, ISSN 2664-8105. DOI 10.37292/riccva.v2i02.59.
- WANG, Y., HTWE, Y.M., IHASE, L.O., SHI, P., CAO, H. y LEI, X., 2018. Pollen germination genes differentially expressed in different pollens from Dura, Pisifera and Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.). *Scientia Horticulturae*, vol. 235, pp. 32-38. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2018.02.004.
- WICKHAM, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for data Analysis* [en línea]. S.l.: Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponible en: <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- ZANONI, C., 1975. *Propagación vegetativa por estacas de ocho especies forestales*. Costa Rica: Centro agronomico tropical de investigacion y enseñanza.

ANEXO

ANEXOS

Anexo 1: Características botánicas de Capirona de hoja ancha (Capirona macrophylla Spruce) por Teisher y Stimmel (2023). Muestra depositada en el herbario alwyn gentry (Choqueneira 2025)



Anexo 2: Características botánicas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex Schum, por Reynel et al. 2003, p.455. Muestra depositada en el herbario alwyn gentry (Choqueneira 2025)



Anexo 3: Características botánicas de Capirona de larga o capirona de altura (*Calycophyllum megistocaulum* (K. Krause) C.M. Taylor) por Taylor (1992). Muestra depositada en el herbario alwyn gentry (Choqueneira 2025)



Anexo 4: Mapa de Ubicación del área de estudio

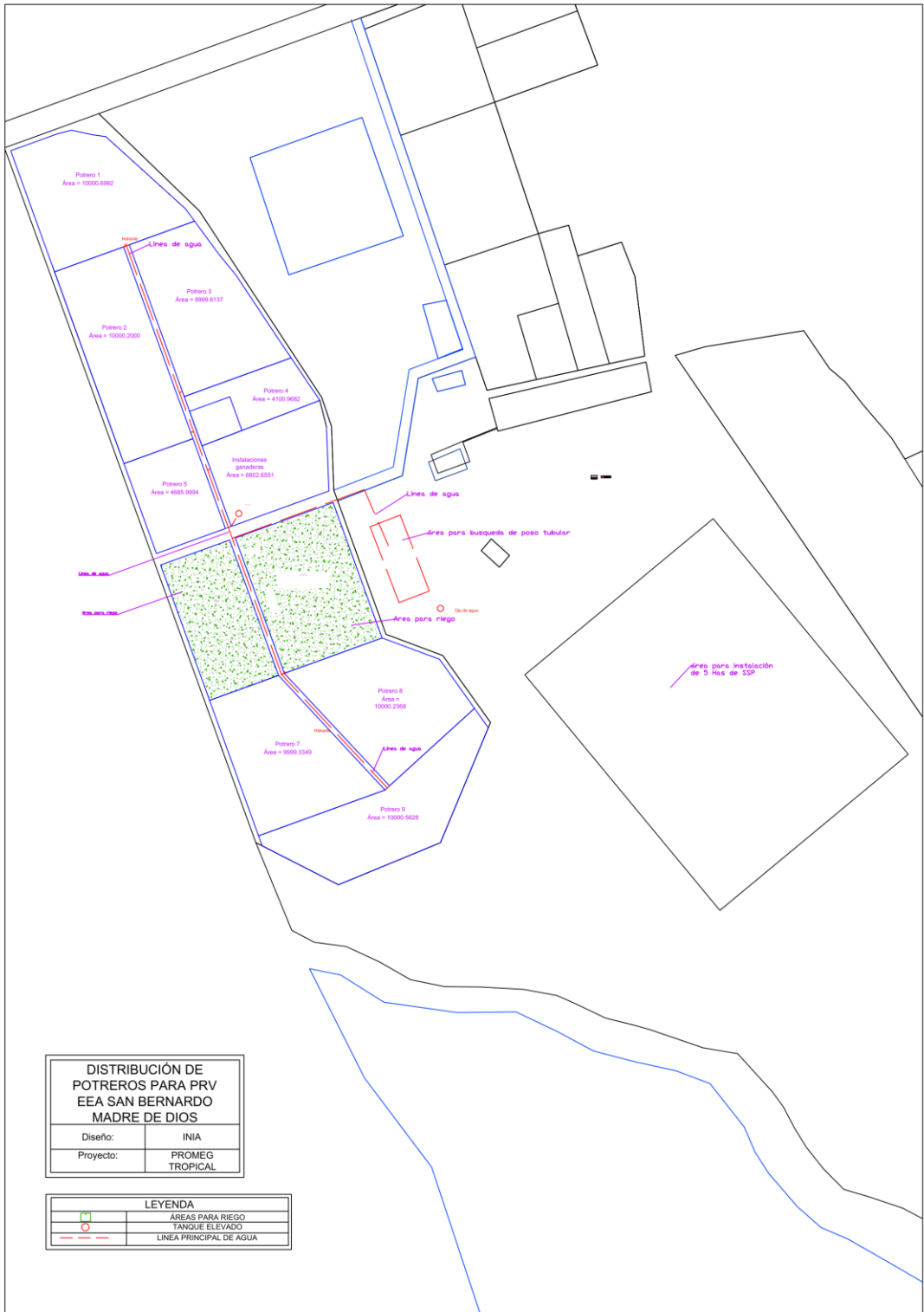


Figura 3. Mapa de Ubicación de los viveros de la EEA San Bernardo del INIA- Instituto Nacional de Innovación Agraria en Madre de Dios

