



PROYECTO DE TITULACIÓN

Carrera De Ingeniería Agropecuaria

“Evaluación de cuatro tipos de sustratos en el crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis*, en el clon LA-157 a nivel de vivero”

Lino Velez, Alexander Bladimir y Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth

Ing. For. Patricio Jiménez P. MSc

18 de marzo del 2024

Reporte de verificación de contenido



PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRIC...

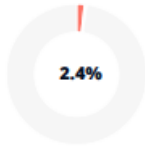
Scan details

Scan time:
March 13th, 2024 at 20:41 UTC

Total Pages:
74

Total Words:
18338

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
● Identical	1.8%	327
● Minor Changes	0.4%	67
● Paraphrased	0.3%	47
● Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
● Human text

Firma:

.....

Director

Ing. For. Patricio Lenín, Jiménez Pozo MSc

C.C: 0400725347



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación de cuatro tipos de sustratos en el crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis*, en el clon LA-157 a nivel de vivero”** fue realizado por **Lino Velez, Alexander Bladimir y Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 18 de marzo del 2024

Firma:

.....

Director

Ing. For. Patricio Lenín, Jiménez Pozo MSc

C.C: 0400725347



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, Lino Velez, Alexander Bladimir y Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth, con cédulas de ciudadanía n° 1208475838 y 2350176984, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "Evaluación de cuatro tipos de sustratos en el crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis*, en el clon LA-157 a nivel de vivero" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 18 de marzo del 2024

Firmas:

Lino Velez, Alexander Bladimir
C.C.: 1208475838

Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth
C.C.: 2350176984



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros Lino Velez, Alexander Bladimir y Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth, con cédulas de ciudadanía n° 1208475838 y 2350176984, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "Evaluación de cuatro tipos de sustratos en el crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis*, en el clon LA-157 a nivel de vivero" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 18 de marzo del 2024

Firmas:

Lino Velez, Alexander Bladimir
C.C.: 1208475838

Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth
C.C.: 2350176984

Dedicatoria

Con gratitud inmensurable, dedico este logro a mis padres Alexander Lino y Glenda Vélez, cuyo amor y sacrificio han sido mi ancla y vela, ambos fuente perpetua de inspiración y apoyo condicional, y a mi hermana Yarlet, por ser mi compañera incansable, y mi motivación en este viaje académico. A mis abuelos Gonzalo Vélez y Ubaldina Vera, por ser mis pilares de apoyo y guardianes de sabiduría, siendo los primeros maestros que tuve en la vida, y a mis tíos Carlos Males y Dennis Vélez, por ser faros de aliento e inspiración constante, a mi abuelita Armandina y a mi tía Vilma, este logro resuena con mil veces el agradecimiento hacia cada uno de ustedes.

“Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes”

(Isaac Newton)

Lino Vélez, Alexander Bladimir

Agradecimiento

A mi compañera de tesis, por su dedicación, sus esfuerzos y paciencia que fueron fundamentales para que este proyecto culminara con éxito, estoy agradecido por la colaboración y estoy seguro que los conocimientos adquiridos en este proceso nos beneficiaran en el futuro.

A nuestro tutor, Ing. Forestal Patricio Jiménez, por su orientación, apoyo y dedicación durante la elaboración del presente proyecto, su experiencia y sabiduría fueron fundamentales para dar forma a nuestro trabajo y mejorar la calidad de este, por compartir su conocimiento de forma tan generosa, estamos agradecidos por la oportunidad de aprender bajo su guía.

A los técnicos y profesionales de Novopan y a todo su equipo logístico, por haber apoyado de forma constructiva, con sus recomendaciones oportunas a que esta investigación se llevase a cabo con éxito.

A mi amigo Pablo Moreira que pronto se convertirá en un colega de profesión, con quien compartí desde el inicio de esta experiencia académica.

A mi hermana Alexa Yarlet que siempre estuvo conmigo siguiéndome de cerca, y estuvo en todo momento mostrando su apoyo incondicional, su aliento, paciencia y ánimos fueron cruciales para superar todos los desafíos, Gracias por estar siempre allí este logro también es tuyo y estoy agradecido de tener una hermana tan increíble. A mi perro Happy que jamás tendrá la capacidad de leer esto, pero que siempre me acompañó las madrugadas de estudio y tareas, gracias infinitas.

A las personas que conocí durante esta etapa y formaron parte crucial dentro de este camino, Alejandro S, Bryan Z, Elizabeth D, Lizbeth P, Kevin L, Kevin G, Micaela C, Mauricio C, Pablo M, Tatiana B, Gracias por formar parte de este excepcional viaje.

Lino Vélez, Alexander Bladimir

Dedicatoria

Dedicó a Dios por guiarme hasta este momento en mi carrera, cada caída y tristeza han sido lecciones valiosas, mientras que las alegrías han sido bendiciones que han fortalecido mi camino, además, con su ayuda, he perseverado, crecido y avanzado, y confío en que seguiré adelante con fe y determinación.

A mis padres María Naula y José Zhangallimbay por la confianza, constante apoyo y amor incondicional a lo largo de mi trayectoria, sus palabras de aliento, comprensión y cada sacrificio que han hecho por mí no pasa desapercibido. Son guía y ejemplo para mí fundamentalmente en mi camino, inspirándome fortaleza y determinación para enfrentar desafíos y celebrar triunfos, sin ustedes mi camino no sería el mismo por eso les brindo mi más profundo reconocimiento y amor.

A mis hermanos Gabriel, Julio, Rosa, Mónica, Estefanía y Oscar por cada momento de diversión compartido a lo largo de nuestra vida, su presencia ha sido un regalo invaluable, les dedico mi triunfo por el apoyo incondicional de hermanos.

Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth

Agradecimiento

Agradezco a mi compañero de proyecto por su compromiso, perspicacia y trabajo en equipo, su contribución no solo fue invaluable, sino que también enriqueció mi experiencia académica. Además, a las personas que nos brindaron el apoyo y conocimiento para realizar nuestra investigación en la empresa Novopan.

A mi tutor de proyecto de integración curricular por su orientación y apoyo a lo largo de este importante proceso académico, la sabiduría, experiencia y dedicación han sido fundamentales por ayudarnos a navegar por los desafíos de nuestra investigación.

A María, Norma, Jovana, Rene, Fernando y una nueva persona especial que ha llegado a mi vida a cada uno por su disposición para escucharme, brindarme consejos y ofrecerme su apoyo incondicional ha sido un verdadero tesoro, sus palabras de aliento y sus presencias reconfortantes han sido como un faro en los momentos de incertidumbre y desafío.

A mis sobrinos Jenniffer, Maite, Brithany, Gabriel, Carlos, Mía, Dina y a mis perrisobrinos agradezco por llenar mi vida de risas, alegría y momentos inolvidables, infinitamente el privilegio de ser parte de sus vidas y el regalo de su amor incondicional, que ha enriquecido mi existencia de formas inimaginables.

Y, especialmente a mis amigos Joseph, Joselyn, Jackson, Jessica, Tatiana, Gandhi, Michael, Johan, Alexander, Alejandro, Luis, Cristina, Kevin, Anthony durante el transcurso de la carrera cada interacción, conversación y gesto de apoyo han dejado una huella imborrable en mi corazón y en mi memoria, agradezco profundamente su amistad, su compañerismo y su inquebrantable apoyo, que han enriquecido mi experiencia universitaria y han hecho de estos años una experiencia verdaderamente memorable. Sin ustedes, este viaje no habría sido lo mismo, y por eso, les estaré eternamente agradecida.

Zhangallimbay Naula, Digna Elizabeth

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción y estado del arte	3
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. Marco Teórico	6
3.1. Sustratos	6
3.2. Desinfección de Sustratos	6
3.2.1. Clasificación de los Sustratos	6
3.3. Vivero Forestal	8
3.4. Clon Forestal	9
3.5. Características Fisiológicas	9
3.6. Características Morfológicas.....	9
3.6.1. Altura	10
3.6.2. Diámetro.....	10
3.6.3. Raíz.....	10
3.7. Índice de Calidad de Dickson	10
3.8. Propiedades Físicas de los Sustratos.....	11
3.8.1. Densidad Aparente	11
3.8.2. Densidad Real	12
3.8.3. Granulometría.....	12
3.8.4. Porosidad	12
3.8.5. Clasificación de Poros	14
3.9. Propiedades Químicas de los Sustratos	14
3.9.1. pH.....	14
3.9.2. Conductividad Eléctrica (CE)	14
3.9.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	15
3.9.4. Porcentaje de Materia Orgánica	15
3.9.5. Macronutrientes y Micronutrientes	15
3.9.6. Relación Carbono/Nitrógeno.....	17
3.10. Tipos de Sustratos.....	17

3.10.1.	Aserrín de balsa	17
3.10.2.	Cascarilla de arroz	18
3.10.3.	Cascarilla de arroz tostada	19
3.10.4.	Compost.....	20
3.10.5.	Corteza de pino compostada.....	21
3.10.6.	Fibra de coco	21
4.	Metodología	22
4.1.	Ubicación del Área de Investigación	22
4.1.1.	Ubicación Política	22
4.1.2.	Ubicación Geográfica.....	22
4.1.3.	Ubicación Ecológica.....	23
4.2.	Materiales para los Sustratos	23
4.3.	Materiales en la Fase de Vivero	24
4.4.	Materiales de Evaluación en Campo	25
4.5.	Materiales de Evaluación en Oficina.....	25
4.6.	Diseño Experimental.....	26
4.6.1.	Factores por Probar	26
4.6.2.	Tratamientos por Comparar	26
4.6.3.	Tipo de Diseño.....	26
4.6.4.	Características de las Unidades Experimentales	26
4.6.5.	Croquis o Distribución Espacial del Ensayo	27
4.6.6.	Análisis de la Varianza.....	27
4.6.7.	Modelo Lineal	27
4.6.8.	Coeficiente de Variación	28
4.7.	Análisis Funcional.....	28
4.8.	Análisis Económico	28
4.9.	Variables por Evaluar	29
4.9.1.	Longitud Radicular	29
4.9.2.	Peso Radicular	29
4.9.3.	Diámetro a la Altura del Cuello	29
4.9.4.	Altura de la Planta	29
4.9.5.	Porcentaje de Mortalidad	30
4.9.6.	Análisis Físicos de los Sustratos.....	30
4.9.7.	Densidad Aparente	30
4.9.8.	Densidad Real	31

4.9.9.	Porosidad	31
4.10.	Análisis químicos de los sustratos	32
4.10.1.	Preparación de Muestras	32
4.10.2.	Método de muestreo	33
4.11.	Índice de calidad de Dickson	35
5.	Resultados y Discusión	36
5.1.	Propiedades Físicas de los Sustratos.....	36
5.1.1.	Porosidad	36
5.1.2.	Densidad y Peso de los Sustratos en el Tubete de Crecimiento	39
5.2.	Propiedades Químicas de los Sustratos	41
5.2.1.	Potencial Hidrógeno.....	41
5.2.2.	Conductividad Eléctrica	43
5.3.	Porcentajes de Mortalidad y Supervivencia	48
5.4.	Longitud Radicular.....	51
5.5.	Peso radicular.....	54
5.6.	Altura de la planta.....	57
5.7.	Diámetro a la altura del cuello	59
5.8.	Calidad de la Planta Producida por Sustrato	61
5.9.	Análisis de Costos	62
6.	Conclusiones.....	64
7.	Recomendaciones	66
8.	Referencias Bibliográficas	67

