

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE PLANTONES DE
***Ceiba pentandra* (L.) Gaertn A NIVEL DE VIVERO BAJO**
INFLUENCIA DE UN BIOL HIDROBIOLÓGICO
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

Autor: Bach. Yanner Jolsen Cruz Castillo

Asesores: M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre

Dr. Luis Arturo Gil Ramírez

**Línea de investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento de los
recursos naturales**

JAÉN – PERÚ

2025

Yanner Jolsen Cruz Castillo

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE PLANTONES DE *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn A NIVEL DE VIVERO BAJO INFLUENCI...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3447331510

66 páginas

Fecha de entrega

17 dic 2025, 12:54 p.m. GMT-5

12.162 palabras

Fecha de descarga

17 dic 2025, 12:56 p.m. GMT-5

70.786 caracteres

Nombre del archivo

Yanner_Jolsen_Cruz_Castillo_Informe.pdf

Tamaño del archivo

5.7 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huaman Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 29 de diciembre del año 2025, siendo las 11:40 horas, se reunieron los integrantes del Jurado evaluador de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidenta: Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga

Secretario: Dr. Mario Ruíz Ramos

Vocal: Dr. Cirilo Mario Caira Mamani, para evaluar la sustentación del:

- () Informe final de tesis
() Proyecto de tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE PLANTONES DE *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn A NIVEL DE VIVERO BAJO INFLUENCIA DE UN BIOL HIDROBIOLÓGICO”, presentado por el estudiante Yanner Jolsen Cruz Castillo de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:


- () Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría


Con la siguiente mención:


- | | | |
|----------------|------------|---|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | (<input type="checkbox"/>) |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (<input checked="" type="checkbox"/>) |
| c) Bueno | 14, 15 | (<input type="checkbox"/>) |
| d) Regular | 13 | (<input type="checkbox"/>) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | (<input type="checkbox"/>) |

Siendo las 12:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 29 de diciembre de 2025


Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Presidenta


Dr. Mario Ruíz Ramos
Secretario


Dr. Cirilo Mario Caira Mamani
Vocal-Accessitario

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Yanner Jolsen Cruz Castillo, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 72648482.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE PLANTONES DE *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn A NIVEL DE VIVERO BAJO INFLUENCIA DE UN BIOL HIDROBIOLÓGICO”.

Asesorado por M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre y Dr. Luis Arturo Gil Ramírez.

El mismo que presento bajo la modalidad de Informe Final de Tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 28 de mayo de 2026.



Yanner Jolsen Cruz Castillo

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1. Localización del estudio.....	15
2.2. Materiales y equipos	16
2.3. Población, muestra y muestreo	18
2.4. Diseño experimental.....	18
2.5. Procedimientos para la propagación en vivero	19
2.5.1. Obtención de semillas y germinación	19
2.5.2. Preparación del sustrato y repique	20
2.5.3. Acondicionamiento de los tratamientos.....	20
2.5.4. Repique de plántulas de <i>C. pentandra</i>	20
2.5.5. Labores culturales	20
2.5.6. Aplicación del biol hidrobiológico	21
2.6. Determinación de la calidad de plantones de <i>C. pentandra</i> bajo influencia de biol hidrobiológico	21
2.6.1. Altura	21
2.6.2. Diámetro del tallo	22
2.6.3. Número de Hojas	22
2.6.4. Área foliar	23
2.6.5. Longitud de la raíz principal	24

2.6.6.	Peso fresco y seco de la biomasa aérea y radicular	25
2.6.7.	Cálculo de Indicadores de Calidad	25
2.7.	Cuantificación del contenido de clorofila	26
2.8.	Determinación de la concentración óptima del biol hidrobiológico para producir plantones de <i>C. pentandra</i> de calidad.....	27
2.9.	Análisis estadístico.....	27
III.	RESULTADOS.....	28
3.1.	Evaluación los índices de calidad de los plantones de <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	28
3.2.	Cuantificación de clorofila de los platones de <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	34
3.3.	Determinación de la concentración óptima de biol hidrobiológico para producir plantones de calidad.	34
IV.	DISCUSIÓN	36
V.	CONCLUSIONES	41
VI.	RECOMENDACIONES	42
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
VIII.	AGRADECIMIENTOS	49
IX.	DEDICATORIA	50
X.	ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Materiales y equipos utilizados en la ejecución de la tesis</i>	16
Tabla 2 <i>Tratamientos aplicados en el Diseño Completamente al Azar</i>	19
Tabla 3 <i>Resultado de los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad</i>	28
Tabla 4 <i>Estadísticos descriptivos de índices de calidad de C. pentandra según el tratamiento</i> .	29
Tabla 5 <i>Comparación de los tratamientos para determinar la concentración óptima de biol hidrobiológico en plantones de C. pentandra</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del área de estudio</i>	15
Figura 2 <i>Distribución aleatoria de los tratamientos del Diseño Completamente al azar</i>	19
Figura 3 <i>Distancia considerada para la altura de un plantón de C. pentandra</i>	21
Figura 4 <i>Medición del diámetro del tallo de un plantón de C. pentandra</i>	22
Figura 5 <i>Conteo del número de hojas</i>	22
Figura 6 <i>Ubicación de las hojas sobre la pizarra acrílica codificada</i>	23
Figura 7 <i>Cálculo del área foliar de un plantón de C. pentandra en el programa ImageJ</i>	24
Figura 8 <i>Longitud de la raíz principal considerada en la evaluación de plantones</i>	24
Figura 9 <i>Determinación rápida del contenido de clorofila con el equipo SPAD-502 Plus</i>	26
Figura 10 <i>Diagrama metodológico de la propagación y evaluación de plantones de C. pentandra</i>	27
Figura 11 <i>Prueba de Kruskal-Wallis y test de Dunn para los índices de calidad de plantones de C. pentandra</i>	33
Figura 12 <i>Prueba de Kruskal-Wallis y test de Dunn para el contenido de clorofila</i>	34
Figura 13 <i>Comparación de los tratamientos para determinar la dosis óptima de biol hidrobiológico</i>	35
Figura 14 <i>Correlación de variables morfológicas vs. variable fisiológica</i>	36
Figura 15 <i>Script para los supuestos estadísticos</i>	51
Figura 16 <i>Resultado de las pruebas de supuestos estadísticos en el entorno de RStudio</i>	52
Figura 17 <i>Resultado de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk</i>	53
Figura 18 <i>Resultado de la homogeneidad mediante la prueba de Levene</i>	54
Figura 19 <i>Configuración de la escala en ImageJ utilizando una regla como referencia</i>	55
Figura 20 <i>Cálculo del área foliar en el software ImageJ</i>	55
Figura 21 <i>Informe de la caracterización del biol hidrobiológico</i>	56
Figura 22 <i>Informe de la caracterización del sustrato</i>	58
Figura 23 <i>Interpretación de la caracterización del sustrato</i>	61
Figura 24 <i>Informe de evaluación del lote de semillas en el Laboratorio de Silvicultura</i>	62
Figura 25 <i>Frutos y semillas de C. pentandra</i>	62
Figura 26 <i>Tamizado, mezcla, llenado del sustrato y armado de las camas de repique</i>	63

Figura 27 <i>Extracción de las plántulas de la cama de germinación</i>	64
Figura 28 <i>Siembra de las plántulas en las camas de repique</i>	64
Figura 29 <i>Aplicación del biol hidrobiológico a los plantones de C. pentandra</i>	65
Figura 30 <i>Medidor portátil de clorofila (Konica Minolta, SPAD-502 Plus)</i>	66
Figura 31 <i>Toma de medidas del contenido de clorofila</i>	66
Figura 32 <i>Evaluación de plantones en campo</i>	67
Figura 33 <i>Secado de biomasa radicular y aérea en la estufa</i>	68
Figura 34 <i>Solicitud para el uso de herramientas y equipos del laboratorio de Silvicultura- DAIFA</i>	69
Figura 35 <i>Solicitud para el uso de equipos del Laboaratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental</i>	70

RESUMEN

La evaluación de los índices de calidad de plantones es fundamental para predecir su desempeño en campo definitivo. En ese sentido, se determinó la calidad de plantones de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. bajo la influencia de un biol hidrobiológico, utilizando un diseño experimental completamente al azar, estableciendo cuatro tratamientos y cuatro repeticiones: T1: 0 % de biol (control); T2: 15 % de biol; T3: 30 % de biol; y T4: 45 % de biol. Se evaluaron variables morfológicas y fisiológicas para calcular índices de calidad: Dickson (ICD), esbeltez (IE), proporcionalidad biométrica (IPB), lignificación (IL), área foliar, longitud de raíz principal y contenido de clorofila, las cuales se analizaron mediante la prueba Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que el T4 obtuvo los mejores valores, destacando el ICD (1.60), área foliar (750.86 cm²), longitud de raíz (27.15 cm) y contenido de clorofila (45.02 SPAD), evidenciando un mejor desarrollo en la mayoría de las variables evaluadas. El T3 presentó un desempeño intermedio, mientras que el T2 evidenció mejoras parciales respecto al T1, que registró un menor desempeño. Se concluye que el biol hidrobiológico constituye una alternativa sostenible y eficiente para la propagación de *C. pentandra*, reduciendo la dependencia de insumos químicos y promoviendo prácticas amigables con el ambiente.

Palabras clave: Clorofila, crecimiento radicular, fisiología vegetal, producción en viveros, variables morfológicas.

ABSTRACT

The evaluation of seedling quality indices is essential for predicting their performance in the field. In this regard, the quality of *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. seedlings was determined under the influence of a hydrobiological biol, using a completely randomized experimental design, establishing four treatments and four replicates: T1: 0% biol (Control); T2: 15% biol; T3: 30% biol; and T4: 45% biol. Morphological and physiological variables were evaluated to calculate quality indices: Dickson (ICD), slenderness (IE), biometric proportionality (IPB), lignification (IL), leaf area, main root length, and chlorophyll content, which were analyzed using the Kruskal-Wallis test. The results showed that T4 obtained the best values, highlighting the ICD (1.60), leaf area (750.86 cm²), root length (27.15 cm), and chlorophyll content (45.02 SPAD), showing better development in most of the variables evaluated. T3 showed intermediate performance, while T2 showed partial improvements over T1, which recorded lower performance. It is concluded that hydrobiological bio-fertilizer is a sustainable and efficient alternative for the propagation of *C. pentandra*, reducing dependence on chemical inputs and promoting environmentally friendly practices.

Keywords: Chlorophyll, root growth, plant physiology, nursery production, morphological variables.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de plántones de calidad constituye un elemento clave para el éxito de los programas de reforestación y restauración forestal en el Perú y en el mundo (García-Decoro et al., 2024; Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea, 2020). Estudios realizados han demostrado que la adaptación y el desarrollo de las especies forestales en campo definitivo dependen en gran medida de los indicadores de calidad de los plántones producidos en viveros, donde la calidad de la planta está asociada a características morfológicas y fisiológicas como la altura, diámetro del tallo, desarrollo radicular, contenido de clorofila y vigor (Bernaola-Paucar et al., 2022; Muñoz et al., 2015; Rueda-Sánchez et al., 2014; Sáenz-Reyes et al., 2019). Por ello, la falta de atención a estos índices de calidad en los viveros forestales ha generado una baja capacidad de adaptación y desarrollo en el campo definitivo. Esta carencia es una de las principales razones por las que los proyectos forestales no siempre alcanzan los resultados esperados (Muñoz et al., 2015; Reyes-Reyes et al., 2024; Rueda-Sánchez et al., 2014).

La producción de plántones depende en gran medida del uso de fertilizantes sintéticos, aunque estos pueden favorecer el crecimiento inicial, su uso intensivo genera impactos negativos en el ambiente, incrementa los costos de producción y no siempre garantiza un desarrollo equilibrado (Jaulis et al., 2024). En este escenario, surge la necesidad de explorar alternativas sostenibles como los bioles de origen hidrobiológicos, biofertilizantes líquidos elaborados a partir de residuos ricos en nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento vegetal (Jalixto et al., 2020; Gil-Ramírez et al., 2023). Por otro lado, la falta de uso de abonos orgánicos en viveros forestales limita el aprovechamiento de recursos, entre ellos los residuos vegetales propios de la producción viverista. Asimismo, la aplicación de bioles representa una estrategia innovadora con alto potencial para mejorar la calidad de los plántones, reducir la dependencia de insumos químicos y contribuir a la economía circular mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos (Jansen et al., 2024; Ruiz, 2018).

Diversos estudios han demostrado que los biofertilizantes mejoran las condiciones del suelo y aportan nutrientes esenciales, incrementando la probabilidad de supervivencia y desarrollo de plántones en campo (Aguilar, 2024; Barrios, 2016). Zucchetti (2023) señaló que el uso de bioles enriquecidos con microorganismos y materia orgánica favorece la absorción de nutrientes y la actividad fisiológica en viveros. De manera similar, en México, (Sáenz-Reyes

et al., 2019) evidenciaron que los fertilizantes biológicos incrementan los indicadores de calidad de los plantones. Sin embargo, son escasas las investigaciones que evalúan el efecto de bioles hidrobiológicos en especies de ecosistemas forestales de Jaén, en particular en *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.

La *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn conocida en la parte amazónica del Perú como “Lupuna”, es una especie nativa de gran importancia ecológica y socioeconómica (Noa, 2021). Su madera, de rápido crecimiento y múltiples aplicaciones, ha adquirido creciente demanda en los últimos años debido a la disminución de otras especies maderables de alto valor, lo que ha incrementado la presión sobre poblaciones naturales (Chamba, 2025). Frente a ello, la instalación de plantaciones forestales con *C. pentandra* se presenta como una alternativa viable para reducir la extracción indiscriminada de bosques y promover un manejo sostenible (Anguiby et al., 2020).

Ante este escenario, esta presente investigación se justifica en distintos niveles. Desde el ámbito científico, contribuirá con nuevos conocimientos sobre el efecto de diferentes concentraciones de biol hidrobiológico en la calidad de plantones de *C. pentandra*, estableciendo una línea base para futuras investigaciones en biofertilización forestal y su influencia en índices de calidad de plantones forestales. Desde la perspectiva ambiental, promueve prácticas de manejo sostenibles y amigables con el ecosistema al reducir el uso de fertilizantes químicos y el manejo de residuos orgánicos en el sector forestal en la producción de abonos. En el aspecto social y económico, ofrece a viveristas y comunidades locales una alternativa accesible y de bajo costo para producir plantones de calidad, favoreciendo el éxito de programas de reforestación y la conservación de los bosques tropicales.

Finalmente, el objetivo general de este trabajo fue determinar la calidad de plantones de *C. pentandra* a nivel de vivero bajo la influencia de un biol hidrobiológico. Los objetivos específicos se orientaron a: evaluar los índices de calidad morfológica y fisiológica de los plantones; cuantificar el contenido de clorofila foliar; y determinar la concentración óptima de biol hidrobiológico para producir plantones de calidad. De esta manera, la investigación busca aportar evidencias científicas y recomendaciones prácticas que permitan optimizar la producción de plantones de *C. pentandra*, contribuyendo al éxito de programas de reforestación y al manejo sostenible de los recursos forestales en zonas tropicales.

