

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL



**INFLUENCIA DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE UN
BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE
Cedrelinga cateniformis Ducke (TORNILLO) EN CONDICIONES
DE VIVERO-PUCALLPA 2024**

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO FORESTAL

FELIX, OJANAMA RIOS

Pucallpa-Perú

2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACION DE TESIS N°009/2025-CGyT-

FCFyA-UNUp

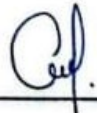
En la ciudad de Pucallpa a las 12:48 pm del 04 de Diciembre de 2025, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador de forma presencial, los miembros que estuvieron designados con el Memo múltiple N°062-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformados por los siguientes docentes:

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez	PRESIDENTE
Dr. Roly Baldoceda Astete	1er. MIEMBRO
Dra. María Angélica Flores Romaina	2do. MIEMBRO

Se procedió a evaluar la sustentación de tesis denominada: **INFLUENCIA DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE UN BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE CEDRELINGA CATENIFORMIS (TORNILLO) EN CONDICIONES DE VIVERO-PUCALLPA 2024**, presentado por el Bach, Felix Ojanama Rios; 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 UNANIMIDAD, RECOMENDANDO SU PUBLICACION**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 14:16 pm horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.


 Dr. Rubén Darío Manturano Pérez
 Presidente


 Dr. Roly Baldoceda Astete
 Primer Miembro


 Dra. María Angélica Flores Romaina
 Segundo Miembro

ACTA DE APROBACION

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

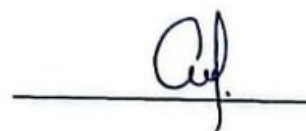
Dr. Rubén Darío Manturano Pérez



Dr. Roly Baldoceda Astete



Dra. María Angélica Flores Romayna



Dr. Cesar Mori Montero



Bach. Felix Ojanama Rios





UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

N° V/461-2025.

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

"INFLUENCIA DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE UN BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE CEDRELINGA CATENIFORMIS (TORNILLO) EN CONDICIONES DE VIVERO-PUCALLPA 2024"

Autor(es) : OJANAMA RIOS, FELIX
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: 04/09/2025



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Felix Ojanama RiosAutor de la tesis titulada : INFLUENCIA DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE UN BIOFERTILIZANTE LIQUIDO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE CEDRELINGA CATENIFORMIS (TORVILLO) EN CONDICIONES DE VIVERO- PUCALLPA 2024Sustentada el año 04 de Diciembre de 2025Asesor(a): Dr. Cesar Mori MonteroFacultad: Facultad Ciencias Forestales y AmbientalesEscuela Profesional: Ingeniería Forestal

Autorizo la publicación:

PARCIAL

☐

TOTAL

☒
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: 03 02, 2026Email: Felixojanamaros@gmail.com

Firma:

Teléfono: 929 712 277DNI: 60185205

DEDICATORIA

A mi querido padre Félix Ojanama Rojas, por brindarme su apoyo incondicional, su amor y su comprensión en todas las etapas de mi vida. A mi madre Rosario Menelia Rios Chavez que ha dejado marcado en mis sus enseñanzas.

A mis abuelos paternos, Manuela Rojas Mendoza y Estanislao Ojanama Mendoza, por estar siempre en sus oraciones, a mi Hermana menor Yasumi Liang Ojanama Rios por ser mi motivo de salir a delante.

A Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante pese a las adversidades que se presentan día a día.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Ucayali, por ser la casa superior de estudios que me ha dado la oportunidad de formarme como profesional, con toda su plana de docencia eficazmente preparada para desarrollar profesionales de calidad.

A mi asesor, Dr. Cesar Mori Montero por brindarme su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo y culminación satisfactoria de la tesis.

A mi Co-Aesor, Ing. Luiz Paulo Amaringo Córdova por brindarme su amplio conocimiento en el desarrollo y uso de bioestimulantes, así mismo por su amistad y su apoyo desde el inicio hasta la culminación de la tesis.

Al Instituto de Innovación Agraria (INIA) en su estación experimental Pucallpa, por brindarme la oportunidad de utilizar sus ambientes para la etapa experimental de la tesis.

A mi amigo y colega, Edwin Tayson Fernandez Ruiz, por su amistad y su apoyo incondicional en el proceso de formación profesional y fuera de las aulas.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.2. Formulación del Problema	17
1.2.1. Problema General.....	17
1.2.2. Problemas Específicos	18
1.3. Objetivos de la investigación	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Sistema de hipótesis	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes del problema.....	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales	21
2.1.3. Antecedentes Locales.....	23
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Biofertilizante	24
2.2.2. Tipos de bioles.....	25
2.2.3. Beneficios del Biofertilizante	26
2.2.4. Mecanismos de acción de biofertilizante.....	27
2.2.5. Parámetros morfológicos.....	29

2.2.6. Característica de la especie forestal	31
2.3. Definición de términos básicos.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	35
3.1. Método de investigación.....	35
3.2. Población y muestra.....	40
3.2.1. Población.	40
3.2.2. Muestra.....	40
3.3. Procedimiento de recolección de datos	40
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1. Técnicas	43
3.4.2. Instrumentos	43
3.5. Procesamiento de datos.....	44
3.6. Tratamiento de datos	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Determinación de la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en parámetros morfológicos de <i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.....	47
4.2. Determinación de la influencia de 5 concentraciones de biofertilizante líquido en la sobrevivencia de <i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.....	75
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1. Conclusiones.....	81
5.2. Recomendaciones	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Concentración de los biofertilizantes</i>	39
Tabla 2. <i>Formato de recolección de datos</i>	44
Tabla 3. <i>Transformación del diámetro.....</i>	47
Tabla 4. <i>Análisis de Varianza de un Factor para el crecimiento del diámetro.....</i>	48
Tabla 5. <i>Prueba de Tukey para el crecimiento del diámetro.....</i>	49
Tabla 6. <i>Altura de planta (cm), estadísticos Descriptivos.....</i>	52
Tabla 7. <i>Análisis de Varianza para la altura.....</i>	53
Tabla 8. <i>Estadísticos descriptivos del índice de esbeltez (E).....</i>	56
Tabla 9. <i>Análisis de Varianza de un Factor (índice de esbeltez).....</i>	58
Tabla 10. <i>Prueba de Tukey para el índice de Esbeltez.....</i>	59
Tabla 11. <i>Estadísticos descriptivos para Relación altura de planta/longitud de raíz.....</i>	62
Tabla 12. <i>Análisis de Varianza de un Factor para Relación altura de planta/longitud de raíz.....</i>	63
Tabla 13. <i>Estadísticos descriptivos para índice tallo raíz.....</i>	66
Tabla 14. <i>Análisis de Varianza de un Factor para índice tallo raíz.....</i>	67
Tabla 15. <i>Prueba de Tukey para índice tallo raíz.....</i>	68
Tabla 16. <i>Estadísticos descriptivos para el índice de calidad de Dickson.....</i>	70
Tabla 17. <i>Análisis de Varianza de un Factor para el índice de calidad de Dickson.....</i>	71
Tabla 18. <i>Prueba de Tukey para el índice de calidad de Dickson.....</i>	72
Tabla 19. <i>Influencia de 5 concentraciones de biofertilizante liquido en la sobrevivencia de Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.....</i>	75
Tabla 20. <i>Estadísticos descriptivos para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo”.....</i>	77
Tabla 21. <i>Análisis de Varianza de un Factor para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo”.....</i>	78
Tabla 22. <i>Prueba de Tukey para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo”.....</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Disposición espacial del diseño experimental.....	36
Figura 2. Diámetro promedio de plantones de <i>Cedrelinga catenaeformis</i> según dosis de biofertilizante (datos transformados a Raíz cuadrada).....	50
Figura 3. Grafico de barras: media marginales de altura.....	54
Figura 4 Grafico de barras: Indice de esbeltez.....	60
Figura 5. Medias marginales en relación altura de planta/longitud de raíz.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01 Matriz de consistencia.....	95
Anexo 02. Panel fotográfico.....	96

RESUMEN

Esta investigación evaluó la influencia de cinco concentraciones (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) de un biofertilizante líquido elaborado a partir de microorganismos benéficos nativos sobre el crecimiento inicial y supervivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “tornillo” en condiciones de vivero en Pucallpa. Se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Los datos morfológicos (diámetro, altura, índices de esbeltez, tallo-raíz y calidad de Dickson) se analizaron mediante ANOVA de un factor y la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados mostraron que las concentraciones del 25% y 50% promovieron los mayores diámetros, sin diferencias significativas entre ellas, y el 25% registró el mejor Índice de Calidad de Dickson. No se hallaron diferencias significativas en altura ni en la relación altura/longitud de raíz. La supervivencia fue significativamente mayor con el 25% (98%) y mínima con el 100% (5%). Se concluye que concentraciones moderadas (25%-50%) optimizan el crecimiento y calidad de los plantones, recomendándose el uso del biofertilizante al 25% como una práctica sostenible en viveros forestales amazónicos

Palabras clave: Biofertilizante líquido, crecimiento inicial, parámetros morfológicos, supervivencia.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of five concentrations (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) of a liquid biofertilizer produced from native beneficial microorganisms on the initial growth and survival of *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" under nursery conditions in Pucallpa. A completely randomized design (CRD) with 5 treatments and 4 replications was employed. Morphological data (diameter, height, slenderness index, shoot-root index, and Dickson Quality Index) were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's test ($\alpha=0.05$). The results showed that the 25% and 50% concentrations promoted the largest diameters, with no significant difference between them, and the 25% treatment recorded the highest Dickson Quality Index. No significant differences were found in plant height or the height/root length ratio. Survival was significantly highest with the 25% concentration (98%) and lowest with the 100% concentration (5%). It is concluded that moderate concentrations (25%-50%) optimize seedling growth and quality, recommending the use of the biofertilizer at 25% as a sustainable practice in Amazonian forest nurseries.

Keywords: Liquid biofertilizer, initial growth, morphological parameters, survival.

INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones han demostrado que los biofertilizantes tienden a ser 1) menos invasivas para el ambiente, 2) más baratas que las convencionales, 3) capaces de aumentar la eficiencia a bajo costo, 4) capaces de obtener mejores características de las plantas, y 5) fáciles de usar e implementar sin requerimientos técnicos excesivos (Carvajal & Carmona, 2012). En este sentido, las biotecnologías como la biofertilización surge como una alternativa para minimizar los impactos ambientales y aprovechar mejor los recursos (Afanador, 2017).

Por otra parte, los viveros forestales son espacios especialmente acondicionados y dedicados a la producción de plantones de la mejor calidad y al menor costo y son los llamados a sentar las bases de la calidad y éxito de las plantaciones (SERFOR, 2016). Asimismo, el éxito de los programas de reforestación depende principalmente de la calidad de la planta que se produce en los viveros, la cual puede asegurar una mayor probabilidad de supervivencia y desarrollo en plantación cuando llegan a establecerse en el lugar definitivo (Cobas et al., 2020).

La especie de tornillo, según (Condori, 2007) es una especie considerada como el tercer árbol maderable más importante por sus características tecnológicas y comerciales apreciadas en los mercados; destacando su buen comportamiento al secado natural y artificial, buena trabajabilidad con máquinas de carpintería y por su alta durabilidad natural. Así mismo, según la FAO (2018) citado por (Cruz et al., 2020) indica que es una especie con una participación del 9,2% en el mercado nacional, el 90% procede del bosque tropical, principalmente de regiones como

Loreto, Madre de Dios y Ucayali, esto se evidencia en la pérdida de su biodiversidad debido a la sobreexplotación irracional.

Las evaluaciones serán llevadas a cabo teniendo en cuenta los parámetros morfológicos, que son los indicativos de los factores que influyen en las características de la planta. En ese sentido la investigación aportará al logro de plantaciones exitosas, mediante la obtención de plantas con un buen crecimiento inicial, en corto tiempo y con una mayor sobrevivencia en campo definitivo. Por lo que se planteó como objetivo general, identificar la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante líquido en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero y como objetivos específicos determinar la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en parámetros morfológicos de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero y determinar la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en la sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero

Ello representa una alternativa ecológica, social y económicamente viable en la Amazonía, debido a su naturaleza orgánica, el cual podría incrementar las tasas de supervivencia, crecimiento en campo definitivo y bajos costos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El Perú, con más de 73,000 millones de hectáreas, es el noveno país del mundo con mayor extensión boscosa y el segundo de América Latina. Sin embargo, este potencial no se ve reflejado en las exportaciones de productos forestales, las cuales no llegan al 1% del total de exportaciones; tampoco en la balanza comercial forestal, la cual es negativa por más de 2,000 millones de dólares. Esta brecha se evidencia cuando se compara con economías como la chilena, pues mientras que el Perú genera 27.72 dólares por cada ha forestal disponible, en Chile la cifra es de 427.51 dólares (Mendiola et al., 2016). Vale resaltar que la producción forestal maderable del Perú proviene fundamentalmente de bosques naturales (Guariguata et al., 2017).

Por su parte, (Held et al., 2015) recomienda enfocar las plantaciones comerciales como elemento clave para el desarrollo forestal. Sin embargo, a pesar del potencial que tiene el Perú, el área total de plantaciones comerciales apenas llega a las 40 mil ha, cifra que no es significativa respecto a las ventajas del país para atraer inversión nacional e internacional, así mismo; según el diagnóstico del estado en los departamentos de: Ancash, Junín, Huánuco, Pasco, Apurímac, Ucayali, en el 2016, existe un limitado número de viveros con la capacidad para cubrir las demandas de la reforestación, con solo 37 viveros forestales con una capacidad instalada de 20 millones de plántones que cubre una demanda de 20 000 hectáreas (SERFOR, 2016).

Debido al potencial de reforestación que presenta el Perú, los productores de plantones con fines de reforestación, buscan la forma de producir plantones en el menor tiempo posible haciendo uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que puede conducir a la pérdida de fertilidad del suelo y la contaminación de los cuerpos de agua. Como alternativa, los biofertilizantes son una herramienta biotecnológica que consiste en aplicar microorganismos que ayudan a mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y así logran disminuir los efectos causados por el exceso de fertilizantes (Afanador, 2017).

En ese contexto, la investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero y responder a la siguiente problemática ¿Cuál es la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero? Con ello se busca incidir en la producción de plantones de calidad y de menor costo, asentado la base para el éxito de la especie en plantaciones.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante liquido en parámetros morfológicos de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero?
- ¿Cómo influye 5 concentraciones de Biofertilizante liquido en la sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante liquido en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de 5 concentraciones de biofertilizante liquido en parámetros morfológicos de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.
- Determinar la influencia de 5 concentraciones de biofertilizante liquido en la sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.

1.4. Sistema de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- El uso del biofertilizante influye en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* “tornillo” en condiciones de vivero.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La aplicación del biofertilizante líquido en bajas concentraciones tiene mayor influencia en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* “tornillo” en condiciones de vivero.
- La aplicación del biofertilizante líquido en bajas concentraciones presenta una mayor sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* “tornillo” en condiciones de vivero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Serralde et al., (2017) en “*Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero*”, tuvieron como objetivo evaluar en vivero el efecto de la biofertilización con HFMA en 4 especies forestales *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* Willd. Utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, 30 plantas como unidad experimental y 6 tratamientos: dos testigos (con 50 y 100% de fertilización) y 4 inóculos de HFMA con el 50% de fertilización química. Se evaluaron variables como altura, diámetro y concentración de nutrientes. Las plantas inoculadas con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. presentaron los mayores valores en alturas y diámetros, así como una mayor translocación de nutrientes hacia las especies *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* y *Eucalyptus* sp. La simbiosis HFMA-especies forestales, tiene efectos benéficos sobre el desarrollo de las plantas, permitiendo reducción de tiempo y costos de producción en vivero.