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema de la absorción y acumulación de silicio (Si) en la planta de arroz	19
Figura 2 Mapa de la ubicación geográfica del sitio donde se realizó la investigación	22
Figura 3 Diseño completamente al azar de los cuatro tratamientos con sus cuatro repeticiones	27
Figura 4 Esquema de recolección para enviar muestras de sustratos al laboratorio.....	33
Figura 5 Representación gráfica de los porcentajes de porosidad.....	37
Figura 6 Densidad real y aparente de los sustratos en estudio	39
Figura 7 pH inicial y final de los cuatro sustratos.....	41
Figura 8 C.E inicial y final de los cuatro sustratos en estudio	43
Figura 9 Porcentajes de mortalidad en fase de invernadero para cada sustrato.....	48
Figura 10 Porcentaje de mortalidad en fase de aclimatación.....	49
Figura 11 Porcentaje de plantas descartadas por callosidad.....	50
Figura 12 Crecimiento en longitud radicular a través del tiempo de evaluación.....	53
Figura 13 Aumento del peso radicular en gramos vs tiempo	56
Figura 14 Crecimiento en altura expresada en cm, desde el día 0 al 81.....	58
Figura 15 Incremento del diámetro vs el tiempo	60
Figura 16 Índice de calidad de Dickson con su respectiva interpretación	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades de los sustratos.....	7
Tabla 2. Clasificación de origen de materiales orgánicos en sustratos	7
Tabla 3. Clasificación de origen de materiales inorgánicos en sustratos.....	8
Tabla 4. Rango del índice de calidad de Dickson	11
Tabla 5. Funciones de los elementos nutricionales.....	16
Tabla 6. Composición química del aserrín de balsa.....	17
Tabla 7. Composición química de la cascarilla de arroz	18
Tabla 8. Composición de nutrientes en el compost.....	20
Tabla 9. Composición química de la fibra de coco	21
Tabla 10. Ubicación política del sitio de investigación.....	22
Tabla 11. Datos ecológicos de la zona de investigación	23
Tabla 12. Materias primas utilizadas en la preparación de los sustratos.....	23
Tabla 13. Materiales e insumos utilizados en la propagación clonal durante toda la fase de vivero.	24
Tabla 14. Materiales y equipos utilizados en la evaluación de las plantas producidas	25
Tabla 15. Materiales y softwares utilizados en el análisis de datos.....	25
Tabla 16. Esquema del análisis de varianza	27
Tabla 17. Parámetros y métodos del AQS utilizados a nivel de laboratorio	34
Tabla 18. Análisis de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua para los cuatro sustratos en estudio.....	36
Tabla 19 Pesos en gramos de cada sustrato por cada tubete de 50 CC.....	40
Tabla 20 Análisis e interpretación de las propiedades químicas de cada sustrato.	44
Tabla 21 Análisis de la varianza de la longitud radicular a los 81 días.....	52
Tabla 22 Comparación de medias de la longitud radicular, mediante la prueba de Tukey al 5%	52

Tabla 23 Comparación de medias de Tukey, para la variable peso radicular en gramos.....	55
Tabla 24 Comparación de medias de la variable altura de la planta en cm, mediante la prueba de Tukey al 5%.	57
Tabla 25 Comparación de medias con la prueba de Tukey para la variable diámetro en mm...59	
Tabla 26 Valores para calificar la calidad de la planta según CONAFOR (2005)	61
Tabla 27 Costos de producción de las plantas por cada sustrato	62

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Índice de calidad de Dickson de la planta.....	11
Ecuación 2. Densidad aparente de (Pire & Pereira, 2003)	11
Ecuación 3. Densidad real de (Bushrod, 2019).....	12
Ecuación 4. Porosidad total	13
Ecuación 5. Porosidad de aireación.....	13
Ecuación 6. Porosidad de retención de agua de.....	13
Ecuación 7. Modelo lineal del análisis estadístico.....	28
Ecuación 8. Coeficiente de variación para la determinación de la confiabilidad y homogeneidad de los datos	28
Ecuación 9 Test de Tukey	28
Ecuación 10. Tasa de mortalidad.....	30

Resumen

Esta investigación se centró en la evaluación de cuatro sustratos para el crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis* en el clon LA-157, en fase de vivero en la empresa Novopan, en Los Ángeles, provincia de los Ríos. El objetivo fue mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los viveros, y generar datos sobre el uso de sustratos para clones de eucalipto. Los sustratos analizados fueron: T1 (75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz), T2 (75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada), T3 (50% compost + 25% aserrín de balsa + 25% cascarilla de arroz tostada) y T4 (50% compost + 25% fibra de coco + 25% cascarilla de arroz tostada). Se empleó un DCA con cuatro repeticiones por tratamiento, evaluando variables, como longitud y peso radicular, altura y diámetro del plantín, índice de calidad de Dickson, y tasas de sobrevivencia y mortalidad, también se realizaron análisis físicos y químicos de los sustratos. Los resultados se analizaron con pruebas de Tukey al 5% para las variables crecimiento, en el día 81, la longitud radicular fue similar en T1, T2 y T3, con valores de 18.66, 19.04 y 19.58 cm, respectivamente, siendo T3 superior a T4 (18.03 cm). respecto al peso radicular, altura y diámetro de planta, T2 mostró un desempeño significativamente superior a los demás tratamientos, en cuanto a las propiedades físicas y químicas, así como la porosidad, pH y conductividad eléctrica, T2 exhibió valores ya determinados por Escobar & Buamscha (2015).

Palabras claves: Eucalipto viveros, sustratos eucalipto, clon eucalipto, desinfección sustratos

Abstract

This research focused on the evaluation of four substrates for the initial growth of *Eucalyptus urograndis* in clone LA-157, in the nursery stage at the Novopan company in Los Angeles, Los Ríos province. The objective was to improve nursery efficiency and sustainability, and to generate data on the use of substrates for eucalyptus clonal nurseries. The substrates analyzed were: T1 (75% pine bark + 25% rice husk), T2 (75% pine bark + 25% roasted rice husk), T3 (50% compost + 25% balsa sawdust + 25% roasted rice husk) and T4 (50% compost + 25% coconut fiber + 25% roasted rice husk). A DCA was used with four replicates per treatment, evaluating variables such as root length and weight, seedling height and diameter, Dickson's quality index, and survival and mortality rates, as well as physical and chemical analysis of the substrates. The results were analyzed with Tukey tests at 5% for the growth variables. On day 81, root length was similar in T1, T2 and T3, with values of 18.66, 19.04 and 19.58 cm, respectively, with T3 being superior to T4 (18.03 cm). Regarding root weight, height and plant diameter, T2 showed a significantly superior performance to the other treatments, as for physical and chemical properties such as porosity, pH and electrical conductivity, T2 exhibited values already determined by Escobar & Buamscha (2015).

Key words: Eucalyptus nurseries, eucalyptus substrates, eucalyptus clone, substrates disinfection

1. Introducción y estado del arte

La especie forestal *Eucalyptus x urograndis*, es un híbrido que fue desarrollado en Brasil mediante el Cruce de las especies *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, ya que, *E. grandis* tiene rápido crecimiento y provee mayor volumen de madera y *E. urophylla* a la resistencia de enfermedades y es adaptable a diversos suelos (Muñoz, 2018).

El crecimiento y desarrollo del *Eucalyptus urograndis* a nivel de campo se debe a la calidad de planta producida en el vivero, y está determinado por condiciones claves de manejo como el sustrato, el riego adecuado, los controles fitosanitarios y una serie de condiciones inherentes como el tamaño y diámetro del esqueje a utilizar en la propagación, además de la forma de cosecha del esqueje, el tiempo que pasa hasta que se ubica en el medio de crecimiento y el correcto uso de la hormona enraizante (Mariana, 2022).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar cuatro sustratos en la producción y crecimiento inicial del clon LA-157 de *E. urograndis* a nivel de vivero, la cual consta de diversas variables como longitud radicular, peso radicular, diámetro y altura de la planta, además, de determinar el índice de calidad de las plantas producidas en los sustratos propuestos, con la finalidad de aumentar el número de plantas que van a llegar a campo definitivo. El estudio se llevó a cabo en la hacienda Los Ángeles de la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. ubicada en el recinto Los Ángeles perteneciente a la provincia de Los Ríos.

Estado del Arte

Según (Carhuamaca K. , 2015) tema: "Efecto de sustratos comerciales en la germinación y crecimiento inicial de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* Híbrido) en condiciones de vivero– san Ramón – Chanchamayo", el desafío principal en los viveros forestales radica en las cifras insatisfactorias de rendimiento, productividad y calidad de las plantas, que resultan de la falta de implementación de tecnologías

apropiadas para la producción de plántulas, por ello tras la investigación realizada sobre la germinación, crecimiento inicial y calidad de planta de *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus urograndis*, identificó al sustrato Sunshine PreMix #8 (denominado T1) como el que proporcionó los mejores resultados de manera integral. Esto implica que este sustrato fue altamente efectivo en promover un adecuado desarrollo desde la etapa de germinación hasta el crecimiento inicial y la calidad general de las plantas de estas especies de *Eucalyptus*.

Además, (Granados C. , 2019) del tema: Crecimiento radicular de *Eucalyptus exserta*, *Eucalyptus pellita* y *Eucalyptus urograndis* sembradas en dos tipos de contenedores y tres sustratos , sugieren que cada sustrato (turba; tierra negra; perlita; cascarilla de arroz) tuvo un impacto diferente en el crecimiento de las raíces, con algunos sustratos mostrando un mayor efecto en variables específicas, como el desarrollo de raíces secundarias, longitud de la raíz principal, grosor del cuello de la raíz y crecimiento volumétrico de la raíz. Esto resalta la importancia de seleccionar el sustrato adecuado según el objetivo deseado para el cultivo de plantas.

Por lo tanto, el análisis ha incluido una exposición detallada sobre los sustratos que los autores sugieren para abordar los desafíos en los viveros forestales, esta información resulta fundamental para mejorar el rendimiento, la productividad y la calidad de las plantas en estos entornos de cultivo. Cabe destacar que actualmente a nivel de vivero existe escasa información sobre el efecto que tienen los sustratos en la producción inicial respectivo en el clon LA-157 perteneciente al híbrido *E.urograndis*, lo cual causa conflicto al momento de investigar, además, no se ha descartado porque en campo abierto es un clon de alta calidad.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar cuatro sustratos en la producción y crecimiento inicial del *Eucalyptus urograndis* en el clon LA-157 a nivel de vivero

2.2. Objetivos Específicos

Realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas de los sustratos

Determinar el crecimiento en los diferentes sustratos midiendo la longitud y peso radicular, altura y diámetro de las plantas.

Determinar el porcentaje de supervivencia y mortalidad en los diferentes sustratos

Establecer los costos de producción de las plantas en cada sustrato

3. Marco Teórico

3.1. Sustratos

Según (INTA; MINAGRO, 2018), los sustratos son utilizados como una alternativa al suelo, permitiendo la utilización de distintos materiales orgánicos o inorgánicos combinados para el cultivo o propagación de plantas en bandejas que vienen en una variedad de formas, contienen el sustrato y cuentan con agujeros en la parte inferior para asegurar un drenaje adecuado del exceso de agua.

El sustrato tiene diversas funciones de las cuales debe cumplir, tales como:

- Suministrar agua y nutrientes: Es preciso que contenga una alta capacidad para absorber agua y que sea accesible para las plantas, es decir, es el transporte de nutrición para las plantas mediante mecanismos de absorción.
- Proporcionar aireación en el entorno de las raíces: La aireación es un elemento relevante porque las raíces para crecer necesitan oxígeno. Por lo tanto, es importante agregar componentes a la mezcla que creen este estado.
- Equilibrar soporte a la planta.

3.2. Desinfección de Sustratos

Existen diversas estrategias para desinfectar los sustratos tales como la aplicación de vapor la cual, consta que el sustrato con un contenido de humedad entre 15-20% a la base de peso seco (Carrasco & Riquelme, 2022). También, se puede utilizar productos químicos tal como Tachigaren (hymexazol) es un fungicida sistémico para el control de fitopatógenos que se encuentran en las plantas además que es un regulador de crecimiento (Limaico, 2018).

3.2.1. Clasificación de los Sustratos

Conforme a (Marinas, 2022) se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades o según su origen

3.2.1.1. Según sus Propiedades

Tabla 1

Propiedades de los sustratos

Inertes	Activos
Son los derivados de roca, arena, grava, roca volcánica, perlita, etc. Son esterilizados por ello no aportan actividad biológica, y su función es únicamente de apoyo ya que no tienen capacidad de intercambio catiónico.	Son aquellos que se originan a partir de materiales orgánicos y llevan en su interior actividad biológica, por lo cual, su función es sustentar y almacenar nutrientes.

3.2.1.2. Según su Origen

De acuerdo a (Villegas, y otros, 2017) pueden ser de tres tipos tanto para materiales orgánicos como inorgánicos:

Tabla 2

Clasificación de origen de materiales orgánicos en sustratos

Materiales orgánicos	
Tienen la disposición para retención de agua, bajo contenido de sales CE <4 mmhos, además, no deben ser portadores de enfermedades o plagas.	
Naturales	Son componentes expuestos a ser descompuestos biológicamente; por ejemplo, turba (retiene agua, densidad de las partículas baja, CIC)
Sintéticos	Generalmente llamados plásticos polímeros no biodegradables, la cual se obtiene por compuestos químicos como la resina fenólica o el poliestireno.
Residuos de diversas actividades de producción	Los materiales necesitan una estabilización previa de su materia orgánica para hacerlos aptos como sustratos; por ejemplo, corteza de árbol, aserrín de balsa, cascarilla de arroz y fibra de coco.