2.2. Materiales y equipos

Materiales

Tabla 1

Materiales y equipos utilizados en la ejecución de la tesis

Tipo	Cantidad	Utilidad
Materiales		
Lapicero	2	Se empleó para el registro de datos
Libreta de apuntes	1	Fue utilizada para guardar datos en campo
Regla de 50 cm	1	Se empleó para medir la altura y longitud de la raíz de los plántones
Papel bond	3 cientos	Se utilizó para imprimir formatos de campo
Alambre galvanizado (N° 16 = 1.65 mm)	½ kg	Se utilizó para armar el túnel de cama de repique y cama de germinación
Listones de madera de 3x2 pulgadas por 8 m.	10	Se utilizó para dividir los tratamientos y repeticiones
Bolsas de papel Kraft	2 cientos	Se utilizaron para guardar muestras llevadas a secar en la estufa
Bolsas de polietileno 6 pulg. × 9 pulg. × 1.5 mm	5 cientos	Se utilizó para enfilear en las camas de repique
Clavos de 3 pulg.	½ kg	Se utilizaron para clavar los listones de madera en las camas de repique
Sacos de polietileno	10	Se utilizó para trasladar y almacenar la arena, tierra agrícola y compost
Malla para zaranda	0.5 m ²	Se utilizó para zarandear el sustrato
Pizarra acrílica de 40x20 cm	1	Se utilizó para tomar fotografías a las hojas de los plántones
Plumón negro para pizarra	1	Se utilizó para codificar las hojas en la pizarra acrílica
Herramientas		
Martillo	1	Se utilizó para armar las camas de repique

Pala recta clásica	1	Se utilizó para escarbar la tierra y preparar el sustrato
SERRUCHO de carpintero	1	Se utilizó para cortar los listones de madera en el armado de las camas de repique
Regadera de 8 L	1	Se empleó para el riego de los plantones
Barreta hexagonal	1	Para remover la tierra
Flexómetro de 5 m (Truper FA-5M)	1	Se utilizó para medir los listones de madera y la altura de los plantones evaluados
Baldes plásticos de 20 L	3	Se utilizó para preparar las concentraciones del biol hidrobiológico
Tijera de podar de puño	1	Se utilizó para separar la masa aérea y radicular de los plantones evaluados
Recipiente de 5 L	1	Se utilizó para trasladar las plántulas de la cama de germinación a las camas de repique
Vernier electrónico (0150)	1	Se utilizó para medir el diámetro de los plantones
Equipos		
Laptop Lenovo IdeaPad 3i Gen 7 (15" Intel)	1	Se utilizó para la redacción, procesamiento y análisis de datos
Memoria USB	1	Se utilizó para guardar la información
Cámara (celular)	1	Se empleó para tomar fotografías para determinar el área foliar y evidencia de la investigación
Balanza analítica A&D (FX-2000i)	1	Se utilizó para pesar las muestras de los plantones
Horno JSR (JSOF-400T)	1	Se utilizó para secar las muestras de los plantones evaluados
Medidor de clorofila (Konica Minolta, SPAD-502 Plus)	1	Se utilizó para medir el contenido de clorofila de los plantones
Insumos		
Semillas de <i>Ceiba pentandra</i>	50 gr	Se utilizó para propagar plantones para la investigación

Tierra agrícola	0.6 m ³	Se utilizó para preparar el sustrato
Arena de río	0.4 m ³	Fue utilizada en la cama de germinación y preparación del sustrato
Formol al 40 %	120 ml	Se utilizó para desinfectar la cama de germinación
Compost	0.2 m ³	Se empleó para preparar el sustrato

2.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población estuvo constituida por un total de 480 plantones de *C. pentandra*, las cuales se instalaron en el Módulo Experimental para la Evaluación de Tecnologías de la Industria 4.0.

Muestra

La muestra estuvo constituida por 224 plantones de *C. pentandra*, las mismas que se obtuvieron al seleccionar 56 plantones por tratamiento.

Muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico (por conveniencia), seleccionando los plantones con las características morfológicas consideradas al trasladarlos del vivero al campo definitivo (Ponce & Pasco, 2015).

2.4. Diseño experimental

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (Tabla 2). Los tratamientos consistieron en la aplicación de un biol a base de residuos de pescado, en concentraciones de 0 % (testigo), 15 %, 30 % y 45 %, cada tratamiento con 120 plantones de *C. pentandra*.

Tabla 2

Tratamientos aplicados en el Diseño Completamente al Azar

Tratamiento	Código	Detalle
T ₁	B ₁ C ₁	Sustrato + agua
T ₂	B ₁ D ₁	Sustrato + biol H. al 15 %
T ₃	B ₁ D ₂	Sustrato + biol H. al 30 %
T ₄	B ₁ D ₃	Sustrato + biol H. al 45 %

Nota: B = sustrato (3v:2v:1v; tierra agrícola: arena: compost); C = testigo; y, D = biol hidrobiológico.

Figura 2

Distribución aleatoria de los tratamientos del Diseño Completamente al azar



Nota: T: tratamiento, R: repetición

2.5. Procedimientos para la propagación en vivero

2.5.1. Obtención de semillas y germinación

Las semillas de *C. pentandra* se obtuvieron en el Laboratorio de Silvicultura del Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén. Este lote de semillas se recolectó en el sector Shanango (distrito de Bellavista). Su potencial germinativo se verificó mediante informe de análisis emitido por el laboratorio de Silvicultura (Anexo 4).

El almácigo se realizó en una cama de 0.5 m² de área y 20 cm de profundidad, compuesta por arena lavada de río desinfectada con formol al 40 %. Las semillas se remojaron durante 24 horas y se sembraron en tipo de siembra en surco, manteniendo una distancia de 2.5 cm entre ellas y a una profundidad del doble de la semilla. Se monitoreó la humedad y la sombra de la cama de germinación hasta que las plántulas estuvieron listas para el repique.

2.5.2. Preparación del sustrato y repique

Para la preparación del sustrato, se zarandeó la tierra agrícola con una malla metálica de 0.5 mm de diámetro de los poros para obtener una tierra sin raíces y piedras (Anexo 5). Luego, se mezcló la tierra agrícola, arena y compost en proporciones de 3:2:1 respectivamente (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2014).

2.5.3. Acondicionamiento de los tratamientos

Se utilizaron bolsas de polietileno de 6 pulg. × 9 pulg. × 1.5 mm, se llenaron con el sustrato y se enfilaron en las camas de repique, organizadas de acuerdo al diseño experimental (Figura 2), estas camas de repique se dividieron con listones de madera de 3×2 pulgadas por 8 m.

2.5.4. Repique de plántulas de *C. pentandra*

El repique se realizó cuando las plántulas contaban con cuatro hojas, este proceso se llevó a cabo en el Módulo Experimental para la Evaluación de Tecnologías de la Industria 4.0 de Propagación de Plantas. Para facilitar la extracción de las plántulas se realizó un riego previo, luego las plántulas fueron cuidadosamente colocadas en un recipiente con agua, seleccionando aquellas con raíces rectas y descartando las que presentaban deformaciones (Anexo 6). El repique se realizó haciendo un hoyo con la ayuda de un repicador de madera, donde se colocó la plántula y se rellenó con sustrato (Anexo 6).

2.5.5. Labores culturales

Tras el repique se implementaron labores culturales esenciales, que incluyeron riego, deshierbe y control fitosanitario. Para el riego, se controló la humedad dependiendo las condiciones del tiempo. Asimismo, se realizó un control periódico de malezas eliminándolas para que no compitan por los nutrientes.

2.5.6. Aplicación del biol hidrobiológico

Después de 15 días de haber realizado el repique, se realizó la primera aplicación del biol hidrobiológico (hecho de residuos de pescado). La aplicación se inició con el riego a los tratamientos en concentraciones de 0 % para el T1, 15 % para el T2, 30 % para el T3 y 45 % para el T4 (Anexo 7), esta aplicación se realizó nivel del sustrato de la bolsa, asegurando que el biofertilizante se distribuya uniformemente (Basave-Villalobos et al., 2020). Este proceso se realizó cada 15 días por un lapso de tres meses.

2.6. Determinación de la calidad de plantones de *C. pentandra* bajo influencia de biol hidrobiológico

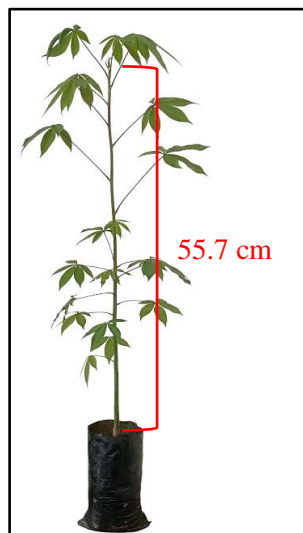
Transcurridos tres meses desde la primera aplicación del biol hidrobiológico se realizó las medidas de las diferentes variables como la altura, diámetro, número de hojas, longitud de raíz principal, peso seco y peso fresco de la biomasa aérea y radicular, las mismas que permitieron determinar los índices de calidad de los plantones de *C. pentandra*.

2.6.1. Altura

Para determinar la altura de los plantones se midió con un flexómetro de 5 m (Truper FA-5M), registrando la distancia vertical en centímetros desde el cuello de la raíz hasta la yema apical (Reyes-Reyes et al., 2022).

Figura 3

*Distancia considerada para la altura de un plantón de *C. pentandra**



2.6.2. Diámetro del tallo

Para la medición del diámetro se utilizó un vernier electrónico (Figura 4), la medida se tomó en la base del tallo (Reyes-Reyes et al., 2022).

Figura 4

Medición del diámetro del tallo de un plantón de C. pentandra

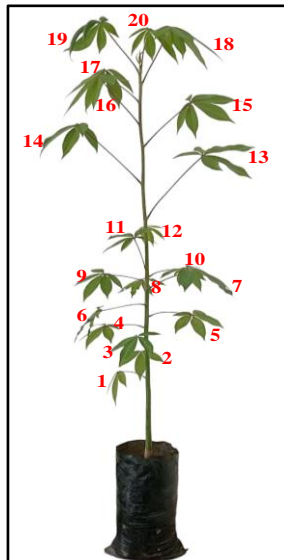


2.6.3. Número de Hojas

Esta variable se obtuvo mediante el conteo de las hojas completamente desarrolladas, siguiendo el criterio descrito por Albino et al. (2021) (Figura 5).

Figura 5

Conteo del número de hojas

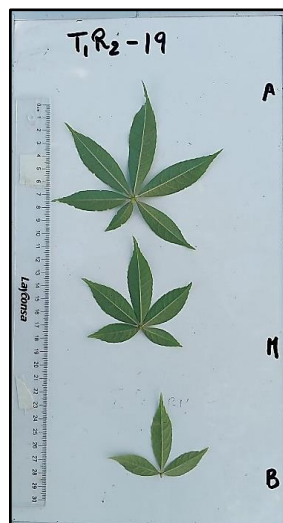


2.6.4. Área foliar

Para determinar el área foliar de los plantones de *C. pentandra*, se dividió la copa de cada planta en tres secciones: alta (A), media (M) y baja (B) (adaptado de Wang et al., 2019). Luego se seleccionó una hoja por sección, las tres hojas se colocaron en una pizarra acrílica identificada con el código del tratamiento aplicado al plantón (Figura 6). Durante el registro fotográfico, la cámara del teléfono móvil (50 MP) se posicionó a 90° respecto a la superficie de la pizarra, incluyendo en cada imagen una regla graduada en centímetros para establecer la escala de medición.

Figura 6

Ubicación de las hojas sobre la pizarra acrílica codificada

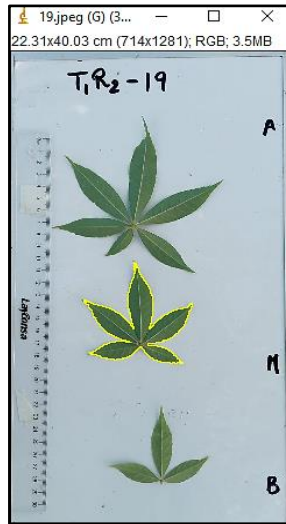


Donde: T1: número del tratamiento, R2: número de repetición del tratamiento y 19: número del plantón evaluado

El procesamiento de las imágenes se realizó en el software libre ImageJ, utilizando las herramientas "Magnifying glass" y "Straight", se procedió a definir la distancia de referencia en cada fotografía (Anexo 2). Luego se estableció las unidades de salida en cm^2 . y con la herramienta "Wand (tracing) tool", se delineó el contorno de cada hoja. Finalmente, con la herramienta "Analyze", opción "Measure", se obtuvo el área foliar de cada una de las tres hojas seleccionadas (Gomes et al., 2020). Los datos obtenidos se procesaron en Microsoft Excel para calcular el promedio del área foliar por planta.

Figura 7

Cálculo del área foliar de un plantón de C. pentandra en el programa ImageJ

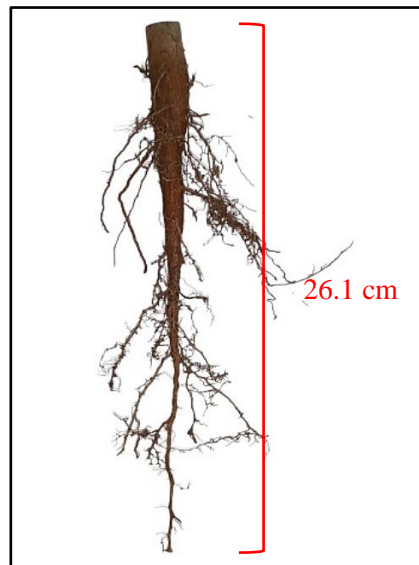


2.6.5. Longitud de la raíz principal

Para determinar esta variable se retiró la bolsa de polietileno y se eliminó cuidadosamente el sustrato de las raíces, utilizando agua para limpiar toda la masa radicular. Posteriormente con una regla graduada en centímetros se midió la longitud de la raíz principal (Albino et al., 2021).

Figura 8

Longitud de la raíz principal considerada en la evaluación de plantones .



2.6.6. Peso fresco y seco de la biomasa aérea y radicular

Con la ayuda de una tijera de podar, se separó de cada plantón la biomasa aérea y biomasa radicular, se empacó de forma separada en bolsas de papel Kraft codificada con el tratamiento y repetición respectivos. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental, donde se registró el peso fresco (aéreo, radicular y total) de cada planta con la ayuda de una balanza analítica (A&D, FX-2000i). Luego, las muestras fueron colocadas en un horno JSR (JSOF-400T) a de 80 °C durante 72 horas. Transcurrido ese tiempo se retiraron las bolsas para volver a pesar y registrar el peso seco (Reyes-Reyes et al., 2022).

2.6.7. Cálculo de Indicadores de Calidad

A partir de los datos recopilados anteriormente, se determinaron los siguientes Indicadores de Calidad de Plantones, utilizando las ecuaciones según Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea (2020):

Índice de Calidad de Dickson (ICD).

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso seco de biomasa aérea (g)}}{\text{peso seco de biomasa radicular (g)}}} \quad (1)$$

Índice de esbeltez (IE).

$$IE = \frac{\text{Altura de la parte aérea (cm)}}{\text{diámetro del tallo (mm)}} \quad (2)$$

Índices de Proporcionalidad Biométrica (IPB).

$$IPB = \frac{\text{Peso seco de la biomasa aérea (g)}}{\text{Peso seco de la biomasa radicular (g)}} \quad (3)$$

Índice de Lignificación (IL).

$$IL = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Peso fresco total (g)}} * 100 \quad (4)$$

2.7. Cuantificación del contenido de clorofila

Para determinar el contenido de clorofila de los plantones se aplicó un método no destructivo, utilizando un medidor portátil de clorofila (Konica Minolta, SPAD-502 Plus); en cada plantón se registraron tres lecturas en hojas completamente desarrolladas y expuestas a la radiación solar directa (Anexo 8) (Gonçalves et al., 2008; Weinstein et al., 2025). Posteriormente, se calculó el promedio de los valores obtenidos para estimar el contenido relativo de clorofila por planta.

