U N I V E R S I D A D N A C I O N A L D E U C A Y A L I

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

EFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLANTAS OBTENIDOS A PARTIR DE ESTAQUILLAS ENRAIZADAS DE (*Dipteryx ferrea* Ducke) SHIHUAHUACO, EN PUCALLPA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

NIVELI GUEVARA PAREDES

Pucallpa – Perú
2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°013/2026-CGyT-FCFyA-UNU

En la Ciudad de Pucallpa, siendo las 10:00 am del día viernes 08 de mayo de 2026, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, designados con Memo Mult. N.º 013-2026-UNU-FCsFyA-CGT, conformado por los siguientes Docentes:

Dr. Aparicio Limache Alonso	Presidente
Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez	Miembro
Mg. Moisés Torres Velasco	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis denominada: **"EFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLANTAS OBTENIDOS A PARTIR DE ESTAQUILLAS ENRAIZADAS DE (Dipteryx férrea Ducke) SHIHUAHUACO, EN PUCALLPA"**, presentado por la bachiller **GUEVARA PAREDES, NIVELI**, asesorado por el Dr. Cesar Mori Montero, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia la tesis fue aprobada por **MAYORIA**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**. Siendo las 11:10 am del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Aparicio Limache Alonso
Presidente

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez
Miembro

Mg. Moisés Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN Y FIRMA DEL JURADO DE LA TESIS

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

Esta tesis fue sometida para su aprobación ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

DR. APARICIO LIMACHE ALONSO
PRESIDENTE

DR. JORGE ARTURO MORI VASQUEZ
PRIMER MIEMBRO

MSc. MOISES TORRES VELASCO
SEGUNDO MIEMBRO

DR. CESAR MORI MONTERO
ASESOR

Bach. GUEVARA PAREDES NIVELI
TESISTA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0441-2024**.

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

"**EFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLANTAS OBTENIDOS A PARTIR DE ESTAQUILLAS ENRAIZADAS DE (Dipteryx ferrea Ducke) SHIHUAHUACO, EN PUCALLPA**"

Autor(es)	:	**GUEVARA PAREDES, NIVELÌ**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. MORI MONTERO, CESAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 10%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

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

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

Fecha: 06/09/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN TESIS EN REPOSITORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Nivelí Guevara Paredes

Autor de la tesis titulada: Efecto de diferentes sustratos en el Crecimiento, desarrollo y calidad de Plantas obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de (Dipteryx ferrea Ducke) Shihuahuaco, en Pucallpa.

Sustentada el año 2026

Asesor(a): Dr. César Mori Montero

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Forestal

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

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

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

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

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 17 / 09 / 2026

Email: nivelyguevara.28@gmail.com Firma:

Teléfono: 962672890 DNI: 73738174

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

DEDICATORIA

A mis hermanas por haber estado ahí desde el principio, por el sacrificio que ha significado apoyarme en mi educación y crecimiento profesional.

A mi familia por su amor incondicional, apoyo emocional y financiero a lo largo de mi vida académica. Sin su sacrificio y confianza en mí, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

La culminación de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo y la colaboración de muchas personas a lo largo de este proceso. En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, quien me ha guiado y dado la sabiduría e inteligencia para alcanzar esta meta.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) sede Ucayali, por el apoyo financiero, técnico y los recursos proporcionados para la realización de esta investigación.

Al M.Sc. Wilson Francisco Guerra Arévalo, investigador del IIAP, por su tiempo, acompañamiento y aportes brindados durante la ejecución del proyecto.

A la Universidad Nacional de Ucayali por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional.

A mi asesor de tesis el Dr. Cesar Mori Montero, por su orientación, paciencia y valiosas sugerencias. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores y compañeros de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, gracias por los conocimientos compartidos y el ambiente de colaboración que siempre ha prevalecido. Agradezco especialmente a los miembros de jurado evaluador por sus comentarios y apoyo constante. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este proyecto, les extiendo mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

RESUMEN xv

ABSTRACT xvi

INTRODUCCIÓN xvii

CAPITULO I 14

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

1.1. Descripción del problema 14

1.2.1. Problema General 15

1.2.2. Problemas específicos 15

1.3. Objetivos de la investigación 16

1.3.1. Objetivo general 16

1.3.2. Objetivos específicos 16

CAPITULO II 17

MARCO TEÓRICO 17

2.1. Antecedentes del problema 17

2.1.1. Antecedentes internacionales 17

2.1.2. Antecedentes nacionales 19

2.1.3. Antecedentes locales 20

2.2. Base teórica 23

2.2.1. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo de y calidad de plantas 23

2.2.2. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de las plantas 24

2.2.3. Efecto de los sustratos en el desarrollo de la planta 25

2.2.4. Efecto de los sustratos en la calidad de la planta 26

2.2.5. Componentes de los sustratos empleados 27

2.2.6. Índices morfológicos 30

2.2.7. Índices fisiológicos 31

Índices de Lignificación 31

2.2.8. Shihuahuaco 32

2.2.8.1. Descripción taxonómica 33

2.2.8.2. Descripción botánica de la especie 33

2.2.8.3. Distribución 34

2.2.9. Propagación por estaquillas 35

2.3. Definición de Términos Básicos 36

CAPITULO III 40

METODOLOGÍA 40

3.1. Método de investigación 40

3.2. Población y muestra 40

3.2.1 Población 40

3.2.2. Muestra 40

3.3. Procedimientos de recolección de datos 40

3.3.1. Evaluación del efecto de los diferentes sustratos en el crecimiento (altura y diámetro) de estaquillas enraizadas de *Dipteryx ferrea* 41

3.3.2. Determinación del efecto de diferentes sustratos en el desarrollo (número de hojas) de plantas de *Dipteryx ferrea*. 45

3.3.3. Identificación del efecto de los diferentes sustratos para la obtención de plántulas de calidad. 45

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos 46

3.4.1. Técnicas 46

3.4.2. Instrumentos 46

3.5. Procesamiento para recolección de datos 47

3.6. Tratamiento de datos 47

CAPITULO IV 52

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52

4.1. Resultados 52

4.1.1. Análisis de varianza de las variables de crecimiento (altura, diámetro) y desarrollo (número de hojas) plantas de shihuahuaco 53

4.1.2. Análisis de medias de Altura 54

4.2. Calidad de la planta 67

4.2.1. Análisis de varianza de las variables de calidad (Índice de Dickson, Índice de Esbeltez, Índice de Lignificación, Índice Relación: Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular) 67

4.2.2. Análisis de medias del Índice de Esbeltez 68

4.2.3. Análisis de medias del Índice de Lignificación 72

4.2.4. Análisis de medias del Índice Relación: Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular 77

4.3. Discusion.....83

CAPITULO V.....87

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....87

5.1. Conclusiones.....87

5.2. Recomendaciones.....88

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....89

ANEXOS.....104

ANEXO 1: FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....105

ANEXO 2: FORMATO DE FACTORES AMBIENTALES CONDICIONANTES DEL EXPERIMENTO.....106

Anexo 03: Registro fotográfico del proceso experimental.....107

Anexo 04: Análisis de supuestos, varianza y estadísticos.....116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos y tipos de sustratos..... 49

Tabla 2 Distribución de las unidades experimentales 49

Tabla 3 Fuentes de variabilidad del análisis de variancia 51

Tabla 4 Compilación de datos..... 52

Tabla 5 Análisis de varianza para variables crecimiento (altura de planta (H); diámetro (D)) y desarrollo (número hojas (NH)), de estaquillas enraizadas de Dipteryx ferrea Ducke..... 53

Tabla 6 Prueba de medias para las variables de crecimiento (altura de planta (H); diámetro (D)) y desarrollo (número hojas (NH)) de estaquillas enraizadas de Dipteryx ferrea Ducke..... 54

Tabla 7 Análisis de varianza de variables de calidad: i) Índice de Dickson (ID), ii) Índice de Esbeltez (IE), iii) Índice de Lignificación (IL), iv) Índice Relación: BSA/BSR, de estaquillas enraizadas Dípteryx férrea Ducke..... 67

Tabla 8 Prueba de medias para variables calidad: i) Índice de Dickson (ID), ii) Índice de Esbeltez (IE), iii) Índice de Lignificación (IL), iv) Índice Relación: BSA/BSR, de estaquillas enraizadas de Dípteryx férrea Ducke (altura y diámetro)..... 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del lugar de ejecución 41

Figura 2 Número de estaquillas por tratamiento 50

Figura 3 Efecto de los diferentes sustratos en la altura total (cm) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días..... 56

Figura 4 Efecto de los diferentes sustratos en el diámetro (mm) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días..... 60

Figura 5 Efecto de los diferentes sustratos en el número de hojas (N°) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días 64

Figura 6 Índice de Esbeltez por tratamiento en las plantas de Dipteryx ferrea Ducke a 150 días 70

Figura 7 Índice de lignificación por tratamiento en las plantas de Dipteryx ferrea a 150 días..... 74

Figura 8 Relación biomasa seca aérea sobre biomasa seca radicular de plantas de Dipteryx ferrea a de 150 días entre los tratamientos..... 79

Figura 9 Medición de insumos para sustratos.....107

Figura 10 Preparación de sustratos 107

Figura 11 Tratamiento T0 108

Figura 12 Tratamiento T1 108

Figura 13 Tratamiento T3 109

Figura 14 Tratamiento T4 109

Figura 15 Tratamiento T5 110

Figura 16 Tratamiento T6 110

Figura 17 Tratamiento T7 111

Figura 18 Llenado de tubetes.....111

Figura 19 Estaquillas enraizadas.....112

Figura 20 Colocación de estaquillas enraizadas a sustratos.....112

Figura 21 Etiquetado para tratamientos y repeticiones.....113

Figura 22 Instalación de tratamientos.....113

Figura 23 Ubicación del total de tratamientos.....114

Figura 24 Medición de altura y diámetros a estaquillas 114

Figura 25 Conteo de plántulas vivas.....115

Figura 26 Entrada a estufa y pesaje de parte foliar y raíces 115

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo y calidad de plantas de *Dipteryx ferrea* Ducke (shihuahuaco), propagadas mediante estaquillas enraizadas en la ciudad de Pucallpa. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental Completamente al Azar (DCA), con nueve tratamientos y tres repeticiones, utilizando una muestra de 99 estaquillas seleccionadas de una población de 2000 ejemplares. Los resultados demostraron que el tratamiento T4 (cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost de palma aceitera [2:1:1]) generó el mejor desempeño en crecimiento morfométrico, alcanzando una altura de 9 cm, un diámetro de 4 mm y una emisión de 3.6 hojas. En cuanto a la calidad estructural y balance de crecimiento, los tratamientos T4 y T3 presentaron la mejor proporción. Por su parte, la robustez y madurez de los tejidos fue superior en los tratamientos T5, T3 y T8, mientras que el T1 y el T5 reportaron un desarrollo armónico entre la parte aérea y radicular. Finalmente, el tratamiento T6 destacó por un elevado vigor general en el desarrollo integral de la planta. Se concluye que la composición del sustrato incide significativamente en el desarrollo inicial de la especie, siendo el T4 la opción más eficaz para lograr un crecimiento morfológico integral y plantas de alta calidad.

Palabras clave: Estaquillas enraizadas, propagación vegetativa, shihuahuaco, sustratos.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of different substrates on the growth, development, and quality of Dipteryx ferrea Ducke (shihuahuaco) plants propagated from rooted cuttings in Pucallpa. The study employed a quantitative approach and a Completely Randomized Design (CRD), with nine treatments and three replicates, using a sample of 99 cuttings selected from a population of 2,000. Results showed that treatment T4 (carbonized rice husk + poultry manure + oil palm compost [2:1:1]) yielded the best performance in morphometric variables, achieving an average height of 9 cm, a diameter of 4 mm, and the emergence of 3.6 leaves. Regarding structural quality and growth balance, treatments T4 and T3 exhibited the most favorable proportions. Furthermore, tissue robustness and maturity were superior in treatments T5, T3, and T8, while T1 and T5 demonstrated balanced development between the shoot and root systems. Finally, treatment T6 stood out for high overall vigor in the plant's integral development. It is concluded that substrate composition significantly influences the species' initial development, with T4 being the most effective option for achieving integral morphological growth and high-quality plants.

Keywords: Rooted cuttings, vegetative propagation, shihuahuaco, substrates.

INTRODUCCIÓN

El shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) es una especie forestal de gran valor comercial en el Perú, que puede alcanzar hasta 50 metros de altura y 1.8 metros de diámetro. Su fuste varía de sinuoso a cilíndrico, presentando desprendimiento de pequeñas placas y lenticelas dispersas de color amarillo-ferruginoso (Flores, 2020). Esta especie es una de las más explotadas en la Amazonía peruana, debido a la alta demanda de su madera, la cual es apreciada por su durabilidad y resistencia. Su aprovechamiento está regulado por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), mediante autorizaciones y permisos que buscan controlar su extracción. Entre los años 2000 y 2015, la producción alcanzó 1 641 269.14 m³ de madera rolliza y 512 833.81 m³ de madera aserrada en las regiones de Loreto, Madre de Dios, Ucayali, San Martín, Cusco, Junín y Pasco (Flores, 2020). Sin embargo, la extracción intensiva y la limitada regeneración natural han provocado una disminución progresiva de sus poblaciones en estado silvestre, generando un riesgo para su conservación y amenazando el equilibrio ecológico de los bosques amazónicos.

A pesar de la relevancia ecológica y económica de esta especie, hasta el momento no se registran estudios publicados sobre su propagación vegetativa (*Dipteryx ferrea*). Si bien existen investigaciones relacionadas con especies del mismo género, como *Dipteryx oleífera*, *Dipteryx alata* y *Dipteryx odorata*, la falta de información científica sobre *D. ferrea* representa una limitación importante para el desarrollo de programas de reforestación, manejo sostenible y conservación de la especie (Flores, 2020). Además, esta situación dificulta la implementación de técnicas efectivas para la producción de plántulas en vivero,

lo que incrementa la dependencia de la extracción directa de los bosques naturales.

El establecimiento exitoso de plántulas en vivero depende en gran medida de las condiciones de cultivo, siendo el tipo de sustrato uno de los factores más determinantes para garantizar un crecimiento vigoroso y la calidad adecuada de las plantas destinadas a reforestación o plantaciones comerciales. En este contexto, la presente investigación adquiere especial relevancia, ya que contribuye a generar conocimiento técnico-científico sobre la propagación vegetativa de *Dipteryx ferrea*, con el propósito de identificar el sustrato óptimo que favorezca su desarrollo. Los resultados de este estudio aportan información clave para programas de reforestación y conservación, reduciendo la presión sobre las poblaciones naturales y promoviendo la sostenibilidad de los bosques amazónicos. Asimismo, brindarán herramientas prácticas para viveristas, comunidades nativas y productores locales, permitiendo la implementación de técnicas más eficientes que incrementen la disponibilidad de material vegetal de calidad, lo cual tiene una importancia ecológica, económica y social significativa.

En este sentido, el objetivo principal fue determinar el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo y calidad de plantas obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) en Pucallpa. Para alcanzar este propósito, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (a) evaluar el crecimiento en altura, diámetro y número de hojas en función de los diferentes sustratos, (b) determinar la calidad de las plantas mediante indicadores morfológicos y fisiológicos como el índice de Dickson, índice de esbeltez, índice de lignificación y la relación biomasa aérea/biomasa radical, e

(c) identificar el sustrato óptimo que favorezca la producción de plántulas de calidad para su establecimiento en campo definitivo.

En conclusión, este estudio busca dar respuesta a la problemática de la falta de información técnica sobre la propagación vegetativa del shihuahuaco, aportando conocimientos que permitan desarrollar estrategias de conservación y producción sostenible. De esta manera, se espera que los resultados generen un impacto positivo en la gestión de los recursos forestales de la Amazonía peruana, contribuyendo a la preservación de una especie emblemática y de gran valor económico para el país.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El Shihuahuaco es una especie forestal maderable del género Dipteryx presente en la Amazonía peruana, las cuales han sido incluidas en el Apéndice II de la Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), en noviembre de 2022 (SERFOR, 2023). Reynel *et al*., (2003) menciona que esta especie es altamente aprovechada debido a la dureza y resistencia de su madera, por lo que tiene características adecuadas para la obtención de diferentes productos como aplicaciones para pisos, muebles al aire libre, entre otros.

Fernandez (2023) menciona que, en la actualidad existe limitados árboles semilleros de la especie *Dipteryx férrea,* y es necesario realizar estudios de propagación asexual o vegetativa de esta especie.

La propagación asexual o vegetativa mediante estacas está en realizar cortes en secciones de tallos, hojas o raíces obtenidos de plantas jóvenes, brotes epicórmicos o rebrotes de tocones (Rojas *et al.*, 2004; Hartmann *et al*., 2011). También Fernandez (2023) explica que la propagación vegetativa es importante porque garantiza las características fenológicas y genéticas de la especie semillera.

Teniendo en cuenta los datos anteriormente mencionados, se ha podido observar la necesidad de determinar el mejor sustrato que proporcione una serie de beneficios que favorecen su crecimiento y calidad, ya que los sustratos orgánicos tienen una mayor capacidad de retener agua y nutrientes, lo que

contribuye a mantener una humedad adecuada en las raíces de las plantas y a garantizar un suministro constante de nutrientes esenciales.

Este estudio contribuirá a mejorar las técnicas de propagación vegetativa de esta especie forestal y a generar información valiosa para la toma de decisiones en la producción forestal sostenible en la Amazonía peruana.

1.2. Problemas de la investigación

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo y calidad de plantas obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) en Pucallpa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de los sustratos en el crecimiento (altura y diámetro) de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke), en Pucallpa?
- ¿Cuál es el efecto de diferentes sustratos en el desarrollo (número de hojas) de plantas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) obtenidas a partir de estaquillas enraizadas en Pucallpa?
- ¿Cuál es el sustrato más adecuado para la obtención de plántulas de calidad (índice de esbeltez, índice de lignificación, índice de Dickson y relación BSA/BSR) a partir de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke), en Pucallpa?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo y calidad de plantas obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (Dipteryx ferrea Ducke) en Pucallpa.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los sustratos en el crecimiento (altura y diámetro) de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke), en Pucallpa
- Analizar el efecto de diferentes sustratos en el desarrollo (número de hojas) de plantas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) obtenidas a partir de estaquillas enraizadas en Pucallpa
- Determinar el sustrato más adecuado para la obtención de plántulas de calidad (índice de esbeltez, índice de lignificación, índice de Dickson y relación BSA/BSR) a partir de estaquillas enraizadas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke), en Pucallpa

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Escamilla-Hernández *et al.* (2020) en su tesis “Propagación vegetativa de Pinus patula SCHIEDE ex SCHLTDL. et CHAM. en diferentes sustratos, Mexico” concluye que:

Al utilizar la mezcla 9:1 de aserrín y corteza de pino tuvieron un porcentaje elevado de enraizamiento de estacas de Pinus patula, en tanto la mezcla con dimensión mayor de corteza de pino al 90% mostró los valores más bajos de enraizamiento de estacas (p. 219). Sin embargo, Mamani (2019) en su investigación titulada “Determinación de la calidad de plantines de ligustro (ligustrum ovalifolium hassk) afirma lo siguiente:

A partir de estacas con diferentes sustratos bajo ambiente protegido en el municipio de Viacha” concluye que la altura principal del brote posee tratamientos promedios de T2 (50% tierra del lugar, 25% arena, 25% turba) con 31.10 cm, también del T5 (15% tierra del lugar,15% arena,40% turba, 30% estiércol ovino), con 27.07 cm, del T4 (25% Tierra del lugar, 25% Arena, 25%Turba y 25% Estiércol ovino) con 26.50 cm, del T3 (30% Tierra del lugar, 30% Arena y 40%Turba) con 21.67 cm y el T1 (100% Tierra del lugar) con 18.23 cm. Además, el brote principal del diámetro según Duncan tiene como tratamiento T5 con 7.70 mm al T2 con 7.50 mm, seguidos de los T3 con 6.10 mm, del T4 con 5.47 mm y el T1 con 4.10 mm (p. 57).

Según la investigación de Sallesses *et al.* (2015) sobre el “Efecto de compost de guano avícola en la producción de clones híbridos de Eucalyptus

granais x Eucalyptus camaldulensis- Argentina" menciona como objetivo principal: "Es estimar el impacto que tienen los distintos sustratos formulados con compost de guano de gallinas ponedoras en la capacidad de enraizamiento y la calidad de planta de dos clones híbridos de Eucalyptusgrandis x Eucalyptus camaldulensis; de igual manera" (p.222),

Asimismo, Sallesses *et al.* (2015) indica como resultado:

Que el sustrato T3 tuvo mejor desempeño en el estudio, y la calidad de los plantines incremento con la presencia de compost de guano en la formulación de los sustratos, también resalta que la utilización de compost de guano de gallinas es una propuesta que beneficia el reciclado de residuos de la producción avícola, disminuyendo el empleo de un recurso no renovable como la turba y obviando efectos adversos de la explotación sobre las turberas (p. 226).