Chávez et al. (2014) en “*Estimulación del crecimiento en plántulas de Pinus radiata utilizando hongos ectomicorrícicos y saprobios como biofertilizantes*”, determinaron que los inoculantes biológicos formulados con los hongos saprobios o con la mezcla de hongos saprobios y ectomicorrícicos estimularon el crecimiento de las plantas respecto a los controles (plantas sin inoculación fúngica). Además, la presencia de granos de trigo en los inóculos favoreció el efecto estimulante producido por los hongos sobre el crecimiento de *P. radiata*. El inoculante formulado

con la mezcla *C. rigida* y *R. luteolus* produjo las plantas de *P. radiata* con mayores índices de calidad bajo condiciones de invernadero, siendo una alternativa viable para su utilización como potencial biofertilizante en la producción de especies vegetales forestales.

Así mismo, Verdesoto et al. (2023) en “*Evaluación del crecimiento inicial de las especies Swietenia macrophylla King y Triplaris cumingiana Fisch. & C.A. Mey. con la aplicación de tres dosis de biofertilizantes*”, determinaron que al aplicar las dosis de biofertilizantes se pudo establecer que, a los 60 días, con las dosis de 200 ml y 300 ml en 5l de agua, se obtuvieron mayores alturas de planta, con 13,89 cm y 13,59 cm, respectivamente. Así mismo, al interaccionarse los valores en la variable altura de planta, el tratamiento *S. macrophylla* con 200 ml en 5 l de agua presentó el mayor valor, con 8,41 cm a los 30 días y 19,37 cm a los 60 días. Mientras que la variable diámetro de tallo reportó a los 60 días 0,40 cm y a los 90 días 0,70 cm para la especie *S. macrophylla*. La *S. macrophylla* presentó una respuesta favorable a la aplicación de sustrato enriquecido con microorganismos (biofertilizante). La dosis que mayor crecimiento inicial reportó fue de 300 ml en 5l de agua. A los 60 días, con la dosis de 200 ml en 5 l de agua, se registró el mejor crecimiento en altura de la planta.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En un estudio realizado por Marín (2018) para evaluar los parámetros morfológicos para determinar la calidad de plantones de cuatro especies forestales: (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. F. Ex, *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Guazuma crinita* C. Mart.) determino que, a los 120 días de repique, se obtuvieron valores de altura promedio para las especies *Swietenia*

macrophylla (29,32 cm), Cedrela odorata (44,35 cm), Guazuma crinita (47,01 cm) y Calycophyllum spruceanum (31,04 cm). Guazuma crinita y Cedrela odorata alcanzaron mayores alturas, lo que indica alturas ideales para condiciones adversas de plantación. En cuanto al diámetro promedio de los plantones, se registraron los siguientes valores: Swietenia macrophylla (5,02 mm), Cedrela odorata (9,43 mm), Guazuma crinita (6,39 mm) y Calycophyllum spruceanum (6,19 mm). Todas las especies alcanzaron diámetros ideales a los 120 días en función a las labores silviculturales, manejo de sombra y condiciones ideales del sustrato. Con respecto al Índice de Calidad de Dickson (ICD), se observó valores mayores a 0,5 en las especies Cedrela odorata y Calycophyllum spruceanum, lo que significa que estas especies fueron caracterizadas morfológicamente con calidad alta bajo las múltiples condiciones donde se iniciaron (clima, sustrato, contenedores).

Por otro lado, Vargas (2018) en *“Aplicación de Microorganismos Eficientes EM en la producción de plantones de Theobroma cacao L. “cacao” en condiciones de vivero”*, evaluó diferentes dosis de MB en los tratamientos T1 (MB autóctono puro), T2 (MB 0.5: 0.5 agua), T3 (MB 0.25: 0.75 agua), T4 (MB comercial) y T5 (Testigo). A los 30, 60, 90 y 120 días se evaluaron la altura de la planta, número de hojas y diámetro del tallo. Aunque matemáticamente se observaron diferencias en todas las variables y tratamientos, estadísticamente las variables de altura de la planta y grosor en todos los tratamientos incluyendo el testigo son iguales, es decir no hay diferencias estadísticas con el uso o sin el uso de MB. Sin embargo, el tratamiento T1 (MB autóctono) y el T3 (0.25:0.75) mostraron mayor diámetro y vigorosidad homogéneo siendo los más recomendables para el injerto en el vivero, a diferencia de los demás tratamientos, principalmente el del testigo que mostró diámetros más delgados y heterogéneos. Además, se observó que el número de

hojas fue mayor en los MB autóctonos sin dilución y menor en el testigo, mientras que el MB comercial mostró valores semejantes a los MB autóctonos diluidos.

2.1.3. Antecedentes Locales

Por su parte R. Mendoza (2022) en su investigación de tesis sobre el efecto de cinco dosis de Biofertilizante como bioestimulante en vivero de cacao, evidenció que el tratamiento 5 mostró el mayor promedio de altura de planta (21.9 cm), seguido por los tratamientos 6 (21.1 cm) y 4 (21.1 cm), que fueron estadísticamente iguales. Los tratamientos 1, 3 y 2 obtuvieron los valores más bajos en altura de planta (18.8 cm, 18 cm y 17.9 cm, respectivamente). En cuanto al diámetro de tallo, el tratamiento 5 obtuvo el mejor promedio (0.51 cm), seguido por el tratamiento 4 (0.48 cm), mientras que los tratamientos 2, 6 y 3 se comportaron estadísticamente iguales (0.45 cm). En el volumen radicular, el tratamiento 5 obtuvo 3.46 ml y el tratamiento 4 obtuvo 2.92 ml, siendo estadísticamente iguales los tratamientos 6, 3, 1 y 2. En la longitud radicular, el tratamiento 5 obtuvo 23.7 cm, seguido por el tratamiento 6 con 23.5 cm, y los tratamientos 4, 3, 2 y 1 obtuvieron 19.9 cm, 18.6 cm, 18.3 cm y 18.1 cm, respectivamente. En cuanto al número de hojas, el tratamiento 5 obtuvo 9 hojas, seguido por el tratamiento 6 con 8 hojas, y los tratamientos 4, 2, 3 y 1 obtuvieron 7, 7, 7 y 6 hojas, respectivamente. En el área foliar, el tratamiento 5 obtuvo el mejor resultado con 2.6 cm², seguido por el tratamiento 6 con 2.2 cm², y los tratamientos 3, 4, 1 y 2 obtuvieron 2.0 cm², 1.6 cm², 1.4 cm² y 1.2 cm², respectivamente. En cuanto al peso fresco y seco, el tratamiento 6 obtuvo 5.4 g, seguido por el tratamiento 5 con 4.8 g, y los tratamientos 4, 1, 3 y 2 obtuvieron los valores más bajos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Biofertilizante

Amaringo & Mori (2024), señalan que los bioles se obtienen a partir de la actividad de fermentación de microorganismos eficientes capturados del medio ambiente, los cuales, bajo condiciones controladas, como la fermentación anaeróbica, se multiplican en un tiempo determinado. La alta concentración de microorganismos que se logre multiplicar es importante porque determinará el tiempo necesario para su producción y la calidad del biofermento. Los bioles son un excelente sustituto de los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria. Constituyen una de las principales alternativas de las familias productoras orgánicas por su facilidad de elaboración y sus efectos positivos en la nutrición de las plantas y el suelo.

Según Malusá et al. (2012), un biofertilizante es un producto compuesto de uno o varios microorganismos destinados a mejorar las condiciones nutricionales, incrementando el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Los macronutrientes reemplazan los nutrientes del suelo o hacen que los nutrientes estén a fácil disposición de las plantas, y al mismo tiempo aumentan el acceso de las plantas a los nutrientes. Esta interpretación del concepto de biofertilizantes limita la definición exclusivamente a las bacterias que tienen la capacidad de proporcionar nutrientes a las plantas.

Por su parte, Wani & Lee (1995) definen a los biofertilizantes como productos formulados por células vivas de distintos tipos de microorganismos, que se han convertido en una parte importante del sistema integrado de suministro de nutrientes y prometen aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos mediante un mejor suministro de nutrientes. A nivel mundial son cada vez más valorados, ya

que representan una opción económica, renovable y respetuosa con el medio ambiente, en contraste con los productos químicos sintéticos, lo que contribuye a su creciente popularidad e importancia en la producción de plantas.

2.2.2. Tipos de bioles

Amaringo & Mori (2024) señalan que se pueden definir 3 tipos de bioles:

I. **Bioles a base de Comunidades Múltiples de Microorganismos Benéficos del Bosque.** Se elaboran a partir de una gran fuente de microorganismos capturados en el bosque. Estos contienen un promedio de 80 especies y alrededor de 10 géneros que pertenecen a 4 grandes grupos:

- a. **Bacterias fotosintéticas:** utilizan la luz y calor, y sustancias producidas por las raíces, para sintetizar vitaminas y nutrientes.
- b. **Actinomicetos:** son hongos benéficos que controlan hongos y bacterias patógenas (causantes de enfermedades), y que dan a las plantas mayor resistencia frente a estos a través del contacto con patógenos debilitados (hongos).
- c. **Bacterias Ácido Lácticas:** el ácido láctico posee la propiedad de controlar la población de algunos microorganismos, como el hongo *Fusarium*. Mediante la fermentación de materia orgánica, elaboran nutrientes para las plantas.
- d. **Levaduras:** son hongos que utilizan sustancias que producen las raíces de las plantas y otros materiales orgánicos, para sintetizar vitaminas y activar otros microorganismos del suelo.

II. **Bioles a base de microorganismos locales.** Son aquellos microorganismos que se encuentran inmersos en las mismas parcelas de los productores. Para que sean de buena calidad, se eligen las parcelas con mayor

producción de la zona, ya que allí se encuentran microorganismos en mayor cantidad y eficiencia.

III. **Microorganismos comerciales.** Son aquellos que se encuentran envasados y rotulados y generalmente son capturados en otros países.

2.2.3. Beneficios del Biofertilizante

Los biofertilizantes actúan de manera diversa según el tipo de microorganismo empleado. Según (Schütz et al., 2018) pueden realizar funciones clave, como la fijación de nitrógeno atmosférico para convertirlo en formas aprovechables por las plantas, reduciendo la necesidad de fertilizantes nitrogenados. Otros biofertilizantes solubilizan el fósforo en el suelo, facilitando su absorción por las plantas, (McLaughlin et al., 1988). Además, algunos mejoran la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, aumentando la eficiencia en el uso de fertilizantes, (Rubin et al., 2017), mientras que también estimulan el crecimiento y mejoran la salud de las raíces a través de los microorganismos, aumentando así la tolerancia al estrés abiótico, (Smith & Read, 2008).

Así mismo, (Aguado, 2012) indica que los biofertilizantes mejoran la habilidad de las plantas para asimilar agua y nutrientes, lo que resulta en una disminución de las necesidades de riego y fertilización de los cultivos. Además, promueven el crecimiento y establecimiento plantas con raíces de mayor vigor. Además de estas ventajas, funcionan como agentes de biocontrol contra fitopatógenos, contribuyendo así a mejorar tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos.

2.2.4. Mecanismos de acción de biofertilizante

2.2.4.1. Mecanismos directos

Los mecanismos directos de acción de los biofertilizantes se centran en mejorar el crecimiento de las plantas mediante diversas estrategias. En primer lugar, facilitan la nutrición de las plantas al aumentar la disponibilidad y absorción de nutrientes y agua, liberar hormonas estimuladoras del crecimiento vegetal, y alterar la estructura y superficie de absorción de las raíces. La fijación biológica de nitrógeno (FBN) implica la reducción enzimática del nitrógeno atmosférico a amonio, catalizada por el complejo enzimático de la nitrogenasa, (Bulen & LeComte, 1966), para convertirlo en formas aprovechables por las plantas. La síntesis de hormonas, como auxinas, giberelinas y citocininas, es otro mecanismo directo crucial, empleados para la estimulación del crecimiento de las plantas, (Garcia de Salamone et al., 2006).

Además, la síntesis de vitaminas, contribuye de manera directa el crecimiento de algunos microorganismos. Se ha identificado que un factor importante en la promoción del crecimiento, es la producción de vitaminas por cepas de *Pseudomonas fluorescens* y ciertas cepas de *Azotobacter* y *Azospirillum* que afectan positivamente el enraizamiento y las poblaciones microbianas, (Rodelas et al., 1993).

La solubilización de fosfatos es esencial para mejorar la disponibilidad de fósforo, un macronutriente vital para la nutrición de las plantas y un elemento crítico en ecosistemas naturales. Dada la importancia del fósforo y su baja disponibilidad en los suelos, limita la productividad. Para abordar esto, se requieren estrategias

que faciliten la solubilización de fosfatos, como el uso de microorganismos solubilizadores (Biofertilizantes), lo que contribuirá a mejorar la absorción de fósforo por las plantas, (Sample et al., 1980).

2.2.4.2. Mecanismos indirectos

Los mecanismos indirectos consisten en la promoción del crecimiento de planta con biofertilizantes que previenen, disminuyen o eliminan uno o más organismos fitopatógenos mediante su control biológico, (Hernández & Chailloux, 2001). En la competencia por espacio y nutrientes; los microorganismos promotores de crecimiento deben ser competentes en la rizosfera, lo que implica su capacidad para disputar nutrientes secretados por las raíces y ocupar espacios físicos en la raíz. En el contexto del uso de microorganismos como biofertilizantes, una vez que colonizan las raíces, estos ocupan espacios y consumen nutrientes, reduciendo así la disponibilidad para agentes fitopatógenos, lo que destaca su efecto beneficioso en la protección de las plantas, (O'sullivan & O'Gara, 1992).

La producción de sideróforos; se presenta como un mecanismo dual para promover el crecimiento vegetal, no solo aumenta la disponibilidad de hierro para las plantas, sino que contribuye al control biológico de agentes fitopatógenos. Al secuestrar el hierro del suelo y hacerlo aprovechable tanto para ellos mismos como para las células vegetales capaces de asimilar el complejo bacteriano sideróforo-hierro, limitan la cantidad disponible de este elemento en el suelo para otros microorganismos. Este proceso no solo beneficia el crecimiento vegetal al proporcionar hierro, sino que ayuda en la competencia contra patógenos al restringir este recurso esencial, (Castignetti & Smarrelli, 1986).

2.2.5. Parámetros morfológicos

Los viveros suelen basar la evaluación del estándar de calidad de las plántulas principalmente en los parámetros morfológicos, ya que estos representan atributos que se pueden determinar de manera física o visual. Esto facilita la comprensión intuitiva por parte de los encargados de los viveros (Gomes et al., 2002). El éxito de los programas de reforestación depende principalmente de la calidad de la planta que se produce en los viveros, la cual puede asegurar una mayor probabilidad de supervivencia y desarrollo en plantación cuando llegan a establecerse en el lugar definitivo (Cobas et al., 2020).

Los principales atributos que se manifiesta en forma física en la planta son:

Altura (cm): Aunque es efectivo como predictor de la altura futura en el campo, no resulta igualmente fiable para prever la supervivencia. Aunque ha sido ampliamente empleado como indicador de calidad a lo largo del tiempo, se reconoce su limitación, por lo que se recomienda complementarlo con otros criterios para obtener una evaluación más completa y precisa de su utilidad real. Varios estudios han concluido que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa, con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura tras la plantación (Birchler et al., 1998).

Diámetro del cuello de raíz (mm): También es fácil de medir y proporciona una estimación de la sección transversal para el transporte de agua, así como de la resistencia mecánica y la capacidad relativa para soportar altas temperaturas en la superficie del suelo (Cleary, Greaves, 1977). El tamaño del diámetro se ve

afectado por factores como la densidad del cultivo en el vivero y puede ser influenciado por prácticas culturales, como el repicado apical. (Birchler et al., 1998)

Índice de esbeltez (IE): Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Torralba, 1997). Valores entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta, valores sobre 10, indican una planta muy alta, respecto al dac, por su parte valores menores a 5, indican una planta de poca altura respecto al dac. También es usada la relación inversa dac (mm) y altura (mm) (DAC/ALT), el rango óptimo de este índice varía entre 1/100 y 1/50, dependiendo de la especie (Quiroz et al., 2009).