Figura 9

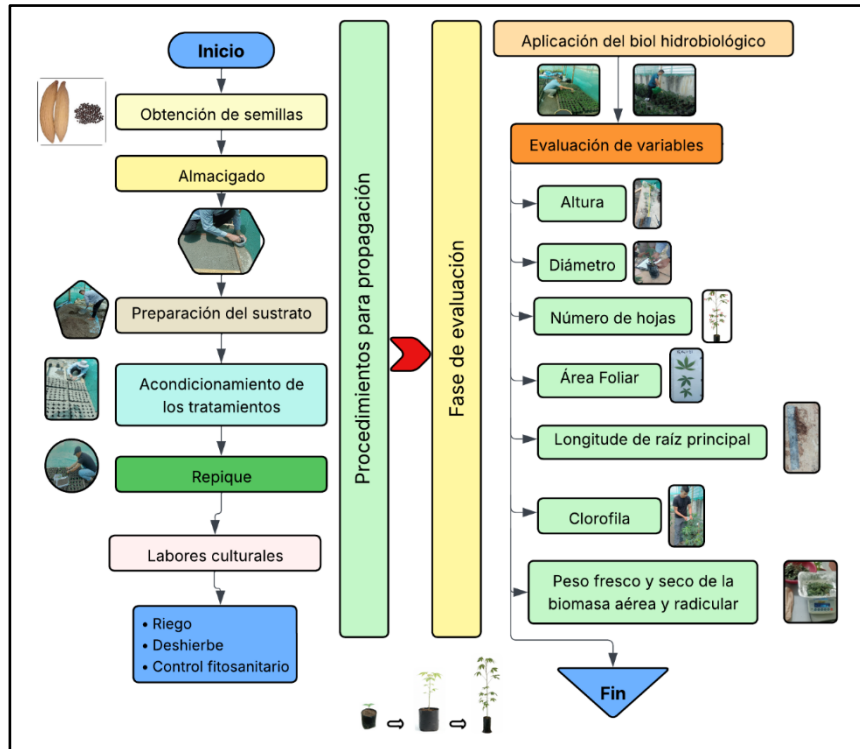
Determinación rápida del contenido de clorofila con el equipo SPAD-502 Plus



El diagrama (Figura 10) resume las etapas desarrolladas en este estudio, desde la obtención de semillas hasta la evaluación de los plantones de *C. pentandra*. Se muestra la secuencia de actividades realizadas, que incluyen la preparación del sustrato, el acondicionamiento de los tratamientos según el diseño completamente al azar (DCA), las labores culturales, la aplicación del biol hidrobiológico y, finalmente, la evaluación de las variables morfológicas y fisiológicas.

Figura 10

*Diagrama metodológico de la propagación y evaluación de plantones de *C. pentandra**



2.8. Determinación de la concentración óptima del biol hidrobiológico para producir plantones de *C. pentandra* de calidad

Para la determinación de la concentración óptima del biol hidrobiológico se realizó una comparación de los resultados obtenidos de cada tratamiento, este análisis permitió identificar la concentración de biol con la cual los plantones alcanzaron una mejor calidad.

2.9. Análisis estadístico

Para asegurar la validez de los resultados obtenidos, se realizó una evaluación previa de los supuestos estadísticos (normalidad de errores y homogeneidad de varianzas) necesarios para definir la aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas. Se examinó la normalidad y la homogeneidad de estos modelos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene (Flores-Ruiz et al., 2017; Drewer et al., 2022). El proceso mencionado se realizó en el entorno de R y RStudio (versión 2025.05.1+513), utilizando las siguientes librerías principales: tidyverse, rstatix, ggpubr, y readxl (Engler, 2025).

III. RESULTADOS

3.1. Evaluación los índices de calidad de los plántones de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.

El análisis de normalidad (presentado en la Tabla 3) indicó que la mayoría de las variables clave, incluyendo el ICD, el IPB, el IL, el área foliar, la LRP y el contenido de clorofila, no cumplieron con el supuesto de normalidad ($p < 0.05$). mientras que, únicamente la variable IE presentó una distribución normal ($p > 0.05$).

En cuanto a la homogeneidad de varianzas, las variables ICD, IPB, IL y clorofila presentaron homogeneidad ($p > 0.05$), mientras que las variables IE, área foliar y LRP mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), indicando heterocedasticidad.

Dado que la mayoría de las variables no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad, se procedió a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis para el análisis comparativo entre tratamientos y las diferencias detectadas fueron analizadas mediante el test de Dunn.

Tabla 3

Resultado de los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad

Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk)		Homogeneidad (Levene)	
	W (Estadístico)	p-valor	Estadístico Levene	p-valor
ICD	0.98	0.00 ($p < 0.05^*$)	0.66	0.52 ($p > 0.05$)
IE	0.99	0.10 ($p > 0.05$)	3.69	0.01 ($p < 0.05^*$)
IPB	0.93	0.00 ($p < 0.05^*$)	1.95	0.12 ($p > 0.05$)
IL	0.98	0.01 ($p < 0.05^*$)	0.81	0.49 ($p > 0.05$)
Área foliar	0.98	0.00 ($p < 0.05^*$)	8.76	0.00 ($p < 0.05^*$)
LRP	0.96	0.00 ($p < 0.05^*$)	4.39	0.00 ($p < 0.05^*$)
Clorofila	0.98	0.01 ($p < 0.05^*$)	0.563	0.640 ($p > 0.05$)

Nota: *: significativo ($p < 0.05$); ICD (Índice de Calidad de Dickson), IE (Índice de Esbeltez), IPB (Índice de Proporcionalidad Biométrica), IL (Índice de Lignificación), LRP (Longitud de la Raíz Principal).

En la Tabla 4, se presentan los valores estadísticos básicos de las variables evaluadas para los indicadores de calidad de los plántones según los cuatro tratamientos. El T4 presentó las medianas más altas para el índice de calidad de Dickson (1.60), el índice de proporcionalidad

biométrica (2.55), área foliar (750.86 cm²), longitud de la raíz principal (27.15 cm) y clorofila (45.02). Además, el T4 presenta una mayor variabilidad en el rango intercuartílico para longitud de la raíz principal y el contenido de clorofila. Por otro lado, el índice de esbeltez y el índice de lignificación presentan valores similares en los cuatro tratamientos, indicando que estos parámetros no fueron notablemente influenciados por las diferentes concentraciones del biol hidrobiológico.

Tabla 4

Estadísticos descriptivos de índices de calidad de C. pentandra según el tratamiento

Variable	n	Tratamiento	Mediana	RIC	Mínimo	Máximo	DS
Índice de calidad de Dickson	224	1	1.23	0.30	0.80	1.53	0.20
		2	1.36	0.33	0.75	1.73	0.23
		3	1.41	0.31	1.04	2.53	0.27
		4	1.60	0.29	1.07	2.24	0.23
Índice de esbeltez	224	1	5.52	0.51	4.38	6.53	6.53
		2	5.50	0.48	4.36	6.47	6.47
		3	5.39	0.31	4.81	6.19	6.19
		4	5.44	0.43	4.84	6.24	6.24
Índice de proporcionalidad biométrica	224	1	1.96	0.63	1.49	3.75	0.46
		2	2.32	0.74	1.76	5.15	0.64
		3	2.47	0.75	1.32	3.83	0.57
		4	2.55	0.96	1.57	5.16	0.71
Índice de lignificación (%)	224	1	23.77	2.79	20.74	30.36	30.36
		2	22.52	3.74	16.92	29.40	29.40
		3	22.86	3.08	19.27	31.63	31.63
		4	23.44	2.86	16.19	30.61	30.61
Área foliar (cm ²)	224	1	557.32	124.09	404.96	802.25	93.96
		2	709.15	308.80	403.09	998.57	171.08
		3	704.29	174.93	471.38	934.06	120.32
		4	750.86	201.43	493.18	1135.67	136.57
Longitud de raíz principal (cm)	224	1	25.05	2.20	18.3	28.70	2.21
		2	25.15	3.90	20	42.20	3.94
		3	25.90	5.40	20	36.00	3.87
		4	27.15	5.55	20.4	34.10	3.57
Clorofila (unidades SPAD)	224	1	41.60	3.32	34.67	45.93	2.43
		2	43.47	3.33	36.37	48.17	2.69
		3	44.48	3.00	37.10	48.50	2.22
		4	45.02	3.63	37.00	49.50	2.77

Nota: Rango Intercuartílico (RIC), n = número de observaciones por cada variable, Desviación estándar (DS)

Índice de calidad de Dickson (ICD)

La Figura 11a muestra la comparación del ICD entre los cuatro tratamientos evaluados, que corresponden a concentraciones crecientes de biol hidrobiológico (0 %, 15 %, 30 % y 45 %). La prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 59.64$; $p < 0.0001$), indica que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Se observa una tendencia positiva y ascendente en la mediana del ICD a medida que aumenta la concentración del biol. El tratamiento control (T1, 0 % de biol) registró la mediana más baja (1.23), mientras que el tratamiento con la dosis más alta (T4, biol al 45 %) alcanzó la mediana máxima (1.60).

Las comparaciones específicas entre pares de tratamientos (prueba de Dunn) revelan la concentración del biol que produce un cambio significativo, inicialmente las dosis bajas y moderadas no mostraron diferencias significancia (ns) al comparar T1 con T2, ni T2 con T3. Sin embargo, el T4 demostró ser estadísticamente superior a todos los demás tratamientos. En contraste con el control (T1), el T4 mostró una diferencia muy altamente significativa. De manera crucial, el T4 también superó de forma altamente significativa al T2 y de forma significativa al T3, estableciendo una relación directa entre la máxima concentración de biol utilizado y el mejor rendimiento o resultado obtenido en la variable de estudio.

Índice de Esbeltez (IE)

La Figura 11b muestra la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 2.38$, $p = 0.50$) para el IE mediante la gráfica de cajas y comparaciones de Dunn para los cuatro tratamientos evaluados. Los resultados indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Asimismo, las comparaciones post-hoc de Dunn con ajuste de Bonferroni resultaron no significativas (ns), lo que indica que las medianas del IE para T1 (5.52), T2 (5.50), T3 (5.39) y T4 (5.44) son estadísticamente equivalentes. Las leves variaciones entre las medianas de los tratamientos pueden atribuirse a la variabilidad natural de los datos o a factores aleatorios, más que a un efecto sistemático de las diferentes concentraciones de biol hidrobiológico. Esto contrasta para el ICD, donde sí se identificó un efecto positivo del biol hidrobiológico a altas concentraciones.

Índice de proporcionalidad biométrica (IPB)

Para el IPB (Figura 11c) presenta la comparación de la mediana del de los cuatro tratamientos experimentales. El análisis estadístico global ($X^2 = 40.72$, $p < 0.0001$), evidencia que existen diferencias altamente significativas entre al menos dos de los tratamientos evaluados. Se observa una tendencia positiva y ascendente en la mediana del IPB a medida que aumenta la concentración de biol. El tratamiento control (T1) registró la mediana más baja (1.96), mientras que el tratamiento con la dosis más alta (T4, 45 %) alcanzó la mediana máxima (2.55).

Las comparaciones específicas mediante la prueba de Dunn entre pares de tratamientos revelan un umbral de efectividad claro: el tratamiento con 15 % de biol (T2) mostró una diferencia significativa en comparación con el control, las comparaciones entre T1 y las dosis más altas (T3 y T4) mostraron diferencias muy altamente significativas, confirmando que las concentraciones de 30 % y 45 % de biol hidrobiológico tienen un efecto positivo aún mayor en el IPB. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas al comparar T2 con T3, ni T2 con T4, ni T3 con T4. Esto sugiere que las concentraciones entre 15 % y 45 % de biol producen efectos equivalentes sobre el IPB, es decir, aunque la dosis más alta alcanza la mediana máxima, la concentración del 15 % ya garantiza una mejora significativa en comparación con el control.

Índice de lignificación (IL)

La comparación de las medianas del IL entre cuatro tratamientos (Figura 11d), el análisis estadístico global mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 9.51$, $p = 0.023$), indicó que existe cierta variabilidad general en el IL. Sin embargo, aunque se observan pequeñas variaciones en los valores medianos, no se aprecia una tendencia clara de aumento o disminución en función de la concentración de biol. Las comparaciones específicas evaluadas mediante la prueba de Dunn con ajuste de Bonferroni, muestran que todas las comparaciones resultan no significativas. Esto indica que, a pesar de que la prueba global detecta pequeñas diferencias, no se identifican diferencias estadísticamente fuertes entre los tratamientos individuales al ajustar para comparaciones múltiples. Por lo tanto, ninguna de las concentraciones de biol hidrobiológico evaluadas (15 %, 30 %, 45 %) ejerce un efecto

significativo en el IL en comparación con el tratamiento control (0 %), bajo las condiciones experimentales analizadas.

Área foliar

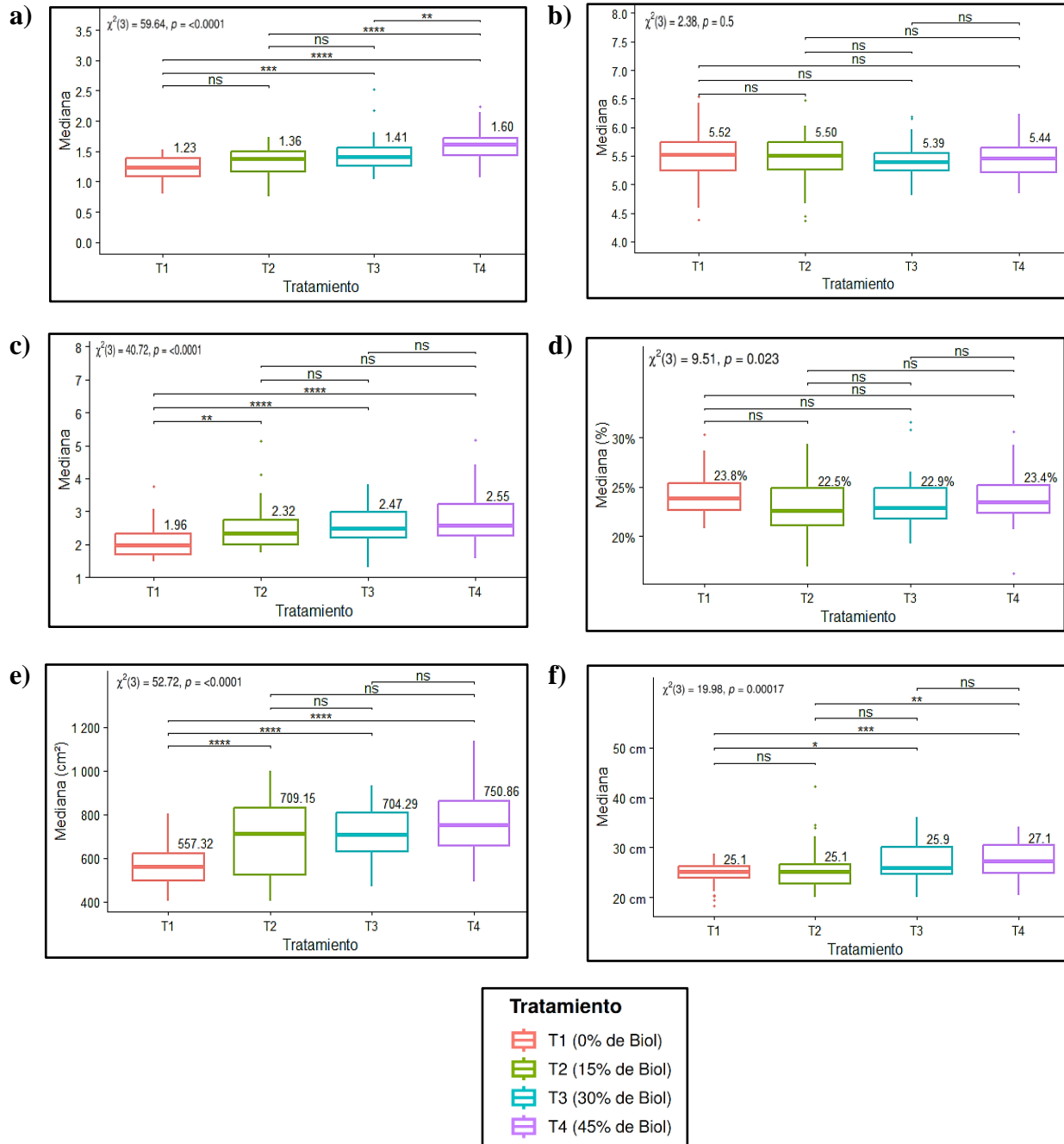
El análisis para el Área foliar (Figura 11e) mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 52.72$, $p < 0.0001$), revela la existencia de diferencias altamente significativas entre al menos dos de los tratamientos evaluados. Las medianas de cada tratamiento muestran un incremento creciente del área foliar cuando se aplica biol hidrobiológico, siendo el tratamiento control (T1) el que registra la mediana más baja (557.32 cm^2) y el tratamiento con la dosis más alta (T4) el que alcanza la mediana más alta (750.86 cm^2). Las comparaciones específicas entre pares de tratamientos, realizadas mediante la prueba de Dunn, revelan diferencias altamente significativas entre T1 y los tratamientos T2, T3 y T4. Esto indica que cualquier concentración de biol hidrobiológico (15 %, 30 % y 45 %) mejora significativamente el área foliar en comparación con el tratamiento control. Sin embargo, las comparaciones entre T2 vs. T3, T2 vs. T4 y T3 vs. T4 resultaron no significativas, lo que sugiere que las concentraciones de 15 %, 30 % y 45 % de biol tienen efectos equivalentes en el área foliar.