En el ámbito local, se registran las investigaciones de Rollo (2009) en *Dipteryx odorata* (Aubl.) quien investigó sobre la capacidad de enraizamiento en estaquillas tratadas con leche de coco:

Logrando 15 % de enraizamiento en condiciones de cama de almacigo y 6,6 % de enraizamiento en propagadores de subirrigación con estaquillas de posiciones basales. En tanto, la segunda investigación, se utilizó las técnicas in vitro y se estimó los efectos de citoquinina 6-bencilaminopurina en segmentos nodales; como resultado que la especie es recalcitrante a la propagación in vitro (p.3).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Révolo & Révolo (2018) en su investigación “Efecto de los sustratos orgánicos en el desarrollo y crecimiento de bambú guadua (*Guadua angustifolia* kunth) a nivel de vivero en Chanchamayo”, menciona que:

El tratamiento con mayor supervivencia de esquejes a los 100 días de cultivo fue el T2 (Compost + tierra) con 79.00 % de plantas vivas, T3 (Fibra de coco + tierra) con 78.50 % para los sustratos con compost y fibra de coco respectivamente y la menor supervivencia fue T5 (tierra negra + arena) y T1 (Aserrín + tierra) con los sustratos tierra negra y aserrín, respectivamente; del mismo modo T2 (Compost + tierra) muestra el mayor número de brotes con un promedio de 8.00 brotes, incrementando estos entre los 80 a 100 días de cultivo, el T4 (Microorganismos de montaña + tierra) tiene la mayor longitud del brote con 29.75 cm y de la misma manera el T2 (Compost + tierra) presenta la mayor cantidad de hojas por brote de 12.75 y asimismo el mayor diámetro de tallo fue 3.38 cm (p.3).

Rodríguez (2016) en su tesis titulada “Efecto de diferentes sustratos en el prendimiento de esquejes de bambú guayaquil (*Dendrocalamus asper* Schult. & Schult. f. Backer ex K. Heyne) en Tingo María”, afirma que:

Los sustratos fueron de un bambusal, de un bosque de C. cateniformis, la mezcla de humus (50%) + sustrato vivero (50%) (6:3:1), la mezcla de humus (40%) + sustrato vivero (60%) (6:3:1) y la mezcla de tierra agrícola (58%), arena (39%) + roca fosfórica (3%). Se logró con los sustratos mezcla de tierra agrícola (58 %), arena (39 %) y roca fosfórica (3 %) con valor de 115.77 ± 26.37 cm de altura, 4.0 ± 3.06 brotes, 10.0 ± 2.37 hojas y el sustrato de bosque con valor de 112.25 ±

25.09 cm, 3.5 ± 0.87 brotes, 11.0 ± 0.95 hojas. De acuerdo al análisis el porcentaje de supervivencia tuvo mejor respuesta al sustrato mezcla de tierra agrícola (58 %) con arena (39 %) y roca fosfórica (3 %), con 54.17 % y el sustrato suelo de bosque con 50 %; en el incremento la mejor respuesta fue en el sustrato mezcla de tierra agrícola (58 %) con arena (39 %) y roca fosfórica (3 %), con un incremento de 110.88 cm de altura, y el sustrato suelo de bosque con 107.50 cm de altura, en el incremento del número de brotes y hojas no hubo diferencias entre ellos (p.13).

Ramos (2012) y Zamora (2013) buscaron desarrollar protocolos de propagación in vitro en *Dipteryx alata* Vogel. Ninguno de los dos consiguió el enraizamiento de los explantes, aunque Zamora (2013) señala como antecedente ensayos realizados por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde solo se logró la formación de primordios radiculares de 4 mm y 3 mm en únicamente dos explantes al cabo de 65 y 75 días, respectivamente (Honorio et al., 2018, p. 15).

2.1.3. Antecedentes locales

Fernández Angulo, M. C. (2023) en su investigación "*Efecto del AIB y sustratos en la propagación vegetativa de Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) en cámara de sub-irrigación* (Tesis de grado, Universidad Nacional de Ucayali, usaron estacas de 5-7 cm tratadas con diferentes concentraciones de Ácido Indol-3-Butírico (AIB) y distintos sustratos (Jiffy, fibra de coco, cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza, cascarilla + aserrín). Se obtuvo que algunas combinaciones de sustrato con CAC + compost

promovieron mejor enraizamiento, crecimiento foliar, comparación de materia seca, etc.

Flores, Y. (2021) en su estudio *Crecimiento del "shihuahuaco" Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke en plantaciones bajo diferentes espaciamientos y tipos de suelo en Ucayali, a* los 11 años de edad, plantaciones puras y mixtas del shihuahuaco mostraron altos valores de DAP (20,23 cm), altura total (13,9 m) y volumen maderable en suelos Plinthic acrisol y gleysol, dependiendo del espaciamiento; demostró que el tipo de suelo y espaciamiento inicial afectan fuertemente el crecimiento.

*Rioja Coral, D. L. (2022). En su investigación "Efectos del sustrato no convencional y tubete en la biometría de plantones de Dipteryx sp. (Shihu*ahuaco) en Ucayali". Evaluó sustratos no convencionales y uso de tubetes en plantones de Dipteryx sp.; encontró que ciertos sustratos mejoraron la altura, diámetro y biometría de las plantas si se combinan adecuadamente, y que los tubetes permiten optimizar espacio en vivero manteniendo buena calidad de planta.

Por otro lado, Pinedo (2022) estableció "Propagación de estacas juveniles de Mansoa alliacea (Lam.) A.H. Gentry (Ajo Sacha), por efecto de concentraciones de Ácido Indolbutírico y tipos de sustratos en cámara de sub irrigación, Atalaya–Ucayali–Perú", concluyendo:

Que los tratamientos con mayor porcentaje de sobrevivencia fueron el T4 (Arena y concentración 2000 ppm), T5 (Aserrín + Arena y concentración 2000 ppm) y T7 (Arena y concentración 4000 ppm), sin embargo, los tratamientos con mejor porcentaje de enraizamiento fueron el T4 (Arena y concentración 2000

ppm), T10 (Arena y concentración 6000 ppm) y T12 (Aserrín y concentración 6000 ppm), que presentó un 80%. Asimismo, el porcentaje de callos fue mayor el tratamiento T5 (Aserrín + Arena y concentración 2000 ppm), que presento 76.67%, además el mayor porcentaje de Brotes Foliares obtuvo el tratamiento T12 (Aserrín y concentración 6000 ppm), presento 40.00%; y, por último, el tratamiento con mayor longitud en centímetros de raíces, fue el T12 (Aserrín y concentración 6000 ppm) con 8.86 centímetros. Por tal razón es posible propagar la especie Ajo sacha por estacas (p.17).

Asimismo, Cornejo (2018) en su investigación titulada “Propagación vegetativa de tres especies forestales potenciales para la recuperación de áreas degradadas en la región Ucayali”; finaliza:

Que las estaquillas de Shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) de hoja grande, logro mayor sobrevivencia y brotación con el sustrato arena, y mayor callosidad, longitud de brote, enraizamiento, número de raíces formadas y longitud de raíz más larga con el sustrato turba, asimismo la concentración de 6000 ppm de AIB, obtuvo mayor brotación y mayor longitud de brote, además el tratamiento T3 (sustrato arena+6000 ppm de AIB) tuvo mayor sobrevivencia; con el tratamiento T1 (sustrato arena+6000 ppm de AIB), también se obtuvo mayor brotación; con el tratamiento T6 (sustrato turba+6000 ppm de AIB) y mayor longitud de brote; y con el tratamiento T4 (sustrato turba+0 ppm de AIB) se logró mayor enraizamiento (p.4).

Abanto *et al*. (2016) en el estudio sobre sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.); esta investigación se realizó en el Centro de Investigación del IIAP Ucayali, donde

registraron que los tratamientos T4 y T5 presentaron diferencias significativas superiores en todas las variables evaluadas en relación a los otros tratamientos. A respecto se concluye que los sustratos [Tierra aluvial +cascarilla de arroz + gallinaza] y [Tierra Agrícola+ cascarilla de arroz + gallinaza], provenientes de residuos de origen animal y vegetal facilitaron mayor eficiencia en el crecimiento y mejor calidad de plantas de capirona (p.341).

2.2. Base teórica

2.2.1. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento, desarrollo de y calidad de plantas

Mesén (1998) puntualiza la importancia que tiene el sustrato en el enraizamiento y debe considerar como parte integral en cualquier sistema de propagación (p. 23). También Mesén & Leakey (1991, como se citó en Mesén, 1998) explican que el sustrato no debe presentar barreras para el crecimiento o desarrollo de las raíces y debe tener una solidez para mantener a las estacas en su posición y fácil adquisición en cualquier momento.

Aparte de proporcionar humedad en la base de corte, Leakey (2014) recomienda que el medio enraizamiento deba permitir la respiración de los tejidos y evitar la anoxia, la cual estimula la putrefacción y la mortalidad (p. 352).

Además, Hartmann *et al*. (2011) afirma que utilzando muchos sustratos se destaca: “el uso de arena, pues esta ayuda al crecimiento de raíces ramificadas delgadas y flexibles, las cuales son apropiadas para extraer y volver a plantar” (p. 9).

La arena fina ha sido frecuentemente usada por dar buenos resultados, incluyendo a *Cedrela odorata* (Díaz, 1991, p. 17) *Cordia alliodora* (Mesén, 1993, p. 5), *Hyeronima alchorneoides*, *Terminalia oblonga* (Núñez, 1997), *Cedrelinga cateniformis* (Soudre *et al*., 2011) y *Myrciaria dubia* (de Andrade, 2014), por ejemplo. Otras investigaciones indican que algunas especies responden mejor a sustratos de mayor granulometría.

Por ejemplo, *Gmelina arborea* (Leakey *et al*., 1990, p. 36), y *Swietenia macrophylla* (Vásquez, 2009, p. 8) lo hacen con arena media; mientras que otras como *Amburana cearensis* (Flores, 2010, p. 2) y *Simarouba amara* (Soudre, 2010, p. 5) reportan buenos resultados con el uso de arena gruesa (Honorio *et al*., 2018, p. 9).

El tipo y mezcla de los componentes del sustrato, debe ser cuidadosamente elegido; ya que diferentes proporciones de los componentes de un mismo sustrato repercuten en el porcentaje y velocidad de germinación de la semilla; así como en el incremento en diámetro, altura y biomasa de los plantones, lo cual se refleja en la calidad de la planta (Valenzuela & Gallardo, 2008).

2.2.2. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de las plantas

El sustrato es definido como un material sólido, distinto del suelo natural, que proporciona soporte físico, retención de agua y nutrientes, así como condiciones de aireación necesarias para el crecimiento vegetal . Desde el punto de vista fisiológico, el crecimiento de las plantas depende en gran medida de la disponibilidad de nutrientes, agua y oxígeno en la zona radicular, condiciones que son reguladas directamente por las propiedades del sustrato .

Diversos autores han señalado que los sustratos influyen en el crecimiento debido a sus características físicas (porosidad, densidad aparente), químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (actividad microbiana). En este sentido, **Abad et al. (2001)** sostienen que un sustrato adecuado debe garantizar un equilibrio entre retención de agua y aireación para favorecer la elongación radicular y el incremento de biomasa. Asimismo, **Ansorena (1994)** indica que la capacidad de retención de agua y nutrientes del sustrato determina la tasa de crecimiento de las plantas.

Por otro lado, los sustratos orgánicos como turba, compost o fibra de coco presentan mayor capacidad de retención hídrica y disponibilidad de nutrientes, lo que favorece el crecimiento vegetativo, mientras que los sustratos inorgánicos (arena, perlita) mejoran la aireación y el drenaje . La combinación de ambos tipos permite optimizar el crecimiento, ya que equilibra las condiciones físicas y químicas del medio.

En concordancia con la ley del mínimo de **Liebig (1840)**, el crecimiento vegetal está limitado por el nutriente menos disponible, lo que resalta la importancia del sustrato como fuente o medio de disponibilidad de nutrientes. Por tanto, la selección del sustrato es un factor determinante en la productividad y crecimiento de las plantas.

2.2.3. Efecto de los sustratos en el desarrollo de la planta

El desarrollo vegetal comprende procesos como la diferenciación celular, formación de órganos y establecimiento del sistema radicular. En este contexto, el sustrato actúa como el medio donde se desarrollan las raíces, influyendo directamente en la arquitectura radicular y la absorción de nutrientes.

Según Raviv y Lieth (2008), los sustratos afectan el desarrollo de la planta al modificar el ambiente radicular, regulando factores como disponibilidad de oxígeno, humedad y temperatura. Estos factores inciden en la formación de raíces laterales, elongación radicular y capacidad de absorción.

Asimismo, el desarrollo de la planta está estrechamente ligado a la nutrición mineral. Las plantas requieren elementos esenciales que son absorbidos desde el medio, principalmente a través del sistema radicular . En este sentido, un sustrato con adecuada capacidad de intercambio catiónico favorece la disponibilidad de nutrientes y, por ende, el desarrollo estructural de la planta.

Autores como Bunt (1988) señalan que los sustratos con buena estructura física permiten una adecuada expansión radicular, lo cual se traduce en un mejor desarrollo aéreo (tallo, hojas). Además, el uso de mezclas de sustratos mejora la estabilidad del sistema radicular, facilitando un desarrollo uniforme.

Finalmente, desde la fisiología vegetal, se ha demostrado que el sustrato no solo actúa como soporte, sino como un medio activo que regula procesos metabólicos, debido a su influencia en la absorción de agua y nutrientes

2.2.4. Efecto de los sustratos en la calidad de la planta

La calidad de la planta se refiere a características morfológicas y fisiológicas como vigor, tamaño, relación raíz/parte aérea, contenido nutricional y resistencia a estrés. El tipo de sustrato influye significativamente en estos atributos.

Según Landis et al. (1990), la calidad de planta está directamente relacionada con el medio de crecimiento, ya que este determina la disponibilidad

de recursos necesarios para el desarrollo equilibrado. Un sustrato adecuado permite la producción de plantas con mayor vigor, mejor sistema radicular y mayor capacidad de supervivencia en campo.

Los sustratos orgánicos, al mejorar la estructura física y química del medio, favorecen la retención de agua y nutrientes, incrementando la calidad de las plantas. En cambio, sustratos con mala aireación o drenaje pueden generar estrés radicular, reduciendo la calidad del material vegetal.

De acuerdo con Carmona et al. (2012), la calidad de planta en vivero depende de factores como el tipo de sustrato, fertilización y manejo hídrico. Asimismo, un adecuado equilibrio entre porosidad y retención hídrica contribuye a la formación de plantas más resistentes y con mejor adaptación al trasplante.

En términos prácticos, los sustratos también influyen en indicadores de calidad como altura, diámetro del tallo, biomasa seca y relaciones morfológicas (índice de esbeltez, índice de Dickson), ampliamente utilizados en viveros forestales.

2.2.5. Componentes de los sustratos empleados

Según Alvarado & Solano (2002) señalan que : “existen muchos materiales que se pueden escoger como componente de un sustrato y los componentes a seleccionar debe tener principalmente las funciones de retención de agua, retención de nutrientes, aireación, peso ligero” (p. 5).

Los sustratos pueden ser mezclados, en proporciones definidas por volumen, para producir un sustrato que llena los objetivos de un programa de preparación de medios de cultivos (Alvarado & Solano, 2002, p. 12).

Compost

Mera (2015) en su investigación declara sobre la composta:

Es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición; los microorganismos que llevan a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente; el método para producir este tipo de abono es económico y fácil de implementar (p. 9).

Compost de gallinaza

Iglesias (2002) menciona que la gallinaza abarca la mayor cantidad de nutrientes que algún otro tipo de estiércol de granja; es decir, es rico en nitrógeno, fosforo y potasio (p. 21).

El mismo autor añade que el contenido de nutriente de la gallinaza varía según factores como tipo de alimentación, raza de ave, el tiempo transcurrido hasta el momento de uso y las condiciones de humedad y de almacenamiento (Iglesias, 2002, p. 22).

Cascarilla de Arroz Carbonizada (CAC)

Saboya (2010) de acuerdo a su investigacion cita:

La cascarilla de arroz en su forma carbonizada como sustrato, aporta principalmente fosforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos y es un material completamente esterilizado por haber sido sometido a altas temperaturas en el proceso de carbonización, asimismo la cascarilla de arroz carbonizada como sustrato presenta las siguiente características físicas y químicas: densidad seca de 150g/l; capacidad de retención de agua de 53.9%: capacidad de intercambio catiónico 5.5 meq/dl; pH

en el agua de 7.4; contenido de sales solubles de 0.7 g/l; nitrógeno 0.7%; fosfor5o 0.2% y potasio 0.32% (p. 4).

Compost de palma aceitera

Romero & Galindo (2012) mencionan que el compost terminado del racimo vacío de Palma aceitera, se define: “por presentar altos contenidos de materia orgánica (cerca del 50% en base seca), nitrógeno (hasta 4.5% en base seca), potasio (hasta 7,9% en base seca) y calcio (hasta 4,5% en base seca), así como los bajos contenidos de fósforo (2,5% en base seca)” (p. 30).

Jiffy Pellet

Maruplast (2020) afirma que los Jiffy pellet son: “de uso forestal y están fabricadas con turba de musgo envueltas con una malla muy fina biodegradable. Tienen presentaciones de pellets (secos y comprimidos) para su fácil almacenaje, que luego de ser humedecidos se expanden verticalmente aumentando su tamaño” (p.1).

Suelo aluvial

Benites (2007) manifiesta en su investigación que:

Los suelos aluviales son de mayor fertilidad que los suelos de altura, pues presentan una reacción ligeramente ácida o neutra, alta saturación de bases, buena capacidad de intercambio catiónico y contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo entre bajo y medio, y el de potasio variable. Sin embargo, su fertilidad no es uniforme, pues varía según el origen de los ríos (p. 12).

Arena

Martínez & Roca (2011) señalan que la arena de granulometría está comprendida entre 0,2 y 2 mm y la grava entre 2 y 20 mm, tienen composición y propiedades dependientes de su material de origen (p. 5).

Pire & Pereira (2003) determinaron las propiedades físicas de la arena fina (0.05 – 1 mm de diámetro), determinando 1,6 % humedad, 37,3 % porosidad total, 4,7 % porosidad de aireación, 32,6 % retención de humedad y 1,458 mg/m³ densidad aparente (p. 6).

Abad *et al*. (2005) explican que las mezclas de arena con sustratos orgánicos dan como resultado propiedades que dependen particularmente de las propiedades físicas de dichos componentes orgánicos más que de las de la arena (p. 48).

2.2.6. Índices morfológicos

Índices de Esbeltez

En el índice de esbeltez, los valores superiores a 100 se consideran críticos, mientras que cercanos a 70 se consideran normales (Cremer *et al.*, 1982; Lewis & Ferguson, 1993). El índice de esbeltez es definido como el cociente entre la altura total de un árbol y su diámetro normal, se mide en términos relativos y su valor se expresa en porcentaje (Aguirre *et al.*, 2014, p. 63). León *et al*., (2019, p. 3) determinó el índice de Esbeltez según la expresión:

$$\text{Índice de esbeltez} = \frac{\text{Altura total(cm)}}{\text{Diametro Cuello (mm)}}$$

Índices de Dickson

Según Dickson *et al*. (1960) explica que el índice de calidad de Dickson, es uno de los mejores índices y más complejos, ya que integra todas las propiedades morfológicas (diámetro, altura, peso fresco y peso seco) en un solo valor y se calcula así (p. 11):

$$\text{Índice de dickson}=\frac{Peso\ Seco\ Total\ de\ la\ Planta\ (g)}{\left(\frac{Altura\ (cm)}{Diametro\ (mm)}\right)/\left(\frac{Peso\ Seco\ Aéreo\ (g)}{Peso\ Seco\ Radicular\ (g)}\right)}$$

2.2.7. Índices fisiológicos

Índices de Lignificación

Prieto *et al*. (2009) expone que el índice de lignificación consiste: "en determinar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas, lo cual expresa el nivel de pre-acondicionamiento de las plantas donde los valores óptimos de lignina presentes en las coníferas están entre 25 y 30%" (p.8).

Asimismo, Tinoco & Ramírez (2014) menciona que el índice de lignificación (IL) relaciona el peso seco total entre el peso húmedo total de la planta, el cual determina el porcentaje (%) de lignificación (p. 8). Se calculó con la fórmula:

$$\text{Índice de lignificación}= \left(\frac{\text{Peso Seco Total (g)}}{\text{Peso Húmedo Total (g)}}\right) * 100$$

Relación biomasa seca aérea y biomasa seca raíz (BSA/BSR)

Refleja el desarrollo de los plantones en vivero, lo cual es influenciado por la tecnología de producción utilizada y por las labores de fertilización y sombra (Prieto *et al*. 2003, p. 5). En este índice, Rodríguez (2008) explica que dos plantas cultivadas con tecnología de producción

diferente pueden tener el mismo valor. Las posibilidades de mortandad para esta última son mayores respecto de la primera (p. 12).

Sáenz *et al*. (2014) enfatizan que una planta de alta calidad debe poseer una relación de 1,5 a 2 (p. 5). Al respecto, Prieto *et al.* (2009, citado por Villacorta, 2021) señalan que una buena relación debe ser de 1,5 y 2,5, valores mayores o menores muestran desproporción y la existencia de un sistema radicular insuficiente para proveer de nutrientes a la parte aérea.

Orozco *et al*. (2010) realizaron un diagnóstico de la calidad de plantones de *Cedrela odorata y Tabebuia rosea* en vivero: "que arrojaron valores de 2,08 y 2,55 para cedro y tahuarí, respectivamente. Analizando los rangos citados, se deduce que las plantas se encuentran dentro del límite de calidad" (p. 6).

Relación biomasa seca aérea / biomasa seca radicular:

$$\frac{\text{BSA}}{\text{BSR}} = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca radicular (g)}}$$

2.2.8. Shihuahuaco

Dipteryx Scherb. (Fabaceae) es un género neotropical, ocurre en América del Sur, América Central y el Caribe, y presenta 12 especies generalmente de árboles emergentes (Barham, 2005). Las especies de Dipteryx en Perú son principalmente apreciadas como madera en la industria forestal debido a su dureza, ideal para pisos y aplicaciones externas. La morfología y morfometría foliar en las plantas varía entre las diferentes especies y dentro de una misma especie, es así que a través del uso de estudios morfométricos utilizando los

análisis multivariados se pueden resumir las variables evaluadas con el fin de determinar las características morfológicas importantes que segregan a las especies de grupos taxonómicos de interés (Aldana *et al*., 2016).