Relación altura/longitud de raíz (RA/LR): La capacidad de predecir el éxito de la plantación se vincula estrechamente con el equilibrio y la proporción entre la parte aérea y el sistema radical de la planta. Se observa que una relación equitativa de 1:1 entre ambas favorece altas tasas de supervivencia en entornos de plantación sin limitaciones ambientales. En áreas con restricciones de humedad, se recomienda optar por plántulas con proporciones de 0.5:1 a 1:1, mientras que, en lugares sin limitaciones de humedad, las relaciones pueden variar entre 1.5:1 y 2.5:1. Se aconseja a los viveristas y plantadores establecer la relación deseada considerando las especies y las características específicas del lugar de plantación, según las recomendaciones de (Prieto et al., 2009).

Peso de la planta: La masa de la planta, tanto la biomasa aérea como la radical, presenta una correlación significativa con la supervivencia en el campo, manteniendo una consistencia similar a la del diámetro del tallo o cuello de la raíz. Asimismo, el diámetro muestra una fuerte relación con el peso de la parte aérea y del sistema radical. El peso seco demuestra ser un indicador eficaz, especialmente

al comparar el peso seco de la parte aérea con el peso seco del sistema radical, según señala (Thompson, 1985).

Relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (RBSA/BSR) o índice de Tallo-Raíz (ITR): Se define como la proporción entre el peso seco de la parte aérea (incluyendo tallo y hojas) y el peso de la raíz, lo que determina el equilibrio entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta. En términos generales, se establece la condición de que, después de lavar y secar la planta, el peso de la parte aérea no debe superar el doble del peso de la raíz. Por lo general, una relación tallo/raíz más estrecha, cercana a 1, indica una mayor capacidad de supervivencia en entornos secos. (Quiroz et al., 2009).

Índice de Calidad de Dickson (ICD): Este índice combina la relación entre la masa seca total de la planta en gramos y la suma del Índice de Esbeltez (IE) y la relación entre la parte seca aérea y la parte seca radical, conocido como Índice de Tallo-Raíz (ITR). Su objetivo es expresar el equilibrio en la distribución de la masa y la robustez, evitando la selección de plantas desproporcionadas. También se busca evitar descartar plantas con menor altura pero de mayor vigor, con un valor mínimo de 0,2 para el Índice de Calidad (QI) en el caso de especies de hojas anchas y contenedores de hasta 60 ml, basándose en resultados de plantaciones anteriores. (Quiroz et al., 2009).

2.2.6. Característica de la especie forestal

2.2.6.1. Taxonomía

Según el Sistema de Clasificación de Arthur Cronquist (1981), citado por (Vasquez, 2023) indican la siguiente taxonomía:

División: Magnoliophyta = Angiospermae

Clase: Magnoliopsida Ducke = Dicotyledoneae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia : Mimosoideae

Género: Cedrelinga

Especie: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

2.2.6.2. Descripción botánica de la especie

Según López R. (2005) describe a la especie de *Cedrelinga cateniformis* Ducke como árbol que forma parte del estrato dominante del bosque donde se desarrolla, su altura, varía entre 25 y 40 metros, dependiendo de la "calidad de sitio" ; en altura comercial se halla comprendida entre los 15 y 25 metros y el diámetro a la altura del pecho 60 y 150 cm.; mientras que el ahusamiento presenta una diferencia de 22 a 24 cm. entre el diámetro máximo y mínimo, presenta raíces tablares, tronco generalmente recto, corteza fisurada aragosa con grietas longitudinales y profundas, color pardo oscuro en los árboles maduros y más ,claro en los árboles jóvenes de 2 a 3 cm. de espesor; parecidas a las de cedro de donde adopta el nombre genérico de cedrelinga, cuyo aspecto rugoso da origen a la denominación más usada en Brasil "Cedro rana" ramificación amplia, aunque con pocas ramas, éstas de diámetro comercial en árboles maduros, copa globosa irregular poco compacta, especialmente en los árboles adultos.

Hojas alternas, disposición dística (hojas en dos hileras con divergencia de 180°), bipinnadas con dos o cuatro pares de pinnulas aovadas y desiguales en la base y acuminadas relativamente grandes (parecidos a las de *Piptademia*) de 6 a 9 cm. de largo por 2.5 a 5 cm. de ancho; lustrosas, glabras, venación peninervada poco conspicua y densamente reticulada, estípulas laterales caducas. Presenta una glándula caedisa entre las pinnulas y uno en la base del raquis. Inflorescencias terminales o axilares en pequeñas cabezuelas (pedunculadas); pedúnculos robustos alternos de aproximadamente 15 cm. de longitud de cuyos nudos nacen los raquis de 1 cm. de longitud.

Cabezuelas de escasas a densas. Flores hermafroditas, sésiles, cáliz sub - glabro, muy pequeño de 1 mm. de longitud con 5 sépalos triangulares, corola con 5 lóbulos profundos, de un color que varía del verdusco al amarillento de aproximadamente 4 mm de longitud Los estambres sobresalen a la corola, dos veces más largos que ésta, a la cual están insertos en su parte media, blanquecinos, connatos.

2.2.6.3. Características y/o Atributos Morfológicos

La morfología se refiere a la apariencia física de las plantas, que se caracteriza principalmente por atributos como la altura, el diámetro del cuello de la raíz, el índice de esbeltez (IE), la relación altura/longitud de la raíz (RA/LR), el peso de la planta, la relación entre la biomasa seca aérea y la biomasa seca de la raíz (RBSA/BSR) o el índice de Tallo-Raíz (ITR), y el Índice de Calidad de Dickson (ICD).

2.3. Definición de términos básicos

Biofertilizante: Es una sustancia que contiene microorganismos vivos que, cuando se aplican a las semillas, superficies de las plantas o al suelo, colonizan la

rizosfera o el interior de la planta y promueven el crecimiento al aumentar el suministro o la disponibilidad de nutrientes primarios para la planta huésped (Portal Fruticola, 2019)

Concentración: Se refiere a la cantidad de una sustancia específica presente en una mezcla o solución. Es decir, es la medida de la cantidad de soluto presente en una cantidad determinada de solvente o de solución.

Plantaciones forestales: Entiéndase a las plantaciones forestales como el cultivo con especies forestales que generan ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana, mediante la instalación de plantaciones de una o más especies forestales, nativas o introducidas (artículo 6 de la Ley N° 29763, 2015).

Vivero forestal: Los viveros forestales son sitios especialmente dedicados a la producción de plántulas de la mejor calidad y al menor costo posible (Oliva et al., 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación de enfoque cuantitativo, dado que se basa en la medición numérica de las variables y el análisis estadístico de los datos obtenidos. Asimismo, es de tipo experimental, porque se manipula deliberadamente la variable independiente —las concentraciones del biofertilizante líquido (0%, 25%, 50%, 75% y 100%)— con el propósito de observar su efecto sobre las variables dependientes relacionadas al crecimiento de los plantones. El nivel de investigación es explicativo o causal, ya que busca establecer la relación de causa y efecto entre los tratamientos aplicados y las respuestas fisiológicas observadas. Finalmente, se considera una investigación de carácter aplicado, porque los resultados se orientan a resolver un problema práctico vinculado al manejo de fertilización en viveros, aportando conocimientos útiles para la optimización del crecimiento vegetal en condiciones controladas.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), las investigaciones aplicadas y de enfoque cuantitativo buscan “medir fenómenos, probar hipótesis, establecer patrones de comportamiento y, en el caso de las experimentales, determinar relaciones causales bajo condiciones controladas” (p. 122).

Para este estudio se utilizó un diseño Completamente al Azar (DCA), con 5 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, haciendo un total de 20 unidades experimentales; cada unidad experimental estará conformada por 20 plantones. El único factor del estudio estaba constituido por cinco concentraciones de

biofertilizante liquido: 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. En la Figura 1 se muestra la disposición espacial del diseño experimental.

Figura 1

Disposición espacial del diseño experimental

T2R1	T5R2	T4R3	T3R4
T1R1	T2R2	T5R3	T4R4
T5R1	T3R2	T1R3	T2R4
T4R1	T1R2	T3R3	T5R4
T3R1	T4R2	T2R3	T1R4

Elaboración de Biol a partir de Microorganismos Benéficos Nativos

Materiales e insumos:

Se utilizó 50 kg de cubierta forestal del bosque del Centro Experimental Alexander von Humboldt facilitado por la EEA Pucallpa-INIA (tamizado a 0.5 cm), 50 kg. de polvillo de arroz, 100 gramos de levadura de pan (*Saccharomyces cerevisiae*), 8 kilos de melaza de caña, agua no clorada, 01 cilindro de plástico de 200 litros y baldes de pastico de 20 litros.

Procedimiento:

Reproducción de los Microorganismos Benéficos (MB) – Fase sólida.

Se realizó la colecta de la cubierta forestal (capa superficial orgánica) de una formación boscosa aledaña al lugar donde se usará el biofertilizante. Se mezcló muy bien la cubierta forestal, polvillo de arroz, melaza de caña (es importante porque es una fuente de energía para la reproducción de los microorganismos),

levadura y aproximadamente 01 galón de agua no clorada (calcular). La mezcla debe tener una humedad uniforme, para ello se realizó la prueba del prensado en mano o “prueba de puño”, el cual consiste en presionar la mezcla con el puño sin que esta segregue líquidos a través de los dedos. Para desarrollar los MB en proceso anaeróbico, se colocó 2/3 de la mezcla, compactándola enérgicamente para eliminar el aire y garantizar el proceso anaeróbico (sin presencia de oxígeno), en un cilindro con sellado hermético por 30 días, colocándolo en un lugar fresco y bajo sombra. El recipiente se abrió luego de finalizar dicho periodo para continuar con la siguiente fase. Para desarrollar los MB en proceso aeróbico (con presencia de oxígeno), se colocó 1/3 de la mezcla en un balde, cubriéndolo con un paño para protegerlo del frío, del sol y de los animales por la primera noche. Durante los primeros ocho días, se movió la mezcla para disipar el exceso de calor que se producirá y luego sencillamente se mantuvo en un sitio fijo con monitoreo ocasional.

Activación de los MB - Fase líquida. Pasado los días necesarios para la reproducción de los MB en ambiente aeróbico y anaeróbico, se realizó la activación de los Microorganismos Benéficos (MB). Para obtener 200 litros de biofertilizante líquido se tuvo en cuenta lo siguiente: a) Se mezcló 6.5 kg de MB sólido anaeróbico y 3.5 kg de MB sólido aeróbico, los cuales se incorporaron en una tela que permitió el filtrado del líquido (como una bolsa de té). Posteriormente se diluyó el agua no clorada y 8 litros de melaza de caña hasta a una distancia de 10 cm de la tapa del cilindro. Luego, se depositó la mezcla (10 kg) en el cilindro con cierre hermético, para la reproducción de los microorganismos en ambiente líquido.

Aplicación o Inoculación de los MB. La aplicación del biofertilizante líquido con Microorganismos Benéficos Activados se realizó pasado los 10 días del

proceso de activación. La aplicación recomendada debe ser a nivel foliar y/o en la rizosfera de plantones forestales.

Composición:

Amaringo & Mori (2024), detallan el análisis de la composición microbiológica del biol concentrado (100%) elaborado a partir de MBN, el cual presentó el siguiente detalle:

Análisis microbiológico	Recuento (UFC/ml)	Evaluación por presencia
Bacterias ácido lácticas	51×10^6	Alta
Mohos y levaduras	10×10^2	Baja
Aerobios mesófilos viables	64×10^6	Alta
Actinomicetos	< 3	Ausencia

Adicionalmente, Amaringo & Mori (2024) también obtuvieron el análisis del contenido nutricional de muestras del biol al 100% de su concentración, obteniendo los siguientes resultados:

Macro nutrientes	mg/L	%	Micro nutrientes	mg/L	%
N	1305.00	0.1305	Fe	18.48	0.0018
P	128.44	0.0128	Mn	7.98	0.0008
K	4362.50	0.4363	Zn	0.74	0.0001
Ca	1045.00	0.1045	Cu	3.73	0.0004
Mg	435.00	0.0435			
pH		3.63	CE (dS/m)	7.71	

Concentraciones de biofertilizante liquido

El biofertilizante liquido elaborado para esta investigación, fue un Biol a partir de Microorganismos Benéficos Nativos, el cual fue diluido con agua no potable según las concentraciones requeridas, aplicando cada 15 días durante 5 meses (10 aplicaciones), mediante vía foliar a través de una bomba de mochila de 20 L (via drench), asegurando que cada planta reciba la siguiente dosificación:

Tabla 1

Concentraciones utilizadas de biofertilizante liquido

Concentración	Biofertilizante (ml)	Dilución con agua (ml)	Aplicación por planta (ml)	Aplicación Total por planta (ml)
0%	0	2000	0	0
25%	500	1500	25	250
50%	1000	1000	50	500
75%	1500	500	75	750
100%	2000	0	100	1000

Producción de plantones

La producción de los plantones se realizó utilizando bolsas de polietileno de 5" x 8" el cual contiene un volumen de 0.0026 m³ por bolsa. Asimismo, se utilizó 1.030 m³ de arena fina desinfectada mediante vaporización como sustrato, en relación al riego, el vivero del INIA cuenta con un sistema por aspersión, el cual estaba dispuesto de manera interdiaria para regar con agua no potable los 400 plantones de la investigación, durante 15 minutos. En resumen, se produjeron 400 platones en bolsas de polietileno teniendo como sustrato solo arena fina desinfectada.

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

La población fue de 2500 plántones de tornillo dispuestos en el vivero de la Estación Experimental Agraria Pucallpa-Ucayali (INIA), distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 400 plántones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke disponibles en el vivero de la Estación Experimental Agraria Pucallpa (INIA), producidos mediante semillas del Centro Experimental Alexander von Humboldt del INIA. Es importante mencionar que, para estos tipos de experimentos, trabajar con 9 plantas en cada tratamiento se considera una muestra representativa (Kuehl, 2000).

3.3. Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos se tuvo en cuenta cada parámetro morfológico a analizar, estos datos fueron registrados en un formato de campo mensualmente (5 meses).

- **Altura (cm).** La altura de los plántones fue evaluada utilizando una regla metálica, comenzando desde la base del tallo hasta llegar al ápice de los plántones.
- **Diámetro (mm)** La medida del diámetro de los plántones se realizó utilizando un calibrador o vernier digital, colocándolo en la base del cuello de la raíz de los plántones, al nivel del sustrato.

- Índice de esbeltez (IE) o relación altura/diámetro basal. Se calculó teniendo en cuenta la altura y el diámetro medidos durante la fase de vivero, utilizando la siguiente fórmula, (Sáenz et al., 2010).

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz (mm)}}$$

Para llevar a cabo la evaluación de los demás parámetros morfológicos, se trasladaron 12 plántones forestales de cada tratamiento al Laboratorio de Suelos y Tejidos Vegetales de la Estación Experimental Agraria Pucallpa-Ucayali, siguiendo el procedimiento indicado a continuación:

- Relación altura/longitud de raíz (RA/LR). Primero, fue necesario separar las raíces del sustrato en bolsas y limpiarlas. Posteriormente, se procedió a medir la longitud de las raíces utilizando una regla metálica, desde el cuello de la raíz hasta la base. Estos valores fueron sustituidos por la altura correspondiente en la fórmula siguiente, (Sáenz et al., 2010).

$$RA/LR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Longitud de la raíz (cm)}}$$

- Biomasa húmeda de la parte aérea y sistema radical. Primero, se procedió a separar las partes aéreas y radicales de las plantas utilizando una navaja, luego se pesó individualmente en una balanza digital. Después, cada parte o componente se colocó en sobres de papel separados; es decir, las partes aéreas de las plantas clasificadas por cada tratamiento se colocaron en un sobre, y de manera similar se hizo con las partes radicales.