Tabla 3*Clasificación de origen de materiales inorgánicos en sustratos*

Materiales inorgánicos	
Alta disposición de retener agua, además, baja densidad de partículas.	
De origen natural	Es un material obtenido de rocas o minerales de diversos orígenes no biodegradables; por ejemplo, zeolita, roca volcánica y grava.
Modificado o procesado industrialmente	Pertinente de rocas o minerales, que ha sido sometido a un proceso ya sea físico o químico, con la finalidad de conseguir fibras livianas y/o gránulos porosos, como vermiculita (CIC alta) y perlita (inerte).
Residuos de diversas actividades de producción	En forma de materiales procedentes de diferentes funciones industriales, tales como los residuos de procesamiento de combustión y de minería

3.3. Vivero Forestal

Un vivero es una superficie de terreno cuya finalidad principal es la producción de plantas. En esencia, las semillas o plántulas producidos en los viveros forestales deben ser de la mejor calidad al menor costo posible. Por lo tanto, las plantas como material vegetal de reforestación deben tener características morfológicas y fisiológicas especiales que garanticen su supervivencia en el bosque contribuyendo así al éxito de la reforestación.

La producción de plantas en viveros posibilita la prevención y control al impacto de insectos y enfermedades que perjudican a las plántulas en sus etapas más vulnerables, por ello se le brinda los cuidados y condiciones necesarias para lograr un buen desarrollo, además, tienen mayor supervivencia cuando son trasladados a su ubicación definitiva. Las principales características que debe tener un vivero son las siguientes: agua, mano de obra, accesibilidad, visibilidad, entre otros (Miranda, y otros, 2020).

3.4. Clon Forestal

Es el proceso de producir descendencia que sean copias genéticas idénticas de sus padres, es decir, que tendrán los mismos rasgos hereditarios. Las plantas pueden clonarse utilizando diversos métodos, como acodos, estolones o tubérculos, lo cual tiene ventajas favorecedoras ya que la planta madre al estar en condiciones ambientales soporta enfermedades, entre otras causas por ello el clon se adaptará o hasta colonizará la zona en que está sembrada (Iampietro & Yang, 2023).

3.5. Características Fisiológicas

Estas características no son fáciles de observar y para medirlas se requieren equipos y procedimientos de laboratorio. Las características fisiológicas cambian continuamente y a veces dramáticamente durante el proceso de cosecha a plantación. Por ende, la medición de cualquier cualidad fisiológica es una condición que será relevante a corto plazo (González, 2017).

(Rengifo, 2014) Algunos atributos fisiológicos son: resistencia al frío, días para que el brote principal inicie su crecimiento, potencial hídrico, contenido de nutrientes y carbohidratos, tolerancia a la sequía, fotosíntesis neta, capacidad de desprender nuevas raíces.

3.6. Características Morfológicas

La cualidad morfológica de una planta se observa mediante características de esquemas establecidos, la cual sea cuantitativa y cualitativa. La morfología es el fruto de las características genéticas, las condiciones ambientales del vivero y las prácticas de cultivo utilizadas, tales como: densidad de cultivo, fecha de siembra, grado de sombra, poda aérea, fertilización y riego, etc. Se han utilizado diversos rasgos morfológicos para caracterizar la calidad de una planta. Los cuales son longitud y peso de la raíz, la altura, el diámetro del cuello de la raíz, todos indicadores del nivel de desarrollo de la planta (Ureta, y otros, 2019).

3.6.1. Altura

La altura se enlaza con su área de transpiración y capacidad de fotosíntesis. Las plantas más altas pueden afrontar mejor la vegetación, pero esto requiere una adecuada fisiología y un apropiado sistema de raíces, además, esta variable se expresa en centímetros (cm) (Quiroz, García, González, Chung, & Soto, 2019).

3.6.2. Diámetro

El diámetro es un indicativo sobre el transporte de agua a las partes aéreas y la capacidad de la planta para tolerar altas temperaturas, el diámetro se toma a la altura del cuello de la planta y se mide con un pie de rey, además, que se expresa en milímetros (mm) (Abril, y otros, 2022).

3.6.3. Raíz

La raíz tiene una estructura principal sobre un eje vertical primario acorralado por raíces secundarias lo cual es un órgano subterráneo de la planta que se especializa en unir la planta al sustrato, absorber y conducir agua y nutrientes (sales minerales) y almacenarlos. El eucalipto tiene un sistema radical muy desarrollado, que requiere un suelo profundo, ya que dificulta el crecimiento la presión de las raíces (Velázquez & Gaibor, 2019).

Las raíces gruesas proporcionan anclaje y determinan la profundidad de penetración en las capas del suelo. Las raíces finas incrementan el área de superficie en contacto con la humedad del suelo e incrementan el volumen de suelo que puede ser explorado en busca de agua bajo condiciones de sequía.

3.7. Índice de Calidad de Dickson

Este índice es el mejor indicador de la calidad de las plantas porque expresa el equilibrio entre

distribución de masa y estabilidad, lo que evita la selección de plantas desiguales y el rechazo de ejemplares de menor altura, pero mayor vigor (Sáenz, Muñoz, Pérez, Rueda, & Hernández, 2014).

Según (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960) menciona la fórmula para obtener el rango de clasificación de acuerdo a la calidad de la planta.

Ecuación 1

Índice de calidad de Dickson de la planta

$$IC = \frac{\text{peso s. total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso s. parte aérea (g)}}{\text{peso s. de la raíz (g)}}$$

Tabla 4

Rango del índice de calidad de Dickson

Índice	Calificación		
	Alta	Media	Baja
Índice de calidad de Dickson	<0,50	0,20-0,49	<0,20

3.8. Propiedades Físicas de los Sustratos

3.8.1. Densidad Aparente

La densidad aparente se considera como el vínculo entre la masa o peso de una partícula y el volumen aparente que ocupa, incluido el espacio poroso total. Más concretamente, el volumen aparente es lo que ocupa los materiales sólidos y los poros internos y externos. Están directamente relacionadas con la porosidad del material, lo cual disminuirá al aplicar presión al sustrato el volumen de poros (Fertilab, 2015).

Ecuación 2

Densidad aparente de (Pire & Pereira, 2003)

$$D_a = \frac{\text{Peso del contenedor (g)}}{\text{Volumen del contenedor (cm}^3\text{)}}$$

3.8.2. Densidad Real

Es la relación entre la capacidad que ocupa (sin tener en cuenta los poros y huecos) y la densidad de una partícula de sustrato. Cabe destacar que esto no depende del grado de compresión ni la medida de la partícula. En sustratos inorgánicos puede dar un valor de 2.65 g/mL, en cambio, en sustratos orgánicos el valor medio es de 1.50 g/mL (Fertilab, 2015).

Ecuación 3

Densidad real de (Bushrod, 2019)

$$D_r = \frac{D_a}{1 - \frac{\text{Porosidad Total}}{100}}$$

3.8.3. Granulometría

(Soto, 2016) Es el volumen de aireación y retención de humedad, ya que el sustrato está formado por partículas de diversos tamaños, por ende, el tamaño de partícula es la parte más precisa en las propiedades físicas del sustrato.

3.8.4. Porosidad

La porosidad son los espacios o poros que se encuentran en el sustrato, es de gran importancia ya que a simple vista al utilizar el sustrato no se puede determinar la accesibilidad en los poros, se lo expresa por porcentaje o fracción (Richardson & Montenari, 2020).

3.8.4.1. Porosidad Total.

Es el volumen del sustrato total que no está ocupado por materia sólida ya que consta por un porcentaje de retención de agua y aireación. En general se consideran satisfactorios los sustratos con una porosidad total entre 70-85% (Chen, 2023).

Ecuación 4

Porosidad total

$$P_t = \frac{\text{Volumen total de poros (mL)}}{\text{Volumen del contenedor (mL)}} * 100$$

(Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1990)

3.8.4.2. Porosidad de Aireación.

Es el porcentaje de aire contenido en un volumen fijo de sustrato después de haberlo saturado con agua y esperar dos horas para que se drene, por ello en cuanto más poroso es el aire, más oxígeno pueden absorber las raíces (Soto-Bravo & Betancurt-Flores, 2022).

Ecuación 5

Porosidad de aireación

$$P_a = \frac{\text{Volumen drenado (mL)}}{\text{Volumen del contenedor (mL)}} * 100$$

(Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1990).

3.8.4.3. Porosidad de Retención de Agua

Es el resultado que se obtiene mediante la porosidad total menos la porosidad de retención de aire además, en cuanto menor sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos agua estará disponible para las plantas, lo que significa que las cifras bajas indican que será necesario un riego más frecuente (Gayosso-Rodríguez, Borges-Gómez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, & Garruña, 2018).

Ecuación 6

Porosidad de retención de agua de

$$P_{ra} = P_t - P_a$$

(Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1990)

3.8.5. Clasificación de Poros

Según (Chen, 2023) existen diferentes poros, las cuales se indican a continuación:

Macroporos: Son pequeños huecos de aire que drenan rápidamente, aumenta la aireación y la capacidad hídrica disminuye, su tamaño es de <2 nm, algunos materiales incluyen: turba, corteza de árbol.

Mesoporos: Son pequeños huecos de aire de partículas medias la cual retiene agua, su tamaño es entre 2 y 50 nm.

Microporos: Formados a partir de partículas finas por lo que su función es retener agua; aumentar la capacidad hídrica y reducir el aire en el sustrato, su tamaño es de >50 nm, por ejemplo: turba fina, coco en polvo.

3.9. Propiedades Químicas de los Sustratos

3.9.1. pH

En sustratos el pH influye en los nutrientes ya que es un indicador de acidez o alcalinidad y esto en el cultivo ocasiona daños si no se encuentra en el rango óptimo; el cultivo de eucalipto debe encontrarse en un pH de 5.2 y 6.5 debajo de esos rangos presenta deficiencias tanto de macro y micronutrientes. Además, el pH si aumenta o disminuye depende de diversas variables, tales como: la alcalinidad del agua, el pH del sustrato y el uso de un fertilizante ya sea ácido o alcalino, entre otros (Barbaro, Karlanian, & Mata, 2018).

3.9.2. Conductividad Eléctrica (CE)

Es un indicador de las sales diluidas concentradas en el sustrato, se tiene idea sobre cuanto fertilizante hay disponible o si se acumulan sales, lo que se interpreta mediante los valores de conductividad eléctrica que se realizan en las pruebas de análisis. Es necesario que la

conductividad eléctrica sea de 0.75 -1.9 dSm⁻¹, es decir, baja para evitar fitotoxicidad en las plantas ya que, cuanto mayor sea la CE, mayor será la concentración de sales (Soriano, 2018).

3.9.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en sustrato y suelo contiene carga eléctrica en la superficie (Buechel, 2023), es decir, que hay carga aniónica disponible para contribuir e impregnarse la capacidad de intercambio positivo, tales como calcio, magnesio, potasio, sodio e hidrógeno. Si contienen alta CIC en el sustrato retienen más carga positiva y mayor capacidad para cambiar a diferencia de los sustratos con baja CIC (Schultheis, y otros, 2020).

3.9.4. Porcentaje de Materia Orgánica

Es una propiedad que se caracteriza sobre la calidad del sustrato ya que aporta a la retención y renovación de nutrientes y contribuye entre 2% y 10% de la mayor parte del suelo (Edwards, 2022). Además, cuando las raíces de las plantas se exponen a exceso de amonio se queman a tal punto de morir por ello hay que aplicar cantidades estables de fertilizante o proporciones adecuadas a utilizar en sustratos (Sawyer, 2021).

3.9.5. Macronutrientes y Micronutrientes

Existen quince nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y reproducción, lo cual, se dividen los que se encuentran en cantidades grandes en la planta estos se los conoce como macronutrientes y micronutrientes. Además, si existe alguna carencia de un microelemento condiciona el crecimiento del cultivo así mismo como los macroelementos (Vásquez-Conde & Vásquez-López, 2017).