Longitud de la raíz principal (LRP)

La Figura 11f muestra el análisis de la longitud de la raíz principal mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 19.98$, $p = 0.00017$), evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Las medianas fueron de 25.1 cm (T1), 25.1 cm (T2), 25.9 cm (T3) y 27.1 cm (T4), observándose una tendencia ascendente con el incremento de la concentración de biol hidrobiológico. Las comparaciones múltiples de Dunn indicaron diferencias significativas entre T1 vs. T4, T2 vs. T4 y T1 vs. T3, mientras que las comparaciones T1 vs. T2, T2 vs. T3 y T3 vs. T4 no fueron significativas. En conjunto, los resultados demuestran que la concentración de 45 % de biol (T4) incrementó significativamente la longitud de la raíz principal en comparación con los demás tratamientos, mientras que las concentraciones de 0 %, 15 % y 30 % presentaron efectos estadísticamente similares al tratamiento control.

Figura 11

Prueba de Kruskal-Wallis y test de Dunn para los índices de calidad de plantones de C. pentandra



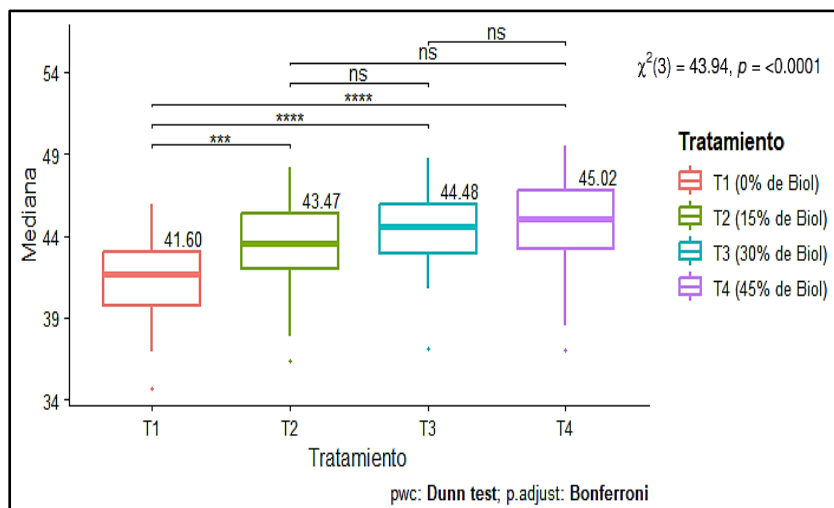
Nota: La Figura 11 muestra diagramas de caja de la prueba de Kruskal–Wallis y comparaciones post hoc mediante la prueba de Dunn: 11a Índice de Calidad de Dickson, 11b Índice de Esbeltez, 11c Índice de Proporcionalidad Biométrica, 11d Índice de Lignificación, 11e Área foliar y 11f Longitud de la raíz principal.

3.2. Cuantificación de clorofila de los platonos de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn

La Figura 12 muestra el análisis estadístico realizado mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 43.94$, $p < 0.0001$), lo que indicó la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos. Las medianas registradas fueron 41,60 (T1), 43,47 (T2), 44,48 (T3) y 45,02 (T4), evidenciándose un incremento progresivo del contenido de clorofila en función de la concentración de biol hidrobiológico. Las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn indicaron diferencias significativas entre el tratamiento control (T1) y todos los tratamientos con biol (T2, T3 y T4), mientras que no se detectaron diferencias significativas entre T2, T3 y T4. Estos resultados indican que la aplicación de biol, independientemente de la dosis dentro del rango evaluado, incrementa significativamente el contenido de clorofila respecto al tratamiento control.

Figura 12

Prueba de Kruskal-Wallis y test de Dunn para el contenido de clorofila



3.3. Determinación de la concentración óptima de biol hidrobiológico para producir plantones de calidad.

La Tabla 5 muestra que el tratamiento con 45% de biol hidrobiológico (T4) obtuvo las medianas más elevadas en la mayoría de las variables evaluadas. En particular, el ICD, IPB, área foliar, LRP y contenido de clorofila, el T4 destacó claramente sobre los demás tratamientos, mientras que los índices de esbeltez y lignificación no presentaron variaciones relevantes entre tratamientos, los que confirma que la concentración del 45 % de biol hidrobiológico es la más eficiente para mejorar la calidad integral de los plantones en vivero.

Tabla 5

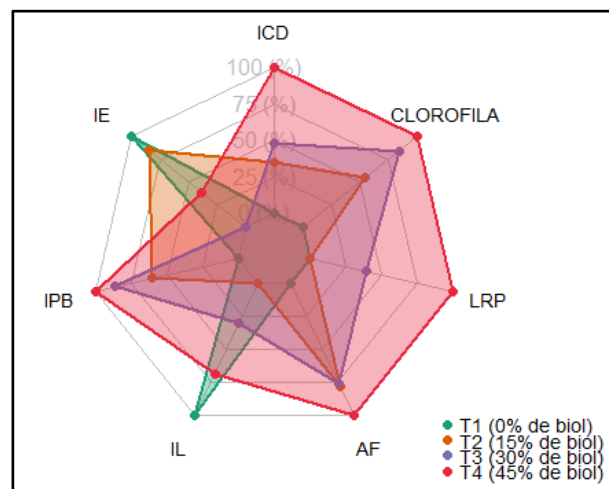
Comparación de los tratamientos para determinar la concentración óptima de biol hidrobiológico en plantones de C. pentandra

Variable	Mediana			
	T1	T2	T3	T4
Índice de calidad de Dickson	1.23	1.36	1.41	1.60
Índice de esbeltez	5.52	5.50	5.39	5.44
Índice de proporcionalidad biométrica	1.96	2.32	2.47	2.55
Índice de lignificación (%)	23.77	22.52	22.86	23.44
Área foliar (cm ²)	557.32	709.15	704.29	750.86
Longitud raíz principal (cm)	25.05	25.15	25.90	27.15
Clorofila (SPAD)	41.60	43.47	44.48	45.02

Por otro lado, la Figura 13 respalda estos resultados a través del gráfico de radar, en el cual el tratamiento con 45 % de biol presenta la mayor área del polígono, lo que indica un mejor desempeño en la mayoría de variables evaluadas. El tratamiento con 30 % de biol muestra un comportamiento intermedio, mientras que el tratamiento con 15 % evidencia mejoras parciales respecto al control. El tratamiento sin aplicación de biol presenta el menor desempeño general.

Figura 13

Comparación de los tratamientos para determinar la dosis óptima de biol hidrobiológico

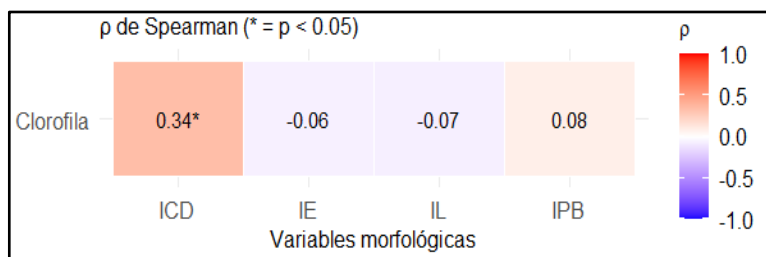


Nota: ICD (Índice de Calidad de Dickson), IE (Índice de Esbeltez), IPB (Índice de Proporcionalidad Biométrica), IL (Índice de Lignificación), LRP (Longitud de la Raíz Principal) y AF (Área Foliar).

La figura 14, muestra la correlación de Spearman (para pruebas no paramétricas) entre la variable fisiológica (clorofila) y las variables morfológicas. Se observó que únicamente el índice de calidad de Dickson con el contenido de Clorofila presentó una correlación significativa con la clorofila ($\rho = 0.34$), lo que demuestra que cuando aumenta el ICD, también tiende a aumentar la clorofila.

Figura 14

Correlación de variables morfológicas vs. variable fisiológica



Nota: *: significativo ($p < 0.05$), las celdas sombreadas representan la magnitud y dirección de la correlación.

IV. DISCUSIÓN

Índice de Calidad de Dickson (ICD)

El ICD es el indicador más importante, ya que constituye un parámetro integrador de la calidad del plantón. Esto permite evaluar el equilibrio estructural de los plantones (Lanuza-Lanuza et al., 2021). El tratamiento con 45 % (T4) de biol hidrobiológico, presentó los valores más altos con un 1.60 (Figura 11a), valor muy superior al reportado por Barrios (2016), quien obtuvo un ICD de 1.44 de media en *C. pentandra* a los 136 días aplicando abono mineral triple quince diluido en agua en proporción de 20 gr/L; de igual forma, supera lo registrado por Verdejo (2023), quien obtuvo un ICD de 0.31 de media para la misma especie utilizando un sustrato a base de cachaza de caña (70 %) y de bagazo de eucalipto (30 %), así como lo reportado por Lanuza-Lanuza et al. (2021) con un ICD de 0.88 de media en *C. pentandra* a los 75 días bajo riego y fertilización.

Este incremento puede atribuirse al aporte de macronutrientes esenciales del biol hidrobiológico (Anexo 3), particularmente nitrógeno (11.0 mg mL^{-1}), fósforo ($1\ 843 \text{ mg L}^{-1}$) y potasio ($7\ 567 \text{ mg L}^{-1}$), los cuales favorecen el crecimiento aéreo, el desarrollo radicular, el

metabolismo energético y la resistencia mecánica de los tejidos vegetales (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La combinación de estos elementos permitió un desarrollo armónico entre la biomasa aérea y radicular, lo que se traduce en un mayor ICD. Según Guallpa-Calva et al. (2022) y Guallpa – Calva et al. (2022), el biol es una alternativa eficaz para mejorar la calidad de los plantones, por otro lado, Paz et al (2023) señalan que valores de ICD para especies forestales superiores a 0.5 indican plantones de alta calidad morfológica. En consecuencia, los resultados de este presente estudio confirman que los plantones de *C. pentandra* fertilizados con biol al 45 % presentan una excelente calidad estructural, adecuada para su establecimiento y desarrollo en campo definitivo.

Índice de Esbeltez (IE)

El IE no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los resultados arrojaron una mediana más alta de 5.52 para el tratamiento T1 (0 % de biol), el cual es inferior al reportado por Anguiby et al. (2020), quienes obtuvieron 6.79 de media en plántulas de *C. pentandra*, cultivadas con 80 % suelo forestal esterilizado, 10 % micorrizas, 10 % compost. Asimismo, es inferior a lo reportado por Verdejo (2023) que obtuvo un IE máximo de 8.8 de media en la *C. pentandra* de tres meses, aplicando sustrato orgánicos. Sin embargo, de acuerdo con Paz et al. (2023), para plantones forestales un IE menor a 6 es considerado de alta calidad, mientras que valores elevados indican tallos delgados y propensos a volcarse.

Respecto a los tratamientos con biol al 30 % (T3) y 45 % (T4), mostraron los valores de IE más adecuados, evidenciando que el aumento en la concentración de biol favoreció el engrosamiento del tallo sin producir un crecimiento desproporcionado en altura. Esto se debe a que el análisis del sustrato (Anexo 3) reveló una textura franco-arenosa, pH neutro y contenido moderado de materia orgánica, condiciones que, según Guallpa-Calva et al. (2022), proporcionan buena aireación y resistencia mecánica al medio de crecimiento. Estas características, sumadas al aporte de nutrientes del biol, contribuyeron a mantener la proporción entre altura y diámetro del tallo.

El biol hidrobiológico aportó nitrógeno (11.0 mg/mL), fósforo (1843 mg/L) y potasio (7567 mg/L), nutrientes que influyen en la formación de tejidos estructurales. El nitrógeno estimula el crecimiento foliar y del tallo, el fósforo fortalece el sistema radicular y el potasio mejora la turgencia celular y la rigidez de los tejidos, aumentando la estabilidad del tallo (Azcón-Bieto

& Talón, 2008). Esta combinación de nutrientes permitió un crecimiento proporcional en altura y diámetro. Por lo tanto, el biol hidrobiológico demostró ser una fuente orgánica eficiente para mantener una esbeltez equilibrada, a pesar de no presentar diferencias significativas entre los tratamientos, aunque si garantiza la estabilidad y resistencia de los plantones para el trasplante y establecimiento en campo.

El Índice de Proporcionalidad Biométrica (IPB)

Los resultados para el IPB mostraron una influencia estadísticamente significativa entre tratamientos, destacando las medianas de los plantones tratados con 15 % (2.32), 30 % (2.47) y 45 % (2.55) de biol hidrobiológico, presentaron valores superiores en comparación con el control. Este resultado es inferior al obtenido por Aguirre et al. (2018), quienes reportaron un IPB de 2.8 para *C. pentandra* a los 152 días.

Este comportamiento puede atribuirse al efecto combinado del biol y del sustrato utilizado. El análisis del sustrato (Anexo 3), mostró una textura franco-arenosa, pH neutro y contenido moderado de materia orgánica, condiciones que, según Guallpa-Calva et al. (2022), favorecen el desarrollo radicular y la aireación del medio. La buena oxigenación del sustrato permite una mayor exploración de las raíces y mejora la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un crecimiento armónico entre la parte aérea y subterránea. Mientras que el biol hidrobiológico aportó nitrógeno (11 000 mg/L) y fósforo (1 843 mg/L) (Anexo 3), elementos esenciales en la formación de tejidos nuevos en la parte aérea y estimulan el desarrollo radicular (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La presencia de estos nutrientes permitió que las plantas presentaran tallos más robustos y sistemas radicales superiores.

El incremento del IPB en las dosis intermedias y altas de biol evidencia un crecimiento equilibrado de los plantones. De acuerdo con Sáenz-Reyes et al. (2019), una relación menor o igual a 2.5 se considera de buena calidad, una relación mayor indica una desproporcionalidad entre las biomásas. Estos resultados (Figura 11 c) indican un crecimiento más equilibrado y eficiente de los plantones de *C. pentandra*. Este equilibrio favorece la estabilidad estructural y la capacidad de absorción durante el trasplante (Guallpa-Calva et al., 2022). Los resultados confirman que concentraciones de 15 % de biol hidrobiológico ya favorecen un desarrollo proporcional de la biomasa total, promoviendo plantones equilibrados, vigorosos y con mejores condiciones fisiológicas incluida la biomasa, para su adaptación en campo definitivo.