- Biomasa seca de la parte aérea y del sistema radical. Después de obtener el peso húmedo y clasificar las muestras por tratamiento, estas fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 70 °C. Se dejaron en la estufa hasta que el peso de las muestras se mantenga constante, registrando el tiempo necesario en horas para este proceso.
- Relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (RBSA/BSR) o índice de Tallo-Raíz (ITR). Se calculó utilizando la biomasa seca de ambas partes de los plantones muestreados, según la fórmula que se presenta a continuación, (Sáenz et al., 2010).

$$RBSA/BSR = \frac{\text{Biomasa seca aérea (gramos)}}{\text{Biomasa seca raíz (gramos)}}$$

- Índice de calidad de Dickson (ICD): Una vez que calculado los atributos morfológicos y físicos mencionados anteriormente, se sustituyeron en la siguiente formula. (Dickson et al., 1960).

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (gramos)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diametro cuello de la raíz (cm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aérea (gramos)}}{\text{Biomasa seca raíz (gramos)}}}$$

Muñoz et al. (2015); Rueda et al. (2018); Sáenz et al. (2014), sostienen que los intervalos de evaluación de calidad de plantón para parámetros morfológicos en latifoliadas son los siguientes:

Parámetros	Variable	Calidad y Rango		
		Alta	Media	Baja
Morfológicos	Altura de planta (cm)	≥ 15.0	12.0 - 14.9	< 12.0
	Diámetro a cuello de raíz (mm)	≥ 5.0	2.5 - 4.9	< 2.5
	Índice de Esbeltez (IE)	< 6.0	6.1 - 7.9	≥ 8.0
	Relación Altura/Longitud de raíz	≤ 2.0	2.1 - 2.5	> 2.5
	Índice Tallo-Raíz	1.5 - 2.0	2.1 - 2.5	> 2.5
	Índice de Calidad de Dickson	≥ 0.5	0.49 - 0.20	< 0.20

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Se utilizó la técnica de la observación y medición directa, mensualmente (5 meses) se observó y se midieron los plantones en un formato de campo (tabla 4) siguiendo el mismo orden, en sentido hacia el Sur, de derecha a izquierda en cada fila de las unidades experimentales.

3.4.2. Instrumentos

De campo: Para la construcción del diseño experimental se hará uso de manta plástica, para evitar el contacto de las raíces de los plantones con el suelo, para la aplicación del biofertilizante se hará uso de un balde de 20L, Jarra plástica de 2L y un bidón de 200L con tapa hermética donde estará el biofertilizante, mientras que para la aplicación se hará uso de una bomba de mochila de 20 L. En cuanto a las mediciones se utilizará un formato de campo para las anotaciones (tabla 4) y un calibrador o vernier digital con aproximación al centésimo, las evidencias fueron capturadas a través de una cámara fotográfica y la información posteriormente digitalizada en una computadora portátil.

Tabla 2*Formato de recolección de datos*

Pl.	T2 R1		T1 R1		T5 R1		T4 R1		T3 R1		T5 R2		T2 R2		T3 R2	
	H	D	H	D	H	D	h	d	h	D	h	d	H	d	h	d
1																
2																
...																

De laboratorio: Para los parámetros morfológicos de peso se utilizó una balanza analítica con aproximación al centésimo, estufa de laboratorio, navaja para seccionamiento de plantas, bolsas de papel y plumones indelebles.

Insumos: El principal insumo es el biofertilizante líquido que se utilizó, así mismo, para reducir la concentración se hizo uso de agua no clorada.

3.5. Procesamiento de datos

Se ordenó, clasificó y tabularon los datos recolectados. Se aplicaron técnicas estadísticas apropiadas para analizar los datos. Se analizaron los resultados del análisis estadístico para extraer conclusiones y responder a las preguntas de investigación. Los resultados de la investigación se comunicaron de forma clara y concisa, utilizando tablas, gráficos, figuras, etc.

Para realizar este procesamiento de datos, se utilizó software estadístico hojas de cálculo Excel y sistemas de información geográfica (SIG) ArcGIS.

3.6. Tratamiento de datos

Se realizó un ensayo no destructivo: La evaluación de variables con ensayos no destructivos (Altura en cm., diámetro en mm. e Índice de Esbeltez) se realizó de manera mensual, constó de una evaluación inicial (7 días después del trasplante) y 5 adicionales cada 30 días.

Ensayo destructivo: La evaluación de variables con ensayos destructivos: Longitud de raíz, Biomasa seca aérea, Biomasa seca Radicular, Relación Altura/Longitud de raíz, Índice Tallo-Raíz e Índice de calidad de Dickson,; se realizó a todos los plantones solo en la última evaluación, es decir a los 150 días después de la evaluación inicial.

Con los datos obtenidos de la evaluación de parámetros morfológicos se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) de 01 Factor, Modelo Fijo, para comparar la respuesta de las concentraciones propuestas en la presente investigación, utilizando el software estadístico "SPSS Statistics". También se realizó la prueba de Tukey al 5% para los parámetros morfológicos de los tratamientos que presenten diferencias significativas.

Análisis de Varianza (ANOVA) de 1 factor

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F-valor (F)
Tratamientos	4	SC_trat	CM_trat	F_trat
Error	395	SC_error	CM_error	
Total	399	SC_total		

1. Grados de libertad (GL)

- **Tratamientos:** $GL_{\text{trat}} = k - 1 = 5 - 1 = 4$.
- **Error:** $GL_{\text{error}} = N - k = 400 - 5 = 395$.
- **Total:** $GL_{\text{total}} = N - 1 = 400 - 1 = 399$.

2. Suma de cuadrados (SC)

Suma de Cuadrados de los Tratamientos (SC_trat)

La suma de cuadrados de los tratamientos mide la variabilidad debida a las diferencias entre los tratamientos.

$$SC_{\text{trat}} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$$

donde:

- $\bar{Y}_i$ es la media de las observaciones del tratamiento i.
- n_i es el número de observaciones en el tratamiento i (en este caso, $n_i = 80$).
- k es el número de tratamientos.

Suma de Cuadrados del Error (SC_error)

La suma de cuadrados del error mide la variabilidad dentro de los tratamientos (debido a la variabilidad de las observaciones dentro de cada tratamiento).

$$SC_{\text{error}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

donde:

- Y_{ij} es el valor de la observación j en el tratamiento i .
- $\bar{Y}_i$ es la media de las observaciones del tratamiento i .
- n_i es el número de observaciones en el tratamiento i .
- k es el número de tratamientos.

Suma de Cuadrados Total (SC_total)

La suma de cuadrados total mide la variabilidad total de todas las observaciones respecto a la media general.

$$SC_{\text{total}} = \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

donde:

- Y_{ij} es el valor de la observación j en el tratamiento i .
- $\bar{Y}$ es la media global de todas las observaciones.
- N es el número total de observaciones.

Relación entre las sumas de cuadrados

$$SC_{\text{total}} = SC_{\text{trat}} + SC_{\text{error}}$$

3. Cuadrados medios (CM)

- **Tratamientos (CM_trat):** $CM_{\text{trat}} = \frac{SC_{\text{trat}}}{GL_{\text{trat}}}$.
- **Error (CM_error):** $CM_{\text{error}} = \frac{SC_{\text{error}}}{GL_{\text{error}}}$.

4. F-valor (F)

- **F_trat:** $F_{\text{trat}} = \frac{CM_{\text{trat}}}{CM_{\text{error}}}$.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en parámetros morfológicos de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.

Existe homogeneidad de varianzas y normalidad de los residuos, entre los datos, por lo tanto, es posible realizar un ANOVA tradicional.

4.1.1. Parámetros evaluados.

- a. **Diámetro:** Los valores de la media corresponden a datos del diámetro previamente transformados mediante raíz cuadrada, con el objetivo de cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos para el análisis estadístico. En este sentido, las medias presentadas no representan directamente el diámetro en milímetros, sino su raíz cuadrada. El diámetro real se obtiene elevando al cuadrado el valor medio transformado, recuperando así las unidades originales (mm).

Estadísticos descriptivos

Tabla 3

Transformación del diámetro

Variable dependiente: Transformación Diámetro (Raíz cuadrada)

Tratamientos	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100%	1,4475	0,05188	4
Biol al 25%	1,9375	0,02754	4
Biol al 50%	1,9250	0,03873	4
Biol al 75%	1,7775	0,02630	4
Control (sin biol)	1,7700	0,01414	4
Total	1,7715	0,18383	20

De acuerdo con la tabla 3, se observa que el tratamiento con biofertilizante al 25% tiene la mayor media (1,9375), lo que indica que esta concentración puede ser la más eficaz para aumentar el diámetro de las plantas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en condiciones de vivero.

Las medias para los tratamientos al 50% (1,9250) y al 75% (1,7775) son también relativamente altas, pero no superan la media del tratamiento al 25%.

El grupo Control (sin biofertilizante) presentó una media de 1,7700, que es menor que las medias de los tratamientos al 25% y al 50%, lo que indicaría que la ausencia de biofertilizante podría tener un probable efecto negativo en el crecimiento en diámetro.

Tabla 4

Análisis de Varianza de un Factor para el crecimiento de diámetro

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Tranf. Diam. Raiz cuadrada

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	,625 ^a	4	0,156	133,637	0,000	0,973
Intersección	62,764	1	62,764	53721,180	0,000	1,000
Tratamientos	,625	4	0,156	133,637	0,000	0,973
Error	,018	15	0,001			
Total	63,406	20				
Total corregido	,642	19				

a. R al cuadrado = ,973 (R al cuadrado ajustada = ,965)

La suma de cuadrados del modelo corregido (0,625) y el F (133,637) indican que hay diferencias significativas entre los grupos de tratamiento (Tabla 4). El valor de p (Sig.) es 0,000, lo que indica que hay una diferencia estadísticamente

significativa en los diámetros entre al menos uno de los tratamientos de biofertilizante y el control. Asimismo, el valor de F de 133,637 es extremadamente alto, lo que indica que la variabilidad entre los grupos (tratamientos) es mucho mayor que la variabilidad dentro de los grupos (error). Esto refuerza la idea de que los tratamientos tienen un efecto importante en el crecimiento del diámetro de las plantas.

En cuanto al tamaño del efecto, el valor de Eta parcial al cuadrado (0,973) es muy alto, indicando que aproximadamente el 97,3% de la variabilidad en el diámetro se explica por los tratamientos de biofertilizante. Esto indica un efecto muy fuerte de los tratamientos sobre el crecimiento del diámetro de las plantas. La intersección también muestra un valor de F muy alto (53721,180) y un valor de p de 0,000, lo que es esperado, ya que está analizando la media general de los datos.

Tabla 5

Prueba de Tukey para el crecimiento del diámetro

Tranf. Diam. Raiz cuadrada

HSD Tukey^{a,b}

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
Biol al 100% de co	4	1,4475		
Control (sin biol)	4		1,7700	
Biol al 75% de con	4		1,7775	
Biol al 50% de con	4			1,9250
Biol al 25% de con	4			1,9375
Sig.		1,000	,998	,984

El tratamiento con **Biol al 100%** resultó en un diámetro significativamente menor que todos los demás tratamientos, los tratamientos con **Biol al 25%** y **Biol al 50%** produjeron diámetros significativamente mayores que el tratamiento de control y el tratamiento con Biol al 75% y Biol al 100%. Por otro lado, no hay

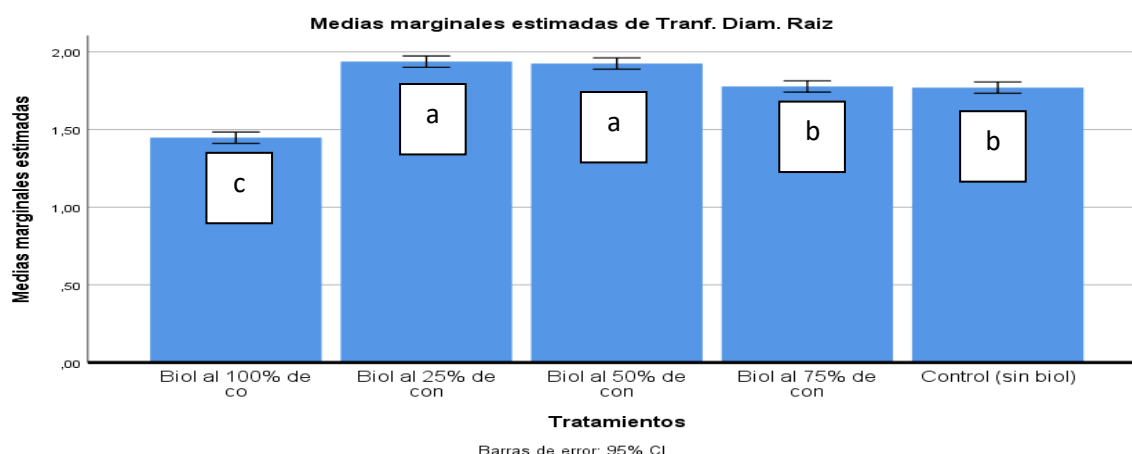
diferencias significativas entre los tratamientos con **Biol al 25%** y **Biol al 50%**, asimismo, no hay diferencias significativas entre el tratamiento **control** y el tratamiento con **Biol al 75%**.

De acuerdo con la tabla 5, la prueba de Tukey confirma que las concentraciones de biofertilizante tienen un efecto significativo en el diámetro de las plantas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke. Las concentraciones del 25% y 50% mostraron los resultados más positivos en comparación con el control y con las otras concentraciones. La concentración del 100% tuvo un resultado significativamente inferior al resto, lo que indica que esta concentración es demasiado alta y puede ser perjudicial para el crecimiento de la planta.

Por lo tanto, considerando la eficacia y la ausencia de diferencia significativa entre ellas, se recomienda utilizar la concentración de **25% o 50%** de biofertilizante líquido para optimizar el crecimiento del diámetro de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en condiciones de vivero.

Figura 2

Diámetro promedio de plántones de Cedrelinga catenaeformis Ducke según dosis de biofertilizante (datos transformados a Raíz cuadrada).



La figura 2, muestra visualmente las diferencias en el diámetro promedio de las plantas después de aplicar diferentes concentraciones de biofertilizante. Se

observa que las concentraciones al 25% y 50% muestran las medias más altas, sugiriendo un mayor crecimiento en el diámetro. La concentración al 100% presenta la media más baja y presenta diferencias significativas entre los demás subconjuntos.

Este comportamiento indica que concentraciones moderadas de biofertilizante generan un equilibrio adecuado de nutrientes y microorganismos benéficos, favoreciendo la absorción de nitrógeno y fósforo sin causar toxicidad o saturación nutricional. En cambio, la concentración al 100% mostró un efecto adverso, posiblemente debido a exceso de sales minerales o compuestos orgánicos que afectan la estabilidad osmótica del sustrato y reducen la absorción de agua, fenómeno también reportado por Luna et al. (2020) en estudios con biofertilizantes líquidos en especies forestales tropicales.

De manera coincidente, Mendoza y Castro (2019) encontraron que dosis intermedias de bioles incrementan el diámetro del tallo y la biomasa aérea en especies maderables, atribuyéndolo a la presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo que estimulan la elongación celular. Asimismo, Flores et al. (2021) reportaron que concentraciones moderadas de biofertilizantes promueven un crecimiento más uniforme en *Swietenia macrophylla* y *Simarouba amara*, mientras que concentraciones elevadas reducen el diámetro por inhibición fisiológica y alteraciones en el pH del sustrato.

Los resultados del presente estudio confirman la eficacia del biofertilizante líquido en concentraciones intermedias (25–50%) para promover el crecimiento en grosor del tallo de *Cedrelinga cateniformis*, siendo un aporte relevante para la producción de plantones de mejor calidad en viveros amazónicos. Este hallazgo concuerda con investigaciones previas que destacan la importancia de ajustar la

concentración del biofertilizante a las necesidades específicas de cada especie y etapa de desarrollo (Luna et al., 2020; Mendoza & Castro, 2019; Flores et al., 2021).