Tabla 5*Funciones de los elementos nutricionales*

Elementos nutricionales	
Nutrientes	Función
Macroelementos	
Carbono (C)	Actúa en la fotosíntesis, donde se convierte en carbohidratos, grasas y proteínas, ya que, son vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, proporcionando energía y materiales estructurales necesarios para su funcionamiento.
Nitrógeno (N)	Favorece un crecimiento acelerado y estimula la producción de clorofila, así como la síntesis de aminoácidos y proteínas.
Fósforo (P)	Estimula el desarrollo de las raíces y promueve la formación de semillas. Además, juega un papel esencial en la fotosíntesis y el proceso de reparación de tejidos vegetales.
Azufre (S)	Es esencial para la síntesis de aminoácidos y vitaminas en las plantas, además, contribuye a mantener el cuidado y prevenir daños a las células en condiciones ambientales adversas (frío, calor).
Calcio (Ca)	Es un componente fundamental de las estructuras celulares, otorgando fortaleza a las paredes celulares y colaborando en la división celular.
Potasio (K)	Es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, influyendo en la regulación del equilibrio hídrico, la activación de enzimas, el transporte de carbohidratos, la regulación del crecimiento y la tolerancia al estrés.
Magnesio (Mg)	Es un constituyente clave de la clorofila, las enzimas y algunas vitaminas en las plantas. Además, es responsable del color verde de las hojas.
Micronutrientes	
Molibdeno (Mo)	Contribuye a la fijación del nitrógeno y al proceso de síntesis de proteínas en las plantas.
Hierro (Fe)	Actúa como catalizador en la producción de clorofila y forma parte de diversas enzimas cruciales para el metabolismo vegetal.
Zinc (Zn)	Esencial para la formación de auxinas, hormonas vegetales clave, y para la síntesis de almidón, una reserva de energía en las plantas.
Manganeso (Mn)	Participa activamente en la síntesis de clorofila, esencial para la fotosíntesis y el metabolismo de las plantas.
Cobre (Cu)	Componente esencial de varias enzimas vitales para la función metabólica, incluida la síntesis de clorofila y el proceso de respiración.
Cloro (Cl)	Es esencial para la fotosíntesis y contribuye a mantener el equilibrio iónico y la presión osmótica en las células vegetales.
Boro (B)	Crucial para la floración, formación de frutos y la división celular, fundamental en el desarrollo y reproducción de las plantas.
Silicio (Si)	Fortalece sus tejidos, aumentando su resistencia a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas.

Fuente: (Estrella, 2013); (INTAGRI, 2017)

3.9.6. Relación Carbono/Nitrógeno

Es un parámetro importante ya que es la relación que contiene el sustrato la cual indica la proporción de la cantidad tanto de carbono y nitrógeno, estos elementos benefician el desarrollo y crecimiento de las plantas (Akratos, Tekerlekopoulou, Vasiliadou, & Vayenas, 2017).

Existen tres maneras de clasificar la relación C/N, por ello si la relación es baja indica que contiene mayor nitrógeno en el sustrato a diferencia del carbono, lo cual puede ser por dos opciones diversas; la primera opción puede ser porque el sustrato proporciona suficiente N y microorganismos ya que estimula el desarrollo de las plantas, la segunda opción puede ser por un suelo con indicio de agotamiento, por ende, sería bajo el contenido de materia orgánica lo cual puede ser ocasionado por las altas temperaturas. Una relación de C/N alta significa que en el sustrato hay mayor carbono que nitrógeno, puede ser por acumulación excesiva de materia orgánica pero limitada disponibilidad de nitrógeno. Por otro lado, una relación C/N proporcionada es deseable para suelos eficientes, lo cual señala que hay apto nitrógeno disponible para las plántulas (The Grower, 2023), por ello la proporción ideal es de 24:1 (Stenger & Hobgood, 2018).

3.10. Tipos de Sustratos

3.10.1. Aserrín de balsa

Son los residuos de la madera de balsa cuando se usa aserrín se necesita 30 a 40 días de compostaje, se debe humedecer y cubrir con sábanas plásticas cuando está apilado (Kim, 2018) menciona algunas composiciones químicas.

Tabla 6

Composición química del aserrín de balsa

Composición química	
Celulosa	45%
Lignina	17%
Cera	2,29%
Ceniza	0.2-5.8%

Es hidrófoba con bajas propiedades de humectabilidad a causa de la cera que se encuentra en la superficie del aserrín. Además, su densidad es baja, con una porosidad alta de 80-90% (Silva, y otros, 2022).

3.10.2. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz aproximadamente es el 20% del peso, es decir, es la cubierta que se obtiene de los desechos del grano de arroz la cual contiene 30-50% de carbono orgánico (Hernández, y otros, 2023). La cáscara de arroz puede utilizarse como combustible para generar electricidad a escala comercial y mejora el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Sus propiedades físicas contienen una densidad aparente de 90-150 kg/m³, su pH es levemente ácido a neutro, alta capacidad de aire y porosidad, su descomposición es lenta (Singh, 2018). Además, según (Yin, Li, Liu, & Tang, 2022) indica la composición química que se muestra a continuación:

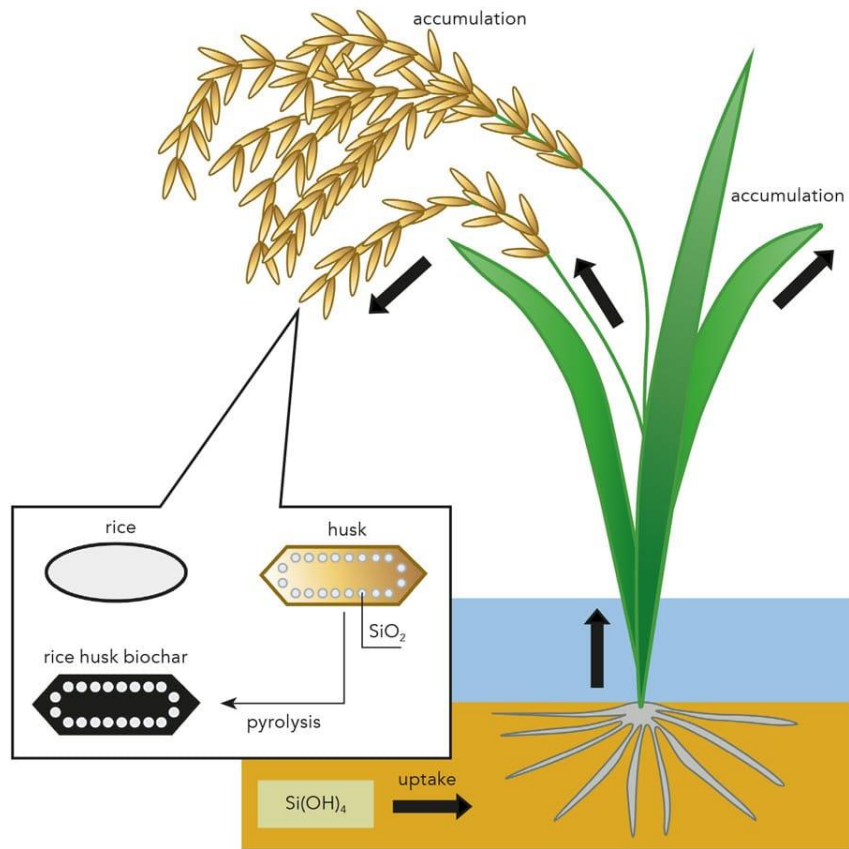
Tabla 7

Composición química de la cascarilla de arroz

Composición química	
Celulosa	50%
Lignina	25-30%
Humedad	10-15%
Silicio	15-20%
Potasio	0,5-4%
Calcio	0,3-2%
Magnesio	0,3-1%
Hierro	0,5-2%

Figura 1

Esquema de la absorción y acumulación de silicio (Si) en la planta de arroz



Nota. El ácido ortosilícico capta en el arroz la cual se encuentra en la cáscara de arroz el dióxido de silicio y ocurre en la cascarilla de arroz tostada la pirólisis. Tomada de Ebe, Ohike, Okanami, & Ano, 2019, <https://researchoutreach.org/articles/rice-husk-biochar-agricultural-inoculant-soil-ameliorant/>.

3.10.3. Cascarilla de arroz tostada

La cáscara de arroz tostada se puede utilizar como componente en sustratos, ya que permite la penetración e intercambio de aire en la base de la raíz. Sus propiedades físicas constan con alta capacidad de drenaje, fácil manipulación, bajo peso, pH ligeramente alcalino, libre de fitopatógenos, además contiene químicamente dos macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas tales como K y Ca (Mamudo, y otros, 2021). También, el potasio y

oligoelementos acciona como encalador que puede ayudar a remediar suelos ácidos (Ebe, Ohike, Okanami, & Ano, 2019).

La aplicación de cascarilla tostada aumentó la biomasa de las raíces, la morfología, la concentración de nutrientes y los microbios asociados. No obstante, hay escasa información sobre el efecto de la aplicación de cascarilla de arroz tostada sobre el crecimiento de raíces finas y gruesas (Kartika, y otros, 2021).

3.10.4. Compost

Se trata de un fertilizante compostado obtenido a partir de la mineralización de diversos desechos vegetales y animales, que no contiene patógenos y aporta una gran cantidad de microorganismos beneficiosos (Barbaro L. , 2023). Se puede utilizar en forma pura o en mezclas entre 20% a 80% con otros componentes, además su pH es de 6.5-7 y su materia orgánica es de 41,3 %. (Megagro, 2019) Su composición contiene:

Tabla 8

Composición de nutrientes en el compost

Composición de nutrientes	
Nitrógeno	2,05%
Fósforo	1,06%
Potasio	1,23%
Calcio	1,02%
Magnesio	0,56%
Zinc	228 ppm
Manganeso	327 ppm
Cobre	254 ppm

3.10.5. Corteza de pino compostada

Es un residuo del pino la cual se utiliza cruda, envejecida o compostada la cual se descompone lentamente a causa del contenido de madera y presenta propiedades de determinados hongos (Barbaro L. , 2023).

Su pH es ácido de 6 y tiene conductividad eléctrica de $0,51 \text{ mS cm}^{-1}$, además su densidad es de 438 kg/m^3 , su porosidad total de 65% y espacio de aireación 20% (Avrella, Weber, & Fior, 2018).

3.10.6. Fibra de coco

Es un derivado de la cáscara de coco que son desechadas y se realiza un proceso de compostaje máximo de ocho meses para obtener mejores propiedades físicas lo cual se observa mediante la granulometría ya que es una excelente alternativa para utilizar como sustrato, la composición química consta de diversos elementos (Kiron, 2021).

Tabla 9

Composición química de la fibra de coco

Composición química	
Celulosa	43.44%
Lignina	45.84%
Hemicelulosa	0.25%
Pectina	3%
Ceniza	2.22%
Soluble al agua	5.25%

Algunas propiedades físicas son la densidad baja de 1.4 g/cc , humedad al 65% de HR contiene 10.50%, además su pH es levemente ácido, porosidad alta, retención de agua y capacidad de aire excelente (Hossain, 2021).

4. Metodología

4.1. Ubicación del Área de Investigación

4.1.1. Ubicación Política

Tabla 10

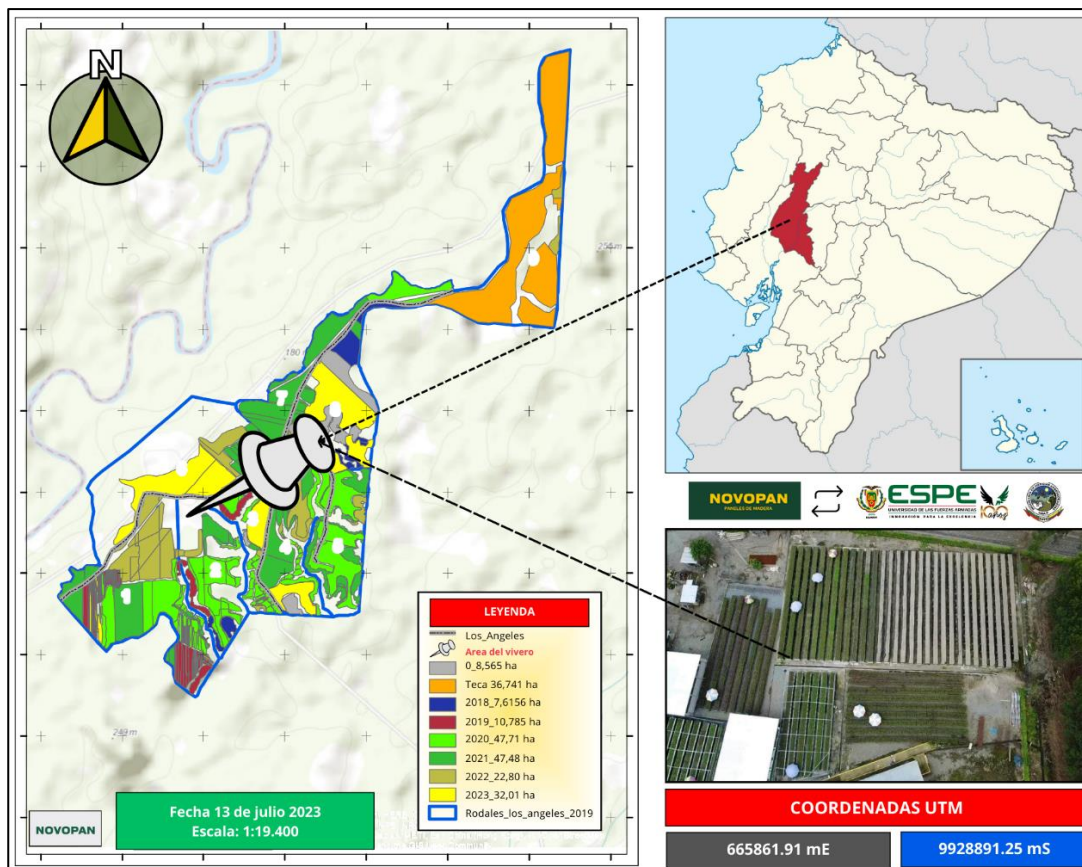
Ubicación política del sitio de investigación

País	Provincia	Cantón	Parroquia	Sector
Ecuador	Los Ríos	Buena Fe	Patricia Pilar	Los Ángeles

4.1.2. Ubicación Geográfica

Figura 2

Mapa de la ubicación geográfica del sitio donde se realizó la investigación



4.1.3. Ubicación Ecológica

Tabla 11

Datos ecológicos de la zona de investigación

Parámetros ecológicos	Valor
Zona de vida de Holdringe	bh-T
Temperatura máxima promedio	30,7 °C
Temperatura mínima promedio	22,8 °C
Temperatura promedio	26,7 °C
Humedad relativa	86,6%
Altitud	139 msnm
Topografía	Irregular
Precipitación media anual	2265 mm

Fuente: (Gallardo, 2018); (Climwat 2016).