El Índice de Lignificación (IL)

Para el IL los resultados indicaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que indica que la aplicación de biol hidrobiológico no modificó de manera apreciable el grado de lignificación de los tallos de *C. pentandra*. La mediana más alta fue de 23.8 % para el tratamiento control (0 % de biol), valor es superior al reportado por Barrios (2016), quien alcanzó un IL de 18 % en *C. pentandra* fertilizada con cascarilla de arroz y abono diluido.

La ausencia de diferencias puede atribuirse a que el biol hidrobiológico presentó un pH ácido (4.5) y una conductividad eléctrica elevada (25.44 dS/m), por lo que estas características fisicoquímicas pueden haber reducido parcialmente la absorción efectiva del calcio. Según Azcón-Bieto y Talón (2008), un exceso de sales en el medio puede limitar la absorción de cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , lo que afecta la deposición de lignina y, en consecuencia, la rigidez de las paredes celulares. Esto explicaría la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, a pesar del contenido mineral del biol. No obstante, aunque el biol no incrementó significativamente el índice de lignificación, sí contribuyó al mantenimiento de una estructura celular sólida y fisiológicamente estable, lo cual es compatible con la producción de plantones de calidad para trasplante.

Área foliar

El área foliar presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 11e), destacándose los plantones tratados con biol hidrobiológico a concentraciones de 15 % (709.15 cm²), 30 % (704.29 cm²) y 45 % (750.86 cm²), los cuales superaron al tratamiento control (T1). Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Anguiby et al. (2020), quienes registraron un área foliar de 1800 cm² a los tres meses mediante la combinación de hongos micorrízicos arbusculares y compost. Asimismo, concuerdan con lo reportado por Carmen (2025) y por López (2021), quienes evidenciaron incrementos en el área foliar con el uso de biofertilizantes y biol, respectivamente.

El incremento del área foliar sugiere que el biol favoreció el desarrollo foliar, efecto que puede atribuirse al aporte de macro y micronutrientes tanto del sustrato como del biol (Anexo 3). El sustrato presentó un contenido considerado rico en nitrógeno (Besteiro & Descalzo 2021),

mientras que el biol aportó nitrógeno (11 000 mg/L) y magnesio (1 019 mg/L), elementos esenciales para la síntesis de compuestos fotosintéticos y el crecimiento foliar (Azcón-Bieto & Talón, 2008). En conjunto, los resultados confirman que incluso bajas concentraciones de biol (15 %) promueven un crecimiento foliar vigoroso y que dosis mayores (30 % y 45 %) permiten alcanzar un mayor desarrollo del área foliar, optimizando el crecimiento de los plantones de *C. pentandra*.

Longitud de la raíz principal

Los resultados mostraron un incremento asociado a las concentraciones de biol, siendo el tratamiento T3 y el T4 los que presentaron una mediana de 27.15 cm y 25.9 cm respectivamente, superiores al testigo (25.05 cm). Este comportamiento indica que la aplicación del biol favoreció el sistema radicular, concordando con Carmen (2025), quien señala que el uso de biofertilizantes estimula la absorción de macronutrientes esenciales.

Los análisis de caracterización realizados al sustrato y al biol (Anexo 3), indicaron que el sustrato presentó textura franco-arenosa y un contenido moderado de materia orgánica, favoreciendo la aireación, el drenaje y la penetración radicular; estas propiedades físicas mejoran la absorción de nutrientes y facilitan el efecto de la fertilización orgánica (Gualpa-Calva et al., 2022). Asimismo, el biol hidrobiológico aportó 1 843 mg/L de fósforo y 4 875 mg/L de calcio, nutrientes determinantes para el desarrollo radicular, porque, contribuyen al fortalecimiento y elongación de las raíces (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

La interacción entre la calidad física del sustrato y la composición nutricional del biol generó condiciones favorables para un sistema radicular más profundo y vigoroso, confirmando que la aplicación de biol hidrobiológico en concentraciones de 30 % y 45 % favorece significativamente el crecimiento de la raíz principal. No obstante, Paz et al. (2023) mencionan que esta variable también puede estar influenciada por el tamaño del contenedor, lo cual podría explicar la ausencia de diferencias aún mayores entre tratamientos.

Contenido de clorofila (SPAD)

El resultado de contenido de clorofila (Figura 12), mostró que la aplicación de biol hidrobiológico incrementó los valores en T2, T3 y T4 respecto al control. La mediana más alta se registró en el tratamiento T4 (45.02 unidades SPAD), valor ligeramente inferior al reportado

por Anguiby et al. (2020), quienes obtuvieron 53.44 unidades SPAD en plántulas de *C. pentandra* micorrizadas durante tres meses. No obstante, este resultado se mantiene dentro del rango considerado como óptimo para la calidad fisiológica de las plántulas. Además, Weinstein et al. (2025) señalaron que las concentraciones de clorofila aumentan conforme incrementa el nitrógeno disponible, lo que concuerda con los resultados de este estudio.

El biol hidrobiológico (Anexo 3) aportó macronutrientes esenciales que son cruciales para la fisiología vegetal, destacando el nitrógeno, que es un componente estructural clave de la clorofila y de las proteínas del sistema fotosintético, y el magnesio, que funciona como el átomo central de la molécula de clorofila, esencial para la absorción de luz y la conversión de energía en compuestos orgánicos (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Adicionalmente, este producto introdujo microorganismos benéficos y compuestos orgánicos que potencian la asimilación de nutrientes y la actividad enzimática en la planta, lo cual está directamente relacionado con un aumento en el contenido de clorofila y una mayor intensidad del color verde foliar (Gualpa-Calva et al., 2022). Por consiguiente, se confirma que la aplicación del biol hidrobiológico, específicamente en concentraciones del 30 % y 45 % estimula significativamente la síntesis de clorofila, debido al efecto combinado del nitrógeno y magnesio, resultando en una mayor eficiencia fotosintética y en un crecimiento vegetativo más vigoroso de los plantones de *C. pentandra*.

V. CONCLUSIONES

La aplicación del biol hidrobiológico tuvo un efecto positivo en los índices de calidad de los plantones de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. Entre las concentraciones evaluadas, el tratamiento con 45 % de biol (T4) presentó los mejores valores en el Índice de Dickson, área foliar, longitud de raíz principal y contenido de clorofila en comparación con el tratamiento testigo.

El contenido de clorofila, cuantificado mediante unidades SPAD, mostró incrementos significativos en los tratamientos con biol, particularmente en las concentraciones de 30 % y 45 %, lo que evidencia una mejora en el estado fisiológico y en la capacidad fotosintética de los plantones de *C. pentandra*.

La concentración del 45 % de biol hidrobiológico se identificó como la más efectiva para producir plantones de *C. pentandra* de alta calidad en vivero. Aunque concentraciones menores

(15 % y 30 %) también mostraron mejoras, el T4 destacó por su superioridad en la mayoría de los parámetros evaluados, consolidándose como la dosis recomendada para maximizar la calidad de los plantones.

VI. RECOMENDACIONES

- A los investigadores de la Universidad Nacional de Jaén, en sus futuras investigaciones, se recomienda emplear bolsas de mayor tamaño (superiores a 9 cm x 15 cm) para garantizar un espacio suficiente para el sistema radicular, especialmente en especies de rápido crecimiento como *C. pentandra*, permitiendo una evaluación más precisa de la longitud y masa radicular.
- A los futuros tesisistas se recomienda analizar la evolución de las propiedades químicas y biológicas del sustrato tras la aplicación del biol hidrobiológico, para comprender sus efectos a largo plazo sobre la estructura y fertilidad del suelo.
- A estudiantes de Ingeniería Forestal y Ambiental se recomienda replicar este estudio en campo definitivo, con el fin de evaluar la supervivencia y crecimiento inicial de los plantones fertilizados con biol hidrobiológico, confirmando la correspondencia entre los índices de calidad obtenidos en vivero y el desempeño posterior en plantaciones.
- A la Universidad Nacional de Jaén se recomienda realizar estudios complementarios en otras especies forestales de interés regional, evaluando diferentes concentraciones y condiciones de aplicación del biol hidrobiológico, con el fin de optimizar su uso y validar su eficacia en distintos tipos de sustratos y ambientes de vivero.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Ramírez, Y. T. (2024). *Efecto de diferentes fuentes y niveles de sustratos orgánicos en el crecimiento y calidad de plántones de Copoazú (Theobroma grandiflorum W.) en vivero*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/7453>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Barrios, N. (2018). Análisis del efecto del sustrato sobre la calidad de plántulas en cinco especies forestales adaptadas a Santa Marta, Colombia. *Revista Espacios*, 39(47). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n47/18394733.html>
- Anguiby, B. L. A., Bomisso, E. L., N'Goran, K. S. B., & Aké, S. (2020). Supply of compost and arbuscular mycorrhizal fungi for enhancing quality of *Ceiba pentandra* (kapok tree) seedlings. *International Journal of Plant & Soil Science*, 32(9). 72-85. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2020/v32i930329>
- Azcón, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2.^a ed.). McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Barrantes, M. K. B., Arias, C. Á., Cruz, R. M., Ramos, L. S., Murillo, R. P., & Vargas, P. H. (2018). Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar de *Gmelina arborea Roxb.* en vivero y en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 209–239. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.124>
- Barrios, S. Nelson. (2016). *Caracterización fenológica en etapa de vivero de moringa (Moringa oleífera Lam), trupillo (Prosopis juliflora), neem (Azadirachta indica), gualanday (Jacaranda caucana Pittier) y Ceiba bonga (Ceiba pentandra)* [Tesis de pregrado, Universidad Abierta y a Distancia de Colombia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/17437>

- Basave-Villalobos, E., Cetina-Alcalá, V. M., López-López, M. Á., Trejo, C., Ramírez-Herrera, C., & Conde-Martínez, V. (2020). Nursery fertilization of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth: effects on seedling quality, *Madera y bosques*, 26(3), 52-228 <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632059>
- Bernaola-Paucar, R. M., Clemente Archi, G., & Vilcapoma Paliza, M. L. (2022). Indicadores morfológicos de la calidad de cinco especies forestales producidas en vivero. *Agroindustrial Science*, 12(2), 62–73. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.02.07>
- Besteiro, S.I., & Descalzo, A.I.B. (2021). Contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo ante un cambio de cobertura y condición topográfica. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 47(2), 285-292. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142021000200285&lng=es&tlng=es
- Carmen, U. S. W. (2025). *Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de Theobroma cacao L., en Pasco-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNTUMBES/65771>.
- Chamba Contreras, J. M. (2025). *Rendimiento y productividad en el proceso de aserrío de madera aserrada de Ceiba pentandra L. en la maderera El Parral, Provincia de Jaén* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/20.500.14689/852>
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: Cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364–370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- García-Decoro, S., Luna-Fox, S. B., Vega-Rosete, S., Geada-López, G., & García-Quintana, Y. (2024). Evaluación de atributos e índices de calidad en plantas de vivero para la reforestación en Pinar del Río, Cuba: Revisión sistemática. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 14(1), 37-44. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6377>

- Gil-Ramírez, L. A., Leiva Cabrera, F. A., Lezama Escobedo, M. K., Bardales Vásquez, C. B., & León Torres, C. A. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336–345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Gomes, F. R., Silva, D. F. P. da, Ragagnin, A. L. S. L., Souza, P. H. M. de, & Cruz, S. C. S. (2020). Leaf area estimation of *Anacardium humile*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(5), e628. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020628>
- Gonçalves, J. F. de C., Santos Junior, U. M. dos, & Silva, E. A. da. (2008). Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll concentrations in leaves of tropical wood species. *Hoehnea*, 35(2), 185–188. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062008000200002>
- Gualpa-Calva, L., Noboa-Morales, M., & Carpio-Castro, R. (2019). *Establecimiento y manejo de un vivero forestal*. Casa Editora del Polo. <https://doi.org/10.23857/978-9942-816-96-2>
- Jalixto, M. A. F., Acero, D. J. R., & Morales, J. G. J. (2020). Evaluación de fitotoxicidad y caracterización de un fertilizante líquido elaborado mediante fermentación láctica usando subproductos de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecología Aplicada*, 19(2), 121–131. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1563>
- Jansen, M. R. A., Romero, F. M. B., & Junior, M. de J. V. L. (2024). Características germinativas de semillas de *Ceiba pentandra* de diferentes procedencias amazónicas. *Revista Delos*, 17(60), 01-17. <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n60-005>
- Jaulis, C. J. C. M., Juscamaita Morales, J. G., Martínez Varillas, A., Buendía Molina, M. A., Adama Rojas, E. R., & Fuentes Navarro, E. L. (2024). Abono líquido orgánico acelerado elaborado a partir de efluentes de la industria de palma aceitera. *Manglar*, 21(2), 253-258. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.027>

- Jesús Albino, F. D., Ignacio Hernández, R., Rodríguez Trejo, D. A., & Mohedano Caballero, L. (2021). Calidad de planta de *Quercus rugosa* Née en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 147-167. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.967>
- Lanuzza-Lanuzza, O. R., Peguero, G., Vilchez-Mendoza, S., & Casanoves, F. (2021). Efecto del riego y la fertilización sobre la calidad de plántulas forestales para restauración del bosque tropical seco. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(43), 18–28. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v19i43.5805>
- López, C. J. (2021). *Efecto de bioles en el crecimiento de plantones de cacao (Theobroma cacao L.) en vivero* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1929>
- Meyer zu Drewer, J., Köster, M., Abdulai, I., Rötter, R. P., Hagemann, N. y Schmidt, H. P. (2022). Impact of Different Methods of Root-Zone Application of Biochar-Based Fertilizers on Young Cocoa Plants: Insights from a Pot-Trial. *Horticulturae*, 8(4), 2-14. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040328>
- Muñoz, F. -H. J., Sáenz Reyes, J. T., Coria Avalos, V. M., García Magaña, J. J., Hernández Ramos, J., & Manzanilla Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 72-89. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100007&lng=es&tlng=es
- Noa, S. D. L. B. (2021). Deforestación en la región amazónica del Perú: situación y perspectivas. M + A, *Revista electrónica de medioambiente*, 22(2), 20-39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8488495>
- Paz, M. P., Trejo, D. A. R., Morales, A. V., & Rosa, M. A. M. B. la. (2023). Fertilización, calidad de planta y supervivencia en campo de *Pinus spp.* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 71–92. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1324>

- Ponce Regalado, M. de F., & Pasco Dalla Porta, M. M. (2015). *Guía de investigación: Gestión*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://www.pucp.edu.pe/investigacion/>
- Ramos-Huapaya, A. E., & Lombardi-Indacochea, I. R. (2020). Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de cado con “*Eucalipto urograndis*”. *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 132-145. <https://doi.org/10.21704/rfp.v35i2.1581>
- Reyes-Reyes, J., Rodríguez-Morales, J. A., Pimienta de la Torre, D. de J., Fuentes Pérez, M. A., Aguirre Medina, J. F., & Merino García, A. (2022). Diagnóstico de la calidad de planta en el vivero forestal El Campanario, Tuxtla Chico, Chiapas. *E-CUCBA*, 17(9), 29–37. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.207>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Saenz-Reyez, J. T., Muñoz Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á., & Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58-73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000200005&lng=es&tlng=es
- Ruiz, E. M. (2018). Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol) en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita*). *TZHOECOEN*, 10(3), 371–382. <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.327529>
- Sáenz-Reyes, J. T., Castillo-Quiroz, D., Castillo-Reyes, F., Muñoz-Flores, H. J., & Ávila-Flores, D. Y. (2019). Determination of the plant quality in cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) Under chemical and biological fertilization in nursery. *Revista Bio Ciencias*, 6, 1-14. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e547>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2014). Manual de vivero forestal para producción de plantones de especies nativas: Experiencia en Molinopampa, Amazonas–Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/publ1419.pdf>

- Verdejo, P. A. N. (2023). *Evaluación de diferentes mezclas de sustratos en la producción de plantas de Ceiba pentandra (L.) Gaertn. en contenedor* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49050>
- Wang, Y., Jin, G., Shi, B., & Liu, Z. (2019). Empirical models for measuring leaf area and leaf mass across growing periods in broadleaf species. *Ecological Indicators*, 102, 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.041>
- Weinstein, M., Baram, S., Yermiyahu, U., Tsehansky, L., Sperling, O. y Graber, E. R. (2025). valuation of Optical Chlorophyll Meters as Proxy for Nitrogen in *Theobroma cacao* L. *Revista de la Sociedad Estadounidense de Ciencias Hortícolas*, 150(4), 177–181. <https://doi.org/10.21273/JASHS05483-25>
- Zucchetti, R. (2023). *Fuentes y niveles de biol en el crecimiento de plantones de Persea americana (palto) en vivero* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria de la Selva] <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2674>

VIII. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme la salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa de mi vida profesional. Su guía ha sido fundamental para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

A mi familia, comprensión y apoyo constante. Su aliento ha sido mi mayor motivación para seguir adelante y alcanzar mis objetivos.