En síntesis, la aplicación de biofertilizante líquido en concentraciones del 25% y 50% representa una alternativa sustentable y eficiente para mejorar los parámetros morfológicos de especies forestales tropicales, optimizando el manejo nutricional en viveros sin recurrir a fertilizantes químicos.

b. Crecimiento en altura

Tabla 6

Altura de planta (cm), estadísticos Descriptivos

Variable dependiente: Altura (cm)

Tratamientos	Media (cm)	Desv. Desviación	N
Biol al 100% de concentración	11,7825	,62281	4
Biol al 25% de concentracion	15,7200	1,48860	4
Biol al 50% de concentracion	12,2750	2,88732	4
Biol al 75% de concentracion	14,1225	2,30180	4
Control (sin biol)	14,6250	1,25000	4
Total	13,7050	2,25588	20

En la tabla 6, se muestra las medias, desviaciones estándar y el tamaño de la muestra (N) para la altura de las plantas en cada grupo de tratamiento (diferentes concentraciones de biofertilizante) y en el grupo control.

Análisis de las Medias:

La concentración más alta (15,72) se observa en el Biol al 25%: el cual indica un efecto positivo considerable en el crecimiento de la altura. asimismo, en el control (sin biol), la media es de 14,625 cm, el cual es relativamente alta, indicando un buen crecimiento incluso sin biofertilizante. Por otro lado, el Biol al 75%, muestra

una media (14,1225 cm) similar al control, indicando que esta concentración no produce un aumento significativo en la altura en comparación con la ausencia de biofertilizante. En cuanto al Biol al 50% y Biol al 100, muestran medias más bajas (12,275 cm y 11,7825 cm, respectivamente) que el grupo control, lo que indica que estas concentraciones podrían ser perjudiciales o menos efectivas para el crecimiento en altura.

Análisis de las Desviaciones Estándar:

Las desviaciones estándar varían entre los tratamientos, indicando diferentes niveles de variabilidad en la altura de las plantas dentro de cada grupo. La mayor desviación estándar se observa en el tratamiento al 50% (2,88732), lo que indica una mayor dispersión en las alturas de las plantas en este grupo. Esto podría indicar una respuesta más variable a esta concentración específica.

Tabla 7

Análisis de Varianza para la altura

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Altura (cm)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	43,287 ^a	4	10,822	3,040	0,051	,448
Intersección	3756,541	1	3756,541	1055,134	0,000	,986
Tratamientos	43,287	4	10,822	3,040	0,051	,448
Error	53,404	15	3,560			
Total	3853,232	20				
Total corregido	96,691	19				

a. R al cuadrado = ,448 (R al cuadrado ajustada = ,300)

No existen diferencias significativas del efecto de las concentraciones de biofertilizante en la Altura de planta.

El análisis de varianza (tabla 7) (ANOVA) indica que existe una variabilidad significativa en la altura de las plantas entre los diferentes tratamientos de

biofertilizante, el valor de F obtenido es 3.040. Este valor representa la razón entre la varianza explicada por el modelo (los tratamientos) y la varianza residual (error).

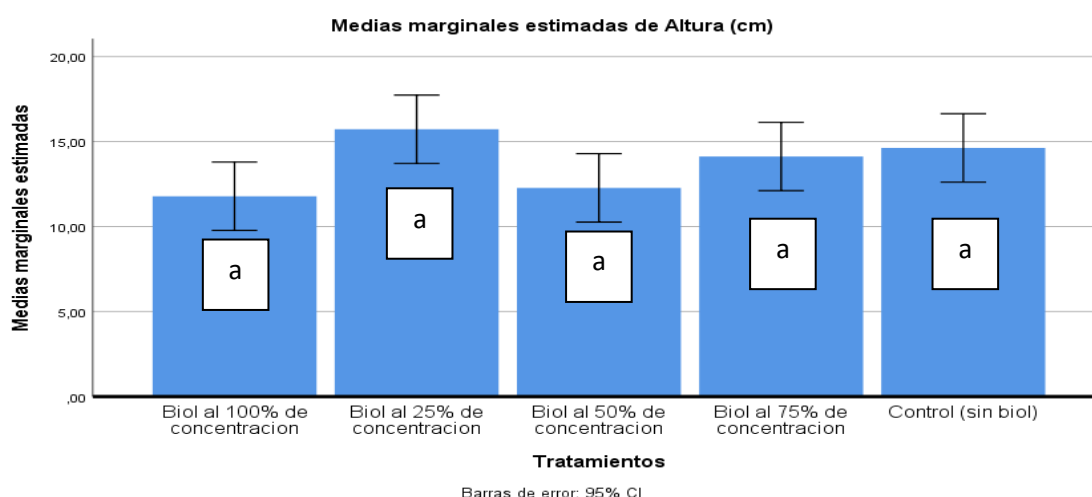
El valor p es 0.051. Este valor es ligeramente superior a 0.05, el nivel alfa convencional para determinar significancia estadística. Por lo tanto, aunque la tendencia es hacia la significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas en la altura entre los tratamientos. Las diferencias observadas podrían deberse al azar.

Por otro lado, el valor de eta cuadrada (η^2) es 0.448, el cual indica que el 44.8% de la variabilidad en la altura de las plantas puede ser atribuida a las diferencias entre los tratamientos. A pesar de no alcanzar significancia estadística al nivel alfa de 0.05, este valor de η^2 indica un efecto moderado de los tratamientos sobre la altura.

Aunque el ANOVA no muestra una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos al nivel $\alpha = 0.05$ ($p = 0.051$), el valor de eta cuadrada ($\eta^2 = 0.448$) indica un efecto moderado de los tratamientos sobre la altura de las plantas.

Figura 3

Representación gráfica de las medias marginales de altura



En la figura 3 se observa que:

- Aritméticamente, el Biol al 25% presenta la mayor altura promedio, seguido del control (sin biol) y el biol al 75%. El biol al 100% y el biol al 50% muestran menores alturas promedio.

Tanto el análisis estadístico (ANOVA) como la representación gráfica de las medias marginales estimadas evidencian que no existen diferencias significativas en la altura de planta entre los tratamientos evaluados. Aunque el biol al 25% de concentración muestra una tendencia a mayores valores promedio, las superposiciones de los intervalos de confianza confirman la ausencia de diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Este comportamiento puede atribuirse a un posible exceso de compuestos orgánicos o sales minerales que alteran el equilibrio nutricional del sustrato, afectando la absorción de agua y nutrientes por las raíces, tal como lo describen Flores et al. (2021) en estudios sobre especies forestales tropicales tratadas con bioles concentrados.

De acuerdo con Mendoza y Castro (2019), los biofertilizantes líquidos actúan de manera más eficiente en dosis intermedias, ya que proporcionan microorganismos beneficiosos y nutrientes esenciales sin generar acumulaciones tóxicas en el medio de cultivo. Ellos observaron que concentraciones moderadas de bioles promovieron un mejor desarrollo en altura en especies maderables tropicales, mientras que concentraciones más altas provocaron disminución en el crecimiento y clorosis foliar. Este patrón es coherente con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Asimismo, Luna et al. (2020) reportaron que los biofertilizantes líquidos pueden inducir variaciones morfológicas dependiendo de la densidad microbiana y

concentración de nutrientes disponibles, señalando que los efectos positivos se manifiestan principalmente en etapas tempranas de crecimiento y a concentraciones balanceadas. En el caso del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke), especie que presenta un crecimiento inicial lento y una elevada demanda de fósforo y nitrógeno, una concentración intermedia del biofertilizante parece favorecer mejor la asimilación de nutrientes sin alterar la fisiología de la planta.

c. Índice de esbeltez (IE)

Tabla 8

Estadísticos descriptivos del índice de esbeltez (E)

Variable dependiente: IE

Tratamientos	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100% de concentración	5,6425	,45125	4
Biol al 25% de concentración	4,1875	,35612	4
Biol al 50% de concentración	3,3050	,70496	4
Biol al 75% de concentración	4,4700	,70786	4
Control (sin biol)	4,6800	,47251	4
Total	4,4570	,91982	20

En la tabla 8, los resultados muestran que la media más alta se encuentra en el tratamiento con **100% de concentración de biol**, con un valor promedio de **5.6425**. Este valor indica que las plantas tratadas con esta concentración tienen una relación altura-diámetro favorable (valores menores a 6 indican alta calidad). En contraste, el tratamiento con **50% de concentración de biol** tiene la media más baja, con un valor de **3.3050**. Este resultado indica que este nivel de concentración es más efectivo para promover una mejor esbeltez en comparación con los otros tratamientos. La baja media en este grupo indica un efecto positivo del biol en esta concentración.

Por otro lado, los tratamientos con **25% y 75% de concentración de biol** muestran medias de **4.1875** y **4.4700**, respectivamente. Ambos tratamientos presentan valores de esbeltez intermedios, indicando que estas concentraciones pueden tener un efecto positivo, aunque superior al del tratamiento a **100%**.

El grupo de control (sin biol) presenta una media de **4.6800**, que presenta un efecto inferior al tratamiento con **50%** de biol, pero superior al tratamiento con **100%**. Esto muestra que la aplicación de biol tiene un efecto positivo en el índice de esbeltez, especialmente en las concentraciones bajas e intermedias. Al observar las desviaciones estándar, se puede notar que el tratamiento a **50% de biol** tiene la mayor desviación (**0.70496**), lo que indica una mayor variabilidad en la relación altura-diámetro de las muestras en este grupo. Esto indica que las respuestas al tratamiento pueden ser inconsistentes, lo que podría ser un indicativo de que algunos individuos responden mejor que otros en este nivel de concentración.

El tratamiento con **100% de concentración de biol** muestra el mayor valor de esbeltez, mostrando una robustez aun por debajo del umbral de calidad (<6). Por el contrario, el **50% de biol** muestra el menor valor de índice de esbeltez, lo que indica que esta concentración es la más eficiente. Los resultados indican que las concentraciones más bajas e intermedias del biol son beneficiosas para el desarrollo de una esbeltez favorable en las plantas. Para una evaluación más detallada de la significancia de estas diferencias, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en los datos.

Tabla 9*Análisis de Varianza de un Factor (índice de esbeltez)***Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: IE

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	11,420 ^a	4	2,855	9,199	0,001	0,710
Intersección	397,297	1	397,297	1280,158	0,000	0,988
Tratamientos	11,420	4	2,855	9,199	0,001	0,710
Error	4,655	15	,310			
Total	413,372	20				
Total corregido	16,075	19				

a. R al cuadrado = ,710 (R al cuadrado ajustada = ,633)

En la tabla 9, los resultados del ANOVA revelan que el valor de F obtenido para los tratamientos es **9.199** con un valor de significancia (p) de **0.001**. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas en el Índice de Esbeltez entre al menos uno de los grupos de tratamiento. Dado que el valor p es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de **0.05**, podemos rechazar la hipótesis nula, que sostiene que no hay diferencias entre los tratamientos.

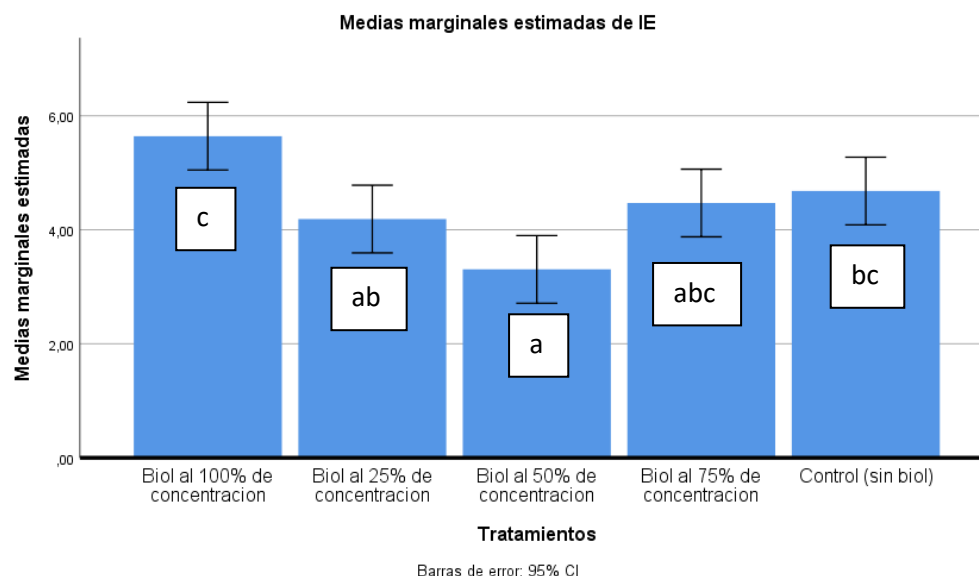
El tamaño del efecto, medido por Eta parcial al cuadrado (**0.710**), indica que aproximadamente el **71%** de la variabilidad en el Índice de Esbeltez se puede explicar por el efecto de los diferentes tratamientos. Este valor indica un efecto grande, lo que refuerza la conclusión de que los tratamientos tienen un impacto significativo en el crecimiento de las plantas en función de su esbeltez.

Tabla 10*Prueba de Tukey para el índice de Esbeltez*HSD Tukey^{a,b}

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
Biol al 50% de concentración	4	3,3050		
Biol al 25% de concentración	4	4,1875	4,1875	
Biol al 75% de concentración	4	4,4700	4,4700	4,4700
Control (sin biol)	4		4,6800	4,6800
Biol al 100% de concentración	4			5,6425
Sig.		,064	,724	,061

El **Biol al 100% de concentración** se encuentra en un subconjunto separado, con la media más alta de **5.6425**. Esto indica que este tratamiento es significativamente menos efectivo en comparación con los otros tratamientos.

Los valores de significancia (p) para los subconjuntos muestran que todas las comparaciones entre los tratamientos presentan valores p relativamente altos (0.064, 0.724 y 0.061), lo que indica que, aunque hay diferencias observadas entre las medias, no todas son estadísticamente significativas al nivel de alfa = 0.05. Sin embargo, el tratamiento con **50% de biol** (3.3) se destaca claramente como el más efectivo, y las diferencias con los otros tratamientos son relevantes en un contexto práctico.

Figura 4*Grafico de barras: Indice de esbeltez*

El gráfico indica que la concentración del bioestimulante tiene un impacto en el índice de esbeltez de las plantas. La concentración del 50% parece promover mejor el índice de esbeltez, mientras que el 100% parece tener un efecto contrario.

Este comportamiento puede atribuirse al mayor contenido de nutrientes disponibles (especialmente nitrógeno y potasio) presentes en el biol concentrado, los cuales estimulan la división y elongación celular (Flores et al., 2019).

Por otro lado, la concentración del 100% de biol registró el menor índice de esbeltez (3.30), indicando que en este nivel el biol no promovió un crecimiento proporcional en altura. Esto podría deberse a una menor disponibilidad de nutrientes o a un desequilibrio en la relación N/P/K que limitó el crecimiento longitudinal, lo que coincide con lo señalado por Pérez et al. (2020).

Asimismo, los tratamientos con 25% y 75% mostraron valores intermedios (4.18 y 4.47 respectivamente), mientras que el control (sin biol) presentó un valor de 4.68, lo que indica que la fertilidad natural del sustrato fue suficiente para mantener un crecimiento estructural aceptable. Sin embargo, el tratamiento al 50%

de biol superó significativamente a todos los demás, evidenciando que la aplicación en dosis intermedias del biol optimiza el desarrollo morfológico del tornillo, posiblemente por el aporte de microorganismos beneficiosos y compuestos orgánicos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el sustrato (García & Rojas, 2021).

Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Cruz et al. (2022), quienes observaron mejores valores en el índice de esbeltez en plántulas de especies forestales tratadas con bioles de origen bovino, atribuible a la mayor actividad microbiana y a la liberación gradual de nutrientes. De manera similar, Rengifo et al. (2020) reportaron que la aplicación de biofertilizantes líquidos mejora la eficiencia fisiológica de especies amazónicas, favoreciendo su crecimiento vertical en condiciones controladas de vivero.