4.2. Materiales para los Sustratos

Tabla 12

Materias primas utilizadas en la preparación de los sustratos

Materia prima	Cantidad/ kg
Cascarilla de arroz	6,20 Kg
Cascarilla de arroz tostada	10,85 kg
Corteza de pino	25,46 kg
Compost	11,31 kg
Fibra de coco	4,30 kg
Aserrín de balsa	4,37 kg

Nota: La tabla muestra la cantidad en kg que se utilizó de cada materia prima para la preparación de los sustratos ,una vez se obtuvo el peso de cada mezcla en los tubetes mediante su porcentaje y multiplicado por el número de plantas, se determinó la cantidad en kilogramos que se necesitó

para realizar la presente investigación , además cabe recalcar que para cada materia prima se agregaron dos kg para destinarlos a las muestras con las que se realizaron los análisis de las propiedades físicas y químicas.

4.3. Materiales en la Fase de Vivero

Tabla 13

Materiales e insumos utilizados en la propagación clonal durante toda la fase de vivero.

Preparación de sustratos	
Insumos	Cantidad
Bandejas	16
Tubetes/bandejas	140
Tubetes totales	2240
Palas	2
Gavetas	4
Carretillas	2
Material identificador	
Paletas	64
Etiquetas	16
Materiales de propagación	
Varetas (Clones /esquejes)	2240
MAP	240 gr
Agua	A necesidad
Sustratos	30,29.,16 y16 gr/tubete/ tratamiento respectivamente
AIB (Hormona enraizante)	-
Control preventivo de hongos e insectos	
Metalaxyl	1
Propiconazole	1
Decís	1
Bomba de 4L	1

4.4. Materiales de Evaluación en Campo

Tabla 14

Materiales y equipos utilizados en la evaluación de las plantas producidas

Material / Equipo	Cantidad
Balanza gramera	1
Cinta métrica	1
Calibrador o pie de rey	1
Cartulina	5
Probeta	1
Regla	1
Libretas de apuntes	2
Lapiceros	2
Marcadores	2

4.5. Materiales de Evaluación en Oficina

Tabla 15

Materiales y softwares utilizados en el análisis de datos

Equipos	Cantidad
Computadoras	2
Calculadoras	2
Libreta	1
Softwares	
Excel	-
Infostat	-
Word	-

4.6. Diseño Experimental

4.6.1. Factores por Probar

El diseño fue unifactorial para lo cual el único factor que se probó fueron los sustratos.

4.6.2. Tratamientos por Comparar

- **T1** = 75% corteza de pino + 25% Cascarilla de arroz
- **T2**= 75% Corteza de pino + 25% Cascarilla de arroz tostada
- **T3**= 50% Compost + 25% Aserrín de balsa + 25% Cascarilla de arroz tostada
- **T4**= 50% Compost + 25% Fibra de coco + 25% Cascarilla de arroz tostada

4.6.3. Tipo de Diseño

El presente proyecto de integración curricular se llevó a cabo mediante un DCA diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

4.6.4. Características de las Unidades Experimentales

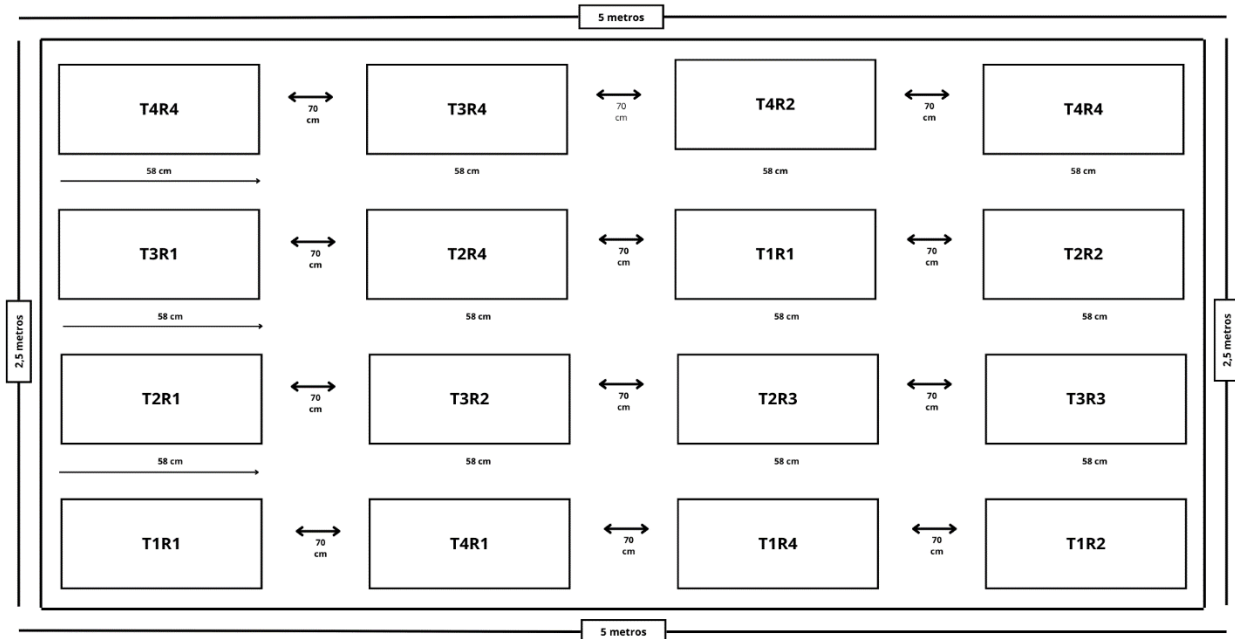
Se realizaron cuatro repeticiones por cada tratamiento, produciendo un total de 16 unidades experimentales las cuales se describen a continuación:

- Número de unidades experimentales: 16
- Área de las unidades experimentales: 0,23 m²
- Largo: 58 cm
- Ancho: 38 cm
- Forma de la unidad experimental: rectangular
- Área total del ensayo: 12,5 m²
- Largo: 5m
- Ancho: 2,5 m

4.6.5. Croquis o Distribución Espacial del Ensayo

Figura 3

Diseño completamente al azar de los cuatro tratamientos con sus cuatro repeticiones



4.6.6. Análisis de la Varianza

Tabla 16

Esquema del análisis de varianza

Fuentes de variación		Grados de libertad
Tratamientos	t-1	3
Error experimental	t (r-1)	12
Total	t*r-1	15

4.6.7. Modelo Lineal

Ecuación 7

Modelo lineal del análisis estadístico

$$y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

4.6.8. Coeficiente de Variación

Ecuación 8

Coeficiente de variación para la determinación de la confiabilidad y homogeneidad de los datos

$$cv = \frac{Sx}{|\bar{x}|}$$

Donde:

X: Variable sobre la cual se calculó la varianza

Sx: Desviación estándar

\bar{x} : Media del conjunto de observaciones

4.7. Análisis Funcional

Se utilizó la prueba de Tukey al 5% para la comparación de medias en las diferentes evaluaciones que se realizaron

Ecuación 9

Test de Tukey

$$W = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

4.8. Análisis Económico

Se realizó un análisis de los costos de producción en cada sustrato.

4.9. Variables por Evaluar

Para la determinación de la producción y el crecimiento inicial de las plantas de eucalipto se evaluaron cuatro variables descritas a continuación:

4.9.1. Longitud Radicular

Luego de 21 días que es el tiempo que las estacas estuvieron en casa de vegetación enraizando, se realizó la primera evaluación, para lo cual se tomó cuatro plantas al azar por unidad experimental, las cuales se sumergió en agua para quitar los restos de sustratos adheridos a la raíz y luego con una cinta métrica se determinó la longitud radicular en cm, las mediciones posteriores se realizaron cada 15 días después de la primera evaluación.

4.9.2. Peso Radicular

Al igual que la longitud radicular se hizo una primera medición a los 21 días, y desde ese punto se evaluó el peso cada 15, los gramos de cada raíz se obtuvieron con la ayuda de una balanza gramera marca Casio.

4.9.3. Diámetro a la Altura del Cuello

Para el diámetro si se realizó una toma de datos inicial al momento de la cosecha de las estacas y 21 días después con la ayuda de un pie de rey, al igual que las dos variables anteriores una vez que las plantas salieron de casa de vegetación a zona de aclimatación se midió cada 15 días, para lo cual el calibrador o pie de rey se situó en la transición de la parte radicular y la parte aérea de la planta y los datos se obtuvieron en milímetros.

4.9.4. Altura de la Planta

Al igual que el diámetro se tomó la altura de las plantas con la ayuda de una cinta métrica en el momento de la cosecha de estacas y 21 días después, mientras las mediciones posteriores también se realizó cada 15 días.

4.9.5. Porcentaje de Mortalidad

Se calculó el porcentaje de plantas muertas en fase de invernadero al día 21, mientras que la mortalidad en fase de aclimatación se realizó cuando se hizo la última toma de datos de para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 10

Tasa de mortalidad

$$Tm = \frac{Pm}{PT} \times 100$$

Donde:

Pm: Número de plantas muertas

PT: Número de plantas inicialmente propagadas

4.9.6. Análisis Físicos de los Sustratos

Dentro de los análisis físicos se evaluaron cinco parámetros para los cuatros sustratos, los cuales se muestran a continuación:

4.9.7. Densidad Aparente

Se llenó 50 tubetes de 50 c/c por cada sustrato de la forma en que habitualmente se haría para la propagación de las estacas, una vez llenos se pesó uno por uno para obtener la cantidad en gramos que entraba en cada tubete y se sacó el promedio para tener una mayor exactitud de la masa en gramos y luego se reemplazaron los valores en la siguiente fórmula:

Ecuación 11

Densidad aparente de los sustratos de (Pire & Pereira 2003)

$$Da = \frac{\text{Peso del contenedor (gr)}}{\text{Volumen del contenedor (cm3)}} \times 100$$

4.9.8. Densidad Real

Para calcular la densidad de cada uno de los sustratos se utilizaron los valores obtenidos de la densidad aparente y se reemplazaron en la siguiente fórmula:

Ecuación 12

Densidad real de los sustratos de (Pire & Pereira 2003)

$$Dr = \frac{\text{Densidad aparente}}{1 - \frac{\text{Porosidad total}}{100}}$$

4.9.9. Porosidad

Se utilizo el método de (Landis & Bernalt), en el cual primero se midió el volumen del contenedor, es decir, los mililitros de agua que llegaba a contener cada tubete , una vez obtenido el dato, se le tomo como volumen del contenedor, después se procedió a agregar el sustrato en el tubete tal como se lo hace de forma normal y se tapó la parte inferior con una cinta, para después agregar un volumen conocido de agua con la ayuda de una probeta graduada hasta que el sustrato llegue a saturación y el dato se tomó como volumen de poros, posteriormente se colocaron los tubetes por arriba del suelo a una altura considerable para poder poner unos vasos debajo de cada tubete y así obtener la cantidad de agua drenada durante 2 horas, lo cual, se tomó como volumen de poros de aireación y por último, se reemplazaron los valores en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 13

Porosidad total

$$\text{Porosidad total \%} = \frac{\text{volumen total de poros}}{\text{Volumen del contenedor}} \times 100$$

Ecuación 14

Porosidad de aireación

$$\text{Porosidad de aireación \%} = \frac{\text{Volumen de poros de aireación}}{\text{Volumen del contenedor}} \times 100$$

Ecuación 15

Porosidad de retención de agua

$$\text{Porosidad de retención de agua} = \text{Porosidad total} - \text{Porosidad de aireación}$$

4.10. Análisis químicos de los sustratos

Los análisis químicos de los sustratos se envió a un laboratorio especializado, llamado Eco-alternativas ubicado en la parroquia Pifo de la provincia de Pichincha, la metodología de recolección y envío de muestras se muestra a continuación:

4.10.1. Preparación de Muestras

Para cada sustrato se prepararon las proporciones en una gaveta individual como se describe a continuación:

4.10.1.1. 75% Corteza de Pino + 25% Cascarilla de Arroz.