Un especial agradecimiento a mis asesores, M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre y Dr. Luis Arturo Gil Ramírez, por su orientación, paciencia y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos, consejos y motivación han sido pilares fundamentales para la realización de este trabajo.

Un agradecimiento especial a mis compañeros y amigos Kevin Jefferson Alejandría Huamuro, Jose Mayber Cano Herrera, Maycol Hurtado Copia, Yessica Yessenia Guzmán Chumacero, Luis Manuel Mondragón Dávila y Vega Pérez Marcko Jhunnior; por su apoyo invaluable durante los trabajos de campo. Su colaboración, esfuerzo y compañía hicieron que cada etapa de esta investigación fuera más llevadera y enriquecedora.

También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Jaén y a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental por brindarme las herramientas y el espacio necesario para desarrollar este proyecto, en especial al Laboratorio de Silvicultura, laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental, al Instituto Internacional de Investigación en el Árbol de la Quina y al Instituto de Energías Renovables quienes me brindaron el acceso a sus equipos y herramientas.

IX. DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la buena salud y la fortaleza inquebrantable que me ha brindado para afrontar cada reto en el camino.

A mis hermanos por su apoyo y por cada momento compartido. De manera especial, a mi tía Ida Cruz Meléndrez, por su apoyo incondicional, los valiosos consejos y la motivación que ha sido tan especial e importante en mi formación.

A mis queridos padres, Juan Isaías Cruz Neyra y Adelaida Castillo García, por ser el pilar fundamental de mi existencia. Su apoyo incondicional, su sacrificio y su amor constante me hicieron sentir que siempre había alguien por quien esforzarme, motivándome a alcanzar mis objetivos y a hacerlos sentir orgullosos.

X. ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de los supuestos estadísticos

En la evaluación de los supuestos estadísticos, se consideró como variable independiente a tratamiento y como variables dependientes a índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez, índice de proporcionalidad biométrica, índice de lignificación, longitud de la raíz principal, área foliar y contenido de clorofila. Los códigos empleados en RStudio son los siguientes:

Figura 15

Script para los supuestos estadísticos

```
install.packages("tidyverse")
install.packages("rstatix")
install.packages("ggpubr")
install.packages("readxl")
#### Librerías (paquetes) ####
library(tidyverse) # Colección de librerías
library(rstatix)   # Pruebas estadísticas básicas coherentes con tidyverse
library(ggpubr)    # Funciones para figuras "listas para publicación"
library(readxl)    # Para leer archivos de Excel

## Directorio de trabajo ##
setwd("C:/Users/USUARIO/Desktop/TESIS")
## Cargar datos ##
datos <- read_excel("Parametros.xlsx", sheet = "Param_fisiológicos")
head(datos)
## Prueba de normalidad de Shapiro-wilk##
datos %>%
  shapiro_test(ICD, IE, IPB, IL, Long_RP, A_Foliar, Clorofila) # p<0.05 = No normales

# Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para cada variable
datos$Tratamiento <- as.factor(datos$Tratamiento)
# Evaluar homocedasticidad de todas las variables
bind_rows(
  datos %>% levene_test(ICD ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(IE ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(IPB ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(IL ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(Long_RP ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(A_Foliar ~ Tratamiento),
  datos %>% levene_test(Clорofila ~ Tratamiento)
) %>%
  mutate(psig = ifelse(p < 0.05, "p<0.05*", "p>0.05")) %>%
  select(df1, df2, statistic, p, psig)
```

Nota: La figura muestra el script que permitió evaluar los supuestos estadísticos

Figura 16

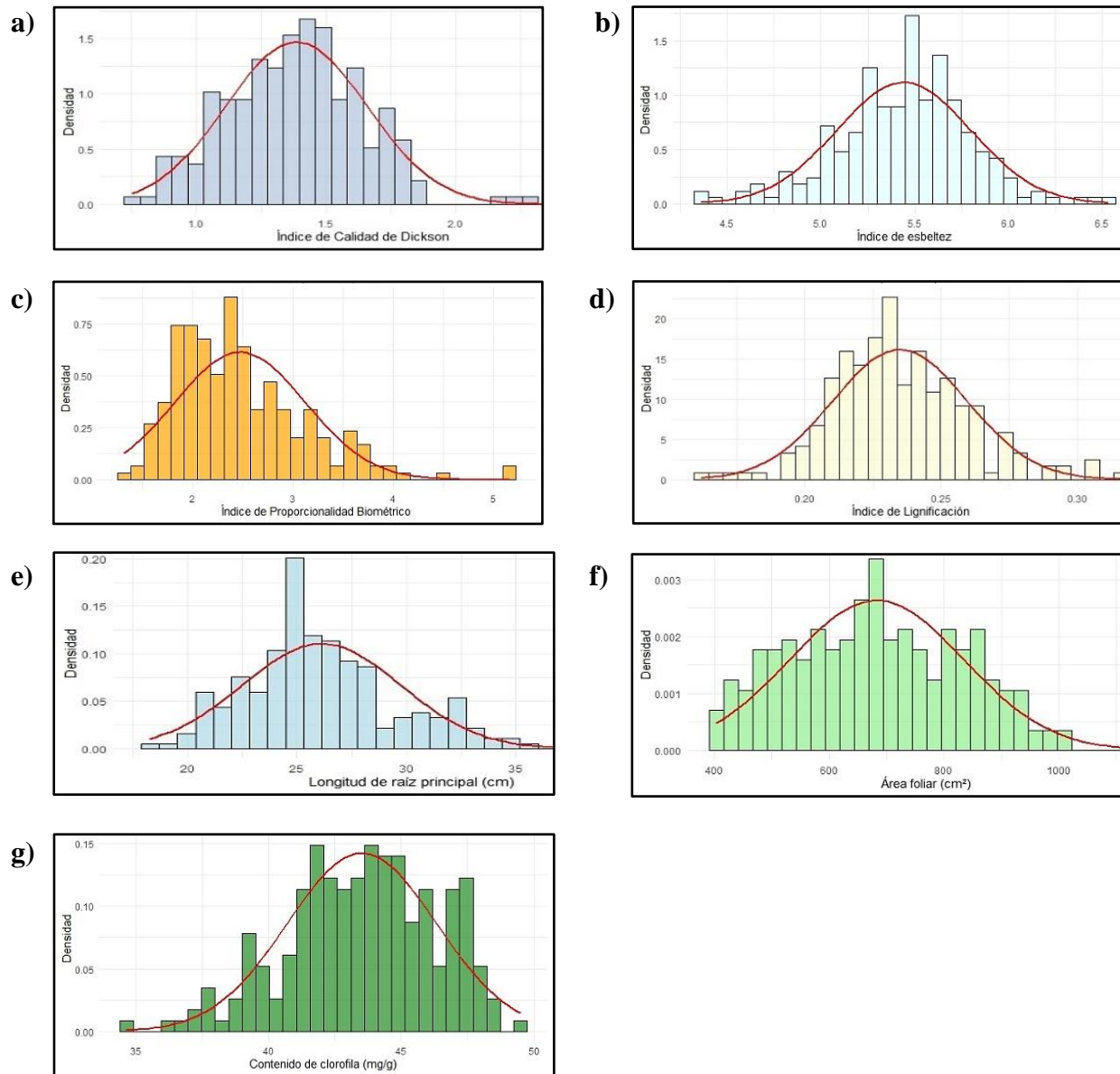
Resultado de las pruebas de supuestos estadísticos en el entorno de RStudio

```
+ shapiro_test(ICD, IE, IPB, IL, Long_RP, A_Foliar, Clorofila) # p<0.05
# A tibble: 7 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl>    <dbl>
1 A_Foliar    0.983 0.00885
2 Clorofila   0.985 0.0183
3 ICD         0.980 0.00305
4 IE         0.990 0.106
5 IL         0.984 0.0111
6 IPB        0.933 0.0000000149
7 Long_RP    0.960 0.00000705
> #### Prueba de homogeneidad de varianzas ####
> # Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para cada variable
> datos$Tratamiento <- as.factor(datos$Tratamiento)
> # Evaluar homocedasticidad de todas las variables
> bind_rows(
+   datos %>% levene_test(ICD ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(IE ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(IPB ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(IL ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(Long_RP ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(A_Foliar ~ Tratamiento),
+   datos %>% levene_test(Clorofila ~ Tratamiento)
+ ) %>%
+ mutate(psig = ifelse(p < 0.05, "p<0.05*", "p>0.05")) %>%
+ select(df1, df2, statistic, p, psig)
# A tibble: 7 × 5
  df1  df2 statistic      p psig
  <int> <int>    <dbl>    <dbl> <chr>
1     3   220    0.523 0.667 p>0.05
2     3   220    3.69 0.0127 p<0.05*
3     3   220    1.95 0.123 p>0.05
4     3   220    0.810 0.490 p>0.05
5     3   220    4.39 0.00503 p<0.05*
6     3   220    8.76 0.0000163 p<0.05*
7     3   220    0.563 0.640 p>0.05
```

Nota: * indica que el resultado es significativo ($p < 0.05$), para la normalidad (Shapiro-Wilk), si el p-valor es < 0.05 , la variable no es normal; para la homogeneidad (Levene): Si el p-valor es < 0.05 , las varianzas no son homogéneas.

Figura 17

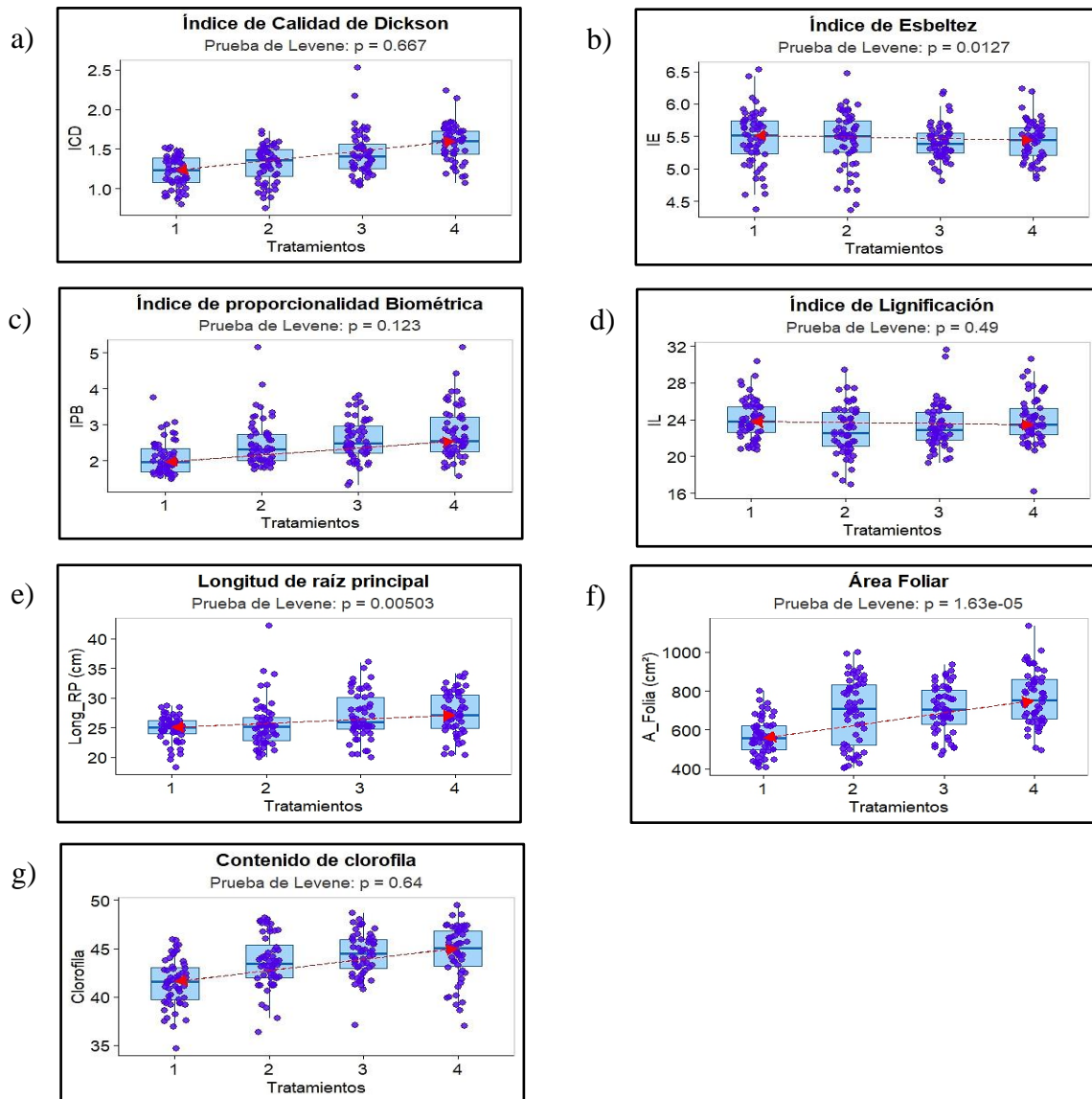
Resultado de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk



Nota: la Figura 17a muestra la distribución de datos del Índice de Calidad de Dickson; la Figura 17b presenta la distribución de datos del índice de esbeltez; la Figura 17c muestra la distribución de datos del índice de proporcionalidad biométrica; la Figura 17d muestra la distribución de datos del índice de lignificación; la Figura 17e presenta la distribución de datos de la longitud de la raíz principal; a Figura 17f muestra la distribución de datos del área foliar, y la Figura 17g muestra la distribución de datos del contenido de clorofila. Las distribuciones de datos para la mayoría de los parámetros no se ajustan a la normalidad, como se observa, los datos sobrepasan la campana de Gauss.

Figura 18

Resultado de la homogeneidad mediante la prueba de Levene



Nota: La Figura 18a muestra la distribución de datos del Índice de Calidad de Dickson. La Figura 18b la distribución de datos del índice de esbeltez. La Figura 18c presenta la distribución de datos del índice de proporcionalidad biométrica. La Figura 18d ilustra la distribución de datos del índice de lignificación. La Figura 18e muestra la distribución de datos de la longitud de la raíz principal. La Figura 18f presenta la distribución de datos del área foliar, y la Figura 18g muestra la distribución de datos del contenido de clorofila. La prueba de Levene reveló diferencias estadísticamente significativas en las varianzas ($p < 0,05$) únicamente para el índice de esbeltez y el área foliar, lo que indica heterocedasticidad para estas variables. Los demás parámetros mostraron homogeneidad de varianzas.