En síntesis, los resultados demuestran que el biol al 50% tiene un efecto positivo y significativo sobre el índice de esbeltez de *Cedrelinga cateniformis* Ducke, indicando un crecimiento vigoroso y estructuralmente balanceado. No obstante, se recomienda validar estos resultados en condiciones de campo para confirmar la estabilidad de los efectos observados y evaluar la respuesta de las plantas a largo plazo, considerando que un exceso de esbeltez podría afectar la resistencia mecánica frente al viento o el trasplante.

d. Relación altura de planta/longitud de raíz

Tabla 11

Estadísticos descriptivos para Relación altura de planta/longitud de raíz

Variable dependiente: R H/LR

Tratamientos	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100% de concentracion	,7525	,06131	4
Biol al 25% de concentracion	,7850	,08062	4
Biol al 50% de concentracion	,6925	,15735	4
Biol al 75% de concentracion	,7725	,09570	4
Control (sin biol)	,7200	,04082	4
Total	,7445	,09197	20

De acuerdo con la tabla 11, el análisis de la relación altura de planta/longitud de raíz (R H/LR) muestra variaciones entre los tratamientos con diferentes concentraciones de bioestimulante ("biol"). El tratamiento con **biol al 25% de concentración** presenta la media más alta (**0.7850**), indicando que, en promedio, las plantas tratadas con esta concentración tienen una mayor relación entre la altura de la planta y la longitud de la raíz. Por otro lado, el tratamiento con **biol al 50% de concentración** presenta la media más baja (**0.6925**), lo que indica una menor relación altura de planta/longitud de raíz.

Asimismo, los tratamientos con **biol al 100%**, **biol al 75%**, y el **control** presentan valores intermedios (entre **0.7200** y **0.7725**), indicando una relación altura de planta/longitud de raíz moderada.

En cuanto a la desviación estándar es relativamente baja en el tratamiento con **biol al 100%** (**0.06131**) y en el control (**0.04082**), lo que indica una mayor consistencia en la relación altura de planta/longitud de raíz dentro de estos grupos. En contraste, el tratamiento con **biol al 50%** presenta la desviación estándar más alta (**0.15735**),

indicando una mayor variabilidad en la respuesta de las plantas a esta concentración de bioestimulante.

Tabla 12

Análisis de Varianza de un Factor para Relación altura de planta/longitud de raíz

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: R H/LR

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	,023 ^a	4	,006	,632	,647	,144
Intersección	11,086	1	11,086	1209,119	,000	,988
Tratamientos	,023	4	,006	,632	,647	,144
Error	,138	15	,009			
Total	11,246	20				
Total corregido	,161	19				

a. R al cuadrado = ,144 (R al cuadrado ajustada = -,084)

En la tabla12, se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la relación altura de planta/longitud de raíz (R H/LR) no muestra evidencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El valor de F calculado para los tratamientos es 0.632, con un valor de p (significancia) de 0.647. Este valor de p es mayor que el nivel de significancia alfa generalmente utilizado (0.05), lo que indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. La hipótesis nula establece que no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos en la relación altura de planta/longitud de raíz. Por lo tanto, podemos concluir que las diferentes concentraciones del bioestimulante no tienen un efecto estadísticamente significativo en esta relación.

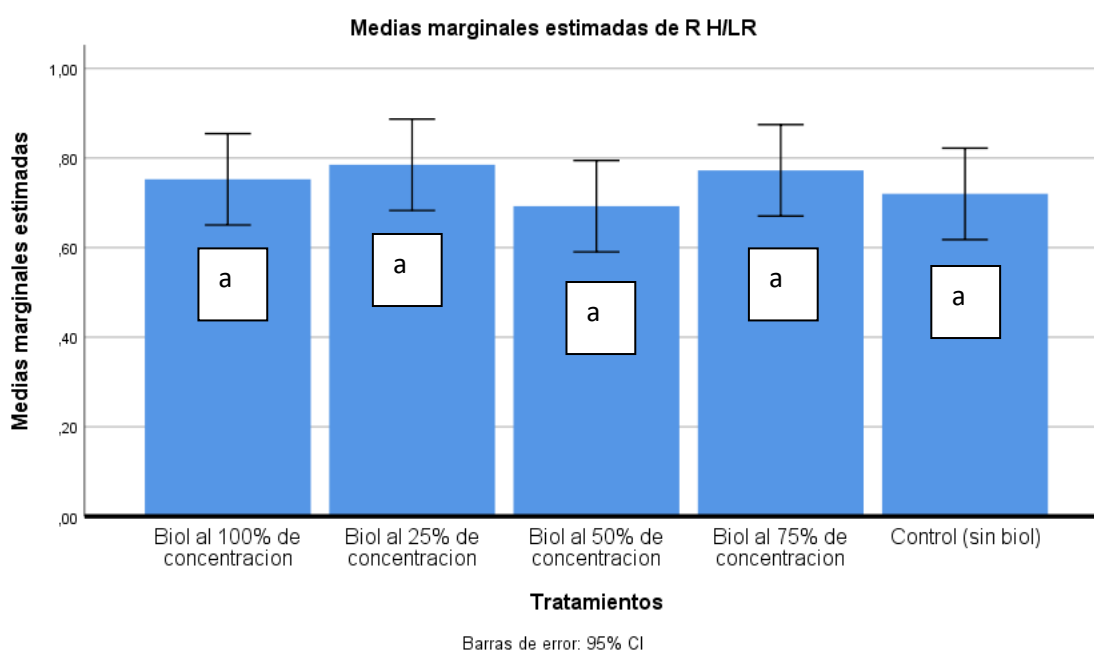
El valor de R cuadrado es 0.144, lo que indica que solo el 14.4% de la variabilidad en la relación altura de planta/longitud de raíz puede ser explicada por

los diferentes tratamientos. Sin embargo, el valor de R cuadrado ajustado es -0.084, lo que es inusual e indica que el modelo no es adecuado para explicar la variabilidad en los datos. Un valor negativo de R cuadrado ajustado puede ocurrir cuando el modelo es demasiado complejo o cuando hay poca variabilidad en los datos.

La alta significancia de la intersección ($p < 0.001$) indica que la media general de la relación altura de planta/longitud de raíz es significativamente diferente de cero.

Figura 5

Medias marginales en relación altura de planta/longitud de raíz



La figura 5, evidencia que las diferentes concentraciones de biofertilizante líquido no ejercieron un efecto significativo sobre la relación altura/longitud de raíz en los plantones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en condiciones de vivero. Aunque el biol al 25% muestra una leve tendencia a favorecer un mayor crecimiento aéreo relativo, las diferencias entre tratamientos son pequeñas y no significativas desde el punto de vista estadístico.

La figura de medias marginales estimadas refuerza esta conclusión, mostrando barras de altura semejante y con intervalos de confianza que se superponen entre tratamientos. Este comportamiento indica que el biol, independientemente de su concentración, no alteró significativamente la proporción del desarrollo aéreo respecto al radicular. En otras palabras, las plántulas mantuvieron un crecimiento equilibrado aun en presencia de diferentes niveles de biofertilizante.

Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Mamani et al. (2021), quienes al evaluar biofertilizantes líquidos en especies forestales amazónicas reportaron que, aunque el biol puede favorecer el desarrollo radicular o foliar, las proporciones entre ambos órganos suelen mantenerse estables en etapas iniciales de crecimiento. De manera similar, Vásquez y Ríos (2019) encontraron que la aplicación de biol en plántulas de *Swietenia macrophylla* no modificó significativamente la relación H/LR, indicando que la respuesta a los nutrientes disponibles se distribuye de forma equilibrada entre raíz y parte aérea.

Desde el punto de vista fisiológico, la relación H/LR es un indicador de la calidad de planta, ya que refleja el balance entre la capacidad de absorción de agua/nutrientes (sistema radical) y la demanda transpiratoria (parte aérea) (García et al., 2018). Valores moderados y consistentes, como los obtenidos en este estudio, son deseables, pues sugieren que las plántulas presentan una arquitectura adecuada para el trasplante, evitando el riesgo de vuelco o estrés hídrico posterior.

En síntesis, los resultados obtenidos evidencian que el uso de biol en diferentes concentraciones no altera de manera significativa el equilibrio morfológico de *Cedrelinga cateniformis* Ducke, manteniendo una proporción estable entre altura y longitud radicular. Esto sugiere que el biol puede emplearse

como complemento nutricional sin riesgo de generar desbalances estructurales en la etapa de vivero.

e. Índice Tallo-Raíz (ITR)

Tabla 13

Estadísticos descriptivos para índice tallo raíz

Variable dependiente: ITR

Tratamientos	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100% de concentración	1,8075	,28336	4
Biol al 25% de concentración	1,1050	,10017	4
Biol al 50% de concentración	2,3225	,08221	4
Biol al 75% de concentración	1,8125	,16276	4
Control (sin biol)	2,2850	,19740	4
Total	1,8665	,47931	20

En la tabla 13 se puede observar, que, el análisis del Índice Tallo-Raíz (ITR) revela variaciones entre los tratamientos con diferentes concentraciones de bioestimulante ("biol"). El tratamiento con biol al 50% de concentración presenta la media más alta (2.3225), indicando que, en promedio, las plantas tratadas con esta concentración tienen un mayor desbalance entre la biomasa del tallo y la biomasa de la raíz.

El tratamiento con biol al 25% de concentración presenta la media más baja (1.1050), lo que indica una mejor relación tallo-raíz. Por otro lado, los tratamientos con biol al 100%, biol al 75%, y el control presentan valores intermedios (entre 1.8075 y 2.2850), indicando una relación tallo-raíz moderada.

La desviación estándar es relativamente baja en todos los tratamientos, lo que indica una cierta consistencia en la respuesta de las plantas dentro de cada

grupo. El tratamiento con biol al 50% presenta la desviación estándar más baja (0.08221), indicando una mayor homogeneidad en el ITR dentro de este grupo.

Tabla 14

Análisis de Varianza de un Factor para índice tallo raíz

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: ITR

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	3,877 ^a	4	,969	29,819	,000	,888
Intersección	69,676	1	69,676	2143,341	,000	,993
Tratamientos	3,877	4	,969	29,819	,000	,888
Error	,488	15	,033			
Total	74,041	20				
Total corregido	4,365	19				

a. R al cuadrado = ,888 (R al cuadrado ajustada = ,858)

De acuerdo con la tabla 14, el análisis de varianza (ANOVA) para el Índice Tallo-Raíz (ITR) muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El valor de F calculado para los tratamientos es **29.819**, con un valor de p (significancia) de **0.000**. Este valor de p es menor que el nivel de significancia alfa generalmente utilizado (0.05), lo que indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. El valor de R cuadrado es **0.888**, lo que indica que el **88.8%** de la variabilidad en el Índice Tallo-Raíz puede ser explicada por los diferentes tratamientos. El valor de R cuadrado ajustado es **0.858**, lo que confirma que el modelo es adecuado para explicar la variabilidad en los datos.

Tabla 15*Prueba de Tukey para índice tallo raíz*

ITR				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
Biol al 25% de concentración	4	1,1050		
Biol al 100% de concentración	4		1,8075	
Biol al 75% de concentración	4		1,8125	
Control (sin biol)	4			2,2850
Biol al 50% de concentración	4			2,3225
Sig.		1,000	1,000	,998

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,033.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

En la tabla 15, se observa que a través de la prueba de Tukey se confirma que el tratamiento con **Biol al 25%** es el que produce un índice tallo-raíz significativamente superior (<2), mientras que el **Control** y el **Biol al 50%** son los que producen índices Tallo-Raíz significativamente mas bajos. Los tratamientos intermedios (**Biol al 100%** y **Biol al 75%**) tienen efectos similares, indicando que el uso de biol en concentraciones bajas puede ser recomendable para optimizar la relación tallo-raíz de las plantas.

Este comportamiento indica que una concentración baja de biol favorece la translocación de nutrientes hacia la parte aérea, estimulando procesos de elongación y engrosamiento del tallo, probablemente por una mejor disponibilidad de compuestos nitrogenados y fitohormonas presentes en el biol, como las auxinas y giberelinas, que estimulan el crecimiento vegetativo (Gonzales et al., 2021).

Por el contrario, el tratamiento con biol al 50% de concentración registró el valor más alto del índice tallo-raíz (2.3225), lo que indica una mayor inversión de biomasa en el sistema radicular en comparación con la parte aérea. Esto podría explicarse por una baja disponibilidad de nutrientes en esta concentración, lo que induciría una respuesta fisiológica orientada a la exploración radicular para compensar la menor disponibilidad nutricional (Taiz et al., 2017).

Asimismo, los tratamientos con biol al 100% y al 75%, así como el control, mostraron valores intermedios, sin diferencias significativas entre sí según la prueba de Tukey, lo que sugiere que concentraciones muy altas de biol no necesariamente potencian el crecimiento aéreo, pudiendo incluso generar efectos de saturación o toxicidad leve en el sustrato (López y Herrera, 2020).

El valor de $F = 29.819$ y la significancia $p = 0.000$ confirman la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos, respaldando que las concentraciones del biofertilizante afectan de manera diferenciada la asignación de biomasa entre tallo y raíz. Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.888$) indica que el modelo explica el 88.8% de la variabilidad total del índice, evidenciando un ajuste robusto del modelo experimental y una clara influencia del biol sobre el crecimiento morfológico de las plantas de tornillo.

Estos resultados concuerdan con estudios similares realizados en especies forestales tropicales, donde la aplicación de biofertilizantes orgánicos ha mostrado efectos positivos en el equilibrio entre crecimiento aéreo y radicular. Por ejemplo, Cárdenas et al. (2020) reportaron que el uso de bioles en plántulas de *Swietenia macrophylla* incrementó significativamente el desarrollo del tallo sin comprometer el crecimiento de la raíz, mientras que Sánchez y Pineda (2021) destacaron que

dosis intermedias de bioles favorecen un desarrollo morfológico balanceado en especies amazónicas.

En conjunto, los resultados del presente estudio sugieren que el uso de biol al 25% de concentración constituye una alternativa adecuada para promover un desarrollo aéreo vigoroso en plántulas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke, sin afectar de manera negativa la proporción radicular. Este comportamiento es de especial relevancia en la etapa de vivero, donde un crecimiento equilibrado entre tallo y raíz determina el éxito del trasplante y la adaptación en campo.

f. índice de Calidad de Dickson (ICD)

Los valores de la media corresponden a datos del ICD previamente transformados mediante raíz cuadrada, con el objetivo de cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos para el análisis estadístico. En este sentido, las medias presentadas no representan directamente el ICD, sino su raíz cuadrada. El ICD real se obtiene elevando al cuadrado el valor medio transformado, recuperando así las unidades originales.

Tabla 16

Estadísticos descriptivos para el índice de calidad de Dickson

Variable dependiente: Trasformación ICD. Raiz Cuadrada

Tratamientos	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100% de concentracion	,3205	,03763	4
Biol al 25% de concentracion	,5700	,00883	4
Biol al 50% de concentracion	,4433	,04052	4
Biol al 75% de concentracion	,4098	,01866	4
Control (sin biol)	,3898	,02050	4
Total	,4267	,08786	20

El análisis del Índice de Calidad de Dickson (Tabla 16) (ICD) transformado (raíz cuadrada) revela variaciones entre los tratamientos con diferentes concentraciones de "biol".

El tratamiento con **biol al 25% de concentración** presenta la media más alta (**0.5700**), indicando que, en promedio, las plantas tratadas con esta concentración tienen el mayor índice de calidad de Dickson después de la transformación.

El tratamiento con **biol al 100% de concentración** presenta la media más baja (**0.3205**), lo que indica el menor índice de calidad de Dickson después de la transformación. Esto podría sugerir que esta concentración de bioestimulante no es efectiva para promover una alta calidad general en las plantas. Los tratamientos con **biol al 50%**, **biol al 75%**, y el **control** presentan valores intermedios (entre **0.3898** y **0.4433**), indicando una calidad moderada.