2.2.8.1. Descripción taxonómica

La descripción taxonómica se presenta a continuación según (Catálogo de la vida, 2022).

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Pedido: Fabales Bromhead

Familia: Fabácea

Género: Dipteryx

Especie: Dipteryx ferrea Ducke.

Sinónimos y Combinaciones: Coumarouna ferrea Ducke, Dipteryx micrantha (Harms) Ducke, Dipteryx ferrea Ducke.

2.2.8.2. Descripción botánica de la especie

Carvalho (2009) que es una especie arbórea perennifolia o perennifolia de mudanza foliar (p.2). Son árboles del estrato emergente de hasta 50 m de altura y 1,5 m de diámetro a la altura del pecho (Herrero *et al.,* 2012; Flores, 2014, p.5). Con fuste recto y cilíndrico, con aristas y protuberancias desde la base hasta el primer metro de altura; ramificación dicotómica, tortuosa y abundante; copa frondosa y bien formada (Carvalho, 2009, p.2). El ritidoma es áspero y de color amarillo grisáceo, de 3 mm de espesor; la corteza es de color marrón amarillento, de textura lisa, laminar a fibrosa, astringente y sin exudaciones (Carvalho, 2009,

p 12; Flores, 2014, p. 8). Las hojas son compuestas, alternas e imparipinadas, conformadas por cinco o siete foliolos sin estipulas. Los foliolos son asimétricos, elípticos de 85 mm a 145 mm de largo y de 50 mm a 75 mm de ancho, coriáceos, espesos y glabros, con puntuaciones traslucidas; base asimetría, trunca y redondeada; ápice agudo a muy cortamente acuminado y borde entero (Spichiger *et al*., 1989; Francisco, 2010). El raquis alado se proyecta sin foliolo hacia la parte apical (Carvalho, 2009, p. 2). Las inflorescencias son de tipo panícula dispuestas en racimos axilares o terminales. De dos a ocho racimos por inflorescencias, de 0,15 m a 0,3 m de longitud con hasta 120 flores (Carvalho, 2009, p. 2). Las flores son hermafroditas, papilionácea, aromáticas, zigomorfas con perianto rosado, cáliz ferruginoso y corola purpura a violeta, de 21,9 mm a 25,4 mm de largo (Spichiger *et al*., 1990; Carvalho, 2009; Flores, 2014). Los frutos monospermos son drupáceos, oblongos, comprimidos, indehiscentes y leñosos de color marrón claro, de 60 mm de longitud y de 35 mm de ancho con 20 mm de espesor aproximadamente (Spichiger *et al*., 1989; Francisco, 2010). La semilla cilíndrica tiene cotiledones rectos, de color marrón y radícula terminal (Carvalho, 2009), estos datos son corroborados (Honorio *et al*., 2018, p. 10)

2.2.8.3. Distribución

Carvalho (2009) señala que se distribuye desde los 7º de latitud Norte (Honduras) hasta los 8º de latitud Sur (Brasil) y hasta los 850 msnm de altitud. La especie está ampliamente distribuida en la zona tropical de América. Desde los bosques húmedos de Honduras hacia los bosques amazónicos de América del sur, en países como Colombia, Costa Rica, Brasil, Bolivia, Guyana, Guayana Francesa, Surinam, Venezuela y Perú (p. 2).

2.2.9. Propagación por estaquillas

Rojas *et al*., (2004) y Hartmann *et al*., (2011) manifiesta que la propagación vegetativa mediante estacas consiste:

En el corte de secciones de tallos, hojas o raíces obtenidos de plantas jóvenes, brotes epicórmicos o rebrotes de tocones, las cuales bajo ciertas condiciones tienen la capacidad de formar raíces adventicias y brotes aéreos hasta convertirse en una planta independiente (p.14 y p.32).

Esta técnica es ampliamente usada en agricultura, horticultura y silvicultura para la multiplicación de plantas elites selectas obtenidas de poblaciones naturales o de programas de mejora genética (Mesén, 1998, p.4; Soudre *et al.*, 2008, p. 9). En la propagación de especies forestales la técnica más usada es el enraizamiento de estacas de tallo (Hartmann & Kester, 2011, como se citó en Fernandez, 2023, p. 23)

El método de propagación presenta una serie de ventajas, entre los que destacan aspectos económicos y operativos; además, indican que con pocas plantas madre es posible producir nuevas plántulas en un espacio limitado (Hartmann & Kester, 2011, como se citó en Fernandez, 2023, p. 23).

Sobre las estacas de tallo, Leakey (2004) indica que: “existen dos grandes grupos: las estacas juveniles con hojas o estaquillas y las estacas maduras sin hojas (del original en inglés: leafy softwood cuttings y leafless hardwood cuttings, respectivamente)” (p. 349).

Longman (1993) destaca la eficacia de las estaquillas frente a las estacas más lignificadas (p.12); la razón, explican Rojas *et al*. (2004) es porque los tejidos juveniles, en comparación con los maduros, son más vigorosos, presentan fuerte

dominancia apical y se regeneran fácilmente por métodos asexuales (p.14).

Osuna *et al.* (2017) manifiesta que las plantas se consideran como:

Organismos modulares, cada módulo es un brote con crecimiento determinado integrado por un entrenudo, un nudo, una hoja y una yema axilar que dará origen a ramas u hojas en la etapa vegetativa y a flores y frutos en la etapa reproductiva (p. 41).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Arena:** Osuna *et al*. (2017) menciona que: “la arena es una de las sustancias más utilizada en la mezcla de sustratos, aunque se emplea en pequeñas cantidades” (p. 74).
- **Aserrín descompuesto:** Residuo orgánico de la industria maderera sometido a procesos de descomposición natural; su uso como sustrato mejora la retención de humedad y la aireación, aunque debe estar previamente estabilizado para evitar toxicidad (Valverde, & Carrillo, 2016)
- **Calidad:** Se define como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen (Rodríguez, 2008).
- **Cascarilla de arroz carbonizada:** Subproducto de la molienda de arroz sometido a un proceso de carbonización controlada; aporta porosidad, mejora el drenaje y actúa como agente desinfectante en sustratos de vivero (Souza & Resende, 2017).
- **Crecimiento:** Es el aumento en el número y tamaño de las células que constituyen los diversos órganos de la planta, el desarrollo es la

sucesión progresiva de las etapas que conducen a establecer la morfología propia del organismo adulto, a medida que avanza el ciclo ontogénico (Turco *et al*., 2018).

- **Compost de palma aceitera:** Material orgánico obtenido de la descomposición aeróbica de residuos de palma aceitera, rico en nutrientes, que mejora la fertilidad, estructura y capacidad de retención de agua del sustrato (García & Cornejo, 2021).
- **Desarrollo:** Es el conjunto de cambios fenológicos que se producen en la planta desde la germinación hasta el estado adulto (Turco *et al*., 2018).
- **Estacas:** Osuna *et al*. (2017) declara que las: “estacas y esquejes son unidades reproductoras que se obtienen separando de la planta madre un segmento que contenga zonas meristemáticas (nudos y entrenudos)” (p. 50).
- **Gallinaza**: Abono orgánico proveniente de excretas de aves de corral, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, utilizado para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento vegetal (León & Pérez, 2019).
- **Injerto:** Osuna *et al*. (2017) manifiesta en su investigacion que: “se entiende por injerto, al traslado de una yema a la rama de una planta (patrón), donde esta se inserta y se ata para fijarla y asegurar la concrescencia de los tejidos que deben quedar unidos al prender el injerto hecho” (p. 70).
- **Jiffy pellet:** Disco de turba comprimida y envuelta en una malla biodegradable que, al hidratarse, se expande formando un sustrato listo para la germinación y propagación de plántulas (Jiffy Group, 2023).

- **Plantas**: Algaida (2020) indica que las plantas son: “seres vivos que forman parte del reino vegetal. También menciona que las plantas tienen pigmentos que les permiten captar la luz del Sol y el más común es la clorofila, que ayuda que las plantas sean de color verde” (p.1).
- **Reproducción asexual:** Osuna *et al*. (2017) explica que la: “reproducción asexual artificial se caracteriza por la ausencia de la fusión de gametos, y la misma permite a un organismo producir descendientes rápidamente, en poco tiempo y bajo costo” (p. 67).
- **Suelo aluvial:** Depósito de sedimentos finos como arena, limo y arcilla, transportados y depositados por corrientes de agua; se caracteriza por su fertilidad natural y buena aireación, siendo común en zonas ribereñas (FAO, 2015).
- **Sustrato**: Promix (2020) afirma que los sustratos: “son uno de los materiales más usados para cultivos de invernadero. Debido a las diversas fórmulas disponibles para los productores, puede ser todo un desafío seleccionar la mejor mezcla para sus cultivos” (p. 1).
- **Tallo**: Algaida (2020) declara que los tallos son: “estructuras normalmente aéreas, aunque hay especies que presentan tallos subterráneos. Los tallos pueden ser herbáceos (verdes, tiernos y de poca altura) o leñosos (lo que permite a la planta adoptar alturas considerables)” (p.1).
- **Tipo de suelo:** PMARCO (2014) menciona que para la propagación de la planta en vivero: “ya sea a través de camas de crecimiento (raíz desnuda), almácigos y/o envases individuales, es importante tomaren

cuenta algunas características químicas del suelo como son de acidez o alcalinidad (pH) y su fertilidad" (p. 2).

- **Vivero**: Según Miranda & Alvarado (2020) explican que un vivero es un conjunto de instalaciones que tiene como objetivo principal la producción de plantas (p.7).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, dado a que se trabajó con la medición numérica de variables de crecimiento y desarrollo de plantas (altura, hojas, diámetro), asimismo, fue del tipo experimental con un nivel de investigación experimental, ya que se manipuló la variable (sustratos) para observar el efecto de los diferentes sustratos. (Guevara y Verdesoto, 2020).

3.2. Población y muestra

3.2.1 Población

La población estuvo formada por 2000 estaquillas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) enraizadas, obtenidas del del jardín de multiplicación de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) sede Ucayali. Mismas que estuvieron solo en arena.

3.2.2. Muestra

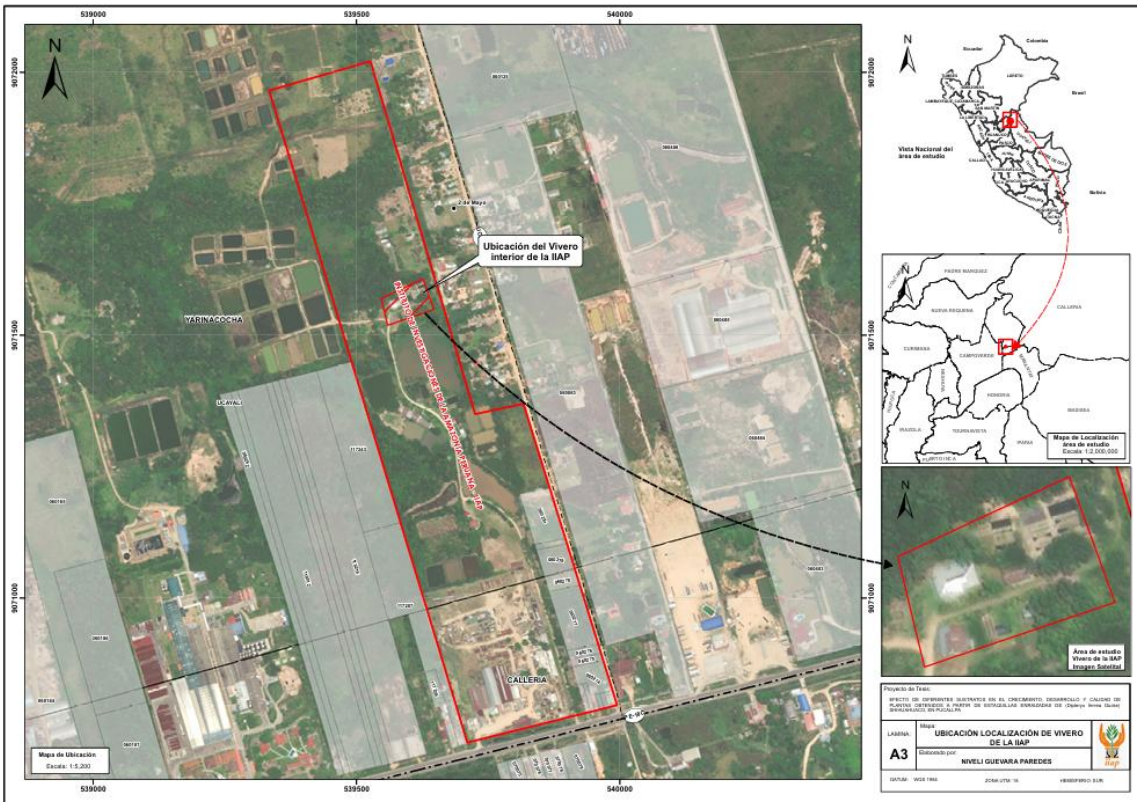
Estuvo conformado por 99 estaquillas enraizadas procedentes del jardín de multiplicación de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke) de la estación experimental del Instituto Nacional de la Amazonia Peruana (IIAP), que fueron adaptadas en las cámaras de subirrigación para su enraizamiento. Estas fueron elegidas por presentar al menos 2 hojas y por lo menos 2 raíces.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

El presente estudio se desarrolló en las instalaciones del vivero forestal de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP sede Ucayali, ubicado en el km 12,400 de la carretera Federico Basadre, Distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de

Ucayali; situado en las coordenadas UTM 546638.3 Este y 9074189.1 Norte, a una altitud de 154 msnm. El IIAP (2015, citado por Fernandez 2022) menciona que el centro de investigación tiene un clima lluvioso, tropical, con precipitación alta en todas las épocas del año, con humedad relativa dispuesta muy húmeda) de tipo lluvioso y cálido, con temperatura máxima, media y mínima de 33 °C, 26 °C y 18,7 °C, respectivamente.

Figura 1 Ubicación del lugar de ejecución



3.3.1. Evaluación del efecto de los diferentes sustratos en el crecimiento (altura y diámetro) de estaquillas enraizadas de *Dipteryx ferrea*

El procedimiento consistió en mezclar insumos, homogénea y progresivamente (etapas sucesivas), con la intención de garantizar las cuatro funciones básicas (anclaje, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad) de los futuros sustratos experimentales.

La mayoría de insumos, a excepción de CAC, fueron tamizados con zaranda de 5 x 5 mm, con la finalidad de homogenizar el tamaño de partículas y así lograr una mezcla homogénea de los componentes.

✓ Mezclas de insumos. - La mezcla propiamente se realizó usando una probeta de 100 ml para la medición exacta de dos o tres insumos por cada proporción, se consideró que los 100 ml del volumen total de la probeta es el equivalente al 100 % de la suma de ambos insumos.

El volumen o proporción de cada uno de los insumos seleccionados en su respectivo tratamiento se midió con ayuda de una probeta graduada de 2 L. La mezcla de los insumos fue de forma manual y minuciosa, tomando en cuenta aspectos de orden, aislamiento, limpieza (inocuidad) e identidad en la preparación de cada uno de los tratamientos o sustratos seleccionados.

✓ Llenado de tubetes. - El sustrato experimental en condición fresca (CH < 30 %) se introdujo hasta la primera mitad del largo de los tubetes, dando leves golpes en su base para disminuir los espacios vacíos del propio sustrato. Un total de 11 tubetes por cada sustrato experimental (tratamiento) fueron llenados en esta etapa.

✓ Repique de estaquillas enraizadas y distribución de tratamientos-. De las estaquillas enraizadas, con las siguientes características: 6,5 cm de altura, 1,7 mm de diámetro, 2 hojas y al menos 2 raíces fueron extraídas de la cámara de subirrigación, liberándolas cuidadosamente de la arena de enraizamiento, luego colocadas en bandejas con agua fresca para evitar el estrés por deshidratación; el repique propiamente consistió en introducir el sistema de raíces en la segunda mitad (vacía) del tubete, para luego completar hasta el enrace con el mismo sustrato experimental (tratamiento correspondiente), y tras una leve presión

alrededor del cuello de la estaquilla fueron trasladadas a la bandeja porta-tubetes, según la distribución experimental de tratamientos y repeticiones. Finalmente, los plantines fueron regados con aspersión muy fina; todas las acciones se realizaron a tempranas horas de la mañana y bajo sombra permanente.

✓ Aclimatación de plantines. - En esta primera etapa de manejo, de 15 días, los plantines fueron trasladados a túneles de aclimatación donde se les proporcionó sombra al 100 % y riegos diarios durante los primeros 15 días, luego de este período estuvieron aptos para continuar la fase normal de viverización.

✓ Viverización de plantones. - En esta segunda etapa de manejo, de 105 días, los plantines estuvieron bajo supervisión constante, sombreándolos con malla de 65 % de sombra durante 15 días y luego gradualmente durante 10 días fue disminuida hasta su supresión total, por lo que en días muy soleados se tuvo que realizar hasta tres riegos al día y con aspersión fina para evitar remover los sustratos. Se tuvo mínimo cuidado contra aparición de hierbas y el control fitosanitario. El monitoreo de temperatura, humedad y luz se realizó utilizando un termohigrómetro de la marca Digital Thermometer y un luxómetro de marca Extech Instruments. Las mediciones se realizaron en tres horarios diferentes al día (8:00 am, 12:00 m y 3:00 pm), durante los 150 que duró el experimento y consistió en colocar los equipos en ambos extremos y al centro del túnel de viverización. Datos que fueron registrados en los formatos.

✓ Mediciones de plantas vivas: La altura total (AT) se medió desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la yema terminal, como referencia de punto de medición la regla fue colocada al ras del filo o diámetro superior del tubete, en esta operación se utilizó una regla graduada en centímetros. El diámetro a la altura

del cuello (DAC) fue medido en el límite superior del cuello de la raíz, como referencia de punto de medición el vernier fue colocado al ras del filo o diámetro superior del tubete, se utilizó un vernier universal estándar graduado en centésimas de milímetros.

✓ Mediciones para determinar la calidad de plantas.- Al final del periodo total de manejo (150 días) se aplicó un riego pesado a cada planta para humedecer el cepellón radicular y extraerlo del tubete, de esta forma observar y registrar las características más destacables de cada sustrato, luego cada cepellón fue sumergido en agua durante 15 minutos para remover delicadamente el sustrato adherido a las raíces y así perder el mínimo de raicillas, finalmente el sistema radicular liberado fue oreado bajo sombra y la planta liberada del cepellón fue apta para su posterior medición de longitud de raíces adventicias, con ayuda de una regla graduada, siguiendo los procedimientos de Soudre y Guerra (2010).

Luego se procedió a determinar el peso de la biomasa fresca total, con ayuda de una balanza analítica digital; y tras separar el sistema aéreo del radicular, mediante el corte en el punto del cuello de la raíz, con ayuda de una tijera de podar, ambas partes resultantes fueron colocadas dentro de bolsas de papel, rotuladas por un código serial conformado por el número de tratamiento, repetición y número de planta, respectivamente a la unidad experimental a la que pertenecían. Todas las bolsas resultantes fueron secadas en estufa a temperatura de 70°C, durante 72 horas; luego finalmente, fueron pesadas para determinar el peso seco aéreo y radicular. Estas variables fueron registradas en el formato de evaluación, siguiendo los protocolos de medición de Morales (2018)

3.3.2. Determinación del efecto de diferentes sustratos en el desarrollo (número de hojas) de plantas de *Dipteryx ferrea*.

1. **Conteo de hojas:** Se contó el número total de hojas expandidas en cada estaquilla enraizada de cada tratamiento (T0-T8). Se tuvo cuidado de contar todas las hojas, incluyendo las hojas nuevas y las hojas maduras.
2. **Registro de datos:** El número de hojas para cada estaquilla, junto con el número de la estaquilla y el tratamiento, se registró en una hoja de cálculo o base de datos, organizada de forma que facilite el análisis.

3.3.3. Identificación del efecto de los diferentes sustratos para la obtención de plántulas de calidad.

1. **Cosecha de las plantas:** Al final del periodo experimental, se cosecharon todas las plantas.
2. **Medición de la altura y el diámetro:** Se repitieron las mediciones de altura y diámetro
3. **Cálculo de los índices:** Con los datos obtenidos, se calcularon los siguientes índices para cada planta:
    - **Índice de esbeltez:** Altura / Diámetro
    - **Índice de lignificación:** Peso seco total /Peso húmedo total
    - **Índice de Dickson:** [(BSA + BSR) / (BSA + BSR + BSR)] * 100
    - **Relación BSA/BSR:** BSA / BSR
4. **Registro de datos:** Todos los datos (BSA, BSR, y los índices calculados) se registraron en una hoja de cálculo o base de datos, junto con el número de la estaquilla y el tratamiento correspondiente.

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Se empleó la técnica de observación directa, la cual consistió en registrar el número de hojas nuevas y maduras presentes en cada plántula de *Dipteryx ferrea* (Ducke). Asimismo, se utilizó la técnica de medición directa, mediante la cual se midió la altura de las plantas (cm) desde el cuello de la raíz hasta el ápice, y el diámetro del tallo (mm) a 1 cm por encima del nivel del sustrato.

3.4.2. Instrumentos

Para la recolección de datos se utilizó el formato de recolección de datos. Asimismo, se utilizó una cinta métrica para medir la altura de las estaquillas y un vernier para el diámetro.