Anexo 2. Determinación del área foliar

Figura 19

Configuración de la escala en ImageJ utilizando una regla como referencia

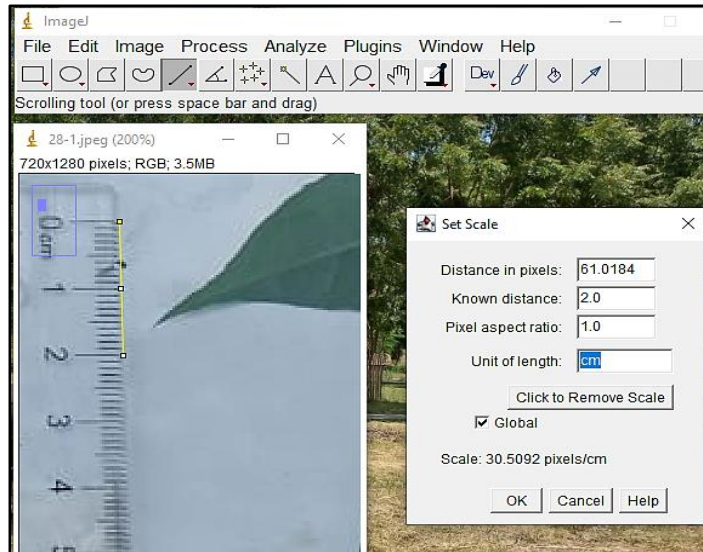
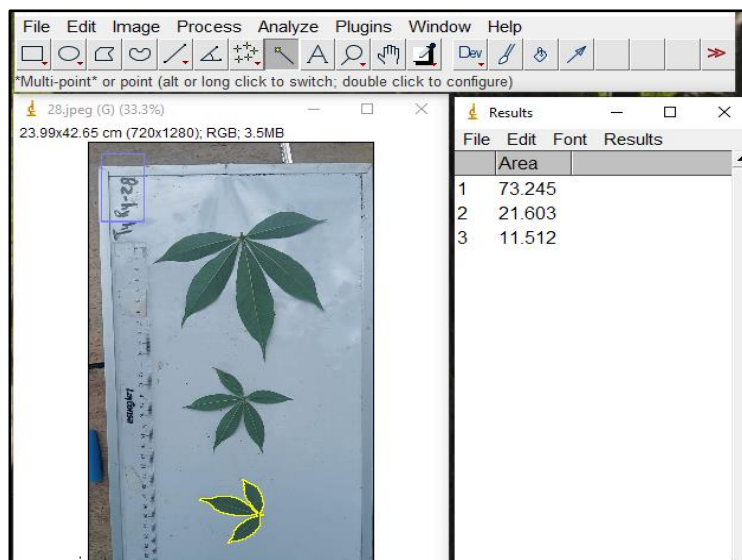


Figura 20

Cálculo del área foliar en el software ImageJ



Nota: La imagen muestra la utilización de la herramienta “Wand (tracing) tool” para seleccionar el contorno de cada una de las tres hojas para obtener el área de cada una.

Anexo 3. Caracterización del biol y sustrato.

Figura 21

Informe de la caracterización del biol hidrobiológico



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO LABSAF VISTA FLORIDA N° 110012-25NA / AB / VF



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: Yanner Jolsen Cruz Castillo
Propietario / Productor	: Yanner Jolsen Cruz Castillo
Dirección del cliente	: Pardo Miguel N° 802, Jaén
Solicitado por	: Yanner Jolsen Cruz Castillo
Muestreado por (***)	: El cliente
Referencia del muestreo (***)	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: Jaen - Jaen - Cajamarca
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-10-13
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-10-16
Lugar de ensayo	: LABSAF VISTA FLORIDA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-10-16 al 2025-11-03
Cotización del servicio	: 234-25-VF
Fecha de emisión	: 2025-11-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	AB024-VF-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Abonos	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)	2025-10-13	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	16:00	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	BIOL	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	-	4,5	-	-	-
Conductividad Electrica	uS/cm	-	25 440,0	-	-	-
Materia Organica	%	-	10,1	-	-	-
Nitrogeno Total	mg/ml	-	11,0	-	-	-
Humedad	%	-	83,9	-	-	-
Fosforo (P)	mg/L	-	1 843,0	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	-	7 567,0	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	-	4 875,0	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	-	1 019,0	-	-	-
Relacion C/N	-	-	5,3	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	-	51,5	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	-	0,5	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	-	4,1	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	-	2,7	-	-	-



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO LABSAF VISTA FLORIDA N° 110012-25NA / AB / VF



III. METODOLOGIA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	NTP 214.029: 2023 CALIDAD DE AGUA. Determinación de pH en agua. Método electrométrico
Conductividad Eléctrica	NTP 214.049:2023 CALIDAD DE AGUA. Conductividad electrolítica en agua. Metodo de ensayo
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000; 2da Sección. 2002; Ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Nitrogeno Total	ISO 11261:1995, First Edition 1995 Soil Quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
Humedad	NTC 5167:2022 // Determinación del Contenido de Humedad
Fosforo (P)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Potasio (K)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Calcio (Ca)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Magnesio (Mg)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Relacion C/N	Determinación de Relación C/N por calculo a partir de Carbono y nitrogeno.
Hierro (Fe)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Cobre (Cu)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Zinc (Zn)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Manganeso (Mn)	EPA Method 200.7// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Juan Valentin Diaz Saenz - Especialista de laboratorio del LABSAF - VISTA FLORIDA



Firmado digitalmente por:
BOLIVIA DIAZ Jose Dante FAU
20131365994 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 04/11/2025 07:27:22-0500

Firma

Figura 22

Informe de la caracterización del sustrato



Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



Registro N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO LABSAF VISTA FLORIDA N° 094474-25 / SU / VF



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Yanner Jolsen Cruz Castillo
 Propietario / Productor : Yanner Jolsen Cruz Castillo
 Dirección del cliente : Pardo Miguel N° 802, Jaén
 Solicitado por : Yanner Jolsen Cruz Castillo
 Muestreado por (***) : El cliente
 Referencia del muestreo (***) : Reservado por el cliente
 Procedencia de muestra(s) (***) : Jaen - Jaen - Cajamarca
 Fecha(s) de muestreo (***) : 2025-08-28
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2025-09-04
 Lugar de ensayo : LABSAF VISTA FLORIDA
 Fecha(s) de análisis : Del 2025-09-09 al 2025-09-24
 Cotización del servicio : 199-25-VF
 Fecha de emisión : 2025-09-30

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU3787-VF-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)	2025-08-28	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	8:33	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	Muestra de sustrato	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0,1	6,8	-	-	-
Conductividad Electrica	mS/m	1,0	63,8	-	-	-
Materia Organica	%	0,3	3,1	-	-	-
Fósforo Disponible	mg/kg	0,8	21,5	-	-	-
Potasio Disponible	mg/kg	2,6	160,3	-	-	-
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,6	11,1	-	-	-
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,4	<0,4	-	-	-
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,4	<0,4	-	-	-
Textura	-	-	-	-	-	-
Arena	%	-	69,1	-	-	-
Arcilla	%	-	17,5	-	-	-
Limo	%	-	13,4	-	-	-
Clase Textural	-	-	Franco Arenosa	-	-	-



Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200



INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO LABSAF VISTA FLORIDA N° 094474-25 / SU / VF



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996 1994 Soil quality – Determination of the specific electrical conductivity
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000, 2da Sección. 2002, ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10, AS-11 2002 Determinación de fósforo extraíble en suelos neutros y ácidos (AS 11 Método de Bray y Kurtz).
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revision 5 (2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Carbonato De Calcio Equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25, AS-29 2002 Determinación de los carbonatos de calcio equivalente (AS-29 Método de neutralización ácida).
Acidez y Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.29, AS-33 2002 Determinación de Acidez y Aluminio Intercambiable (AS-33 método de Cloruro de Potasio).
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(**) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Juan Valentin Diaz Saenz - Especialista de laboratorio. del LABSAF - VISTA FLORIDA



Firmado digitalmente por: BOLIVIA DIAZ para Dantes FAU 2013130504.com. Motivo: En señal de conformidad. Fecha: 06/10/2025 08:45:05:00

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare Acreditado con la Norma NTP-ISO/IEC 17025:2017 LABSAF Vista Florida

Dirección: Carretera Chiclayo a Ferreñafe km 8 Pisci - Chiclayo - Lambayeque Email: labsafvistaflorida@inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
LABSAF VISTA FLORIDA
N° 094474-25NA / SU / VF



I. INFORMACIÓN GENERAL



Cliente : Yanner Jolsen Cruz Castillo
Propietario / Productor : Yanner Jolsen Cruz Castillo
Dirección del cliente : Pardo Miguel N° 802, Jaén
Solicitado por : Yanner Jolsen Cruz Castillo
Muestreado por (****) : El cliente
Referencia del muestreo (****) : Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s) (****) : Jaen - Jaen - Cajamarca
Fecha(s) de muestreo (****) : 2025-08-28
Fecha de recepción de muestra(s) : 2025-09-04
Lugar de ensayo : LABSAF VISTA FLORIDA
Fecha(s) de análisis : Del 2025-09-09 al 2025-09-24
Cotización del servicio : 199-25-VF
Fecha de emisión : 2025-09-30

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU3787-VF-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (****)	2025-08-28	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (****)	8:33	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (****)	Muestra de sustrato	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Nitrógeno - Materia Organica	mg/g	-	1,6	-	-	-
Bases Intercambiables (Ca, Mg, Na y K	-	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	cmol (+)/Kg	-	31,3	-	-	-
Magnesio (Mg)	cmol (+)/Kg	-	3,9	-	-	-
Sodio (Na)	cmol (+)/Kg	-	1,0	-	-	-
Potasio (K)	cmol (+)/Kg	-	0,4	-	-	-

Figura 23

Interpretación de la caracterización del sustrato


 <small>Instituto Nacional de Investigaciónes Agrarias</small> LABSAF		 PERÚ <small>Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego</small>			
INTERPRETACIONES DE RESULTADOS DE ANALISIS					
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN VALOR DE PH		CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD (CE)			
pH	Evaluación	Efectos			
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.			
5.1 - 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos			
6,6 - 7,3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos			
7.4 - 8.5	Medianamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos			
> 8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes			
CLASIFICACION	CE (mS/m)	Efecto			
Normal	<100	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectados en sus rendimientos.			
Muy Ligeramente salino	110 – 200	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.			
Moderadamente salino	210 – 400	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.			
Suelo salino	410 - 800	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.			
Fuertemente salino	810 - 1600	Solo lo cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.			
Muy fuertemente salino	> 1600	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.			
MATERIA ORGANICA		FÓSFORO			
Clasificación	%MO	Clasificación	mg/kg de P		
Muy Bajo	<0.5	Bajo	<5.5		
Bajo	0.6 - 1.5	Medio	6.5 - 11		
Medio	1.6 – 3.5	Alto	>11		
Alto	3.6 - 6.0				
Muy Alto	> 6.0				
POTASIO		CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO			
Clasificación	mg/kg de K	Clasificación	CIC (meq/100g)	Efectos	
Bajo	<120	Muy Bajo	< 5.0	Suelo muy pobre	
Medio	120 - 240	Bajo	5.0 - 15	Suelo pobre	
Alto	>240	Medio	15 - 25	Suelo medio	
		Alto	25 - 40	Suelo rico	
		Muy Alto	> 40	Suelo muy rico	
CATIONES INTERCAMBIABLES (Ca, Mg, K Cmol/kg)					
Clase	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)		
Muy Baja	<2.0	<0.5	<0.2		
Baja	2.0 - 5.0	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3		
Media	5.0 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6		
Alta	>10	>3.0	>0.6		
SATURACIÓN DE BASES CAMBIABLES					
Calificativo	Saturación de Bases (%)	Efectos			
Bajo	< 35	Suelo muy ácido. Aconsejable una enmienda caliza.			
Medio	35 – 80	Suelo medio. Su riqueza dependerá de la CIC.			
Alto	> 80	Suelo neutro a alcalino. Suelo saturado de bases.			
Nota: 1 Cmol/Kg = meq/100 g					
MICROELEMENTOS					
Microelementos	Deficiente	Bajo	Normal	Alto	Exceso
Fe	0 - 10	11- 19	70 - 120	121 - 219	>220
Zn	0 - 5	6 - 14	15 - 25	26 - 39	>40
Cu	0.0 - 0.2	0.3 - 1.5	2 - 3	3.1 - 4.5	>4.5
Mn	0.0 - 1.8	1.9 - 3.5	3.5 - 7.0	>7.0	-

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda.

Anexo 4. Datos de las semillas de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn

Figura 24

Informe de evaluación del lote de semillas en el Laboratorio de Silvicultura


GINO FERNANDO
MONDRAGON AGUIRRE
 Ingeniero Forestal
 CIP N° 249817

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

Laboratorio de Silvicultura

DATOS DE SEMILLAS FORESTALES

Especie: Ceiba Pentandra L. Gaertn Fecha de recepción: diciembre 2024
 Nombre común: Ceiba / Lupuna Número de registro del lote: _____
 Procedencia: Shanango - Bellavista Condiciones de almacenamiento: _____
 Fecha de cosecha: 06-10-2024 Ubicación del lote: Laboratorio de Silvicultura

ANÁLISIS DE PUREZA

Fecha de ejecución	Peso de la muestra por repetición (g)	Número de semillas por repetición					Promedio	Peso total de impurezas (g)
		1	2	3	4	5		
10/04/25	5 gr	76	79	78	78	79	78	0.016 gr

Cantidad de semillas por kilogramo: 15 450 Peso de 1 000 semillas: 64.68 gr Porcentaje de pureza: 99.9 %

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Repetición	Fecha de evaluación															Observación
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0	0	3	5	5	5	5	11	15	16	16	17	17	17		
2	0	0	1	11	12	12	12	12	13	13	14	15	16	18		
3	0	0	4	4	4	5	6	6	7	8	11	13	14	17	19	
4	0	0	2	8	9	9	10	11	13	17	19	19	20	21	23	
Promedio	0	0	5	7	8	8	8	9	11	13	15	16	17	19	19	

Nota: la evaluación es acumulativa

Condiciones del ensayo:

Fecha de siembra: <u>11-04-2025</u>	Temperatura: <u>ambiente</u>	Tratamiento fitosanitario: <u>Famate en polvo</u>
Número total de semillas: <u>200</u>	Luz: <u>indirecto</u>	Fecha de inicio de germinación: <u>14-04-2025</u>
Semillas por repetición: <u>50</u>	Humedad: <u>ambiente</u>	Fecha de terminación de la prueba: <u>26-04-2025</u>
Sustrato: <u>arena de río</u>	Tratamiento pre germinativo: <u>Remojo por 24 horas</u>	

Resultados del ensayo:

Energía germinativa: 15 % (5 días)
 Porcentaje de germinación: 39 %

Yanner Jansen Cruz Castillo
Analista

Figura 25

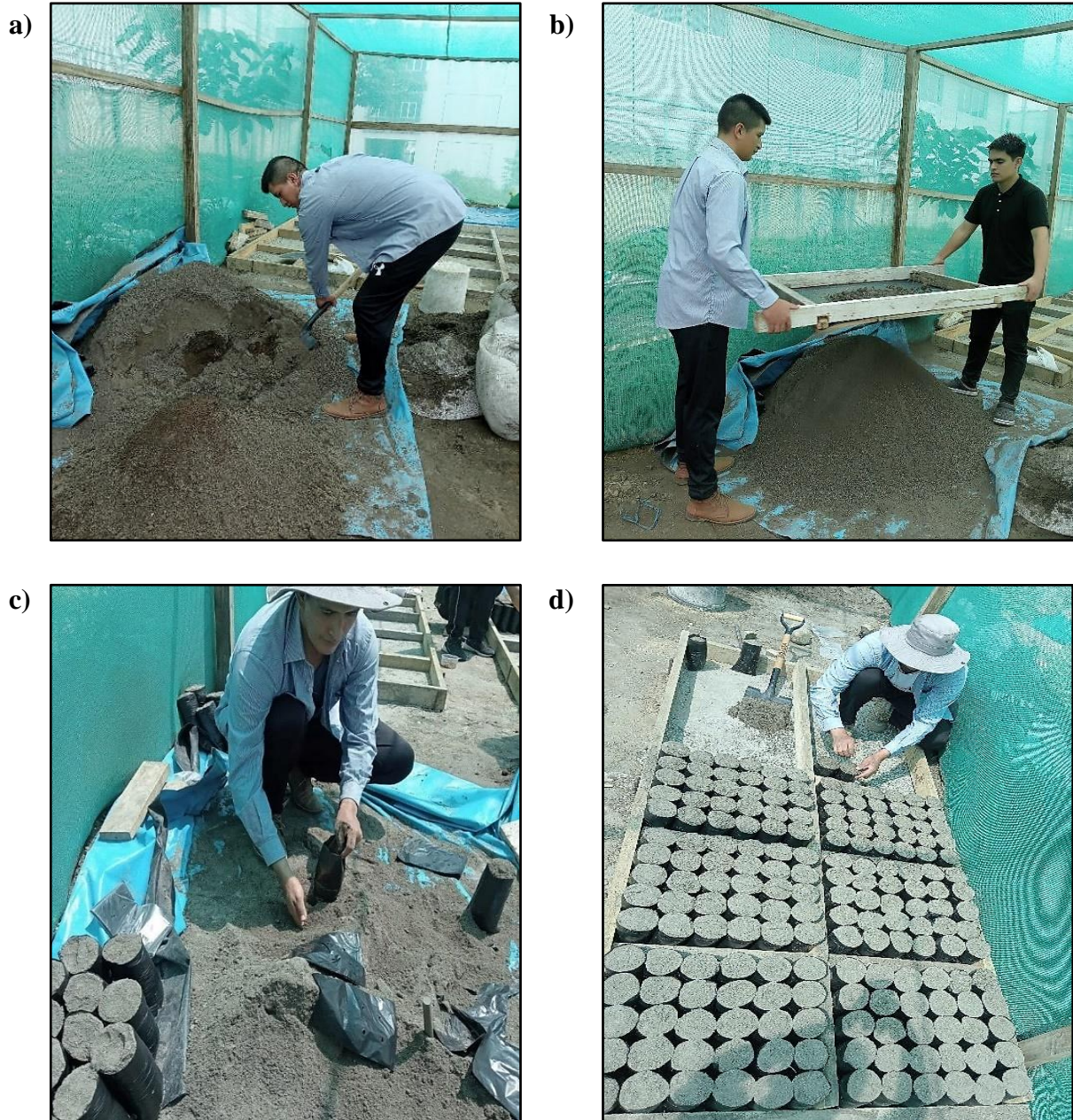
Frutos y semillas de *C. pentandra*



Anexo 5. Panel fotográfico

Figura 26

Tamizado, mezcla, llenado del sustrato y armado de las camas de repique



Nota: la Figura 26a muestra el tamizado del sustrato; la Figura 26b muestra el mezclado del sustrato; la Figura 26c muestra el llenado de bolsas de polietileno 6 pulg. \times 9 pulg. \times 1.5 mm y la figura 26d muestra el armado de las camas de repique de acuerdo al diseño experimental.

Anexo 6. Repique de las plántulas de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn

Figura 27

Extracción de las plántulas de la cama de germinación



Figura 28

Siembra de las plántulas en las camas de repique



Anexo 7. Panel fotográfico

Figura 29

Aplicación del biol hidrobiológico a los plantones de C. pentandra



Nota: La Figura 29 muestra el proceso de aplicación del biol hidrobiológico a los plantones de *C. pentandra*. La Figura 29a muestra la primera aplicación del biol hidrobiológico, realizada 15 días después del repique. Las Figuras 29b, 29c, 29d, 29e y 29f presentan la segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta aplicación, respectivamente; cada una realizada con un lapso de 15 días.

Anexo 8. Medición del contenido de clorofila

Figura 30

Medidor portátil de clorofila (Konica Minolta, SPAD-502 Plus)



Figura 31

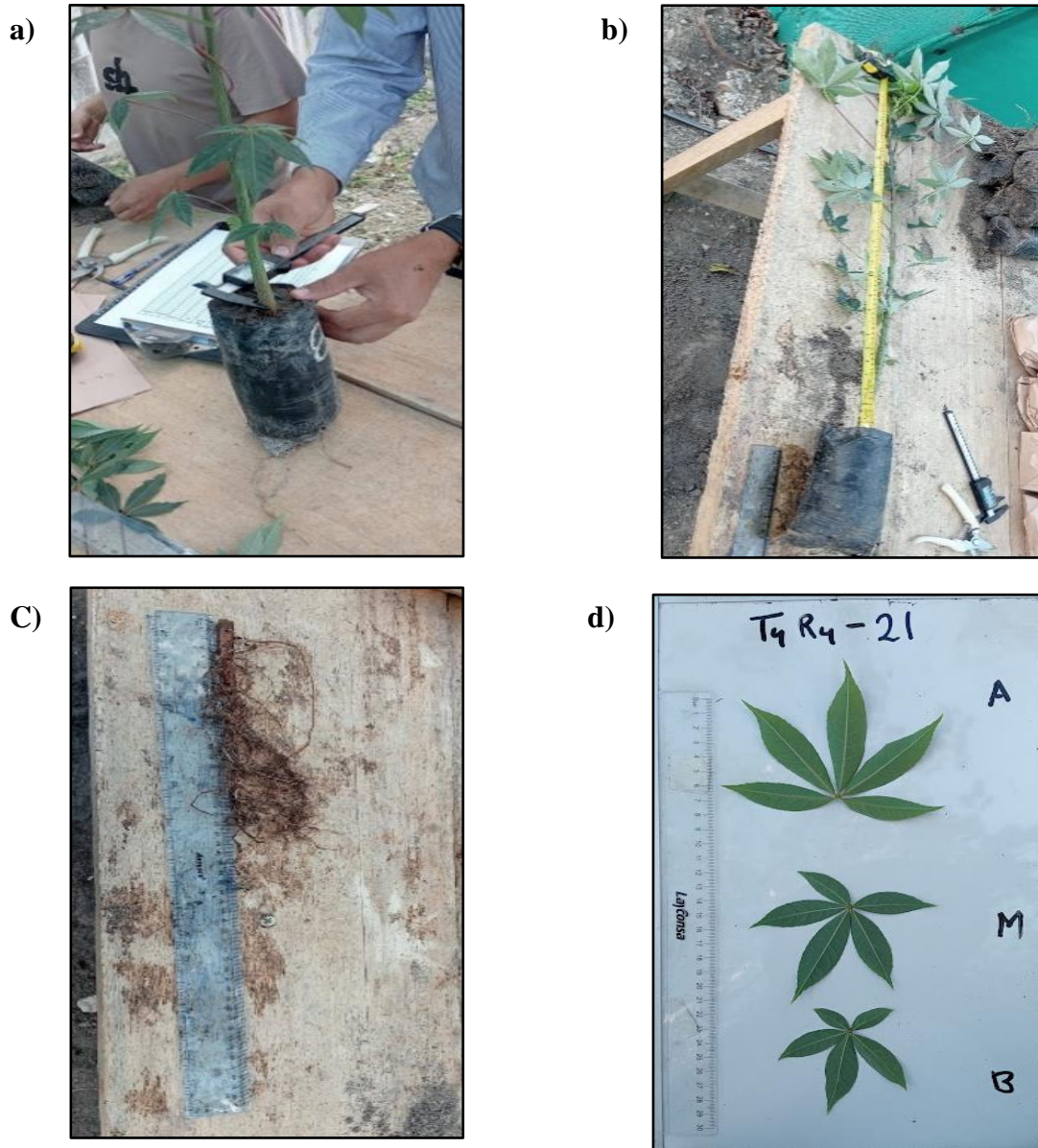
Toma de medidas del contenido de clorofila



Anexo 9. Panel Fotográfico

Figura 32

Evaluación de plántones en campo

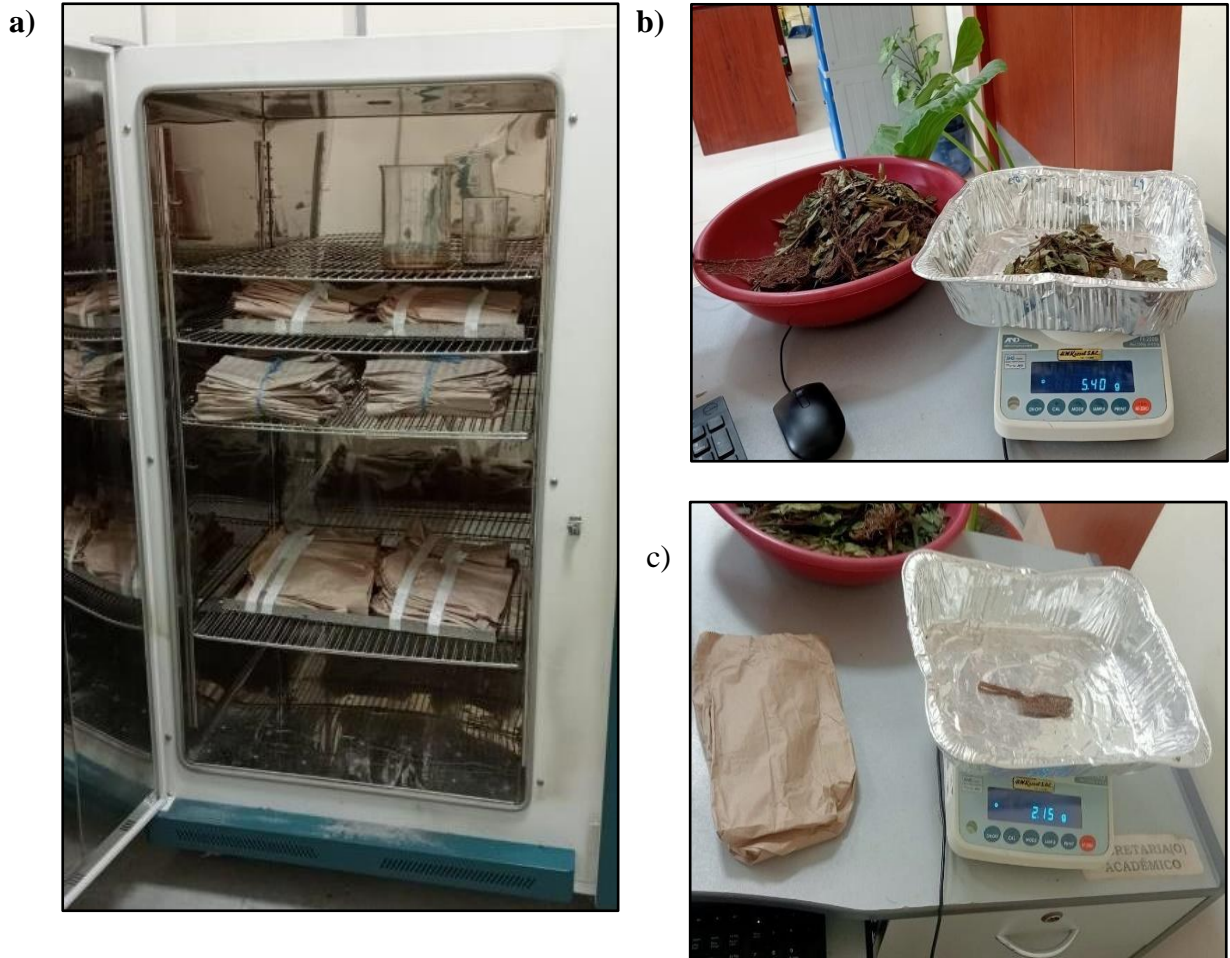


Nota: la Figura 32a muestra la toma de mediada de la altura, la figura 32b muestra la toma de medida del diámetro al nivel del cuello de la raíz; la figura 32c muestra la toma de medida de la longitud de la raíz principal y la figura 32d muestra la pizarra con tres hojas (parte apical, medio y base) a las cuales se le tomó fotografías para procesar en el programa ImageJ.

Anexo 10. Panel fotográfico

Figura 33

Secado de biomasa radicular y aérea en la estufa



Nota: la Figura 33a muestra el proceso de secado de la biomasa en la estufa del Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental; en la figura 33b muestra el registro del peso seco de la biomasa aérea y la figura 33c muestra el registro del peso de la biomasa radicular.

Anexo 11. Solicitud de permisos para utilizar los laboratorios del departamento académico de Ingeniería Foresta y Ambiental

Figura 34

Solicitud para el uso de herramientas y equipos del laboratorio de Silvicultura-DAIFA






 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</p> <p>“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”</p> <p>ASUNTO: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA EJECUCIÓN DE TESIS.</p> <p>SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA USO DEL LABOARTORIO DE SILVICULTURA</p> <p>Señor: M.Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre Jefe del Laboratorio de Silvicultura - IFA Universidad Nacional de Jaén</p> <p>Yo, Yanner Jolsen Cruz Castillo, identificado(a) con DNI N° 72648482, en calidad tesista de la Universidad Nacional de Jaén, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, con el proyecto "Determinación de la calidad de plántones de <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn a nivel de vivero bajo influencia de un biol hidrobiológico", aprobado mediante Resolución N° 450 – 2025 – UNJ/ FI.</p> <p>Me presento ante usted con el debido respeto para solicitar autorización para el uso del Laboratorio de Silvicultura y sus herramientas y equipos: computadora de escritorio, barreta agrícola, pala, machete, serrucho cola de zorro y mesa; los cuales serán utilizados en la ejecución de la presente tesis.</p> <p>Por lo expuesto, solicito se me autorice el uso del Laboratorio de Silvicultura, garantizando que será empleados únicamente con fines académicos.</p> <p>Jaén, 09 de junio de 2025</p> <p>Atentamente,</p> <p> _____ Cruz Castillo Yanner Jolsen TESISTA</p> <p><i>Recibido 10 junio 2025 HA</i></p>

Figura 35

Solicitud para el uso de equipos del Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental

	
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”	
ASUNTO: SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA EJECUCIÓN DE TESIS.	
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA USO DE LOS EQUIPOS: ESTUFA Y BALANZA ANALÍTICA.	
Señor: Dr. MARTÍNEZ SOVERO GUSTAVO ADOLFO Responsable encargado del Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental Universidad Nacional de Jaén	
Yo, Yanner Jolsen Cruz Castillo, identificado(a) con DNI N° 72648482, en calidad tesista de la Universidad Nacional de Jaén, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, con el proyecto "Determinación de la calidad de plántones de <i>Celba pentandra</i> (L.) Gaertn a nivel de vivero bajo influencia de un biol hidrobiológico", aprobado mediante Resolución N° 450 – 2025 – UNJ/ FI y con el apoyo de los asesores: M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre y Dr. Luis Arturo Gil Ramírez. Me presento ante usted con el debido respeto para solicitar autorización para el uso del Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental y sus equipos: Estufa y balanza analítica, los cuales serán utilizados en el marco de la presente tesis en las fechas del 13 al 29 de agosto del 2025.	
Declaro bajo juramento que el uso del laboratorio y sus equipos será exclusivamente con fines académicos, para el desarrollo de tesis por la Universidad Nacional de Jaén.	
Por lo expuesto, solicito se autorice el uso de los equipos, garantizando que serán empleados únicamente con fines académicos.	
Atentamente,	Jaén, 13 de agosto de 2025
 _____ Cruz Castillo Yanner Jolsen TESISTA	  _____ Mondragón Aguirre Gino Fernando ASESOR
	 _____ Gil Ramírez Luis Arturo ASESOR