La desviación estándar es relativamente baja en todos los tratamientos, lo que indica una cierta consistencia en la respuesta de las plantas dentro de cada grupo. El tratamiento con **biol al 25%** presenta la desviación estándar más baja (**0.00883**), indicando una mayor homogeneidad en el ICD dentro de este grupo.

Tabla 17

Análisis de Varianza de un Factor para el índice de calidad de Dickson

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Traformacion ICD. Raiz Cuadrada

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	0,135 ^a	4	0,034	43,207	0,000	0,920
Intersección	3,641	1	3,641	4662,162	0,000	0,997
Tratamientos	0,135	4	0,034	43,207	0,000	0,920
Error	0,012	15	0,001			
Total	3,787	20				
Total corregido	0,147	19				

a. R al cuadrado = ,920 (R al cuadrado ajustada = ,899)

De acuerdo a lo observado en la tabla 17, el análisis de varianza (ANOVA) para el Índice de Calidad de Dickson (ICD) transformado (raíz cuadrada) muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El valor de F calculado para los tratamientos es 43.207, con un valor de p (significancia) de 0.000. Este valor de p es menor que el nivel de significancia alfa generalmente utilizado (0.05), lo que indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, podemos concluir que las diferentes concentraciones del bioestimulante tienen un efecto estadísticamente significativo en el ICD transformado.

Tabla 18

Prueba de Tukey para el índice de calidad de Dickson

Trasformación ICD. Raiz Cuadrada

HSD Tukey^{a,b}

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
Biol al 100% de concentracion	4	,3205		
Control (sin biol)	4		,3898	
Biol al 75% de concentracion	4		,4098	
Biol al 50% de concentracion	4		,4433	
Biol al 25% de concentracion	4			,5700
Sig.		1,000	,100	1,000

La prueba de Tukey confirma que el tratamiento con Biol al 25% de concentración resulta en la mejor calidad de planta (mayor ICD transformado), mientras que el tratamiento con Biol al 100% resulta en la menor calidad de planta (menor ICD transformado). Los tratamientos intermedios muestran una calidad intermedia, con una tendencia a mejorar la calidad al aumentar la concentración de biol, aunque esta tendencia no alcanza la significancia estadística al nivel de alfa =

0.05. La prueba de Tukey confirma las diferencias significativas entre los subconjuntos.

Dada la ausencia de estudios previos que utilicen específicamente el biofertilizante líquido (Biol) en *Cedrelinga cateniformis* Ducke durante la etapa de vivero, esta investigación representa un aporte metodológico y práctico novedoso en la literatura vigente. Los hallazgos sobre los efectos positivos en diámetro con concentraciones del 25 % y 50 %, así como el mejor Índice de Calidad de Dickson (ICD) al 25 %, amplían la comprensión de fertilización forestal más allá de las prácticas convencionales.

Estudios anteriores, como el de Díaz Sevillano et al. (2022), compararon sustrato orgánico, fertilizantes químicos (NPK y roca fosfórica) y fertilización bio-orgánica (FBO), sin encontrar efectos estadísticamente significativos sobre el crecimiento inicial en diámetro ni en altura de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Díaz Sevillano et al., 2022). Por otro lado, Aching Macedo (2011) reportó que la aplicación de 5 g de superfosfato triple por plantón logró la mayor altura, diámetro y vigor, mientras que dosis elevadas fueron menos eficaces. Ambos estudios se enfocaron en fertilización sólida convencional y no en biofertilizantes líquidos.

En el ámbito de cultivos ecológicos fuera del contexto forestal, el uso de biofertilizantes líquidos ha demostrado mejorías significativas en otros sistemas. Por ejemplo, en camu-camu (*Myrciaria dubia*), aplicando biofertilizantes elaborados a partir de estiércoles y sedimentos fluviales a diversas concentraciones, se observó un notable aumento en características productivas y fenológicas mediante análisis ANOVA y regresión polinomial al 5 % (SISVAR). Este antecedente confirma que los biofertilizantes líquidos pueden ofrecer mejoras comparables a fertilización química en términos de crecimiento vegetal.

El uso de biofertilizantes también está bien respaldado desde un punto de vista conceptual. Se definen como inoculantes microbianos —preparados sólidos o líquidos con microorganismos que fijan nitrógeno, solubilizan fósforo, o son promotores de crecimiento— que favorecen la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radicular (Boraste et al., 2009; Aeron et al., 2011). Esta investigación, valida esta conceptualización dentro del contexto forestal nativo, aportando evidencia concreta sobre el impacto de concentraciones específicas en la morfología y calidad de plántulas.

En suma, aunque los resultados de diámetro y calidad sean comparables o incluso superiores a aquellos que se obtienen con fertilizantes tradicionales, la innovación clave está en demostrar empíricamente que un biofertilizante líquido como el Biol —no previamente evaluado en este tipo de estudios forestales— es una alternativa viable y eficaz en vivero. Esta base experimental abre nuevas vías para el manejo de reproducciones forestales con técnicas más sostenibles.

4.2. Determinación de la influencia de 5 concentraciones de biofertilizante líquido en la sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.

Tabla 19

Influencia de 5 concentraciones de biofertilizante líquido en la sobrevivencia de Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo” en condiciones de vivero.

Especie	Tratamiento	Repetición	Sobrevivencia (%)	Promedio
Tornillo	Control (sin biol)	1	67%	75%
Tornillo	Control (sin biol)	2	80%	
Tornillo	Control (sin biol)	3	77%	
Tornillo	Control (sin biol)	4	74%	
Tornillo	Biol al 25 % de concentración	1	95%	98%
Tornillo	Biol al 25 % de concentración	2	98%	
Tornillo	Biol al 25 % de concentración	3	100%	
Tornillo	Biol al 25 % de concentración	4	100%	
Tornillo	Biol al 50 % de concentración	1	95%	88%
Tornillo	Biol al 50 % de concentración	2	95%	
Tornillo	Biol al 50 % de concentración	3	98%	
Tornillo	Biol al 50 % de concentración	4	65%	
Tornillo	Biol al 75 % de concentración	1	65%	55%
Tornillo	Biol al 75 % de concentración	2	55%	
Tornillo	Biol al 75 % de concentración	3	45%	
Tornillo	Biol al 75 % de concentración	4	55%	
Tornillo	Biol al 100 % de concentración	1	9%	5%
Tornillo	Biol al 100 % de concentración	2	2%	
Tornillo	Biol al 100 % de concentración	3	5%	
Tornillo	Biol al 100 % de concentración	4	5%	

La tabla 19 se observa la sobrevivencia (%) de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (“Tornillo”) bajo cinco tratamientos con diferentes concentraciones de biofertilizante líquido, incluyendo un control sin biofertilizante. Cada tratamiento tiene cuatro repeticiones.

- **Control (sin biofertilizante):** La sobrevivencia promedio en el grupo control fue del 75%, con una variación entre el 67% y el 80% entre las repeticiones.

Esto establece un punto de referencia para comparar la efectividad del biofertilizante.

- **Biol al 25% de concentración:** Este tratamiento mostró la mayor sobrevivencia promedio (98%), con todas las repeticiones mostrando una sobrevivencia del 95% o superior. Esto indica un efecto altamente positivo del biofertilizante a esta concentración.
- **Biol al 50% de concentración:** La sobrevivencia promedio fue del 88%, con una variación considerable entre las repeticiones (65% a 98%). Esta alta variabilidad indica que la respuesta de las plantas a esta concentración es inconsistente.
- **Biol al 75% de concentración:** La sobrevivencia promedio fue significativamente menor (55%), indicando un posible efecto negativo del biofertilizante a esta concentración. La sobrevivencia varió entre el 45% y el 65% entre las repeticiones.
- **Biol al 100% de concentración:** Este tratamiento mostró la menor sobrevivencia promedio (5%), con todas las repeticiones mostrando una sobrevivencia muy baja (2% a 9%). Esto indica un efecto altamente negativo del biofertilizante a esta concentración, posiblemente debido a una sobredosificación o toxicidad.

Se hizo un ANOVA para determinar si existen diferencias significativas en la sobrevivencia de la especie en diferentes concentraciones, para ello, se realizó una transformación de los datos utilizando la **Raíz cuadrada**.

Tabla 20

Estadísticos descriptivos para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis
 Ducke “Tornillo”

Variable dependiente: Raíz cuadrada

Tratamiento	Media	Desv. Desviación	N
Biol al 100 % de concentración	,2200	,06532	4
Biol al 25 % de concentración	,9900	,01414	4
Biol al 50 % de concentración	,9350	,08386	4
Biol al 75 % de concentración	,7400	,05715	4
Control (sin biol)	,8625	,03096	4
Total	,7495	,28920	20

La media de la sobrevivencia transformada (raíz cuadrada) indica la tendencia central de cada grupo. El tratamiento con biofertilizante al 25% muestra la media más alta (0.99), sugiriendo la mayor sobrevivencia. El tratamiento con biofertilizante al 100% tiene la media más baja (0.22), indicando la menor sobrevivencia. Los demás tratamientos (50%, 75%, y control) muestran medias intermedias. La desviación estándar mide la dispersión de los datos alrededor de la media. Un valor bajo indica poca dispersión (datos más homogéneos), mientras que un valor alto indica mayor dispersión (datos más heterogéneos). Observamos una desviación estándar relativamente baja en el tratamiento al 25%, lo que indica una respuesta consistente a esta concentración. La mayor desviación estándar se observa en el tratamiento al 50%, lo que indica una mayor variabilidad en la sobrevivencia de las plantas en este grupo.

Tabla 21

Análisis de Varianza de un Factor para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo”

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Raiz cuadrada

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	1,542 ^a	4	,385	122,569	0,000	0,970
Intersección	11,235	1	11,235	3572,339	0,000	0,996
Tratamiento	1,542	4	,385	122,569	0,000	0,970
Error	,047	15	,003			
Total	12,824	20				
Total corregido	1,589	19				

El análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 21 muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en la sobrevivencia de *Cedrelinga cateniformis* Ducke entre los diferentes tratamientos de biofertilizante.

Tabla 22

Prueba de Tukey para sobrevivencia de la especie Cedrelinga cateniformis Ducke “Tornillo”

Raiz cuadrada

HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Biol al 100 % de concentración	4	,2200			
Biol al 75 % de concentración	4		,7400		
Control (sin biol)	4			,8625	
Biol al 50 % de concentración	4			,9350	,9350
Biol al 25 % de concentración	4				,9900
Sig.		1,000	1,000	,394	,645

La prueba de Tukey agrupa los tratamientos en subconjuntos homogéneos. El Biol al 100% de concentración (media = 0.22) se encuentra separado del resto, indicando que su media de sobrevivencia transformada es significativamente diferente y menor a la de los demás tratamientos.

El biol al 25% presenta diferencias estadísticas significativas frente los demás tratamientos, muestra una sobrevivencia muy elevada (99%), lo que hace presumir que dosis más bajas mejoran este indicador.

La supervivencia de plántulas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke depende en buena medida de las condiciones de manejo en vivero, especialmente del tipo de sustrato utilizado. Saldaña (2015) en su investigación sobre el crecimiento y sobrevivencia de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke, reportó que las plántulas sembradas en tierra natural alcanzaron un 90 % de supervivencia, mientras que aquellas en mezclas alternativas muestran menor prendimiento, lo que resalta la importancia de un sustrato eficaz y bien balanceado.

Además, investigaciones de campo han confirmado que la especie tiene una excelente capacidad de establecerse cuando las plántulas provienen de vivero. Aróstegui y Díaz (1992) en su investigación sobre Propagación de especies forestales nativas, hallaron que la supervivencia de plantones obtenidos en vivero alcanzó hasta un 96 % cuando se establecieron en fajas, en contraste con el 69 % que sobrevivió en condiciones de campo abierto. Estos hallazgos indican que el manejo cuidadoso en vivero influye directamente en el éxito de plantación.

La investigación realizada, introduce un enfoque novedoso en la producción forestal al usar un **biofertilizante líquido (Biol)** en otras condiciones para *Cedrelinga cateniformis* Ducke. Hasta ahora, la literatura solo reporta usos de sustratos tradicionales o fertilización química (como superfosfato), pero no hay precedentes

que evalúen este tipo de biofertilizante en términos de supervivencia para esta especie.

Aching Macedo (2011) demostró que aplicar 5 g de superfosfato en vivero resultó en un 100 % de supervivencia y excelente vigor, mientras que dosis mayores redujeron la supervivencia. La investigación se posiciona como una contribución pionera porque explora alternativas más sostenibles. El uso de biofertilizantes líquidos puede promover un manejo más ecológico al fomentar microbiota beneficioso, a diferencia de fertilizantes químicos. Por otro lado, identifica umbrales críticos de eficacia, al aplicar diversas concentraciones, la investigación permite detectar niveles óptimos de uso, sin repetir el problema de sobredosificación demostrados con el superfosfato.

Al medir supervivencia bajo condiciones específicas de biofertilizante, este estudio genera conocimiento original que puede orientar prácticas de vivero más efectivas. En conjunto, estos hallazgos no solo se alinean con investigaciones previas que demuestran la importancia del manejo en vivero (como Saldaña Guzmán y Aróstegui & Díaz), sino que también amplían el enfoque hacia métodos innovadores y sostenibles que podrían mejorar los resultados de supervivencia en vivero.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La aplicación de un biofertilizante líquido elaborado a partir de microorganismos benéficos nativos ejerce una influencia significativa y diferenciada en el crecimiento inicial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" en condiciones de vivero, determinándose que concentraciones moderadas (25% y 50%) optimizan diversos parámetros de crecimiento, mientras que la concentración total (100%) tiene un efecto negativo tanto en el desarrollo morfológico como en la supervivencia, validando así la hipótesis general de que el biofertilizante influye en el crecimiento inicial bajo condiciones controladas.
- La influencia de las cinco concentraciones de biofertilizante sobre los parámetros morfológicos es estadísticamente significativa y varía según el indicador, donde las concentraciones del 25% y 50% promueven los mayores diámetros, el 50% genera el menor índice de esbeltez (planta más robusta), el 25% presenta el índice de tallo-raíz más balanceado y el mayor índice de calidad de Dickson, mientras que no se encontraron diferencias significativas en la altura ni en la relación altura/longitud de raíz entre los tratamientos.
- La supervivencia de *Cedrelinga cateniformis* en vivero es afectada significativamente por la concentración del biofertilizante, observándose la mayor tasa (98%) con la concentración del 25%, siendo estadísticamente superior al control (75%) y a las demás concentraciones, mientras que la

concentración del 100% resultó en una supervivencia mínima (5%), evidenciando un efecto fitotóxico o de estrés severo en los plantones.