Otros materiales e instrumentos:

- **Cuaderno de campo o ficha de registro** → para anotar datos de **número de hojas** y observaciones.
- **Cámara fotográfica o celular** → para documentar visualmente el desarrollo y estado de las plántulas.
- **Balanza analítica (0.001 g de precisión)** → para pesar biomasa fresca y seca (parte aérea, raíz, total).
- **Horno de secado (70 °C, hasta peso constante)** → para obtener biomasa seca.
- **Bolsas de papel / sobres etiquetados** → para almacenar muestras vegetales durante el secado.
- **Computadora con software estadístico (R, SPSS, Excel, InfoStat, etc.)** → para análisis de datos y cálculos de índices.

3.5. Procesamiento para recolección de datos

Se utilizó el Mezclado progresivo, el cual consistió en mezclar los componentes del sustrato en etapas, comenzando con los componentes más secos y añadiendo gradualmente los componentes más húmedos. Esto ayudó a asegurar una mezcla uniforme y evita la formación de grumos.

Asimismo, fue realizada en etapas sucesivas para garantizar las cuatro funciones básicas: anclaje, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad. Para cada tratamiento (T0-T8), se pesaron con precisión las cantidades de cada componente según las proporciones detalladas en la Tabla 3. Una vez preparados los sustratos, se procedió a llenar los recipientes (tubetes) que contenían las estacas (anexo 4).

3.6. Tratamiento de datos

Después de recopilar los datos cuantitativos de campo; se transformó en las unidades requeridas por las fórmulas establecidas para la investigación y obtener el promedio, desviación estándar, análisis de varianza y coeficiente de variación para el análisis estadístico.

El experimento se ejecutó en el vivero forestal del IIAP, donde las condiciones ambientales son iguales para todos los tratamientos, por tanto la variabilidad fue repartida homogéneamente entre ellas, y aplicadas con un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 9 tratamientos, 3 repeticiones, totalizando 27 unidades experimentales, para cada tratamiento se utilizó 11 estaquillas divididas entre las 3 repeticiones, totalizando 99 estaquillas para el experimento, para los análisis se consideró las variables de crecimiento (altura y diámetro), desarrollo (número de hojas) y calidad de plantas (Índice de Dickson,

Índice de Esbeltez, Índice de Lignificación, Índice Relación: Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular), donde se utilizaron las siguientes formulas:

- **Índice de Esbeltez**

$$IE = \frac{\text{Altura total (cm)}}{Diametro\ Cuello\ (mm)}$$

- **Índice de Dickson** (Dickson, 1960)

$$ID = \frac{\text{Peso Seco Total de la Planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}\right)+\left(\frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radicular (g)}}\right)}$$

- **Relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (BSA/BSR)**

$$\frac{\text{BSA}}{\text{BSR}} = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca radicular (g)}}$$

- **Índice de Lignificación (%)**

$$IL = \frac{\text{Peso seco total(g)}}{\text{Peso humedo total (g)}}$$

- **Relación altura del tallo/longitud de la raíz principal (AT/LR)**

$$\frac{\text{AT}}{LR} = \frac{\text{Altura Total(cm)}}{\text{Longitud de la Raíz (cm)}}$$

Durante el análisis se realizó la prueba de supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Prueba de Levene).

Los tratamientos en estudio son los siguientes:

Tabla 1 Tratamientos y tipos de sustratos

Tratamientos	Sustratos	Proporción
T 0	Suelo aluvial + Gallinaza + Arena (Testigo)	(2:1:1)
T 1	Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza +Aserrín descompuesto	(1:1:1)
T_2	Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza +Aserrín descompuesto	(2:1:1)
T_3	Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza +Compost palma aceitera	(1:1:1)
T_4	Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza +Compost palma aceitera	(2:1:1)
T_5	Cascarilla de arroz carbonizada + Aserrín descompuesto + Compost palma aceitera	(2:1:1)
T_6	Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza	(1:1)
T_7	Cascarilla de arroz carbonizada + Aserrín descompuesto	(1:1)
T_8	Jiffy pellet	(1)

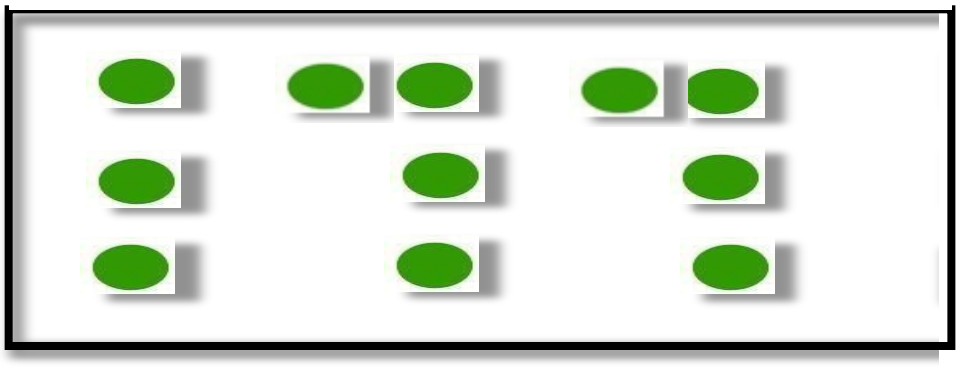
En la tabla 1 se puede apreciar los diferentes tratamientos y sustratos utilizados para el experimento.

- ✓ Numero de tratamientos = 09
- ✓ Numero de estaquillas por tratamiento = 11
- ✓ **Numero de estaquillas en experimento = 99**

Tabla 2 Distribución de las unidades experimentales

Repeticiones	Distribución de Tratamientos								
R1	T2	T7	T3	T8	T4	T5	T6	T1	T0
R2	T4	T5	T0	T1	T2	T6	T8	T3	T7
R3	T8	T6	T1	T3	T0	T2	T5	T7	T4

Figura 2 Número de estaquillas por tratamiento



Todos los datos se procesaron en el programa estadístico InfoStat 2023, también se efectuó el Análisis de Varianza (ANVA) con un nivel de confianza del 95% para las variables de crecimiento (altura y diámetro), desarrollo (número de hojas) y calidad (índice de Esbeltez, índice de Lignificación, índice de Dickson y relación BSA/BSR); asimismo para el análisis de calidad, se utilizaron las fórmulas para calcular los índices establecidos con valores cuantitativos; también, se realizó la prueba de comparación de medias *Scott Knott* por ser un algoritmo de agrupamiento diferenciado que no presenta ninguna superposición entre los valores de significancia de los tratamientos.

Esquema del análisis de varianza.

En la tabla 3, se muestra las fuentes de variabilidad que componen al análisis de variancia de acuerdo a la siguiente fórmula:

Fórmulas:

- **Tratamientos:** $gl_T = t - 1$
- **Repeticiones (bloques):** $gl_R = r - 1$
- **Error:** $gl_E = (t - 1)(r - 1)$
- **Total:** $gl_{Total} = tr - 1$

donde $t = 9$ y $r = 3$.

Tabla 3 Fuentes de variabilidad del análisis de variancia

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Tratamientos	9-1
Repeticiones	3-1
Error	(9-1) (3-1)
Total	27-1

NOTA: Elaboración Propia

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización física y química de los sustratos.

Tabla 4 Compilación de datos

Cod	Tratamientos (Combinación y proporción)	pH	C.E.	M.O.	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Hd	Na	Densidad	Relación	Max. Reten.
			dS/m	%	%	%	%	%	%	%	%	g/cc	C/N	humedad %
T0	Suelo aluvial + Compost gallinaza + Arena (2:1:1)	6.84	1.94	1.61	-	0.01	0.02	1.10	0.06	-	0.00092	1.47	7.75	26.34
T1	CAC + Compost gallinaza + Compost aserrín (1:1:1)	5.33	1.27	31.01	1.16	1.48	0.36	1.95	0.33	58.32	0.03	0.23	15.54	66.86
T2	CAC + Compost gallinaza + Compost aserrín (2:1:1)	5.50	1.18	24.36	0.96	1.20	0.33	1.97	0.35	57.25	0.02	0.18	14.70	60.75
T3	CAC + Compost gallinaza + Compost palma aceitera (1:1:1)	5.73	1.99	29.02	1.23	1.56	0.85	2.13	0.86	51.32	0.02	0.19	13.19	57.54
T4	CAC + Compost gallinaza + Compost palma aceitera (2:1:1)	6.10	1.96	24.77	1.16	1.36	0.79	2.19	0.88	50.90	0.02	0.20	12.41	54.60
T5	CAC + Compost aserrín + Compost palma aceitera (2:1:1)	6.24	1.65	26.61	0.97	0.65	0.84	1.24	0.88	55.42	0.02	0.18	15.90	55.77
T6	CAC + Compost gallinaza (1:1)	5.78	4.54	18.81	1.13	2.38	0.87	3.61	0.74	46.48	0.05	0.28	9.64	62.42
T7	CAC + Compost aserrín (1:1)	5.38	0.62	32.69	0.78	0.24	0.40	0.49	0.21	61.91	0.02	0.19	24.19	60.04
T8	Jiffy Pellet ® (1)	4.90	0.40	94.00	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	52.00
	Rango óptimo	5.5-6.5	2.0-3.5	20-50	1.0-2.5	0.4-1.2	0.5-1.3	6.0-15	0.2-0.5	30-40	0.04-0.24	0.1-0.8	< 20	-

Amarillo: nivel bajo; Verde: nivel óptimo; Azul: nivel elevado

4.1.1. **Análisis de varianza de las variables de crecimiento (altura, diámetro) y desarrollo (número de hojas) plantas de shihuahuaco**

El Análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de F ($p \leq 0,05$) para las variables altura, diámetro de la planta y número de hojas, al analizar los diferentes tratamientos bajo el efecto de combinaciones de sustratos en el crecimiento y desarrollo de plantas, obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de *Dípteryx férrea*, a 5 meses de evaluación en vivero IIAP-Ucayali (tabla 4).

Tabla 5 Análisis de varianza para variables crecimiento (altura de planta (H); diámetro (D)) y desarrollo (número hojas (NH)), de estaquillas enraizadas de Dipteryx ferrea Ducke

FV	GL	Cuadrados medios		
		H (cm)	D (cm)	NH (N°)
		2,33	7,48	5,38
Tratamientos	08	0,0240*	0,0001**	0,0001**
Error	90	3,16	0,22	1,25
CV%		24,57	15,72	29,07

**Significativo a nivel de 5% de probabilidad (0,01 <= p < 0,05). ** Altamente significativo. NS no significativo.*

Tabla 6 Prueba de medias para las variables de crecimiento (altura de planta (H); diámetro (D)) y desarrollo (número hojas (NH)) de estaquillas enraizadas de Dipteryx ferrea Ducke

Tratamientos (sustratos)	H (cm)	D (mm)	NH (N°)
T0	7,3 b	3,0 c	3,4 a
T1	7,5 b	3,2 b	2,3 b
T2	7,7 b	2,8 d	1,9 c
T3	7,6 b	2,3 e	2,0 b
T4	9,0 a	4,0 a	3,6 a
T5	6,5 c	3,4 b	3,0 a
T6	5,6 c	3,1 b	2,4 b
T7	6,8 c	3,0 c	1,7 c
T8	7,1 b	2,7 d	1,6 c
Promedio	7,28	3,07	2,45

4.1.2. Análisis de medias de Altura

En la tabla 6 y figura 3, se evidencia que el T4, único en el grupo A, cuyo sustrato se basa en Cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost palma aceitera (2:1:1), con 9 cm de altura total supera estadísticamente al resto de tratamientos, seguidos del grupo B a los tratamientos T2, T3, T1, T0, T8. Finalmente al grupo C pertenecen los tratamientos T5, T6 y T7.

El sustrato del presente tratamiento posee un pH de 6.1, con adecuada aireación, apropiada permeabilidad y adecuado porcentaje de mortalidad. Al respecto Baixauli *et al*., (2002) añade que el pH influye en la asimilación de los nutrientes por las plantas, siendo que con valores inferiores de 5 de pH, podrían presentar deficiencia de magnesio (Mg), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y con sus valores superiores a 6.5, existe disminución de la asimilación de zinc (Zn) hierro (Fe), fosforo (P), manganeso (Mn), boro (B), y cobre (Cu).

Además, en el T4, se comprueba el resultado del análisis laboratorio, contiene adecuados valores de materia orgánica (24.77%), nitrógeno (1.16%), potasio (0.79%), densidad (0.20 g/cc) y relación C/N (12.41), y altas concentraciones de fósforo (1.36%), magnesio (0.88%) y humedad de sustrato (50.90%) por estos valores, se atribuye su influencia favorable en el crecimiento en altura de las plantas, como lo expresan Romero & Galindo (2012).

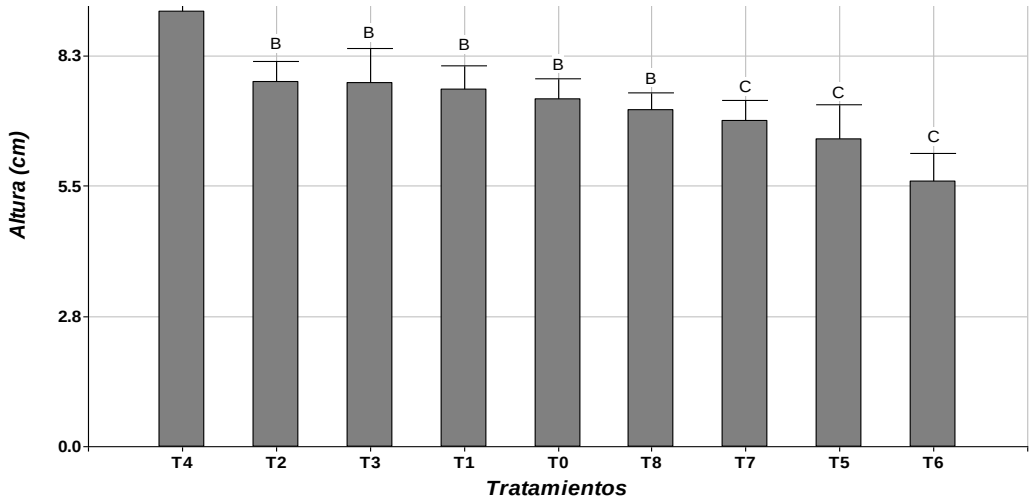
Al analizar los componentes de este sustrato en primer lugar definimos el comportmiento de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC), la que, en proporciones adecuadas, aporta al sustrato mayor porosidad de aireación y baja densidad (Mello, 2006)

De tal modo que con las especies pino y eucalipto se determinó que el porcentaje óptimo de CAC fue del 50%, proporción equivalente al utilizado en este experimento (Trigueiro, 2002).

Este sustrato posee también compost de gallinaza 25%, que, aunque posee adecuados niveles de nitrógeno y potasio, aporta además niveles altos de fósforo (Iglesias, 2002). El otro componente corresponde al compost de palma aceitera 25%, la cual es definida por presentar contenidos elevados de materia orgánica, nitrógeno, potasio, calcio y fósforo (Romero & Galindo, 2012).

Por otro lado, la deficiencia de fosforo, se manifiesta normalmente con el retraso del crecimiento de la planta (BOE, 2013). Sin embargo, con la adición de los compost de gallinaza y palma aceitera, se logra la aportación de las cantidades necesarias de fósforo al sustrato, lo cual generó que el crecimiento en altura de la planta, con este tratamiento supere estadísticamente al resto.

Figura 3 Efecto de los diferentes sustratos en la altura total (cm) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días



El tipo de sustrato influyó significativamente en la altura de las plantas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke). El sustrato T4 (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera) presentó la mayor media (9.0 cm), superando tanto al testigo (T0, 7.3 cm) como a los demás sustratos. Esto evidencia que la combinación balanceada de materiales orgánicos y un componente estructural como la cascarilla carbonizada genera condiciones favorables para el desarrollo inicial de esta especie forestal.

El buen desempeño de T4 puede explicarse por la presencia de nutrientes esenciales provenientes de la gallinaza y el compost de palma aceitera, particularmente nitrógeno, fósforo y potasio, fundamentales para el crecimiento vegetativo (Pire & Pereira, 2017). Además, la cascarilla de arroz carbonizada mejora la porosidad y aireación, optimizando el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes, como señalan López y Rodríguez (2021). Esto coincide con los resultados obtenidos por Pinedo et al. (2020) en *Swietenia macrophylla*, donde sustratos con mezcla orgánica y componentes estructurales lograron un incremento significativo en la altura de plántulas.

En contraste, los sustratos T6 (Cascarilla + Gallinaza, 1:1) y T5 (Cascarilla + Aserrín + Compost, 2:1:1) mostraron las menores alturas (5.6 cm y 6.5 cm, respectivamente). El bajo desempeño de T6 puede deberse a la excesiva aireación de la mezcla, que limita la retención de agua y afecta la disponibilidad de nutrientes en la rizósfera (Vallejos et al., 2022). Por otro lado, el T5 presentó una de las variabilidades más bajas (CV=15.38%), lo que sugiere que las condiciones fueron relativamente estables, pero no óptimas, probablemente debido a la lenta descomposición del aserrín, el cual puede inmovilizar nitrógeno durante su proceso de degradación (Silva et al., 2020).

El Jiffy pellet (T8) alcanzó una altura media intermedia (7.1 cm), lo que confirma que este sustrato es adecuado para la germinación, pero insuficiente para sostener un crecimiento vigoroso en especies de crecimiento lento como el shihuahuaco. Este hallazgo coincide con los reportes de Sánchez et al. (2023), quienes mencionan que los Jiffy requieren fertilización complementaria para evitar deficiencias nutricionales en etapas posteriores de desarrollo.

La baja variabilidad encontrada en T4 (CV=9.09%) indica que este sustrato no solo promueve mayor crecimiento, sino que también uniformiza la producción de plántulas, lo cual es deseable en viveros forestales. Según Hartmann et al. (2014), la uniformidad en altura es un indicador de calidad, ya que permite planificar trasplantes y mejora la eficiencia en programas de reforestación.

Estos resultados tienen implicaciones prácticas para la producción de plántulas de shihuahuaco. La altura es un parámetro clave para la supervivencia en campo, dado que plantas más altas suelen tener sistemas radiculares mejor desarrollados y mayor capacidad de competir por luz y nutrientes (García et al.,

2019). Por tanto, el uso de mezclas como T4 podría incrementar el éxito de programas de reforestación y conservación de esta especie amenazada.

La consistencia entre los resultados de número de hojas y altura refuerza la conclusión de que T4 es el sustrato óptimo. Este sustrato no solo promovió la mayor altura, sino también el mayor número de hojas, lo que refleja un equilibrio entre crecimiento vegetativo y capacidad fotosintética. Tal relación es clave, ya que el desarrollo foliar incrementa la tasa de fotosíntesis y, por ende, el aporte de carbohidratos necesarios para la elongación de tallos y raíces (Salisbury & Ross, 2020).

En conjunto, estos hallazgos confirman la importancia de seleccionar sustratos que ofrezcan tanto soporte físico como nutrientes disponibles, favoreciendo el crecimiento integral de la planta.

4.1.3. Análisis de medias de Diametro

En la tabla 6 y figura 4, repite el T4, único en el grupo A, cuyo sustrato se basa en Cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost palma aceitera (2:1:1), con 4 mm de diámetro superior al resto de tratamientos, seguidos del grupo B a los tratamientos T5, T1, T6 con 3.4, 3.2 y 3.1 mm respectivamente. Al grupo C pertenecen los tratamientos T0, T7. Al grupo D corresponden T2, T8. Finalmente el grupo E el tratamiento T3.

Es importante destacar que en cuanto a las particularidades de fertilización y contenido de nutrientes del sustrato del tratamiento T4, son los mismos que los descritos al analizar la variable altura, por lo que, para la especie *Dipteryx ferrea*, esta combinación en cuanto al diámetro le proporcionó los mayores valores en todo el experimento, motivados por

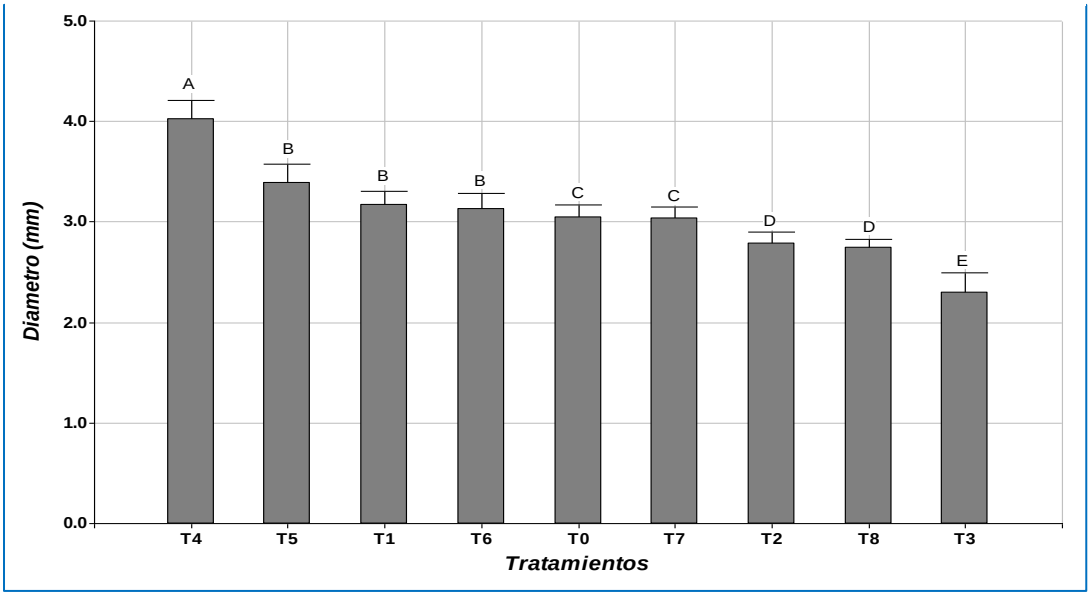
adecuados niveles materia orgánica, nitrógeno, potasio y altos niveles de fósforo aportados por el compost de gallinaza y compost de palma aceitera (Iglesias, 2002; Romero & Galindo 2012; BOE, 2013). Sin desmerecer los niveles óptimos de CAC en favor de la especie.