Anexo 5: Matriz de consistencia

Título: Evaluación de factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios				
Nombre del tesista: CCARI QUISPE, Alderson Ruso				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables/ Indicadores	Metodología
Problema General ¿Cuál es la potencialidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios? Problemas específicos ¿Cuál es la capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios? ¿Cuál es el efecto del diámetro y dimensión de las estacas en el enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios? ¿Cuál es la dosis adecuada de bioestimulante de tipo ácido indol-3-butírico para el enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en invernadero con microtúneles en el	Objetivo General Evaluar los factores clave para el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona (C. megistocaulum, C. macrophylla y C. spruceanum) en invernadero con microtúneles en el distrito de Tambopata - Madre de Dios Objetivos específicos Evaluar la capacidad de enraizamiento de estacas de tres especies de capirona en propagador de subirrigacion en el distrito de Tambopata - Madre de Dios. Evaluar el efecto de la especie y del diámetro de capirona en el desarrollo de las hojas y los brotes en el propagador de subirrigacion en el distrito de Tambopata - Madre de Dios. Evaluar el efecto del ácido indol-3-butírico en el enraizamiento y desarrollo de las estacas de tres especies de capirona en propagador	Hipótesis General La combinación óptima de factores clave, incluyendo la capacidad de enraizamiento de estacas, el diámetro y dimensión de las estacas, y la dosis de bioestimulante, influye en el enraizamiento exitoso de estacas de tres especies de capirona. Hipótesis específica Existe una diferencia significativa en la capacidad de enraizamiento entre las estacas de las tres especies de capirona en condiciones de invernadero. El diámetro y dimensión de las estacas tienen un efecto significativo en el enraizamiento de las tres especies de capirona en condiciones de invernadero. Existe una dosis de ácido indol-3-butírico que tiene un efecto significativo en el enraizamiento de las estacas de las tres especies de	Variables independientes Dimensiones de las estacas (Diámetro menos a 7 mm, Diámetro mayor a 7 mm) Concentración de ácido indol-3-butirico (2000 ppm, 4000 ppm y 6000 ppm) Tres tipos de capirona (<i>Calycophyllum megistocaulum</i>, <i>Capirona macrophylla Spruce</i> y <i>Calycophyllum spruceanum</i>) Variables dependientes Crecimiento inicial de las tres especies de capirona en términos de: Altura al ras del suelo Longitud de las estacas Numero de Hojas Capacidad de enraizamiento de estacas.	Enfoque: El presente estudio es de tipo experimental y aplicado Experimental. Se busca evaluar el efecto del diámetro y dimensión de las estacas en el enraizamiento mediante la manipulación y comparación de diferentes tamaños de estacas. Diseño Para realizar el estudio se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 3A x 3B, con tres tratamientos, cuatro repeticiones y 10 brotes por repetición Nivel El objetivo se centra en obtener información práctica sobre cómo el diámetro y dimensión de las estacas afectan el enraizamiento de las especies de capirona en un entorno específico.

distrito de Tambopata - Madre de Dios?	de subirrigacion en el distrito de Tambopata - Madre de Dios.	capirona en condiciones de invernadero.	Tipo: Cuantitativa. Se realizarán mediciones y recopilación de datos numéricos para evaluar y comparar el efecto del diámetro y dimensión de las estacas en el enraizamiento. Métodos: Para poder determinar y seleccionar los individuos de las tres especies de Capirona, se consideraron los árboles semilleros óptimos. Para esto, se recolectarán 240 estacas de cada especie. Cabe mencionar que las estacas se colectarán de la parte terminal de la yema. Las estacas serán recolectadas en las primeras horas de la mañana (7:00 am) para evitar resecamiento y estrés hídrico. Se obtendrán estacas de 5 cm de largo con $\frac{1}{4}$ de la hoja o área foliar. Posteriormente, se introducirán en un enraizado con aditivo de alcohol al 96°. Finalmente, se instalarán en los sustratos a una profundidad de 4 cm con un distanciamiento entre estacas de 10 cm.
--	---	---	--

Anexo 6: Instrumento de recolección de Datos

Método de propagación

Especie:

Personal a cargo

Sustrato

Fecha

Evaluación

Vigor

Excelente:1

Bueno: 2

Regular: 3

Malo: 4

[illegible]