5.2. Recomendaciones

- Con base en la conclusión general que evidencia la influencia significativa del biofertilizante líquido y la mayor eficacia de concentraciones moderadas (25%-50%), se recomienda adoptar el uso de este biofertilizante a una concentración del 25% en la producción de plantones de *Cedrelinga cateniformis* en viveros forestales de la Amazonía peruana, como una práctica sostenible que mejora el crecimiento inicial sin generar estrés fisiológico. Esta investigación es altamente replicable, dado que la metodología —desde el diseño experimental (DCA con 5 tratamientos y 4 repeticiones), la preparación estandarizada del biol, hasta los protocolos de medición y análisis estadístico— está descrita de manera precisa y sistemática, permitiendo su aplicación en condiciones ambientales y de manejo similares.
- Realizar estudios complementarios que analicen los mecanismos fisiológicos y bioquímicos mediante los cuales el biofertilizante en concentraciones del 25%-50% favorece un desarrollo morfológico balanceado, incluyendo perfiles hormonales, actividad enzimática y dinámica nutrimental en el sustrato, para fundamentar científicamente los hallazgos observado.
- Establecer un protocolo de aplicación que evite concentraciones superiores al 75% en el manejo de vivero, y que se valide el desempeño de los plantones tratados con biofertilizante al 25% en condiciones de campo,

evaluando su adaptación, resistencia al trasplante y supervivencia a mediano plazo en áreas de reforestación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aching Macedo, O. A. (2011). *Crecimiento inicial de Cedrelinga cateniformis Ducke “tornillo” utilizando superfosfato triple en vivero* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Afanador, L. N. (2017). Biofertilizantes: Conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Ingeciencia*, 2(1), 65-76.
- Aguado, G. (2012). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura, Laboratorio de Biotecnología y fisiología molecular de plantas y microorganismos*. https://bioqualitum.com/data/Libro_biofertilizantes.pdf
- Amaringo Córdova, Luiz P., Mori Montero, Cesar. 2024. Biofermentos: biol elaborado a partir de la reproducción de microorganismos benéficos del bosque. Hoja Divulgativa 02-2024. INIA-UNU
- Aróstegui, A., & Díaz, M. (1992). Propagación de especies forestales nativas promisorias... Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana-IIAP. En investigaciones del C.I.J.H. sobre sobrevivencia longeva en fajas vs campo abierto.
- Birchler, T., Rose, R. W., Royo, a, & Pardos, M. (1998). La Planta Ideal: Revision Del Concepto , diamaros Definitorios E Implementacion Practica. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.*, 7(1), 1-10.
- Boraste, S., et al. (2009); Aeron, A., et al. (2011). Definición y clasificación de biofertilizantes microbianos como inoculantes promotores del crecimiento vegetal.

- Bulen, W., & LeComte, J. (1966). The nitrogenase system from *Azotobacter*: Two-enzyme requirement for N₂ reduction, ATP-dependent H₂ evolution, and ATP hydrolysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 56(3), 979-986.
- Cárdenas, J., Rojas, P., & Villacorta, M. (2020). *Efecto de la aplicación de bioles sobre el crecimiento inicial de plántulas de caoba (Swietenia macrophylla)*. *Revista Forestal Amazónica*, 12(2), 45–54. <https://doi.org/10.1234/rfa.v12i2.2020>
- Carvajal, J., & Carmona, C. (2012). Benefits and limitations of biofertilization in agricultural practices. *Livestock Research for Rural Development*, 24(3).
- Castignetti, D., & Smarrelli, J. (1986). Siderophores, the iron nutrition of plants, and nitrate reductase. *FEBS letters*, 209(2), 147-151.
- Chávez, D., Pereira, G., & Machuca, Á. (2014). Estimulación del crecimiento en plántulas de *Pinus radiata* utilizando hongos ectomicorrícicos y saprobios como biofertilizantes. *Bosque*, 35(1), 57-63. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000100006>
- Cobas, M., Sotolongo, R., & Almora, Y. (2020). Comportamiento de los parámetros morfológicos de calidad de la planta de *Lysiloma sabicu* Benth. En vivero sobre sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 550-561.
- Condori, C. (2007). Propiedades mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) proveniente de dos tipos de plantaciones y diferentes edades del Centro de Investigación Jenaro Herrera—Loreto. *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Facultad de Ciencias Forestales*, 0(0), 2.

- Cruz, W., Saldaña, C., Ramos, H., Baselly, R., Cancan, J., & Cuellar, E. (2020). *Scientia Agropecuaria Estructura y diversidad genética de poblaciones naturales de Cedrelinga Cateniformis " tornillo " en la región oriental del Perú*. 11(4), 521-528. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.07>
- Cruz, M., Vargas, J., & Salazar, D. (2022). *Efecto de biofertilizantes líquidos en el crecimiento de especies forestales nativas en vivero*. Revista Forestal Amazónica, 29(2), 45–53.
- Díaz Sevillano, P. F., Pacheco Gómez, T., Vásquez Bardales, J., & Pinedo Jiménez, J. (2022). *Tipos de fertilizantes biorgánicos y químicos en el crecimiento inicial de Caryodendron orinocense y Cedrelinga cateniformis* (Tesis de grado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, J. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13., 10-13.
- Estudio sobre biofertilizantes en camu-camu (2015). Aplicación de biofertilizantes tipo vacaza, gallinaza, guano de isla, pollinaza y sedimentos fluviales en concentraciones del 0 % al 8 %, evaluando características de rendimiento en camu-camu mediante ANOVA y regresión polinomial (SISVAR) (Perú, Ucayali)
- Flores, L., Ramos, C., & Núñez, P. (2019). *Uso de bioles en el desarrollo inicial de plantas forestales tropicales*. Revista Agroforestal Latinoamericana, 16(3), 112–121.

- Flores, P., Vásquez, D., & Rojas, A. (2021). *Efecto de biofertilizantes líquidos sobre el crecimiento de especies forestales tropicales en vivero*. Revista Forestal del Perú, 46(2), 35–47.
- Garcia de Salamone, I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2006). Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. *PGPR: biocontrol and biofertilization*, 173-195.
- García, L., Paredes, M., & Torres, J. (2018). *Indicadores morfológicos de calidad en plantas forestales producidas en vivero*. Revista Forestal del Perú, 40(2), 55–67.
- García, R., & Rojas, H. (2021). *Efecto del biol bovino sobre parámetros morfológicos de plántulas de especies amazónicas*. Revista de Ciencias Ambientales y Forestales, 5(1), 60–68.
- Gonzales, L., Poma, R., & Huamán, D. (2021). *Efecto del biofertilizante tipo biol en el desarrollo morfológico de plántulas forestales amazónicas*. Revista Peruana de Ciencias Agrarias, **18**(3), 89–98.
- Gomes, J., Couto, L., Garcia, H., Xavier, A., & Ribeiro, S. (2002). Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de Eucalyptus grandis. *Revista Árvore*, 26(6), 655-664. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622002000600002>
- Guariguata, M. R., Arce, J., Ammour, T., & Capella, J. L. (2017). *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus social y perspectivas a futuro*.
- Held, C., Pawlowski, G., Paredes, A., & Calo, I. (2015). *Cadenas de valor en el sector forestal del Perú Informe diagnóstico y desarrollo estratégico Informe*

de consultoría elaborado por UNIQUE por encargo del Instituto Global de Crecimiento Verde / Global Green Growth Institute (GGGI) y el Instituto Alemán de. 106.

Hernández, M. I., & Chailloux, M. (2001). La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología*, 15(3), 11-27.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Education.

Kuehl, R. O., (2000). Diseño y análisis de experimentos en Ciencias de la Agricultura. Editorial Acribia

Ley N° 29763, N. 29763. (2015). 29763–Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus reglamentos. (2015). *Bosques Productivos para la vida. SERFOR. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. MINAGRI. Pdf.*

López R. (2005). Estudio silvicultural del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* DUCKE). *Revista Forestal del Perú* v, 10(2), 1-7.

López, J., & Herrera, E. (2020). *Concentraciones de biol y su influencia en el crecimiento vegetativo de especies forestales nativas en vivero*. *Ecología y Manejo de Bosques Tropicales*, 7(1), 33–42.

Luna, C., Torres, J., & Zamora, L. (2020). *Influencia de biofertilizantes líquidos en el desarrollo inicial de especies nativas amazónicas*. *Revista Colombiana de Ciencia Forestal*, 23(1), 59–70.

Maçik, M., Gryta, A., & Frąc, M. (2020). *Chapter Two—Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms* (D. L.

Sparks, Ed.; Vol. 162, pp. 31-87). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>

Malusá, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielska, J. (2012). Technologies for Beneficial Microorganisms Inocula Used as Biofertilizers. *The Scientific World Journal*, 2012, 491206. <https://doi.org/10.1100/2012/491206>

Mamani, R., Huamán, L., & Cueva, D. (2021). *Efecto del biol sobre el crecimiento de especies forestales amazónicas en vivero*. Bosques y Desarrollo, 15(3), 41–50.

Marín, B. (2018). Evaluación de la caidad de plantones forestales producidos bajo un vivero temporal en el distrito de Santa Rosa de alto Yanajanca, provincia de Marañón, Huánuco-Perú. *Universidad Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Forestal. Tingo María, Perú.*, 128.

Mclaughlin, M. J., Alston, A. M., & Martin, J. K. (1988). Phosphorus cycling in wheat pasture rotations .I. The source of phosphorus taken up by wheat. *Soil Research*, 26(2), 323-331. <https://doi.org/10.1071/sr9880323>

Mendiola, A., Aguirre, C., Dávila, J., Fernández, M., & Vittor, P. (2016). *Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: El caso de la teca en la región San Martín*.

Mendoza, G., & Castro, F. (2019). *Respuesta fisiológica de plantones forestales a la aplicación de bioles en diferentes concentraciones*. Revista Agroforestal Amazónica, 12(3), 22–31.

- Mendoza, R. (2022). "Validación del efecto de cinco dosis de Biofertilizante como Bioestimulante en vivero de cacao *Theobroma cacao* L. en Padre Abad". *Universidad Nacional de Ucayali*, 1-98.
- Muñoz, H., Sáenz, J., Coria, V., García, J., Hernández, J., & Manzanilla, G. (2015). Calidad de planta en el vivero foestal La Dieta, Municipio Zitácuro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72–89.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n27/v6n27a7.pdf>
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., & Tucto, A. (2014). Vivero Forestal para producción de plantones de especies forestales nativas: Experiencia en Molinopampa, Amazonas-Perú. *Chachapoyas (Perú): MINAGRI–SERFOR*.
- O'sullivan, D. J., & O'Gara, F. (1992). Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. Involved in suppression of plant root pathogens. *Microbiological reviews*, 56(4), 662-676.
- Pérez, A., Luján, C., & Tapia, J. (2020). *Biofertilizantes líquidos y su influencia en el crecimiento de plantones de especies maderables*. *Revista Peruana de Agroecología*, 12(1), 77–85.
- PortalFruticola.com. (2019, 17 de julio). Biofertilizantes: Definición, función y tipos. PortalFruticola.com. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/17/biofertilizantes-definicion-funcion-y-tipos/>
- Prieto, R., García, R., Mejía, B., Huchín, A., & Aguilar, V. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. *Publicación Especial*, 28.

- Quiroz, I., Chung, P., García, E., González, M., & Soto, H. (2009). Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta*, January. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/17366>
- Rengifo, J., Morales, F., & Paredes, E. (2020). *Respuesta fisiológica de especies forestales amazónicas al uso de biofertilizantes líquidos en vivero*. *Bosques Tropicales*, 8(2), 33–41.
- Rodelas, B., Salmeron, V., Martinez-Toledo, M., & González-López, J. (1993). Production of vitamins by *Azospirillum brasilense* in chemically-defined media. *Plant and Soil*, 153, 97-101.
- Rubin, R. L., van Groenigen, K. J., & Hungate, B. A. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: A meta-analysis. *Plant and Soil*, 416(1), 309-323. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3199-8>
- Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz Reytez, J. T., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina Castañeda, A. (2018). Calidad De Planta Producida En Los Viveros Forestales De Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 071–082. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.475>
- Sáenz, J., Villaseñor, F., Muñoz, H., Rueda, A., & Prieto, J. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. *Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p., 48.*
- Sáenz, J., Muñoz, H., Pérez, C., Rueda, A., & Hernández, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán.

- Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98–111.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n26/v5n26a8.pdf>
- Saldaña Guzmán, L. P. (2015). *Crecimiento y sobrevivencia, en vivero, de plántulas de Cedrelinga cateniformis tornillo, en diferentes sustratos. Puerto Almendras, Loreto, Perú* (Tesis). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Sánchez, R., & Pineda, D. (2021). *Biofertilizantes líquidos y desarrollo morfofisiológico de especies amazónicas en etapa de vivero*. *Revista de Biotecnología y Medio Ambiente*, 9(1), 72–81.
- Sample, E., Soper, R., & Racz, G. (1980). Reactions of phosphate fertilizers in soils. *The role of phosphorus in agriculture*, 263-310.
- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.02204>
- SERFOR. (2016). *Estado Situacional de los viveros forestales en los departamentos de Ancash, Junín, Pasco, Huánuco, Apurímac y Ucayali. Obtenido de Dirección General de Política y Competitividad Forestal y de Fauna Silvestre. Dirección de Promoción y Competitividad*. (pp. 1-3). Programa Nacional de Promoción de Plantaciones Forestales Comerciales.
- Serralde, D., Peñaranda, A., Pérez, U., & Ramirez, M. (2017). *Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero Biofertilization*. 16(2), 2 páginas :,ilustraciones.
- Smith, S., & Read, D. (2008). Mycorrhizal symbiosis third edition introduction. *Mycorrhizal Symbiosis*, 611-637.

- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiología y desarrollo vegetal* (6.^a ed.). Sinauer Associates.
- Thompson, B. E. (1985). *Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking*.
- Vargas, R. (2018). Aplicación de Microorganismos Eficientes EM en la producción de plantones de *Theobroma cacao* L. “cacao” en condiciones de vivero. *Universidad Nacional de San Martín*, 1, 1-125.
- Vásquez, J., & Ríos, C. (2019). *Evaluación del biol en el crecimiento inicial de plántulas de caoba (Swietenia macrophylla) bajo condiciones de vivero*. *Revista Amazónica de Ciencia y Tecnología*, 12(1), 24–33.
- Vásquez, Y. (2023). «*Comportamiento del crecimiento inicial de la especie cedrelinga cateniformis (ducke) ducke, utilizando diferentes dosis de superfosfato triple, en condorcanqui, Amazonas – Perú*». 1-98.
- Verdesoto, C. A. C., Mera, S. J. C., Ponce, S. I. C., Gonzalez, A. J., & Ligua, V. L. C. (2023). Evaluación del crecimiento inicial de las especies *Swietenia macrophylla* King y *Triplaris cumingiana* Fisch. & C.A. Mey. Con la aplicación de tres dosis de biofertilizantes. *Agrosilvicultura y Medioambiente*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v1.n2.2023.50-61>
- Villacrés, L., Jiménez, R., & Gómez, D. (2018). *Evaluación del índice de esbeltez en plántulas de especies forestales en condiciones de vivero*. *Revista Ciencia y Producción Forestal*, 14(1), 25–34.
- Wani, S., & Lee, K. (1995). Microorganisms as biological inputs for sustainable agriculture. *Organic agriculture*., 39-76.

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Problema General: ¿Cuál es la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante en el crecimiento inicial de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero?	Objetivo general Evaluar la influencia de diferentes concentraciones de un biofertilizante líquido en el crecimiento inicial de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "tornillo" en condiciones de vivero.	Hipótesis general Ha: El uso del biofertilizante influye en el crecimiento inicial de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en condiciones de vivero. Ho: El uso del biofertilizante no influye en el crecimiento inicial de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en condiciones de vivero.	V1: Independiente Influencia de diferentes concentraciones de Biofertilizante	00% 25% 50% 75% 100%	%
Problemas específicos: ¿Cómo influye 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en parámetros morfológicos de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero?	Objetivos específicos Determinar la influencia de 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en parámetros morfológicos de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero.	Hipótesis específica La aplicación del biofertilizante líquido en bajas concentraciones tiene mayor influencia en el crecimiento inicial de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero. (Ha)	V2: Dependiente Especie de tornillo	Diámetro a la altura del cuello	cm
¿Cómo influye 5 concentraciones de Biofertilizante líquido en la sobrevivencia de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero?	Determinar la influencia de 5 concentraciones de biofertilizante líquido en la sobrevivencia de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero.	La aplicación del biofertilizante en altas concentraciones presenta una mayor sobrevivencia de <i>Cedrelinga cateniformis</i> "Tornillo" en condiciones de vivero. (Ha)		Altura total	cm
				Índice de esbeltez (IE) o Altura/diámetro basal	Adimensional
				Relación altura/longitud de raíz (RA/LR)	Adimensional
				Biomasa húmeda de la parte aérea y sistema radical	Adimensional
				Relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (RBSA/BSR) o índice de tallo/raíz (ITR)	Adimensional
				Índice de calidad de Dickson (ICD)	Adimensional

Anexo 2

Panel fotográfico