Sin embargo, Cercado (2022), para la producción de plantas *Calycophyllum spruceanum* utilizando sustrato cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + aserrín (2:1:1) obtuvo resultados intermedios, influenciando de modo intermedio en el crecimiento en diámetro de las plantas, puesto que la adhesión de aserrín le otorga bajos contenidos de nitrógeno y potasio.

No obstante, otros autores argumentan que para ciertas especies un sustrato debe contener menor proporción de cascarilla de arroz carbonizada < 30% (Gonçalves *et al*., 2005).

El diámetro es una variable muy importante puesto que proporciona un atributo inicial clave durante el trasplante en campo definitivo, promoviendo buenos resultados relativos a mayores crecimientos (Escobar, 2007; Sáenz *et al*., 2010).

Figura 4 Efecto de los diferentes sustratos en el diámetro (mm) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días



El diámetro evidenció diferencias significativas entre los sustratos, mostrando que el tipo de sustrato tiene un efecto determinante sobre el engrosamiento del tallo en plantas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke). El sustrato T4 (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera en proporción 2:1:1) obtuvo la mayor media (4.0 mm), superando ampliamente al T5, T1, T6, T7 y T0 con 3.4, 3.2, 3.1, 3.0 y 3.0 mm respectivamente y al resto de sustratos. Esto confirma que la combinación equilibrada de materiales orgánicos y un componente estructural como la cascarilla proporciona condiciones óptimas para el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes, factores directamente relacionados con el crecimiento radial (Hartmann et al., 2014).

El crecimiento en diámetro es un indicador clave de la calidad de plántulas, pues refleja la resistencia mecánica y la capacidad de sostener una parte aérea vigorosa (Navarro et al., 2021). Según Thompson (2020), sustratos con una buena capacidad de intercambio catiónico y retención de humedad

promueven un mayor engrosamiento del tallo, lo que se evidenció en T4 gracias al aporte de nutrientes de la gallinaza y el compost, especialmente fósforo y potasio, esenciales para el crecimiento estructural y la formación de tejidos leñosos (Pire & Pereira, 2017).

En contraste, los sustratos T3 (Cascarilla + Gallinaza + Compost, 1:1:1) y T8 (Jiffy pellet) presentaron los menores diámetros (2.3 mm y 2.7 mm, respectivamente). El bajo desempeño de T3 puede atribuirse a una proporción insuficiente de componentes estructurales, lo que pudo ocasionar problemas de compactación y drenaje, limitando el desarrollo radicular (Vallejos et al., 2022). En el caso de T8, al tratarse de un sustrato diseñado para la germinación inicial, la falta de nutrientes disponibles restringió el crecimiento radial, similar a lo observado en plántulas de *Swietenia macrophylla* cultivadas en Jiffy sin fertilización complementaria (Sánchez et al., 2023).

El sustrato T5 (Cascarilla + Aserrín + Compost, 2:1:1) mostró un diámetro intermedio (3.4 mm), lo que indica un crecimiento aceptable pero limitado. Este comportamiento puede estar relacionado con la lenta descomposición del aserrín, que inmoviliza nitrógeno durante su degradación, reduciendo la disponibilidad de este nutriente para el crecimiento de tallos y hojas (Silva et al., 2020). Además, la presencia de lignina y compuestos fenólicos en el aserrín puede afectar el microbiota del sustrato y la absorción de nutrientes (López & Rodríguez, 2021).

Los sustratos T1 (Cascarilla + Gallinaza + Aserrín, 1:1:1) y T6 (Cascarilla + Gallinaza, 1:1) alcanzaron diámetros moderados (3.2 mm y 3.1 mm), lo que sugiere que estas combinaciones pueden sostener un crecimiento aceptable, aunque no óptimo. Esto coincide con los resultados reportados por Pinedo et al.

(2020), quienes encontraron que la presencia de cascarilla de arroz mejora la aireación y drenaje, pero requiere una fuente adicional de nutrientes orgánicos para alcanzar un crecimiento radial comparable al de mezclas más balanceadas.

La baja variabilidad observada en T1 (CV=10.31%) indica que este sustratos es uno de los que promueve mayor crecimiento y también uniformiza la producción de plántulas, lo cual es deseable en viveros forestales, ya que facilita la planificación de trasplantes y mejora la eficiencia en la producción masiva de especies nativas (García et al., 2019).

Los resultados obtenidos en diámetro son coherentes con los de altura y número de hojas. El sustrato T4 se destacó de forma consistente en las tres variables, demostrando que proporciona las condiciones más favorables para el crecimiento integral de las plántulas. Esto concuerda con lo descrito por Salisbury y Ross (2020), quienes señalan que un balance adecuado entre aireación, retención de agua y disponibilidad de nutrientes favorece tanto el crecimiento longitudinal (altura) como el radial (diámetro).

Además, un mayor diámetro combinado con una altura equilibrada contribuye a la estabilidad mecánica de las plantas y mejora su capacidad de resistir condiciones adversas en campo, incrementando las probabilidades de éxito en programas de reforestación (Thompson, 2020; Navarro et al., 2021).

4.1.4. Análisis de medias en el Numero de hojas

En la tabla 6 y figura 5, los tratamientos T4 (cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza + compost palma aceitera [2:1:1]), T0 (Suelo aluvial + compost gallinaza + arena [2:1:1]) y T5 (cascarilla de arroz carbonizada + compost aserrín + compost palma aceitera [2:1:1]), pertenecen al grupo A, con

el número de 3.6, 3.4 y 3.0 hojas respectivamente, superiores estadísticamente al resto de tratamientos. Seguidos del grupo B a los tratamientos T6, T1, T3 con el número de 2.4, 2.3 y 2.0 hojas respectivamente. Finalmente al grupo C pertenecen los tratamientos T2, T7, T8.

En el presente estudio el mayor desarrollo del número hojas se obtuvo con los tratamientos (T4, T0 y T5) que comparten similaridad en valores de pH que van desde 6.10, 6.84 y 6.24 de pH respectivamente, pues poseen caracacterísticas que influyen en la asimilación de los nutrientes por las plantas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke), siendo que con valores inferiores de 5 de pH, podrían presentar deficiencia de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con sus valores superiores a 6.5, existe reducción de la asimilación de hierro (Fe), fosforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu). Sin embargo, el T0 a pesar de superar el límite con 6.84 logra un gran desarrollo en la aparición de brotes en las plantas. Respecto de T4 y T5, presentaron resultados favorables para esta variable probablemente debido a la riqueza en elementos nutritivos y materia orgánica que contenían ambos tratamientos como fosforo, nitrógeno, potasio, magnesio, entre otros, además por la adaptabilidad de esta especie a condiciones adversas y por el buen manejo que se le dio en vivero.

Visto desde la cantidad de nitrógeno, es el componente de los aminoácidos, son unidades estructurales de las proteínas, componente de las moléculas de las enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos, que favorece el desarrollo de las plantas en vivero (Benimeli *et al*., 2019).

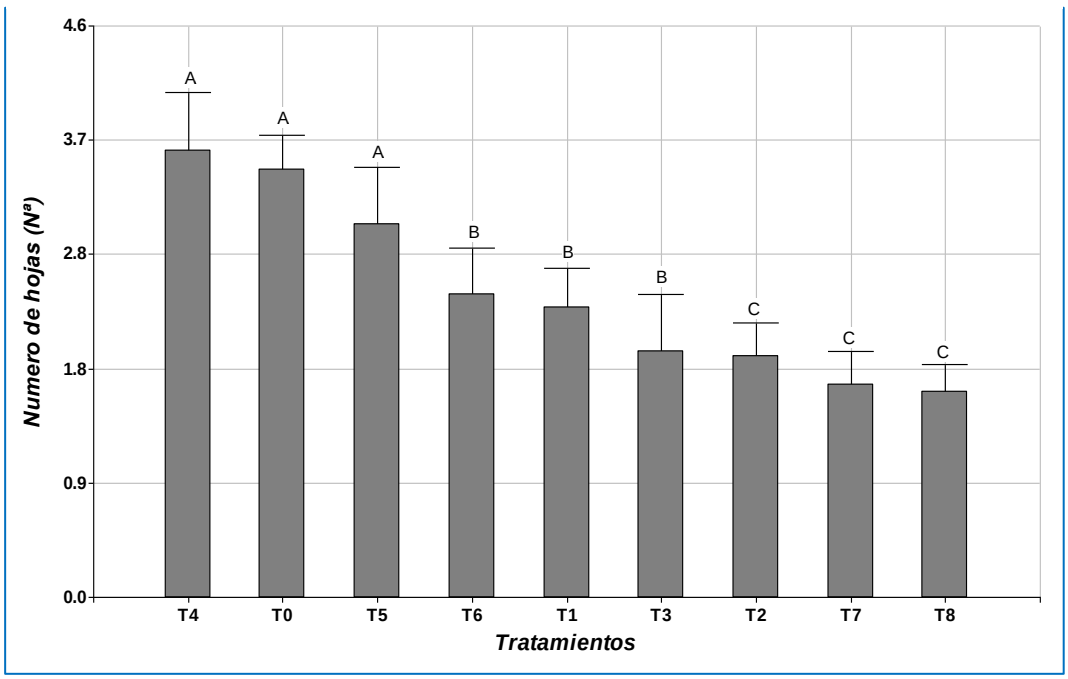
Su disponibilidad (N) es la principal limitante en la productividad de los cultivos, que junto con el fósforo (P) determinan el desarrollo vegetal de las plantas (Cerón & Aristizábal, 2012).

El T0 posee mayor valor de densidad de sustrato (1.47 g/cc) respecto de T4 (0.20 g/cc) y T5 (0.18 g/cc). Esto se ve influenciado también por la máxima retención de humedad, siendo que T0 solo tiene 26.34% MRH, sin embargo, los T4 y T5, poseen 54.60 y 55.77% MRH respectivamente.

Ante ello, plantas con buen desarrollo es un indicativo de que, se ha llevado a cabo un adecuado balance hídrico y traslocación de nutrientes hacia la parte aérea de la planta por el adecuado desarrollo del sistema radicular (Negreros *et al*., 2010).

Por lo que Timm *et al.* (2015), refieren que un sustrato adecuado debe contener una buena porosidad y capacidad de retención de agua, y buena agregación al sistema radicular, para el buen desarrollo de las plantas.

Figura 5 Efecto de los diferentes sustratos en el número de hojas (N°) de plantas de Dipteryx ferrea a 150 días



Existe un efecto notable en el número de hojas de las plantas de Shihuahuaco (Dipteryx ferrea Ducke). El sustrato T4 (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera) presentó la mayor media de hojas (3.6), superando al sustrato testigo (T0), que obtuvo una media de 3.4 hojas. En contraste, el sustrato T8 (Jiffy pellet) registró la menor media (1.6), evidenciando que este sustrato no proporcionó las condiciones nutricionales y físicas necesarias para el desarrollo foliar óptimo.

Estos resultados indican que la combinación equilibrada de materiales orgánicos y minerales favorece el desarrollo foliar de esta especie. Según Hartmann et al. (2014), un sustrato ideal debe proveer una adecuada aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, factores que influyen directamente en la fotosíntesis y, por ende, en la emisión de hojas. En este sentido, la gallinaza y el compost de palma aceitera presentes en T4 aportaron nitrógeno y materia orgánica, elementos esenciales para el crecimiento vegetativo (Pire & Pereira, 2017).

Estudios similares en especies forestales tropicales respaldan estos hallazgos. Por ejemplo, Pinedo et al. (2020) reportaron que la mezcla de cascarilla de arroz carbonizada con abonos orgánicos mejoró significativamente el número de hojas en plántulas de caoba (Swietenia macrophylla), debido a la mejora en la aireación del sustrato y la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, García et al. (2019) encontraron que la incorporación de compost en viveros forestales favorece el desarrollo foliar y radicular en plántulas de Dipteryx odorata, una especie de la misma familia Fabaceae.

El bajo desempeño de T8 (Jiffy pellet) y T7 (Cascarilla + Aserrín, 1:1) podría explicarse por la deficiencia nutricional. Los Jiffy pellets están diseñados para la

germinación y no contienen suficientes nutrientes para sostener el desarrollo de especies forestales de crecimiento lento, como el shihuahuaco. Además, la mezcla de cascarilla y aserrín en T7 carece de nitrógeno disponible, lo que limita la síntesis de proteínas y el desarrollo foliar, tal como lo señalan López y Rodríguez (2021).

Por otro lado, la elevada variabilidad observada en los sustratos T6 y T8 (CV de 54.55% y 56.57%, respectivamente) indica que la respuesta de las plántulas en estos sustratos fue heterogénea, probablemente por diferencias en la tasa de adaptación de las estaquillas. Esto coincide con lo mencionado por Vallejos et al. (2022), quienes señalan que sustratos con baja homogeneidad tienden a generar respuestas variables en el desarrollo foliar debido a fluctuaciones en la humedad y disponibilidad de nutrientes.

En términos prácticos, el resultado obtenido en T4 evidencia que la cascarilla de arroz carbonizada cumple un rol importante en la estructura física del sustrato, al mejorar la aireación y el drenaje, mientras que la gallinaza y el compost aportan nutrientes esenciales. Esta combinación resulta adecuada para promover un crecimiento vegetativo vigoroso, lo cual es fundamental en programas de reforestación, donde se requiere obtener plántulas con alto potencial de supervivencia (Sánchez et al., 2023).

4.2. Calidad de la planta

4.2.1. Análisis de varianza de las variables de calidad (Índice de Dickson, Índice de Esbeltez, Índice de Lignificación, Índice Relación: Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular)

El Análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de F ($p \leq 0,05$) para las variables Índice de Esbeltez, Índice de Lignificación, Índice Relación: BSA / BSR, sin embargo no existen diferencias estadísticas respecto de la variable Índice de Dickson (tabla 8), al analizar los diferentes tratamientos bajo el efecto de combinaciones de sustratos en la calidad de plantas, obtenidas a partir de estaquillas enraizadas de *Dípteryx férrea*, a 5 meses de evaluación en vivero IIAP-Ucayali (tabla 6).

Tabla 7 Análisis de varianza de variables de calidad: i) Índice de Dickson (ID), ii) Índice de Esbeltez (IE), iii) Índice de Lignificación (IL), iv) Índice Relación: BSA/BSR, de estaquillas enraizadas Dípteryx férrea Ducke

FV	GL	Cuadrados medios			
		ID	IE (cm/mm)	IL (%)	BSA/BSR (%)
Tratamientos	08	0,92	2,66	5,16	4,18
		0,5041 NS	0,0111*	0,0001**	0,0003**
Error	90	0,03	0,56	14,82	0,98
CV%		28,09	29,50	14,01	27,97

**Significativo a nivel de 5% de probabilidad (0,01 <= p < 0,05). ** Altamente significativo. NS no significativo*

Tabla 8 Prueba de medias para variables calidad: i) Índice de Dickson (ID), ii) Índice de Esbeltez (IE), iii) Índice de Lignificación (IL), iv) Índice Relación: BSA/BSR, de estaquillas enraizadas de Dípteryx férrea Ducke (altura y diámetro).

Tratamientos (sustratos)	ID	IE (cm/mm)	IL (%)	BSA/BSR (%)
T0	0,24 a	2,47 b	28,55 b	2,19 b
T1	0,19 a	2,40 b	28,39 b	2,94 a
T2	0,19 a	2,78 b	25,51 b	2,05 b
T3	0,10 a	3,46 a	30,19 a	2,15 b
T4	0,19 a	3,14 a	27,80 b	1,57 b
T5	0,19 a	1,76 c	30,69 a	2,70 a
T6	0,34 a	1,83 c	28,55 b	2,19 b
T7	0,20 a	2,33 b	23,12 b	1,24 b
T8	0,21 a	2,68 b	30,06 a	1,28 b
Promedio	0,21	2,54	28,0	2,03

Nota: Medias determinadas por el mismo signo gramatical, no se diferencian estadísticamente entre sí. De acuerdo con prueba de medias Scott & Knott, al 5% de probabilidad

4.2.2. Análisis de medias del Índice de Esbeltez

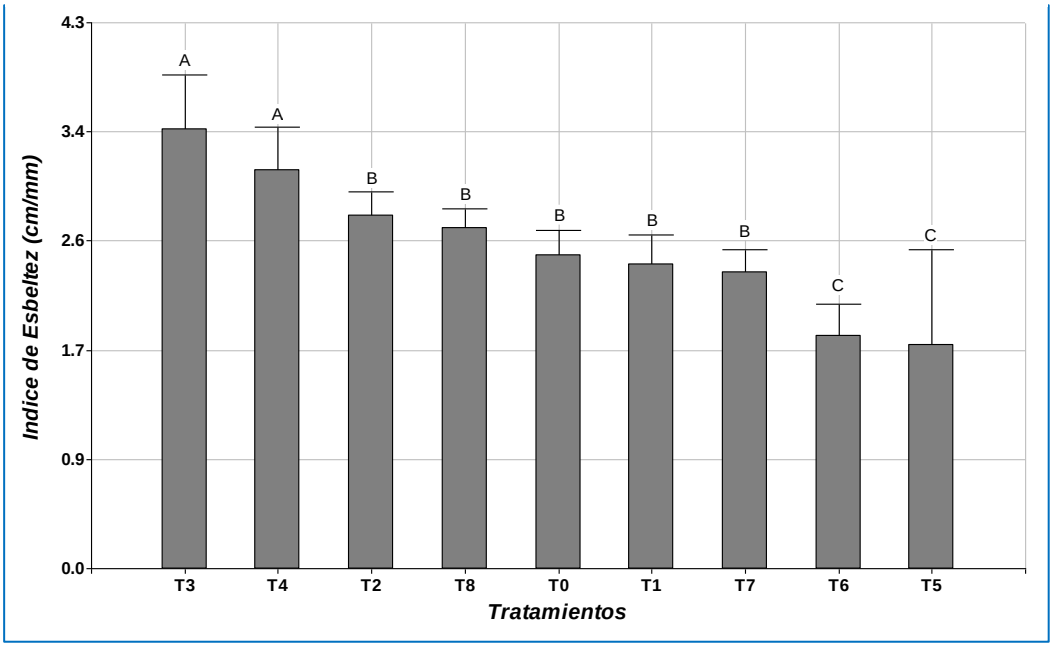
En la tabla 8 y figura 6, los tratamientos T3 (cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza + compost palma aceitera [1:1:1]) y T4 (cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza + compost palma aceitera [2:1:1]), pertenecen al grupo A, con valores de 3.46, 3.14 de índice de esbeltez respectivamente, superiores estadísticamente al resto de tratamientos. Seguidos del grupo B a los tratamientos T2, T8, T0, T1, T7 con valores de 2.78, 2.68, 2.47, 2.40, 2.33 de índice de esbeltez respectivamente. Finalmente al grupo C pertenecen los tratamientos T6, T5.

Acerca del índice de esbeltez, este refleja un balance entre el crecimiento de las variables altura y diámetro, que con valores entre 5 y 10 cm/mm indican una mejor calidad de planta (Quiroz *et al.*, 2009). Sin embargo, Prieto *et al*., (2009) indica que valores menores a 6, son un claro indicativo de una planta más robusta y con tallo vigoroso, capaz de sobrevivir y crecer en condiciones climáticas adversas como de sequía. Para el presente caso, es importante destacar que ambos tratamientos (T3 y T4) que superan en esta variable al resto, coinciden con la misma composición de insumos en el sustrato, como son: i) cascarilla de arroz carbonizada, ii) compost gallinaza, y iii) compost palma aceitera.

La característica de este sustrato es que cuenta con una adecuada porosidad de aireación, permeabilidad, es decir un adecuado pH, favoreciendo en paralelo el desarrollo de la altura y el diámetro, lo cual converge en el particular desarrollo de éste índice de calidad, permitiendo una adecuada asimilación de nutrientes.

Alcanzando valores de 2.85 a 2.93 cm/mm con plantas en tubetes con la especie *Calicophyllum spruceanum* (Farro, 2015). Con la misma especie, Loyola (2019), logró valores de 3.19 a 4.35 cm/mm. Al respecto, Orozco *et al*. (2010) determinó que, con las especies Tabebuia rosae (tahuarí) el rango debe ser de 5 a 6 cm/mm y para Cedrela odorata (cedro) el rango de 5.5 a 6 cm/mm. Valores mucho más altos obedecen a la característica de que la especie es de rápido crecimiento (Castillo, 2007).

Figura 6 Índice de Esbeltez por tratamiento en las plantas de Dipteryx ferrea Ducke a 150 días



Se observa que el tratamiento T4 (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera, 2:1:1) alcanzó un IE promedio de 3.14, siendo uno de los valores más equilibrados, indica uniformidad en la producción. Este resultado es consistente con el alto desempeño de T4 en las variables de altura y diámetro, reflejando que la mezcla favorece tanto la elongación vertical como el desarrollo radial de las plántulas. Según Hartmann et al. (2014), la presencia de materiales orgánicos como compost y gallinaza mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales, mientras que la cascarilla carbonizada optimiza la aireación y estructura física del sustrato, factores que conjuntamente promueven un crecimiento balanceado.