Para T1 como la proporción fue 3:1 se realizó la mezcla en una gaveta industrial con las siguientes medidas altura 30,5 cm, ancho 39 cm, Largo 59,5 cm y capacidad de 40 kg, donde se agregó tres palas de corteza de pino por una de cascarilla de arroz, y posteriormente se mezcló para que los materiales se distribuyan de forma correcta.

4.10.1.2. 75% Corteza de Pino + 25% Cascarilla de Arroz Tostada.

Al igual con el tratamiento 1 al tener las mismas proporciones por cada tres palas de corteza de pino se agregó una de cascarilla de arroz tostada y se mezcló de manera homogénea en la gaveta.

4.10.1.3. 50% Compost + 25% Aserrín de Balsa + 25% Cascarilla de Arroz Tostada.

A diferencia de los dos tratamientos mencionados anteriormente la proporción del T3 fue 2:1:1 por lo cual se agregó 2 palas de compost por una de aserrín de balsa y una de cascarilla de arroz tostada, y se mezcló en su gaveta individual.

4.10.1.4. 50% Compost + 25% Fibra de Coco + 25% Cascarilla de Arroz Tostada.

De la misma forma que T3, se preparó con la proporción 2:1:1 por palas y se agregó a la gaveta individual para proceder con la mezcla. Cabe recalcar que a todas las proporciones se les desinfectó y se les aplicó MAP razón de 15 gramos por gaveta.

4.10.2. Método de muestreo

Para que las muestras fuesen representativas, una vez que se mezcló bien a cada sustrato, se cogieron distintas submuestras dentro de la gaveta siguiendo el esquema en Z, hasta obtener 1 kg que fue el peso que se envió al laboratorio.

Figura 4

Esquema de recolección para enviar muestras de sustratos al laboratorio.

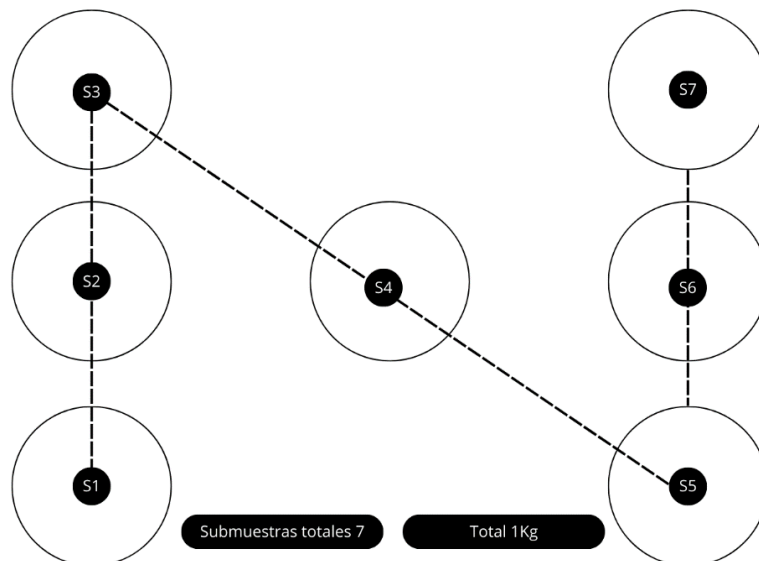


Tabla 17*Parámetros y métodos del AQS utilizados a nivel de laboratorio*

Parámetros	Método
Ph	NTC 5264
Conductividad eléctrica	Celda electroquímica
% de materia orgánica	NTC 5167
Capacidad de intercambio catiónico	NTC 5268
% de carbono orgánico	NTC 5167 Walkey Black
Relación carbono/ nitrógeno	-
Macronutrientes	
Nitrógeno total	NTC 370
Fosforo	NTC 5350
Potasio	NTC 1369 Absorción atómica
Azufre	NTC 1154 Turbidimetría
Calcio	NTC1369 Absorción atómica
Magnesio	NTC 1369 Absorción atómica
Micronutrientes	
Hierro	NTC 1369 Absorción atómica
Manganeso	NTC 1369 Absorción atómica
Zinc	NTC 1369 Absorción atómica
Cobre	NTC 1369 Absorción atómica
Boro	NTC 1860
Sodio	NTC 1369 Absorción atómica

Nota: La tabla 17 se adjuntó para posibles y futuras investigaciones que deseen comparar las propiedades químicas de los sustratos evaluados en la presente investigación y con los mismos métodos utilizados por el laboratorio Eco-alternativas.

4.11. Índice de calidad de Dickson

Para la determinación de la calidad de la planta se escogió de forma aleatoria cuatro plantas por tratamiento en la última toma de datos, es decir, antes que estas sean enviadas a campo, y su índice se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura cm}}{\text{Diametro del cuello de la raiz mm}} \right) + \left(\frac{\text{Peso seco parte aerea g}}{\text{Peso seco raiz g}} \right)}$$

Para lo cual, se ingresó las plántulas de cada tratamiento durante dos horas cada 15 min en el horno, por ende, se obtuvo en seis tomas el peso seco total de la planta, peso seco de la raíz y el peso seco de la parte aérea.

5. Resultados y Discusión

5.1. Propiedades Físicas de los Sustratos

5.1.1. Porosidad

Tabla 18

Análisis de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua para los cuatro sustratos en estudio

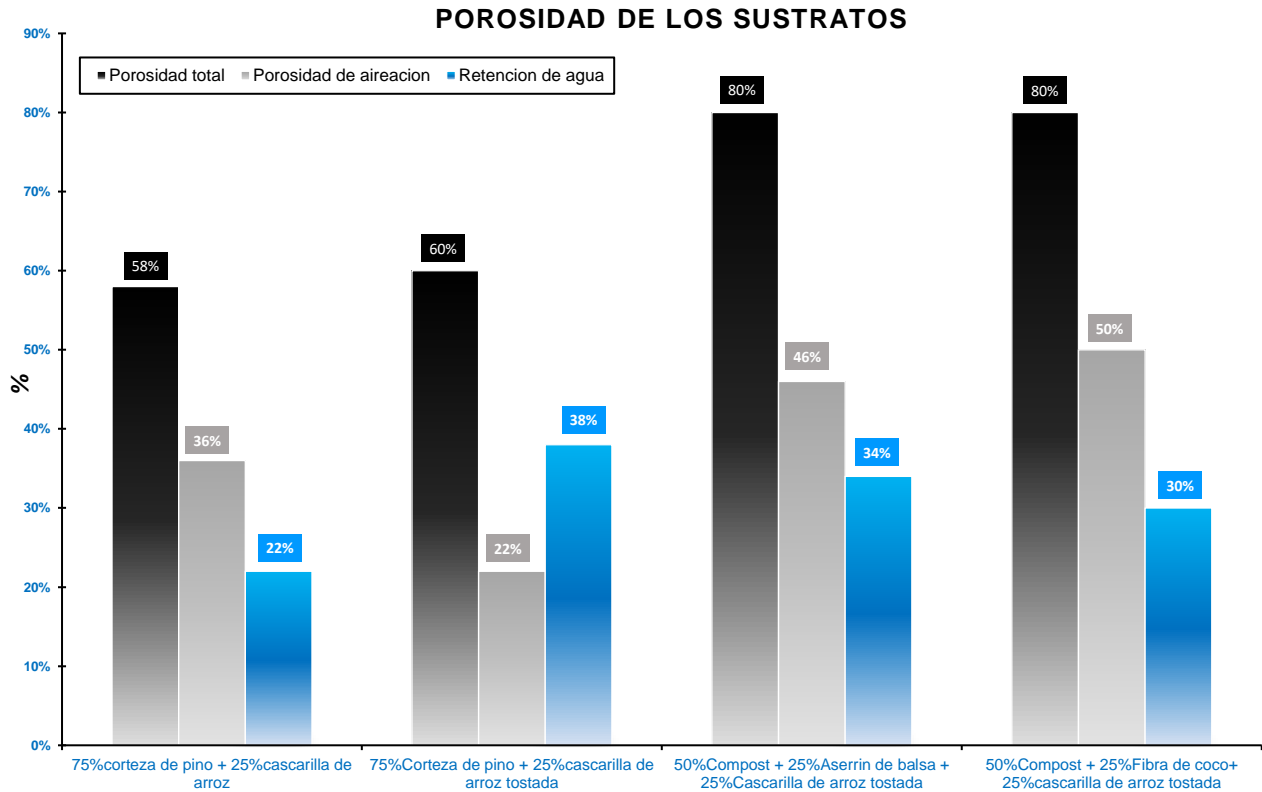
Tratamientos	VTP	VPA	R	PT	PA	PRA
75%corteza de pino+25% cascarilla de arroz	29	18	11	58%	36%	22%
75%Corteza de pino + 25%cascarilla de arroz tostada	30	11	19	60%	22%	38%
50%Compost+25%Aserrin de balsa+25%Cascarilla tostada	40	23	17	80%	46%	34%
50%Compost+25%Fibra de coco+25%cascarilla tostada	40	25	15	80%	50%	30%

Nota: La tabla número uno muestra los diferentes volúmenes de agua que se agregaron a cada sustrato para así obtener los porcentajes de porosidad mediante el método de (Landis & Bernalt, 1991); de tal manera que VTP fue igual al volumen total de poros que indica la cantidad de agua que se agregó al sustrato hasta saturarlo completamente, mientras que VPA fue igual al volumen de poros de aireación, es decir a la cantidad de agua medida en volumen que se drenó libremente durante dos horas, y por último R fue igual al volumen de agua que quedó retenido en el sustrato, además de ello también se observan los valores en porcentajes de cada una de las porosidades obtenidas luego de reemplazar los volúmenes en las ecuaciones mostradas en el apartado de metodología, obteniéndose como PT al porcentaje de porosidad total, PA al porcentaje de porosidad de aireación y a PRA como porcentaje de porosidad de retención de

agua, cabe recalcar que estas mediciones se realizaron 3 veces en distintas horas y los resultados se promediaron para obtener valores altamente representativos.

Figura 5

Representación gráfica de los porcentajes de porosidad



De acuerdo con un artículo de revisión publicado por (Escobar & Buamscha, 2015) Los valores de porosidad en sustratos a base de corteza de pino y cascarilla de arroz cruda en (*Eucaliptus globulus*) presentaron rangos de porosidades totales entre 52% a 58% para semillas , mientras que para estacas los valores fueron de 63 a 75% , de tal forma que para la presente investigación los valores se situaron en 58% para el T1; 60% para el T2 ; 80% para el T3 y 80% para el T4, siendo que el tratamiento 2 fue el más cercano al rango optimo con un 60% de porosidad total.

Los rangos de porosidad de aireación en estacas de *E. globulus* que fueron reportadas por (Escobar & Buamscha, 2015) se encontraron en 23 a 35% , mientras que en la presente investigación solo el tratamiento 2 a base de 75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada se acercó al valor del rango optimo con un 22% de porosidad de aireación.

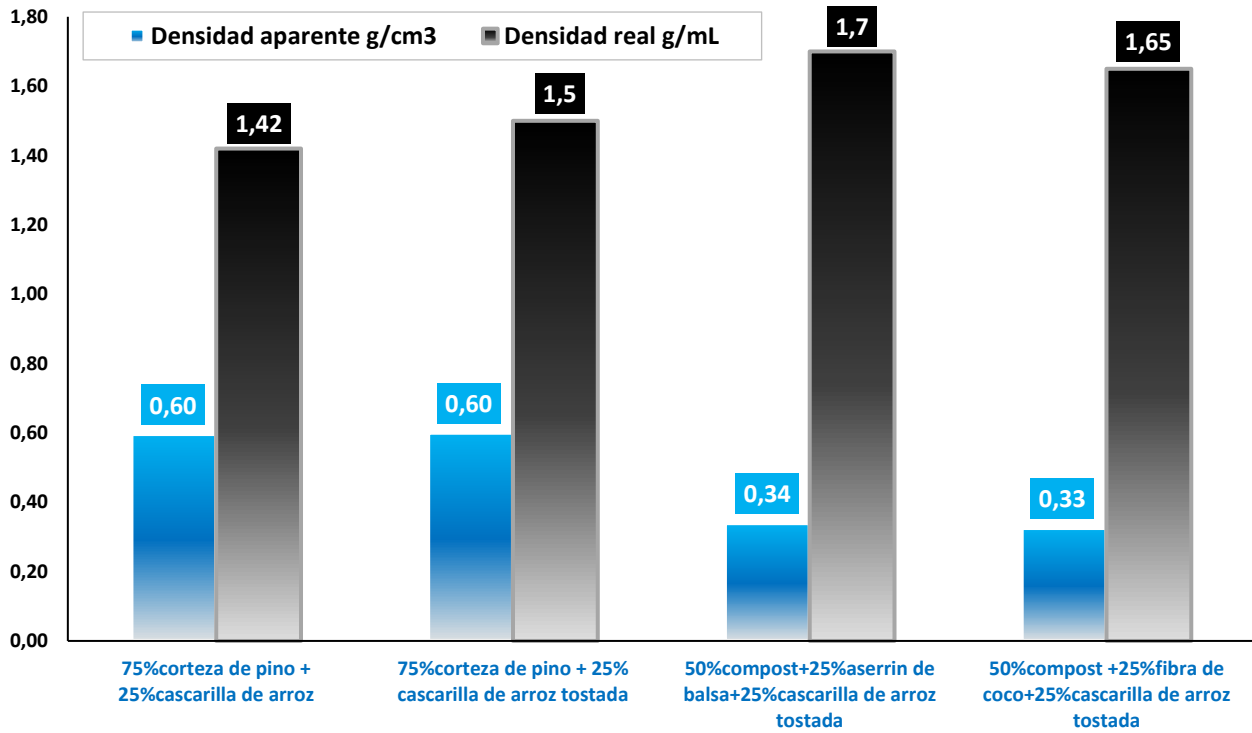
La porosidad de retención de agua que reporto la literatura se situó en 38-40%, mientras que en la presente investigación el único sustrato que si entra en el rango adecuado es el de 75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada.

Un estudio realizado en la caracterización física y química de sustratos orgánicos a base de cortezas y aserrín de pino por (Garibay, Aldrete, Lopez Upton, & Ordaz Chaparro, 2020), mostro porosidades totales en un intervalo de 77% a 83%, y realizaron mediciones de porosidad total inicial y siete meses después de que la planta estuvo en el medio de crecimiento y obtuvieron variaciones poco significativas, mientras que reportaron que la única porosidad que si vario significativamente fue la de aireación, es por ello que la granulometría y disposición de partículas siempre debe apuntar a los poros de aire que son los que más se pierden considerablemente en un porcentaje de -1,45 % de porosidad de aireación cada mes dependiendo de la intensidad de riego y condiciones ambientales , no obstante en la presente investigación las únicas propiedades que si se midieron de forma inicial y final fueron el pH y la conductividad eléctrica , es importante destacar que determinar el final de las tres porosidades sería un dato muy importante para futuras investigaciones , por que con esto se puede inferir que los poros de aire se redujeron aproximadamente 4.35% en tres meses para los sustratos evaluados en el presente estudio, es importante tener en cuenta que la disminución en porosidad de aireación provoca un aumento en la porosidad de retención de agua en casi el mismo factor en que una se reduce el otra aumenta.

5.1.2. Densidad y Peso de los Sustratos en el Tubete de Crecimiento

Figura 6

Densidad real y aparente de los sustratos en estudio



(Cordova, 2008) , menciona que:” la densidad aparente es importante para el manejo y transporte de los contenedores , ya sea con el sistema radicular cubierto o descubierto, porque densidades bajas permiten transportar más plantas por peso y por unidad de superficie hacia el lugar de plantación, mientras que densidades superiores a 0,65 g/cm³ representarían pesos y cargas más considerables” (pág. 5). En base a ello los sustratos en estudio muestran densidades aparentes bajas >0,65 g/cm³ ,teniéndose en el sustrato 1 y 2 densidades aparentes de 0,60 para ambos tratamientos, mientras que el tratamiento 3 y 4 tuvieron densidades mucho menores con 0,34 y 0,33 g/cm³ respectivamente ,teniendo en cuenta que cada sustrato se estableció en tubetes de 50cc de capacidad los pesos en gramos de cada sustrato en su contenedor se muestran en la tabla 2; además teniendo en cuenta el tipo de producción que realiza la empresa

donde se llevó a cabo el presente estudio las plantas se trasladan a campo definitivo sin tubete, es decir, con el pan de tierra ya formado, en base a ello todos los sustratos evaluados estarían en el rango idóneo de densidad aparente, y el contenedor donde crecen y se forma el cepellón es el adecuado, lo cual entraría en contraposición con lo recomendado por (Granados C. A., 2019); donde menciona que :”La implementación de contenedores con mayores espacios, inducirían un mayor crecimiento radicular y por lo tanto mayor adaptación” (pág. 70). Lo cual, si demostró mayor crecimiento radicular, sin embargo, la implementación de contenedores más grandes implicaría mayores costos de producción, dado que se necesitaría de más sustrato por contenedor y el transporte sería menos eficiente porque entrarían menos plantas por unidad de superficie.

Tabla 19

Pesos en gramos de cada sustrato por cada tubete de 50 CC.

Tratamientos o sustratos	Peso gr	Tubete c/c
75%corteza de pino + 25%cascarilla de arroz	29,83	50
75%corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada	30,02	50
50%compost+25%aserrin de balsa+25%cascarilla de arroz tostada	16,98	50
50%compost +25%fibra de coco+25%cascarilla de arroz tostada	16,28	50

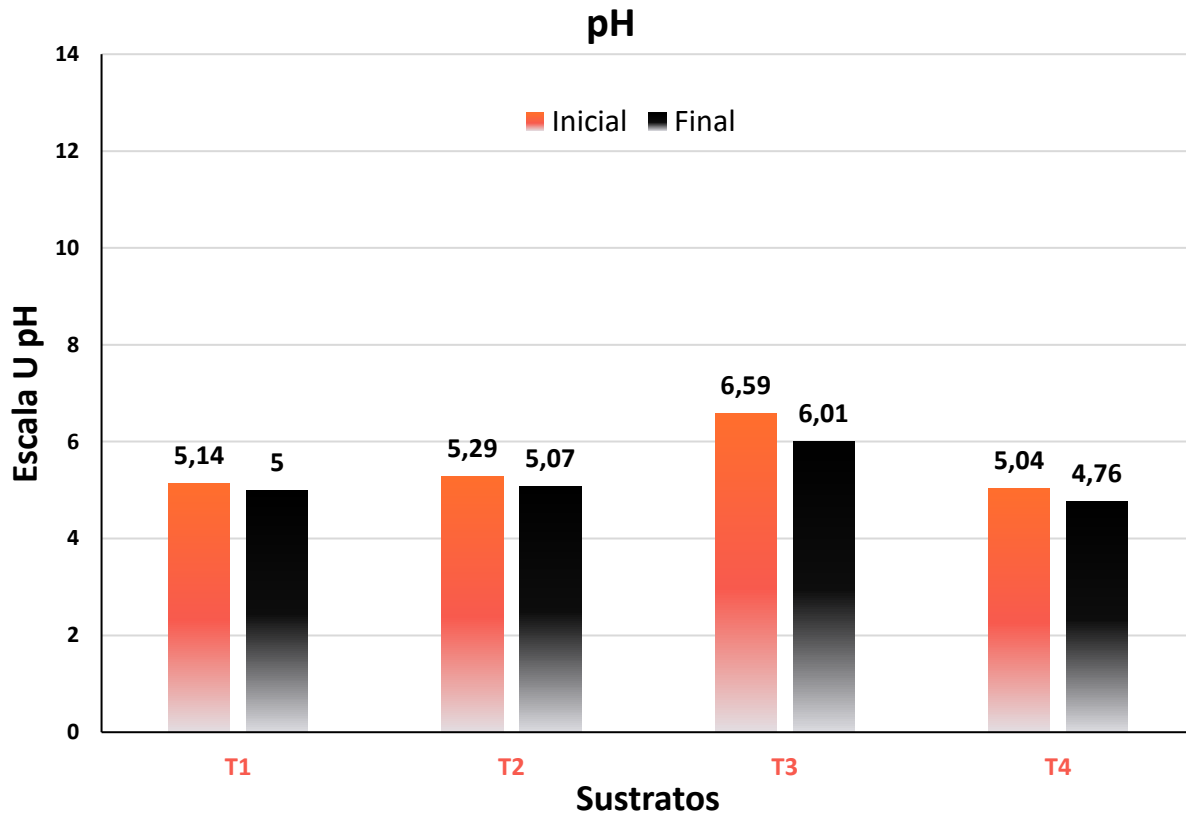
La densidad real y aparente se calculó mediante las fórmulas presentadas en el apartado de metodología , y son valores que sirvieron para obtener el peso en gramos por cada sustrato en cada tubete de 50 c/c, y para poder extrapolar los valores a cuantos gramos se necesitaran por cada bandeja de 140 tubetes y así poder sacar costos , dando por resultado que cada bandeja del T1 obtuvo un peso de 4,176 gramos por cada 140 tubetes, mientras el T2 4,202 gr por bandeja de 140, y el T3 Y T4 obtuvieron el menor peso por bandeja 2377 gr y 2279.2 gramos respectivamente.

5.2. Propiedades Químicas de los Sustratos

5.2.1. Potencial Hidrógeno

Figura 7

pH inicial y final de los cuatro sustratos.



(Aldrete, 2012) menciona que: El pH ideal para los sustratos en producción de estacas va desde los 5,2 a 6,2; siendo 5,8 el óptimo, ya que en este rango se encuentran disponibles la mayoría de los nutrientes esenciales y se da una buena solubilidad de hierro sin llegar a ser toxico. En base a ello el sustrato que se encontró dentro del rango adecuado fue el tratamiento dos a base de 75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada, seguido por el tratamiento tres a base de 50% compost + 25% aserrín de balsa + 25% cascarilla de arroz tostada que se

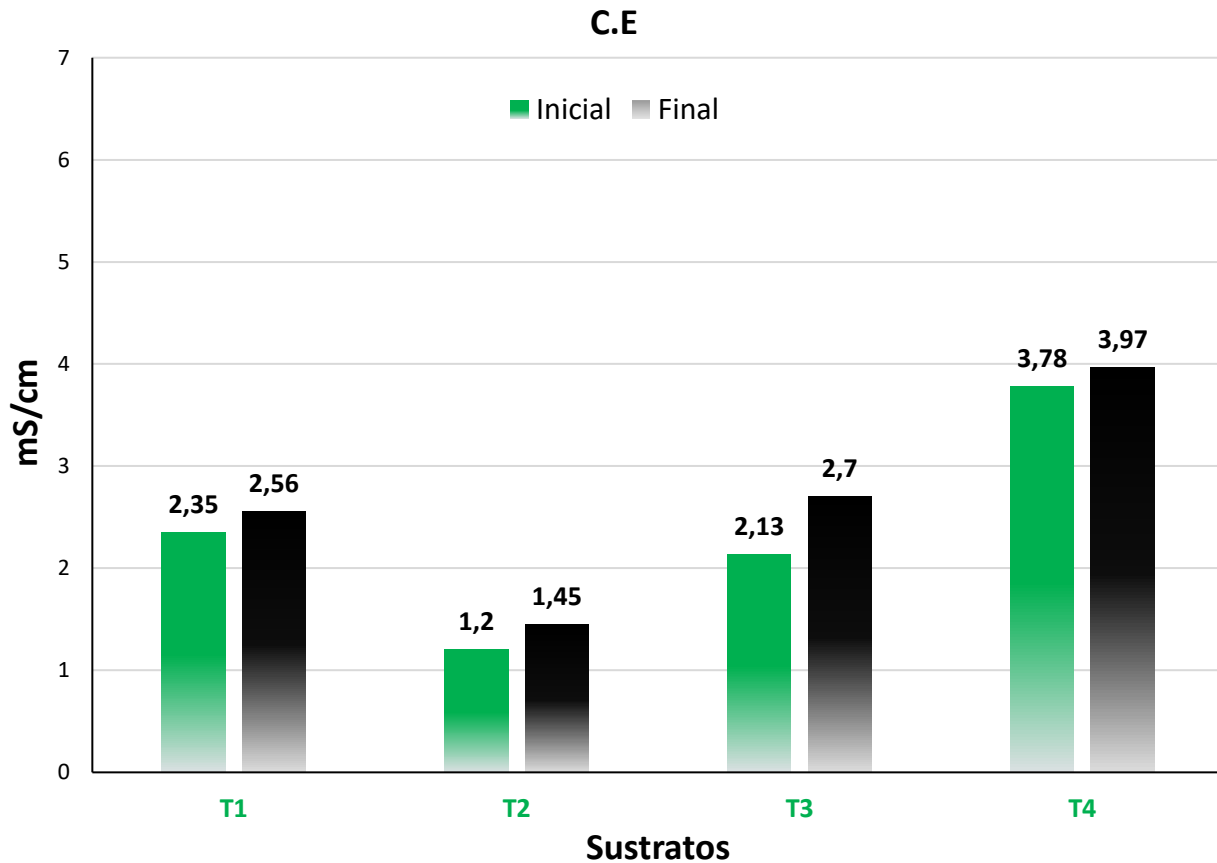
encontró por encima del rango, pero más cerca de la neutralidad, mientras el tratamiento uno y cuatro mostraron valores de acides con 5,14 y 5,04 respectivamente.