Por el contrario, el tratamiento T3 (Cascarilla + Gallinaza + Compost, 1:1:1) presentó el mayor IE (3.46), lo que indica un crecimiento excesivo en altura en comparación con el diámetro, generando plántulas delgadas y potencialmente menos resistentes a condiciones adversas en campo. Esto puede estar asociado a una proporción inadecuada de nutrientes y a la compactación del sustrato, que

afecta el desarrollo radicular y limita la estabilidad de la parte aérea (Sánchez et al., 2023).

El tratamiento T5 (Cascarilla + Aserrín + Compost, 2:1:1) obtuvo el IE más bajo (1.76), lo que indica plántulas bajas pero con tallos relativamente gruesos. Este resultado podría estar relacionado con la lenta descomposición del aserrín, que inmoviliza nitrógeno y limita el crecimiento vertical (Silva et al., 2020). Aunque un IE bajo reduce el riesgo de acame, valores excesivamente bajos pueden reflejar plántulas poco vigorosas y con escasa capacidad competitiva en campo (Navarro et al., 2021).

El Jiffy pellet (T8) mostró un IE intermedio (2.68), similar al testigo (T0, 2.47), confirmando que este sustrato es adecuado para etapas iniciales, pero requiere suplementación con nutrientes para alcanzar una calidad óptima (Salisbury & Ross, 2020).

En general, la relación entre IE y la calidad de planta encontrada en este estudio coincide con investigaciones previas en especies amazónicas. Pinedo et al. (2020) determinaron que un IE entre 2.5 y 3.5 es ideal para plántulas de *Swietenia macrophylla*, pues asegura estabilidad y potencial de supervivencia en campo. Bajo este criterio, T4 y T3 se encuentran en el rango aceptable, mientras que T5 estaría por debajo del estándar de calidad.

El análisis integral de las variables revela que T4 no solo promovió mayor crecimiento en altura y diámetro, sino que también generó plántulas con un IE equilibrado. Esta consistencia indica que la mezcla de cascarilla, gallinaza y compost proporciona las condiciones óptimas para un desarrollo morfológico ideal.

En cambio, T3, aunque alcanzó alturas relativamente altas, mostró un IE elevado, lo que sugiere un crecimiento desbalanceado que podría comprometer la adaptación y supervivencia en campo. Según Navarro et al. (2021), plántulas con IE superior a 3.5 suelen tener menor resistencia al viento y menor capacidad de mantenerse erguidas tras el trasplante.

Estos hallazgos son relevantes para la producción de shihuahuaco, una especie de crecimiento lento y de gran valor ecológico y económico. La selección adecuada de sustratos no solo mejora el crecimiento en vivero, sino que también influye en la eficiencia y éxito de programas de reforestación en la Amazonía peruana.

El índice de esbeltez (IE), calculado como la relación entre la altura y el diámetro de las plántulas, es un parámetro clave para evaluar la estabilidad mecánica y calidad morfológica de plantas producidas en viveros (Navarro et al., 2021). Valores intermedios reflejan un equilibrio adecuado entre el crecimiento en altura y el engrosamiento del tallo, mientras que valores muy altos indican plántulas delgadas y propensas al acame, y valores muy bajos sugieren crecimiento limitado en altura (Thompson, 2020).

4.2.3. Análisis de medias del Índice de Lignificación

En la tabla 8 y figura 7, los tratamientos T5 (cascarilla de arroz carbonizada + compost aserrín + compost palma aceitera [2:1:1]); T3 (cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza + compost palma aceitera [1:1:1]) y T8 (Jiffy pellet®), pertenecen al grupo A, con valores de 30.69%, 30.19% y 30.06% de índice de lignificación respectivamente, superiores estadísticamente al resto de tratamientos. Finalmente el grupo B con los tratamientos T6, T0, T1, T4, T2,

T7 con valores de 28.55, 28.55, 28.39, 27.80, 25.51, 23.12% de índice de esbeltez respectivamente.

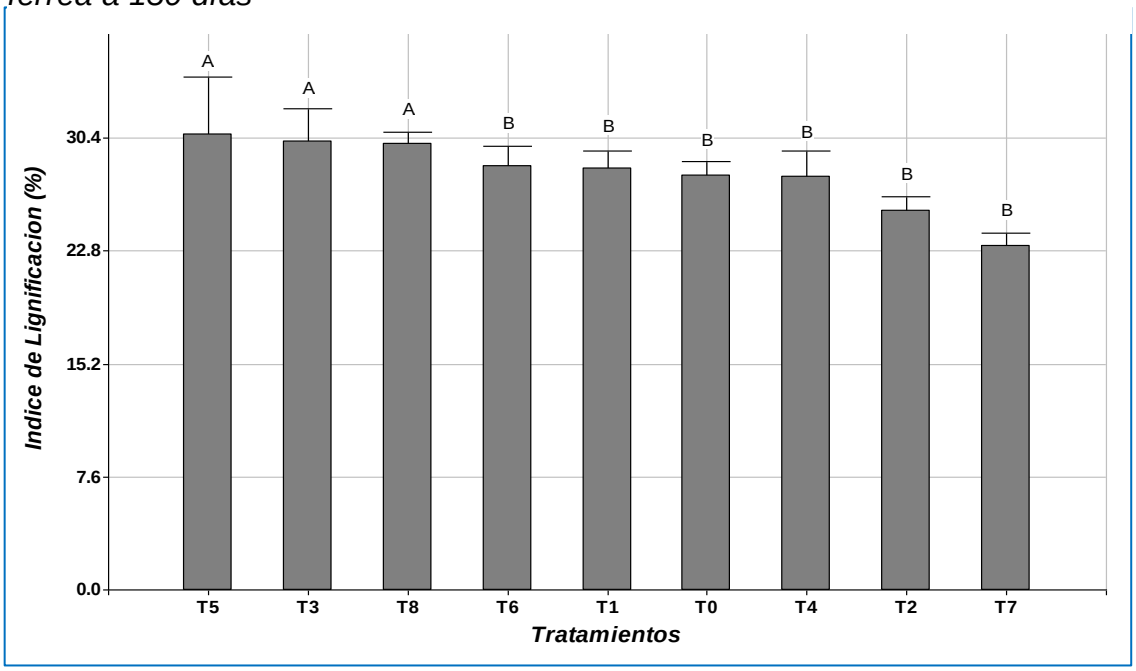
Una categorización de plantas según el contenido de lignina (%), muestran que calidad baja, menor a 10; media, 10 a 11.32; y alta, mayor igual a 11.33% (Sáenz *et al*., 2014), en ese caso todos los tratamientos del experimento arrojan valores altos de IL. Al respecto, el contenido de lignina en una planta es inversamente proporcional a la retención de humedad del sustrato, por lo que a menor humedad en la planta, mayor porcentaje de lignina (Sáenz, 2015).

En ese sentido, Villacorta (2022) logro 30% de IL, utilizando sustrato cascarilla de arroz carbonizada con compost varios con la especie *Calicophyllum spruceanum*, y confirma que en los viveros previo al traslado de plantas, se reduce la frecuencia de riego, semanas antes para endurecer o lignificar rápidamente la parte aérea de la planta, optimizándola para las condiciones adversas del campo y obtener altos niveles de sobrevivencia, por tanto, la lignificación depende de la manipulación del riego.

Por ello, plantas con mayor porcentaje de lignificación presentan mayores posibilidades de aclimatación a las condiciones adversas del campo definitivo (Ureta *et al*., 2018).

La característica de este sustrato es que cuenta con una adecuada porosidad de aireación, permeabilidad, es decir un adecuado pH, favoreciendo en paralelo el desarrollo de la altura y el diámetro, lo cual converge en el particular desarrollo de éste índice de calidad, permitiendo una adecuada asimilación de nutrientes.

Figura 7 Índice de lignificación por tratamiento en las plantas de Dipteryx ferrea a 150 días



Alcanzando valores de 2.85 a 2.93 cm/mm con plantas en tubetes con la especie *Calicophyllum spruceanum* (Farro, 2015). Con la misma especie, Loyola (2019), logró valores de 3.19 a 4.35 cm/mm. Al respecto, Orozco *et al*. (2010) determinó que, con las especies Tabebuia rosae (tahuarí) el rango debe ser de 5 a 6 cm/mm y para Cedrela odorata (cedro) el rango de 5.5 a 6 cm/mm. Valores mucho más altos obedecen a la característica de que la especie es de rápido crecimiento (Castillo, 2007).

El tratamiento T5 (cascarilla de arroz carbonizada + aserrín descompuesto + compost de palma aceitera, 2:1:1) presentó el mayor índice de lignificación (30.69%), lo que refleja una producción uniforme y consistente. Este resultado indica que la mezcla proporcionó condiciones físicas adecuadas, como aireación y drenaje, que favorecieron la lignificación de los tejidos sin promover un crecimiento excesivamente tierno. Sin embargo, este tratamiento mostró valores moderados en otras variables como altura y diámetro, lo que sugiere que,

aunque las plántulas sean estructuralmente fuertes, su crecimiento fue limitado. Este fenómeno coincide con lo reportado por Silva et al. (2020), quienes señalan que sustratos con alto contenido de material lignocelulósico, como el aserrín, pueden restringir la disponibilidad de nitrógeno, ralentizando el crecimiento, pero promoviendo la lignificación de los tallos.

El tratamiento T3 (cascarilla + gallinaza + compost, 1:1:1) y el T8 (Jiffy pellet) también registraron valores elevados de IL (30.19% y 30.06%, respectivamente), aunque con alta variabilidad (CV=14.95% y 17.33%). Esto indica que, aunque ciertos individuos lograron un buen grado de lignificación, otros no alcanzaron el nivel deseado, posiblemente debido a diferencias en la distribución de nutrientes o en la homogeneidad del sustrato. Este comportamiento es consistente con lo observado por Sánchez et al. (2023), quienes destacan que sustratos comerciales como el Jiffy requieren manejo complementario, como fertilización balanceada, para garantizar uniformidad en la producción.

Por el contrario, el tratamiento T7 (cascarilla + aserrín, 1:1) mostró el índice de lignificación más bajo (23.12%), lo que indica plántulas con tejidos tiernos y menor fortaleza mecánica. Esta baja lignificación puede deberse a la limitada disponibilidad de nutrientes esenciales, ya que el aserrín, durante su descomposición, inmoviliza nitrógeno y afecta la síntesis de compuestos estructurales como la lignina (Salisbury & Ross, 2020). Este resultado concuerda con Pinedo et al. (2020), quienes reportaron que sustratos pobres en materia orgánica activa tienden a producir plántulas con menor calidad fisiológica y menor probabilidad de supervivencia en campo.

El tratamiento T2 (cascarilla + gallinaza + aserrín, 2:1:1) también tuvo un IL relativamente bajo (25.51%), lo que evidencia que la mezcla, aunque contiene una fuente de nutrientes como la gallinaza, no es suficiente para promover una lignificación óptima. Esto podría estar asociado a un exceso de humedad o a la presencia de materiales que dificultan la oxigenación radicular, factores que reducen la formación de tejidos lignificados (Hartmann et al., 2014).

Los tratamientos tradicionales como T0 (suelo aluvial + gallinaza + arena, 2:1:1) y T1 (cascarilla + gallinaza + aserrín, 1:1:1) mostraron valores intermedios y estables (28.55% y 28.39%), lo que indica un balance adecuado entre crecimiento y lignificación. Esto es importante porque, según Navarro et al. (2021), un índice de lignificación cercano a 30% se considera óptimo para especies tropicales de crecimiento lento, asegurando que las plántulas puedan resistir el trasplante y adaptarse a las condiciones de campo.

Al integrar el IL con el índice de esbeltez (IE), se observa que los tratamientos con valores altos de lignificación, como T5 y T3, también presentaron características morfológicas asociadas a mayor resistencia mecánica, aunque no siempre a mayor vigor. Por ejemplo, T5, con el IL más alto, mostró un bajo índice de esbeltez (1.76), lo que indica plántulas robustas y equilibradas.

En contraste, T7, con el IL más bajo, confirma que la deficiencia nutricional en este sustrato afectó tanto la calidad fisiológica como la morfológica de las plántulas.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Thompson et al. (2020), quienes afirman que un adecuado grado de lignificación es esencial para

la estabilidad mecánica, pero debe ir acompañado de un desarrollo integral balanceado para garantizar la supervivencia en campo.

El índice de lignificación (IL) es un indicador clave para evaluar la calidad fisiológica y mecánica de las plántulas forestales, ya que refleja el grado de madurez y fortaleza estructural de los tejidos. Un valor elevado indica tallos más lignificados y resistentes, lo que mejora la estabilidad mecánica y la tolerancia al estrés en campo, mientras que valores bajos sugieren plántulas tiernas y propensas a quiebres, estrés hídrico o ataque de patógenos (Navarro et al., 2021; Thompson et al., 2020).

4.2.4. Análisis de medias del Índice Relación: Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular

En la tabla 8 y figura 8, los tratamientos T1 (cascarilla de arroz carbonizada + compost gallinaza + compost aserrín [1:1:1]) y T5 (cascarilla de arroz carbonizada + compost aserrín + compost palma aceitera [2:1:1]), pertenecen al grupo A, con valores de 2.94 y 2.70 de la relación BSA/BSR respectivamente, superiores estadísticamente al resto de tratamientos. Finalmente el grupo B con los tratamientos T0, T6, T3, T2, T4, T8 y T7.

Ambos tratamientos T1 y T5, se encuentran favorecidos por las características del sustrato, en el T1 con un balance entre sus tres (03) componentes, de 33% cada uno (01). En el T5, la cascarilla de arroz carbonizada abarca el 50% y compost de aserrín y compost de palma aceitera 25% cada uno. Este desbalance, le confiere un menor valor de la relacion BSA/BSR respecto del T1, sin embargo, igual desde el punto de vista estadístico. Esta variable es

un indicador de las condiciones ambientales bajo las cuales se produjo la planta ya que es el reflejo de las tasas de transpiración y fotosíntesis a las que estuvo expuesta durante el proceso de viverizaciòn (Escobar, 2007). Algunos autores enfatizan que la relación BSA/BSR debe estar entre 2 a 4 (Negreros *et al*., 2010).

Algunos estudios con latifoliadas reportaron relaciones BSA/BSR con valores de 2.08 y 2.55 para *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea* respectivamente, y de 2.90 para *Schizolobium amazonicum* (Orozco *et al*., 2010; Sáenz, 2015). Sin embargo, otros estudios con *Calycophyllum spruceanum* reportaron valores más bajos con 1.41 a 1.81 (Loyola, 2019); y de valores de 1.7 a 2.5 (Abanto *et al*., 2016) probablemente debido a la desproporción de su sistema aéreo con el radicular.

Valores de esta relación menores a 2, indicarían abundancia de raíces, pudiendo ser válido para plantas con sistema radicular bien conformado (principal y secundarias) y para otras con una sola raíz principal mas grande (Negreros *et al*., 2010).

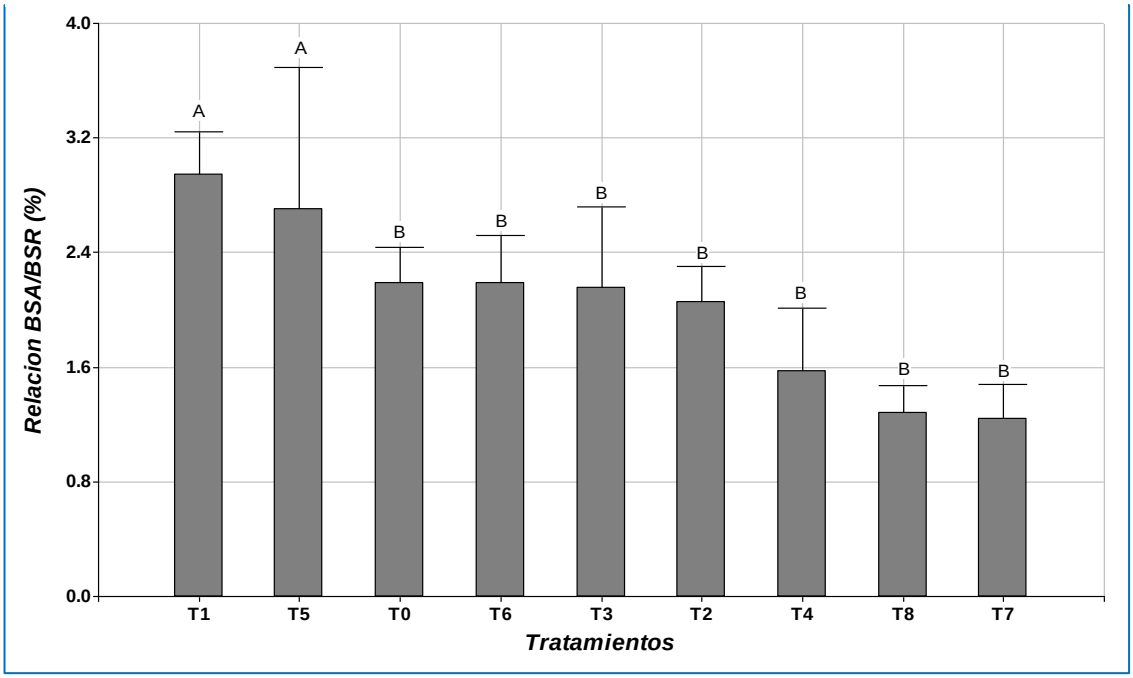
En ese sentido, es muy importante para la relación BSA/BSR, con Dipteryx férrea, el uso de un sustrato y proporciones adecuadas de sus componentes, sobre todo aquellos relacionados con la cascarilla de arroz carbonizada y compost de aserrín, en mayor proporción, y de otros compost en menor proporción.

En la tabla 8, podemos evidenciar que ninguno de los tratamientos supera estadísticamente al resto, todos muestran el mismo efecto de forma estadística, sin embargo el tratamiento expresado en T6 (Cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza) en proporción 1:1, posee un valor númerico superior al resto (0.34),

sin embargo, este valor no es significativo estadísticamente hablando al 5% de probabilidad.

Al respecto el valor medio de todos los tratamientos es de 0.21..

Figura 8 Relación biomasa seca aérea sobre biomasa seca radicular de plantas de Dipteryx ferrea a de 150 días entre los tratamientos



El tratamiento T1 (cascarilla + gallinaza + aserrín, 1:1:1) presentó la relación más alta (2.94), indicando un crecimiento excesivo en la parte aérea respecto a la raíz. Esta desproporción puede deberse a la alta disponibilidad de nitrógeno proveniente de la gallinaza, que estimula la producción de tejido foliar y tallos, pero no favorece proporcionalmente la formación de raíces (Salisbury & Ross, 2020). Esta situación puede generar plántulas más susceptibles a acame y con menor capacidad de establecimiento en campo.

Por el contrario, el tratamiento T4 (cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost de palma aceitera, 2:1:1) obtuvo una de las relaciones más bajas (1.57), lo que evidencia un crecimiento equilibrado entre biomasa aérea y subterránea. Este resultado indica que la mezcla favoreció el desarrollo radicular,

asegurando una mejor capacidad de absorción de agua y nutrientes. Según Pinedo et al. (2020), los sustratos con buena aireación y retención moderada de humedad, como los que incluyen cascarilla carbonizada y compost, promueven raíces vigorosas y equilibradas.

Asimismo, el Jiffy pellet (T8) registró una media baja (1.28), pero con una alta variabilidad (CV=69.45%), lo que indica que este sustrato no garantiza uniformidad en la producción. Este resultado coincide con lo reportado por Sánchez et al. (2023), quienes afirman que los Jiffy son adecuados para germinación, pero requieren complementos nutricionales para promover un desarrollo equilibrado en etapas posteriores.

El tratamiento T7 (cascarilla + aserrín, 1:1) mostró la relación más baja (1.24), lo que indica un crecimiento radicular más prominente que la parte aérea. Esto, aunque positivo para la absorción de agua, puede reflejar una limitación en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo foliar. De acuerdo con Silva et al. (2020), la descomposición incompleta del aserrín puede inmovilizar nitrógeno, afectando el crecimiento de la parte aérea y generando plántulas menos vigorosas en su fase inicial.

Los tratamientos T0 y T6 mostraron valores intermedios (2.19), pero con coeficientes de variación elevados (59.83% y 36%, respectivamente), lo que indica diferencias marcadas entre individuos. Este comportamiento refleja que, aunque algunos ejemplares lograron un balance aceptable, otros crecieron de manera desproporcionada debido a la heterogeneidad en la mezcla y en la distribución de nutrientes.

Finalmente, el tratamiento T5 (cascarilla + aserrín + compost, 2:1:1) tuvo un valor constante (2.7), indicando uniformidad en el crecimiento. Sin embargo,

este valor está por encima del rango óptimo, lo que podría generar plántulas con buena apariencia en vivero, pero con bajo desempeño en campo, especialmente en condiciones de estrés hídrico o baja fertilidad.

La relación BSA/BSR se correlaciona estrechamente con el Índice de Dickson (ID). En este estudio, el tratamiento T4 no solo tuvo la relación más equilibrada (1.57), sino que también mantuvo un ID moderado (0.19), lo que refleja un balance adecuado entre crecimiento aéreo y radicular. En cambio, T1, con la relación más alta, mostró un ID bajo (0.19), evidenciando plántulas de menor calidad integral.

Estos resultados son consistentes con lo descrito por Hartmann et al. (2014), quienes señalan que plántulas con una relación BSA/BSR cercana a 2.0 tienen mayores probabilidades de sobrevivir y establecerse con éxito en campo, ya que el sistema radicular puede sostener la demanda fisiológica de la parte aérea.

T4 es el sustrato más prometedor para la producción de plantas de *shihuahuaco*, ya que promueve un equilibrio óptimo entre biomasa aérea y radicular, condición crítica para programas de reforestación en la Amazonía peruana. T1 y T5 deben ajustarse mediante el control del aporte de nitrógeno para evitar un crecimiento desbalanceado hacia la parte aérea. T7 y T8 pueden emplearse como base, pero requieren suplementación nutricional para mejorar el desarrollo foliar.

La relación Biomasa Aérea/Biomasa Subterránea (BSA/BSR) es un indicador importante del equilibrio fisiológico y estructural de las plántulas forestales. Valores altos reflejan un mayor desarrollo en la parte aérea respecto a las raíces, lo que puede ser riesgoso, ya que indica plántulas con sistemas

radiculares poco robustos y mayor susceptibilidad al estrés hídrico y mecánico durante la plantación en campo (Navarro et al., 2021; Thompson et al., 2020). Por el contrario, valores moderados (1.0 a 2.0) indican un balance adecuado, esencial para especies de crecimiento lento como el *shihuahuaco (Dipteryx ferrea Ducke)*.

Aunque los resultados descriptivos obtenidos permiten identificar tendencias claras, como el mejor desempeño del tratamiento T4 en variables de crecimiento (altura y número de hojas), y de T5 en el índice de lignificación, estas diferencias no son suficientes para establecer conclusiones definitivas. El análisis basado únicamente en promedios, desviación estándar y coeficiente de variación describe la variabilidad y el comportamiento general de las plantas, pero no determina si las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas.

Por ello, fue fundamental complementar este estudio con un análisis de varianza (ANOVA) el cual permitió evaluar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, seguido de pruebas de medias de Scott & Knolt ($p \leq 0.05$). Este tipo de análisis proporcionaría un sustento estadístico sólido para confirmar qué tratamiento presenta un efecto superior en el crecimiento, desarrollo y calidad de las plantas de *Dipteryx ferrea*. Sin esta etapa inferencial, la interpretación queda limitada a una descripción preliminar, lo cual podría conducir a conclusiones sesgadas o no generalizables (Montgomery, 2020; Zar, 2010).

En resumen, se realizó un ANOVA para cada variable (anexo 5).

4.3. Discusion

Los resultados demostraron que el tipo de sustrato ejerce un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) tanto en la altura como en el diámetro de las plántulas de *Dipteryx ferrea* (Tabla 5). El tratamiento **T4** (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera en proporción 2:1:1) destacó con los mayores valores promedio, alcanzando **9.20 cm de altura** y **4.02 mm de diámetro** (Tabla 6). Este comportamiento superior se atribuye a las propiedades fisicoquímicas óptimas del sustrato, el cual registró un pH de 6.10, una adecuada porosidad de aireación aportada por la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) y una alta disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno (1.16%), fósforo (1.36%) y potasio (0.79%) provenientes de las fuentes orgánicas (Tabla 4). Estos hallazgos concuerdan con lo señalado por Abad et al. (2001) y Ansorena (1994), quienes afirman que un medio de cultivo equilibrado en retención hídrica y aireación maximiza la tasa de crecimiento vegetal. Asimismo, estos resultados respaldan las investigaciones previas de Sallesses et al. (2015), quienes comprobaron que la incorporación de compost de guano en los sustratos incrementa significativamente el desarrollo morfométrico de los clones forestales. Por otro lado, el bajo desempeño registrado en sustratos como el T6 y T7 evidencia que la ausencia de un componente orgánico equilibrado o una retención hídrica deficiente limita de forma drástica la elongación del tallo y el engrosamiento radial, coincidiendo con lo reportado por Vallejos et al. (2022) respecto a los desbalances en la rizósfera.

Respecto al número de hojas expandidas, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.0001$, Tabla 5). Los tratamientos **T4**, **T0** (Testigo regional) y **T5** reportaron los promedios más altos con **3.60, 3.44 y 3.00 hojas**, respectivamente (Tabla 6). La emisión foliar está íntimamente ligada a la disponibilidad de nitrógeno asimilable y a la capacidad de intercambio catiónico del sustrato, elementos fundamentales para la síntesis proteica y el metabolismo celular (Benimeli et al., 2019). Estos resultados guardan estrecha relación con lo documentado por Abanto et al. (2016), quienes al evaluar sustratos orgánicos en *Calycophyllum spruceanum* determinaron que las mezclas enriquecidas con residuos de origen animal y vegetal (como la gallinaza y tierra aluvial) promueven una mayor eficiencia en el despliegue foliar y la asimilación fotosintética. En contraparte, sustratos como el T8 (Jiffy pellet) y T7 mostraron una emisión reducida de hojas (promedios de 1.65 y 1.71), lo cual denota deficiencias nutricionales progresivas tras agotar sus reservas iniciales, un fenómeno ya advertido por Sánchez et al. (2023) al emplear sustratos comerciales de germinación sin complementos de nutrición edáfica sostenida.

La evaluación integral de la calidad de planta mediante índices morfológicos y fisiológicos reveló diferencias significativas en el Índice de Esbeltez (IE), el Índice de Lignificación (IL) y la relación Biomasa Seca Aérea / Biomasa Seca Radicular (BSA/BSR), mientras que el Índice de Dickson (ID) no mostró variaciones estadísticas significativas (Tabla 7), manteniéndose con un promedio global de 0.21 (Tabla 8). En cuanto a la esbeltez, los tratamientos T3 y T4 presentaron los valores más elevados (3.46 y 3.14, respectivamente),

reflejando un crecimiento armónico entre la altura y el diámetro del cuello (Tabla 8), parámetros que según Prieto et al. (2009) y Quiroz et al. (2009) determinan la robustez estructural ante factores de estrés ambiental. Respecto a la madurez de los tejidos, los índices de lignificación más altos se concentraron en los tratamientos T5 (30.69%), T3 (30.19%) y T8 (30.06%), superando el umbral crítico del 11.33% categorizado como de alta calidad por Sáenz et al. (2014). Este alto grado de lignificación está inversamente relacionado con la retención de humedad y responde directamente a los procesos de endurecimiento en vivero previo al trasplante en campo definitivo (Villacorta, 2021). Finalmente, en la relación BSA/BSR, los tratamientos T1 (2.94) y T5 (2.70) reportaron los mayores balances proporcionales (Tabla 8), encontrándose dentro de los rangos de equilibrio biológico recomendados por Negreros et al. (2010) para especies forestales tropicales latifoliadas, asegurando que el sistema radicular posea la capacidad suficiente para abastecer la demanda hídrica y nutricional del sistema aéreo.

Al englobar el desempeño general del experimento, se comprueba que la formulación y proporción de los componentes del sustrato influyen de manera decisiva y directa en el éxito de la propagación vegetativa de *Dipteryx ferrea Ducke*. La integración de materiales con propiedades físicas complementarias —como la cascarilla de arroz carbonizada para garantizar la aireación y evitar la anoxia radicular (Leakey, 2014)— combinada con enmiendas orgánicas de alta actividad nutricional (gallinaza y compost de palma aceitera), genera un sinergismo superior al observado en los sustratos tradicionales o testigos (T0). Esto valida los postulados teóricos de Mesén (1998) y Hartmann et al. (2011), quienes sostienen que el sustrato actúa como un componente activo e integral

en la rizogénesis y el posterior vigor de las estacas forestales. En consecuencia, el tratamiento **T4** (Cascarilla de arroz carbonizada + Gallinaza + Compost de palma aceitera en proporción 2:1:1) se consolida como la alternativa más eficiente y equilibrada para la producción masiva de plántulas de shihuahuaco en viveros forestales de la región Ucayali, respondiendo eficazmente a la necesidad técnica de optimizar protocolos de propagación asexual para mitigar la presión extractiva sobre las poblaciones naturales de esta especie amenazada (Fernandez, 2023; Flores, 2020).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Existe efecto directo de los diferentes sustratos experimentados sobre el crecimiento de plantas propagadas vegetativamente de *Dípteryx férrea*, en vivero en Pucallpa. Respecto de las variables altura total y diámetro, el tratamiento T4 basado en la combinación de Cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost palma aceitera [2:1:1], logró mejores resultados a 150 días de evaluación, con 9cm y 4mm respectivamente.
- Existe efecto directo de los diferentes sustratos experimentados sobre el desarrollo de plantas propagadas vegetativamente de *Dípteryx férrea*. En cuanto a la variable número de hojas, el tratamiento T4 junto a T0 y T5, mostraron mejores resultados con 3.6, 3.4 y 3.0 hojas respectivamente.
- Respecto de las variables de calidad, existe influencia directa de los diferentes sustratos experimentados, en cuanto a la variable índice de Esbeltez, los tratamientos T3 y T4, arrojan un mejor balance de crecimiento con valores de 3.46 y 3.14 respectivamente; acerca del índice de Lignificación, los tratamientos T5, T3 y T8, muestran mayor cantidad de lignina o dureza, con valores de 30.69%, 30.19% y 30.06% respectivamente; y finalmente la relación BSA/BSR, los T1 y T5 reportaron mayor balance y proporción de la biomasa seca aérea sobre la radicular con 2.94 y 2.70 respectivamente. En el caso del **índice de Dickson**, no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos ($p >$

0.05), aunque el tratamiento **T6** presentó el valor más alto (0.34), sugiriendo potencial en términos de vigor general.

5.2. Recomendaciones

- Para las variables de crecimiento (altura, diámetro), se recomienda el uso del sustrato T4, basado en cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost de palma aceitera [2:1:1], puesto que este presentó los mayores valores en altura y diámetro.
- En cuanto al desarrollo (número de hojas), resulta aconsejable utilizar el sustrato T4, basado en cascarilla de arroz carbonizada + gallinaza + compost de palma aceitera [2:1:1], ya que permitió obtener una mayor cantidad de hojas en las plantas.
- Finalmente, en lo referente a los indicadores de calidad (índice de esbeltez, índice de lignificación y relación BSA/BSR), se sugiere aplicar el sustrato T4 y el T5 {cascarilla de arroz carbonizada + aserrín descompuesto + compost de palma aceitera [2:1:1]}, debido a que ambos tratamientos mostraron el mejor desempeño para la producción de plantas de shihuahuaco (*Dipteryx ferrea* Ducke).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, M., Noguera, P., & Bures, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197–200.

Abad, M., Noguera, P., & Carrión, C. (2005). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (En: Cadahi, p. 681 p).

Abanto, C., García, D., Guerra, W., Murga, H., Saldaña, G., Vázquez, D., & Tadashi, R. (2016). Sustratos orgánicos en la producción de plantas de Calycophyllum spruceanum (Benth.). *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 341–347. http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n3/a07v7n3.pdf

Aguirre, M., Gaona, O., & Palacios, H. (2014). Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4(1), 62–75.

Aldana, D., García, C., Hidalgo, C., Flores, G., Del Castillo, D., Reynel, C., Pariente, E., & Honorio, E. (2016). Análisis morfométrico de las especies de Dipteryx en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 25(2): 101-118.

Algaida. (2020). *Adaptación unidad 7. Las plantas*. 13. https://www.edistribucion.es/algaida/2912521/pdf/07_1ESO_BG_adaptacion.pdf

Alvarado, M., & Solano, J. (2002). *Producción de sustratos para Viveros*.

Andrade, J. de. (2014). *Propagação vegetativa com o uso de estacas herbáceas de camucamu (Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh) em câmaras de subirrigação. Tesis Mg. Sc.* Boa Vista, Brasil, Universidade Federal de Roraima.

Ansorena, J. (1994). *Sustratos: Propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa.

Baixauli, A., Soria, C., & Aguilar, J. (2002). Cultivo sin suelos de hortalizas, aspectos practicos y experiencia. *Valencia: Generalitat Valencia*.

Benimeli, F., Plasencia, A., Corbella, D., Guevara, A., Sanzano, A., Sosa, A., & Ullivari, F. (2019). *El nitrógeno del suelo*.

Benites, J. (2007). *Proyecto manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos en la cuenca del río amazonas considerando la variabilidad climatica y el cambio climatico. Lima, s.e.*

BOE. (2013). Interpretación de los análisis de compost. *Boletín Oficial Del Estado*, *España*, s.*e.*, 65 p.

Bunt, A. C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin Hyman.

Carmona, E., Moreno, M. T., Avilés, M., & Ordovás, J. (2012). Compost as a substrate for growing plants: Evaluation and use. *Bioresource Technology*, 100(1), 241–247.

Carvalho, P. (2009). *Cumaru-ferro: Dipteryx odorata*. *Colombo*, *B*, 8p. (Comunicado técnico, n° 225).

Castillo Arnedo. (2024). *El sustrato: definición y aplicaciones*

Catálogo de la vida. (2022). *Identificación taxonómica*. Encontrado El 28 de Diciembre Del 2022. https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/36QZW.

Cercado, J. (2022). *Efecto de diferentes sustratos y recipientes en la emergencia y crecimiento de plántulas de Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook. F. Ex K. Schum, en Ucayali*. Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Chota. Chota, Peru.

Cerón, R., & Aristizábal, G. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en

suelos. *Revista Colomb Biotecnol*, 14(1), 285–295.

Cornejo, V. (2018). *Propagación vegetativa de tres especies forestales potenciales para la recuperación de áreas degradadas en la Región Ucayali*. Universidad Nacional de la Molina.

Courtis, A. (2014). Crecimiento y Desarrollo Cátedra de Fisiología Vegetal. *FaCENA-UNNE*, 17. http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Guía de Estudio-Crecimientoydesarrollo.pdf

Cremer, K. W., Borough, C. J., MCkinnell, C. J., & Carter, P. J. (1982). Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *Ew Zealand Journal of Forestry Science*, 12, 244–268.

Díaz, E. (1991). *Técnicas de enraizamiento de estacas juveniles de Cedrela odorata L. y Gmelina arborea Linn. Tesis Mg. Sc.* Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, J. (1960). *Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron*. 36:10-13.

Escamilla-Hernández, N., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Villegas-Monter, Á., & López-López, M. Á. (2020). Propagación vegetativa de Pinus patula SCHIEDE ex SCHLTDL. et CHAM. en diferentes sustratos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(2), 215–221.

Escobar, R. (2007). *Manual de viverización: Eucalyptus globulus a raíz cubierta (en línea)*. *Consultado*(Primera edicición), 229p. Chile. http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/24892.pdf

FAO. (2015). *Guía para la descripción de suelos* (5.ª ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/i3794s/i3794s.pdf

Farro, A. (2015). Efecto del abono organico tipo Bokashi sobre el desarrollo de la Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook F. Ex.) producidas en tubetes y en bolsas de politileno. *Universidad Nacional Agraria de La Selva*, 120 p.

Fernandez, M. (2022). *Titulo del Proyecto "Efecto de AIB y sustratos en la propagación vegetativa de Dipteryx ferrea (Ducke) ducke (shihuahuaco) en cámara de sub irrigación, Pucallpa- Perú, 2022."*

Fernandez, M. (2023). *Efecto de AIB y Sustrato en la Propagación Vegetativa de Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) en Camara de Sub-Irrigación* [Universidad Nacional de Ucayali]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/132087/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Flores, M. (2020). *Monitoreo y evaluación del estado poblacional del Shihuahuaco (Dipteryx ferrea Ducke) en la Amazonía peruana* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. https://hdl.handle.net/20.500.12996/4749

Flores. (2020). Ecología, Silvicultura y productividad de Dipteryx férrea (Ducke) Ducke. *Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA.*, *Proyecto 146-PI. "Cerrando brechas de información taxonómica*, *silvicultura y tecnológica para contribuir a la producción comercial de shihuahuaco (Dipteryx sp.) en plantaciones en la Amazonia peruana.*

Flores, Y. (2010). *Capriona* (Instituto). chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/841/1/Flores-Manejo_de_capirona.pdf

Flores, Y. (2014). *Árboles Nativos de la Región Ucayali, Perú*. *1er*, 439 p.

Flores, Y. (2024). *Crecimiento del "shihuahuaco" Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke en plantaciones bajo diferentes espaciamientos y tipos de suelo en Ucayali, Amazonía peruana*. Revista Forestal del Perú.

Francisco, V. (2010). *Filogenia Molecular e Morfológica da Tribo Dipterygeae (Papilionoideae, Leguminosae). Tesis Ph.D*. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

García, A., & Cornejo, M. (2021). Compostaje de residuos agroindustriales de palma aceitera: Efecto sobre la fertilidad del suelo. *Agroindustrial Science*, 11(2), 118-126. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.06

García, M., Rodríguez, L., & Pérez, D. (2019). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento inicial de plántulas de *Dipteryx odorata* en vivero. *Revista Forestal del Perú, 44*(2), 51-60. https://doi.org/10.21704/rfp.v44i2.1234

Guerrero, F., & Ciarlo, E. (Comp.). (s.f.). *Nutrición vegetal*.

Gonçalves, L., Santarelli, G., Neto, M., & Manara, P. (2005). *Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização*.

Hartmann, H., & Kester, D. (2011). *Propagación de plantas: Principios y prácticas / Hudson T. Hartmann, Dale E. Kester ; traducido por Antonio Marino Ambrosio. México: CECSA.*

Hartmann, H., Kester, D., Davies, F., & Geneve, R. (2011). *Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices: Vol. 8 ed*.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2014). *Plant propagation: Principles and practices* (8th ed.). Pearson.

Herrero, C., Sist, P., & Casado, M. (2012). Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. *Forest*

Ecology and Management, 280 (2012):31-39.

Honorio, E., Aldana, D., Flores, G., Hidalgo, G., Mejía, E., Del Castillo, D., & García, C. (2018). Fichas de identicación de las especies de Dipteryx de la Amazonía peruana. *Instituto de Investigaciones de La Amazonía Peruana, Iquitos*.

Iglesias, D. (2002). *Efecto de la roca fosforica y gallinaza en el crecimiento del cultivo de cafe (Coffea arabica L.) variedad catimor en Tingo Maria* [Tingo Maria: Universidad Nacional Agraria de la selva - Facultad de agronomia. Departamento Academico de Ciencias Agrarias]. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/06f587b5-af9f-4ef0-bd23-d1b297dd3927/content

IIAP. (2015). Estación meteorológica, Ucayali, Perú. *Instituto de Investigaciones de La Amazonía Peruana (IIAP)*.

Jiffy Group. (2023). *Jiffy pellets for seed starting and propagation*. Jiffy Products International BV. https://www.jiffygroup.com

Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). *The container tree nursery manual*. USDA Forest Service.

Lallana, V. H., & Lallana, M. . (2004). Crecimiento. Fisiología vegetal. *FCA-UNER*.

Leakey, R. (2004). *Physiology of vegetative reproduction* (J. Burley, J. Evans, & J. Youngquist (eds.); Encyclopae).

Leakey, R. (2014). Plant Cloning: Macropropagation. In: Neal Van Alfen (ed). In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*.

Leakey, R., Mesén, J., Tchoundjeu, Z., Longman, K., Dick, J. M., Newton, A., Matin, A., Grace, J., Munro, R., & Muthoka, P. (1990). Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*, 69 (3): 247-257.

León, M., Reyes, J., Pérez, V., Bonilla, M., & Herrero, G. (2019). Esbeltez y fertilización mineral en plantaciones de Pinus caribaea en Cuba. *Instituto de Ecología A.C. y Madera y Bosques*, *25 (2)*.

Lewis, N., & Ferguson, I. S. (1993). *Management of Radiata pine. Melbourne*.

Longman, K. (1993). *Rooting Cuttings of tropical Trees. Tropical Trees: Propagation and Planting Manuals* (Commonweal).

López, A., & Rodríguez, J. (2021). Disponibilidad de nutrientes en mezclas de sustratos orgánicos para viveros forestales. *Agroforestry Systems, 95*(3), 495-504. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00555-6

Loyola, O. (2019). *Efecto de cuatro tipos de sustrato en la producción de plantones de capirona (Calycophyllum spruceanum) en el Vivero Forestal de Cervecería San Juan S.A, Ucayali – Perú.* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4294/loyola-arcayo-olga-sonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mamani, G. (2019). *Determinación de la calidad de plantines de ligustro (ligustrum ovalifolium hassk) a partir de estacas con diferentes sustratos bajo ambiente protegido en el municipio de Viacha (Doctoral dissertation)*.

Martínez, P., & Roca, D. (2011). No TitleSustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (En: Flórez, pp.

37–78).

Maruplast. (2020). *Jiffy Pellet, Forestales*. https://maruplast.com/jiffy-pellet-forestal/

Mello, R. (2006). *onsumo de agua del lirio asiático en contenedores con diferentes sustratos. (en línea)* [Universidad Federal de Santa Maria - Brasil]. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7490/Rosmary Mello.pdf

Mera, J. (2015). *Evaluación de tres estrategias de manejo de la solución nutritiva en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en suelo (Master's thesis)*.

Mesén, J. (1993). *Vegetative propagation of Central American hardwoods. Ph.D. Tesis*. Edimburgo, Escocia, University of Edinburgh.

Mesén, J. (1998). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: Uso de propagadores de sub-irrigación. In *Serie técnica Manual técnico nº 30* (Centro Agr, p. 36 p). Poqyecto de Semillas Forestales - PROSEFOR. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1638/Enraizamiento_de_estacas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Miranda, M., & Alvarado, G. (2020). *Guía base para el establecimiento de Viveros Forestales* (PNUD).

Morales, E. (2018). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales del estado de Tamaulipas. Tesis Maest. Nuevo León, MEX*. Universidad autónoma de Nuevo León.

Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). Wiley.

Navarro, C., Pacheco, R., & Torres, M. (2021). Parámetros morfológicos como indicadores de calidad en plántulas forestales. *Revista Bosques, 42*(1), 45-56.

Negreros, P., Apodaca, M., & Mize, C. W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques*, 16(2), 7–18.

Núñez, B. (1997). *ropagación vegetativa de Cristóbal (Platymiscium pinnatum Benth), Pilón (Hyeronima alchorneoides Allemão) y Surá (Terminalia oblonga Ruiz & Pavón), mediante el enraizamiento de estacas juveniles. Tesis Mg. Sc*. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Orozco, G., Muños, H., Rueda, A., Sígala, J., Prieto, J., & García, J. (2010). Diagnóstico de la calidad de planta en los viveros forestales del estado de colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2):134-145.

Osuna, H., Osuna, A., & Fierro, A. (2017). Manual de propagación de plantas superiores. In *Universidad Autònoma Metropolitana-Xochimilco*. https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.pdf

Pastor, J. (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*, *17(3)*, 231–235.

Pinedo, M., Fernández, J., & Vásquez, R. (2020). Efecto de sustratos orgánicos en la producción de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*). *Revista Amazónica de Ciencias Forestales, 8*(1), 27-35.

Pinedo, S. (2022). *Propagación de estacas juveniles de Mansoa alliacea (Lam.) AH Gentry (Ajo Sacha), por efecto de concentraciones de Ácido Indolbutírico y tipos de sustratos en cámara de sub irrigación, Atalaya–Ucayali–Perú* [Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingenieria Forestal.]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5238/B03_2022_UNU_

FORESTAL_2022_T_SET-PINEDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pire, R., & Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. In *Propuesta metodológica* (pp. 15(1):55-63).

Pire, R., & Pereira, M. (2017). Caracterización de sustratos para viveros forestales y su influencia en el crecimiento de plantas. *Revista Iberoamericana de Ciencias Agrícolas, 6*(12), 49-57.

PMARCO. (2014). *Anexo 1. Vivero*.

Prieto, J., García, J., Mejía, J., Huchín, S., & Aguilar, J. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío* (A. Quiñones, A. Pajarito, J. Prieto, & C. Mar (eds.); Primera).

Promix. (2020). *Principios Básicos de los Sustratos*.

Quiroz, M. ., García, R. ., Gonzales, O. ., Chung, G., & Soto, G. . (2009). Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. *INFOR Sede Bío-Bío*, 1–128.

Raviv, M., & Lieth, J. H. (2008). *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier.

Ramos, E. (2012). *Evaluación de tres tratamientos de desinfección y cuatro medios de cultivo para el establecimiento in vitro de explantes seleccionados de Dipteryx alata Vogel (shihuahuaco)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Révolo, M., & Révolo L. (2018). *Efecto de los sustratos organicos en el desarrollo y crecimiento de bambu guadua(guadua angustifolia kunth) a nivel del vivero en chanchamayo* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Formación Profesional de Agronomía]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2062/1/T026_70326932_T.

pdf

Rey-Benayas, J. ., Espigares, T., & Nicolau, J. . (2003). Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. In *Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación* (Universida).

Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C. ., & Daza, A. (2003). Arboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. *Herbario de La Facultad de Ciencias Forestales de La Universidad Nacional AgrariaLa Molina, Lima*.

Rioja, D. (2022). *Efectos del sustrato no convencional y tubete en la biometría de plantones de Dipteryx sp (shihuahuaco)* [Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingenieria Forestal]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5168/B01_2022_UNU_INGENIERIAFORESTAL_2022_T_DELY-RIOJA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, D. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal (en línea)*. *Consultado 22 oct. 2019*, México DF, Mundi Prensa México. 156 p. http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003145_I.pdf

Rodríguez, J. (2016). *Efecto de diferentes sustratos en el prendimiento de esquejes de bambú guayaquil (Dendrocalamus asper Schult. & Schult. f. Backer ex K. Heyne) en Tingo María.* [Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables]. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/65c3a67b-291b-4d56-95db-3ce70514bf7e/content

Rojas, S., García, J., & Alarcón, M. (2004). *Propagación asexual de plantas. Conceptos Básicos y Experiencias con Especies Amazónicas.* (Primera).

Rollo, A. (2009). *Methods of vegetative propagation of useful agroforestry species in Peruvian Amazon. Tesis Mg. Sc*. Praga, República Checa, Czech University of Life Sciences Prague.

Romero, H., & Galindo, T. (2012). Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación. *Boletín Técnico N° 31*, *Centro de Investigación en Palma de Aceite-Cenipalma*, 53. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10642/10629

Saboya, G. (2010). *Analisis tecnico y economico en la produccion de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagacion vegetativa de estacas juveniles de caoba (Swietenia macrophylla King) en camara sub-irrigacion, Pucallpa, Peru*. Ucayali - Perù: Universidad Nacional de Ucayali.

Sáenz, J., Villaseñor, F., Muñoz, H., Rueda, A., & Prieto, J. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. *México*, s.*e.*

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2020). Fisiología vegetal (5.ª ed.). Cengage Learning.

Sánchez, E., Villacorta, R., & Vargas, C. (2023). Producción de plántulas forestales en vivero: evaluación de la calidad y factores determinantes. *Forest Ecology and Management, 544*, 120-135. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120135

Sallesses, L. F., Rizzo, P. F., Riera, N., Della Torre, V., Crespo, D. E., & Pathauer, P. S. (2015). Efecto de compost de guano avícola en la producción de clones

híbridos de Eucalyptus granais x Eucalyptus camaldulensis. *Ciencia Del Suelo - Argentina*, 33(2), 0–0.

Sembralia. (2021). *Tipos de sustratos y sus propiedades*.

SERFOR. (2023). *Avances en la Investigación del Shihuahuaco Genero Dipteryx (Fabaceae) en el Perú* (1er edició).

Silva, F., Romero, A., & Castro, M. (2020). Dinámica de la descomposición de residuos lignocelulósicos y su efecto en la disponibilidad de nitrógeno en viveros forestales. *Revista de Suelos y Nutrición Vegetal, 20*(1), 14-25.

Soudre, M. (2010). *Informe final de resultados y lecciones aprendidas. Pucallpa, Perú. PROVEFOR, IIAP* (Proyecto D).

Soudre, M., & Guerra, H. (2010). Efecto del sustrato en la calidad de plantones de caoba, cedro e ishpingo de origen vegetativo en fase de aclimatación. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*. Informa técnico.

Soudre, M., Mesèn, F., Del Catillo, D., & Guerra, H. (2008). Informe técnico final del proyecto desarrollo tecnológico apropiado para la propagación vegetativa de especies maderables valiosas en las regiones Loreto y Ucayali (PROVEFOR). In *Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) y Fondo para la Innovación Ciencia y Tecnología (FINCyT). Pucallpa, Ucayali, PE* (p. 85 p.).

Soudre, M., Mueras, L., Limache, A., Guerra, H., Mesén, J., & Pérez, F. (2011). Propagación vegetativa de tornillo (*Cedrelinga cateniformis)* mediante enraizamiento de estacas juveniles en propagador de sub-irrigación. *Folia Amazónica*, 20 (1-2): 83-94.

Souza, A. P., & Resende, F. M. (2017). Características físicas y químicas de la cascarilla de arroz carbonizada en la producción de plantas. *Revista*

Brasileira de Agroecologia, 12(3), 52-60.

Spichiger, R., Meroz, J., Loizeau, P., & Stutz de Ortega, L. (1990). Contribución a la flora de la Amazonía peruana; los árboles del arborétum Jenaro Herrera. *Conservatorio y Jardín Botánicos de La Ciudad de Ginebra, Organización Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, Instituto de Investigaciones de La Amazonía Peruana. Ginebra, Suiza*, *2*, 565.

Spichiger, R., Méroz, J., Loizeau, P., & Stutz de Ortega, L. (1989). . Los árboles del Arborétum Jenaro Herrera. v.1. Moraceae a Leguminosae. *Contribución a La Flora de La Amazonia Peruana). Boissiera*, 43: 1-359.

Timm, C., Schuch, M., Tomaz, Z., & Mayer, N. (2015). Enraizamento de miniestacas a partir de ramos herbáceos de porta-enxertos de pessegueiro, em diferentes substrates. *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, 1: 18-22.

Tinoco, J., & Ramírez, O. (2014). *Evaluación de la influencia de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta de Pinus oocarpa Schiede y su desarrollo inicial en plantación*. Universidad Nacional Agraria.

Thompson, B. E. (2020). Quality of seedlings for reforestation. *Forest Nursery Manual*, 17(2), 19-30.

Trigueiro, R. (2002). *. Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto*. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho.”

Turco, G., Vida, C., Basconsuelo, S., & Malpassi, R. (2018). Biología : crecimiento y desarrollo, ¿son sinónimos en las plantas? In *Salisbury. B* (1era edici). Río Cuarto: UniRío Editora. https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/10/978-987-688-288-0.pdf

Vallejos, L., Gómez, P., & Huamán, J. (2022). Influencia de la homogeneidad del sustrato en la variabilidad de plántulas de especies amazónicas. *Revista Forestal Amazónica, 12*(2), 87-95.

Valverde, G., & Carrillo, F. (2016). Propiedades del aserrín como componente de sustratos forestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), 43-50. https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i32.3003

Vásquez, A. (2009). *Propagación vegetativa de caoba (Swietenia macrophylla) mediante el enraizamiento de estaquillas juveniles en cámaras de sub-irrigación, en PucallpaPerú. Tesis Ingeniero Forestal*. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Villacorta, L. (2021). *Efecto de sustratos en la sobrevivencia, crecimiento y calidad de plantas clonadas de Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook. f. ex Schum. (capirona) en vivero, Ucayali - Perú* [Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Facultad de Ingenieria y Ciencias Ambientales. Carrera Profesional de Ingenieria Agriforestal Acuicola]. http://repositorio.unia.edu.pe/bitstream/unia/276/1/T084_72952354_T.pdf

Villar, P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. In J. . Benayas, T. Espigares, & J. . Nicolau (Eds.), *Restauración de ecosistemas mediterráneos* (Servicio d, pp. 65–86).

Zamora, S. (2013). *Efecto de tres sustancias promotoras en el enraizamiento in vitro de Dipteryx alata Vogel*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Pearson Education.

ANEXOS

ANEXO 1: FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

N	Trata-miento	Plantas vivas	Plantas muertas	Altura de panta	Peso de raíces	Peso de parte aérea	Numerode hojas	Diámetro	Longitud deraíces
1	T0								
2	T0								
3	T0								
4	T1								
5	T1								
6	T1								
7	T2								
8	T2								
9	T2								
10	T3								
11	T3								
12	T3								
13	T4								
14	T4								
15	T4								
16	T5								
17	T5								
18	T5								
19	T6								
20	T6								
21	T6								
22	T7								
23	T7								
24	T7								
25	T8								
26	T8								
27	T8								

ANEXO 2: FORMATO DE FACTORES AMBIENTALES CONDICIONANTES DEL EXPERIMENTO.

Nº	Tratamientos	Temperatura	Humedad Relativa	Frecuencia de riego	Tiempo de riego
1	T0				
2	T1				
3	T2				
4	T3				
5	T4				
6	T5				
7	T6				
8	T7				
9	T8				

Anexo 03: Registro fotográfico del proceso experimental

Figura 9 Medición de insumos para sustratos



Figura 10 Preparación de sustratos



Figura 11 Tratamiento T0



Figura 12 Tratamiento T1



Figura 13 Tratamiento T3



Figura 14 Tratamiento T4



Figura 15 Tratamiento T5



Figura 16 Tratamiento T6



Figura 17 Tratamiento T7



Figura 18 Llenado de tubetes



Figura 19 Estaquillas enraizadas



Figura 20 Colocación de estaquillas enraizadas a sustratos



Figura 21 Etiquetado para tratamientos y repeticiones



Figura 22 Instalación de tratamientos



Figura 23 Ubicación del total de tratamientos



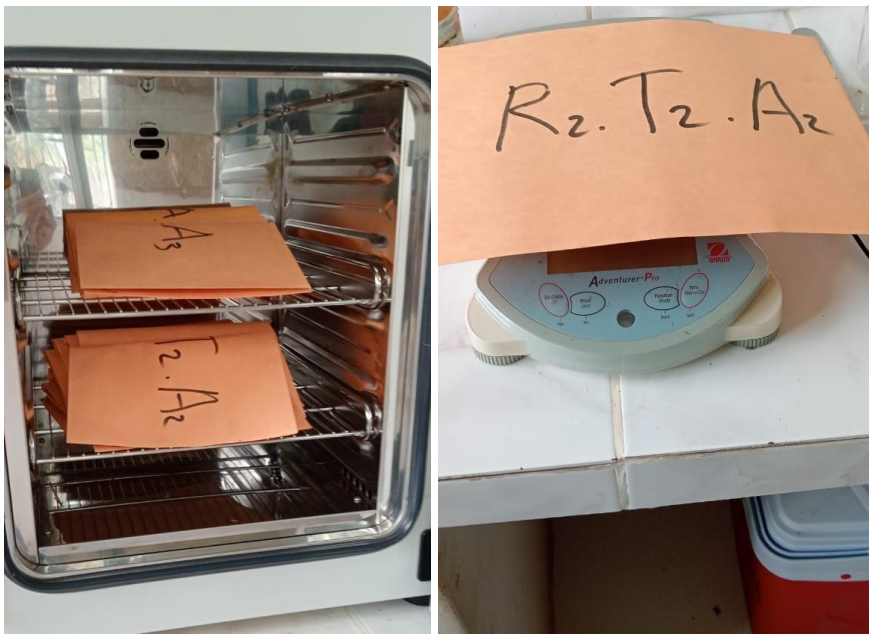
Figura 24 Medición de altura y diámetros a estaquillas



Figura 25 Conteo de plántulas vivas



Figura 26 Entrada a estufa y pesaje de parte foliar y raíces



Anexo 04: Análisis de supuestos, varianza y estadísticos

Análisis de supuestos normalidad y homogeneidad de varianzas:

Supuesto de Normalidad Shapiro-Wilks

Nueva tabla: 25/03/2024 - 15:43:53 - [Versión: 30/04/2020]

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Altura	99	0.00	1.78	0.98	0.3803
RDUO Diámetro	99	0.00	0.46	0.96	0.0787
RDUO Numero hojas	99	0.00	1.12	0.95	0.0690
RDUO Ind dickson	99	0.00	0.17	0.77	0.0001
RDUO Ind esbeltez	99	0.00	0.72	0.96	0.0646
RDUO Ind lignificación	99	0.00	3.70	0.97	0.2145
RDUO Relación BSA/SSR	99	0.00	0.75	0.95	0.0803

Supuesto de Homogeneidad de varianza con la prueba de Levene

Nueva tabla: 25/03/2024 - 15:43:53 - [Versión: 30/04/2020]

Análisis de la varianza de RESIDUOS ABSOLUTOS (PRUEBA DE LEVENE)

RESIDUOS Absolutos en ALTURA

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS ALTURA	99	0.26	0.20	63.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28.49	8	3.56	4.19	0.0540
TRATAMIENTO	28.49	8	3.56	4.19	0.0540
Error	80.81	90	0.85		
Total	109.29	98			

RESIDUOS Absolutos en DIÁMETRO

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS DIAMETRO	99	0.10	0.02	68.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.68	8	0.09	1.26	0.2719
TRATAMIENTO	0.68	8	0.09	1.26	0.2719
Error	6.41	90	0.07		
Total	7.10	98			

RESIDUOS Absolutos en NUMERO HOJAS

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS N° HOJAS	99	0.19	0.12	71.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.79	8	1.10	2.70	0.0702
TRATAMIENTO	8.79	8	1.10	2.70	0.0702
Error	38.69	90	0.41		
Total	47.47	98			

RESIDUOS Absolutos en INDICE DE DICKSON

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS I. DICKSON	99	0.20	0.14	116.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.37	8	0.05	3.03	0.0045
TRATAMIENTO	0.37	8	0.05	3.03	0.0045
Error	1.44	90	0.02		
Total	1.81	98			

RESIDUOS Absolutos en INDICE DE ESBELTEZ

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS I. ESBELTEZ	99	0.08	0.01	75.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.59	8	0.20	1.07	0.3924
TRATAMIENTO	1.59	8	0.20	1.07	0.3924
Error	17.64	90	0.19		
Total	19.23	98			

RESIDUOS Absolutos en INDICE DE LIGNIFICACIÓN

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS I. LIGNIFIC	99	0.18	0.11	75.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	96.16	8	12.02	2.53	0.0154
TRATAMIENTO	96.16	8	12.02	2.53	0.0154
Error	451.55	90	4.75		
Total	547.71	98			

RESIDUOS Absolutos en RELACIÓN BSA/BSR

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
RABS RELACIÓN BSA/BSR	99	0.14	0.07	122.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.10	8	1.01	1.96	0.0605
TRATAMIENTO	8.10	8	1.01	1.96	0.0605
Error	49.17	90	0.52		
Total	57.27	98			

Análisis Varianza para las variables crecimiento, desarrollo y calidad:

Nueva tabla: 25/03/2024 - 15:43:53 - [Versión: 30/04/2020]

Análisis de la varianza (CRECIMIENTO Y DESARROLLO)

99……..-1=98
N=11…..por tratamiento

ALTURA

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ALTURA	99	0.15	0.09	24.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58.88	8	7.36	2.33	0.0240
TRATAMIENTO	58.88	8	7.36	2.33	0.0240
Error	334.65	90	3.16		
Total	393.53	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.58678

Error: 3.1571 gl: 99

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.			
T4	9.20	11	0.73	A		
T2	7.71	11	0.43	A	B	
T3	7.68	11	0.73	A	B	
T1	7.54	11	0.51	A	B	
T0	7.33	11	0.44		B	
T8	7.12	11	0.35		B	
T7	6.88	11	0.43		B	C
T5	6.50	11	0.73		B	C
T6	5.61	11	0.59			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

DIAMETRO

Variable	N	R²	R² Aj	CV
DIAMETRO	99	0.36	0.31	15.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.19	8	1.65	7.48	<0.0001
TRATAMIENTO	13.19	8	1.65	7.48	<0.0001
Error	23.37	90	0.22		
Total	36.56	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.41935

Error: 0.2205 gl: 99

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.					
T4	4.02	11	0.19	A				
T5	3.39	11	0.19		B			
T1	3.17	11	0.14		B			
T6	3.13	11	0.16		B	C		
T0	3.05	11	0.12		B	C		
T7	3.04	11	0.11		B	C		
T2	2.79	11	0.11			C	D	
T8	2.74	11	0.09				D	
T3	2.30	11	0.19					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

NUMERO HOJAS

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
NUMERO HOJAS	99	0.29	0.23	29.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53.55	8	6.69	5.38	<0.0001
TRATAMIENTO	53.55	8	6.69	5.38	<0.0001
Error	131.99	90	1.25		
Total	185.54	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.99654

Error: 1.2452 gl: 99

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.			
T4	3.60	11	0.46	A		
T0	3.44	11	0.28	A		
T5	3.00	11	0.46	A	B	
T6	2.44	11	0.37	A	B	C
T1	2.33	11	0.32		B	C
T3	1.98	11	0.46		B	C
T2	1.94	11	0.27			C
T7	1.71	11	0.27			C
T8	1.65	11	0.22			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Nueva tabla : 26/03/2024 - 16:11:23 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza (CALIDAD DE LA PLANTA)

Índice de Dickson

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Índice de Dickson	99	0.07	0.00	28.09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.23	8	0.03	0.92	0.5041
Tratamiento	0.23	8	0.03	0.92	0.5041
Error	2.97	90	0.03		
Total	3.20	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.23137

Error: 0.0312 gl: 99

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T6	0.34	11	0.06	A
T0	0.24	11	0.04	A
T8	0.21	11	0.03	A
T7	0.20	11	0.04	A
T1	0.19	11	0.05	A
T5	0.19	11	0.18	A
T4	0.19	11	0.08	A
T2	0.19	11	0.04	A
T3	0.10	11	0.10	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Índice de Esbeltez (altura/dIámetro

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Índice de Esbeltez (altura..	99	0.18	0.11	29.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.96	8	1.49	2.66	0.0111
Tratamiento	11.96	8	1.49	2.66	0.0111
Error	53.36	90	0.56		
Total	65.32	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.98134

Error: 0.5617 gl: 99

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T3	3.46	11	0.43	A		
T4	3.14	11	0.34	A		
T2	2.78	11	0.19		B	
T8	2.68	11	0.15		B	
T0	2.47	11	0.19		B	
T1	2.40	11	0.23		B	
T7	2.33	11	0.18		B	
T6	1.83	11	0.25			C
T5	1.76	11	0.75			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Índice de Lignificación (%)

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Índice de Lignificación (%..	99	0.30	0.24	14.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	612.43	8	76.55	5.16	<0.0001
Tratamiento	612.43	8	76.55	5.16	<0.0001
Error	1408.25	90	14.82		
Total	2020.68	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.04142

Error: 14.8236 gl: 99

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T5	30.69	11	3.85	A		
T3	30.19	11	2.22	A		
T8	30.06	11	0.76		B	
T6	28.55	11	1.28		B	
T1	28.39	11	1.16		B	
T0	27.86	11	0.96		B	
T4	27.80	11	1.72		B	
T2	25.51	11	0.96		B	
T7	23.12	11	0.93		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Relación BSA/BSR

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Relación BSA/BSR	99	0.26	0.20	27.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32.81	8	4.10	4.18	0.0003
Tratamiento	32.81	8	4.10	4.18	0.0003
Error	93.31	90	0.98		
Total	126.12	98			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.29770

Error: 0.9822 gl: 99

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T1	2.94	11	0.30	A	
T5	2.70	11	0.99	A	
T0	2.19	11	0.25		B
T6	2.19	11	0.33		B
T3	2.15	11	0.57		B
T2	2.05	11	0.25		B
T4	1.57	11	0.44		B
T8	1.28	11	0.19		B
T7	1.24	11	0.24		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)