Se envió a un laboratorio especializado 1kg de muestras de cada sustrato para un análisis químico antes de que se propaguen las varetas , y tres meses después cuando las varetas ya crecieron se volvió a medir el pH de cada sustrato para determinar su variación, en la cual se observó que existió una disminución respecto a la primera medición , no obstante, los sustratos que más disminuyeron en su pH es decir se acidificaron más fueron el T3 y T4 , mientras el T1 y T2 mostraron diferencias mínimas en disminución respecto a la primera medida, pese a ello cabe destacar que en un estudio realizado por (Garibay, Aldrete, Lopez Upton, & Ordaz Chaparro, 2020), en sustratos a base de corteza de pino , turba de musgo y aserrín de pino aumentaron su pH en un factor de + 1,57 respecto a la primera medición, por lo cual lo reportado en otros estudios y lo obtenido no concuerdan, sin embargo, hay que tener en cuenta el tipo de fertilización y manejo realizado en cada caso , mientras que en el estudio de Garibay y otros en el 2020, al caracterizar los sustratos en base a corteza y aserrín de pino se usaron fertilizantes de liberación controlada y la medición final se realizó a los siete meses después de la siembra ,en el presente estudio se midieron los niveles de pH final tres meses después de la propagación vegetativa y la forma de fertilización fue mediante fertiirrigación en la cual el potencial hidrogeno del agua fue de 5, lo cual pudo incidir en bajar el nivel del pH final.

5.2.2. Conductividad Eléctrica

Figura 8

C.E inicial y final de los cuatro sustratos en estudio



El rango adecuado de conductividad eléctrica en sustratos a base de cortezas y aserrín mencionado por (Aldrete, 2012); es de 0,2 a 2 ms/cm , y de lo obtenido en los cuatro sustratos evaluados solo el tratamiento dos se encuentra en un valor adecuado de conductividad con 1,2 ms/cm, es decir es el que menos exceso de sales ionizadas y disueltas mostro en su contenido, por lo cual no tuvo ningún tipo de toxicidad, ni desecación de los tejidos por disminución del potencial osmótico debido a la salinidad.

Por otro lado, la FAO en el 2002, citado por Granados (2019), mencionan que la conductividad eléctrica ideal en sustratos va de 1 a 2 m/cm, en base a ello también el T2 se encuentra dentro del rango, mientras el T3 se acerca ligeramente con una C.E de 2,13 ms/cm.

En los resultados finales de C.E se encontraron valores más altos respecto a la medición inicial, dándose un mayor aumento en la conductividad eléctrica del tratamiento tres, mientras el dos se mantuvo dentro del rango adecuado a pesar de que aumento, pero en un nivel menor que el resto.

Tabla 20

Análisis e interpretación de las propiedades químicas de cada sustrato.

AQS		Tratamientos			
Propiedades químicas	Unidades	T1	T2	T3	T4
CIC	meq/100g	44,9	54,45	111,45	70,49
M.O	%	17,6	16,42	21,65	19,79
%CO	%	10,21	9,52	12,56	11,48
R C/N	:	16	13	10	14
Macronutrientes					
Nutrientes	Unidades	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno	%	0,64	0,72	1,28	0,8
Fosforo	%P2O5	0,62	0,46	2,04	1,1
Potasio	%K2O	0,2	0,23	1,48	0,65
Calcio	%CaO	0,66	0,86	1,23	0,92
Magnesio	%MgO	0,25	0,29	0,61	0,37
Azufre	mg/kg	105,13	109,7	5238,37	1549

Micronutrientes					
Nutrientes	Unidades	T1	T2	T3	T4
Hierro	mg/kg	1849	1830,5	2130,5	1957,5
Manganeso	mg/kg	112	136	428	209
Sodio	mg/kg	1037,5	1006,5	1423	1205,5
Cobre	mg/kg	10	11,5	94,5	29
Zinc	mg/kg	36	41	244,5	87,5
Boro	mg/kg	34,57	29,49	62,02	38,13

Los datos presentados en la tabla 20, ofrecen una visión detallada del análisis químico de los diferentes sustratos utilizados para la propagación de esquejes de *Eucalyptus urograndis*. De acuerdo con Adam et al. (2021), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es esencial para la asimilación de nutrientes por las plantas y para la amortiguación de la acidez del suelo; por lo tanto, determina la capacidad del suelo para retener y liberar iones positivos, como calcio, magnesio y potasio, fundamentales para el crecimiento vegetal.

En el contexto de este estudio, se observó que el tratamiento T3, compuesto por 50% de compost, 25% de aserrín de balsa y 25% de cascarilla de arroz tostada, exhibió el valor más alto de capacidad de intercambio catiónico (CIC), alcanzando 111,45 meq/100g. Por otro lado, el tratamiento T4, que consistió en 50% Compost, 25% de fibra de coco y 25% de cascarilla de arroz tostada, mostró un valor ligeramente menor de CIC, alcanzando 70,49 meq/100g. En contraste, los tratamientos T2 (54,45 meq/100g) y T1 (44,9 meq/100g) registraron los valores más bajos de CIC.

La disparidad entre los tratamientos en relación con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede atribuirse a la presencia y cantidad de materia orgánica que proporciona el compost,

como sugiere Sadeghian (2018). Según este autor, la CIC tiende a aumentar en 1,25 unidades por cada porcentaje de materia orgánica aportada al suelo. Conforme a la información recopilada por Carhuamaca (2015) los sustratos tienen una CIC óptima cuando superan los 20 meq/100 g, por lo tanto, todos los tratamientos cumplen con esta condición. Además, T3 posee una capacidad notable para retener cationes esenciales para el crecimiento del eucalipto, como calcio, potasio y magnesio, según lo corroborado por Lince et al. (2015).

En términos de materia y carbono orgánicos, el tratamiento T3 se destaca con un contenido significativamente alto (21,65% de materia orgánica y 12,56% de carbono orgánico), seguido por T4 (19,79% MO y 11,48% CO). Entre tanto, T1 (17,60% MO y 10,21% CO) y T2 (16,42% MO y 9,52% CO) fueron los más reducidos. Esto indica una calidad de suelo potencialmente superior en T3 y T4 en términos de estructura y nutrición para las plantas. La presencia de compost en el suelo mejora la estructura del espacio poroso, lo que resulta en una disminución de la densidad del sustrato y un aumento de la retención de humedad. Esta mejora en la estructura del suelo conlleva una mejor permeabilidad del mismo, lo que facilita el intercambio gaseoso y el movimiento del agua. Además, durante el proceso de descomposición, el compost libera dióxido de carbono y ciertos ácidos orgánicos. Estos ácidos contribuyen a reducir el pH del suelo, lo que a su vez promueve la solubilización de los carbonatos y minerales del suelo, liberando nutrientes como el calcio (Castillo, 2016).

En cuanto a la relación C/N se determinó que el valor más alto se situó en T1 (16), seguido de manera descendente por T4 (14), T2 (13) y T3 (10). De acuerdo con Gamarra et al. (2007) valores altos en la relación C/N indican una descomposición lenta de la materia orgánica, mientras que valores entre 10 y 14 sugieren una descomposición más rápida y una disponibilidad óptima de nutrientes para las plantas, es por ello que el T1 estaría acercándose al rango, según (Carhuamaca K. , 2015) los niveles óptimos de los sustratos deben poseer una relación C/N de 20 a 40 puntos.

En el caso de los nutrientes específicos, el tratamiento T3, exhibe valores significativamente altos de nitrógeno (1,28%), fósforo (2,04% P_2O_5), potasio (1,48% K_2O), calcio (1,23% CaO), magnesio (0,61% MgO) y azufre indica alta toxicidad (5238,37 mg/kg). Mientras que, los valores más bajos los obtuvo T1 con 0,64% de N, 0,62% de P_2O_5 , 0,20% de K_2O , 0,66% de CaO , 0,25% de MgO y 105,13 mg/kg de S. Carhuamaca (2015) en su ensayo, elaboró un sustrato a partir del compostaje de corteza de pino, vermiculita y dolomita que alcanzó niveles de 0,60% de N, 0,03% de P_2O_5 , 0,38% de K_2O , 1,80% de CaO y 2,56% de MgO . Dichos valores se asemejan a los obtenidos en T1. Según Castillo (2016) los niveles nutricionales necesarios para producir especies forestales en vivero son de 1,40 a 2,20% en N, 0,20 a 0,40% en P, 0,40 a 1,50% de K, 0,20 a 0,40% de Ca y 0,10 a 0,30% de Mg

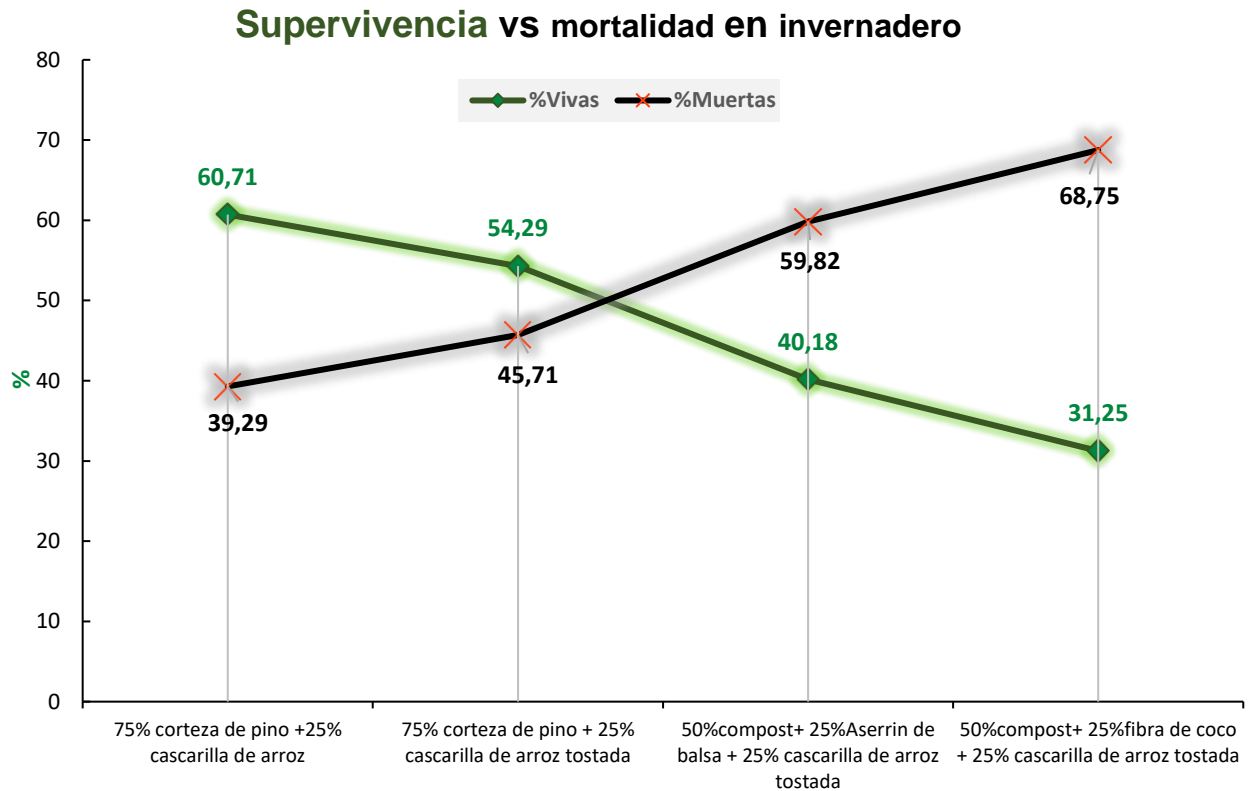
Según Acosta (2008), el nitrógeno, es fundamental durante la época de mayor desarrollo foliar, mientras que el fósforo sirve para el almacenamiento y transferencia de energía. El potasio por su parte es esencial para regular la apertura y cierre de estomas incrementando la tolerancia a heladas, sequías y salinidad.

Para el caso de los micronutrientes se destacó T3 (2130,50 mg/kg de Fe, 428 mg/kg de Mn, 1423 mg/kg de Na, 94,50 mg/kg de Cu, 244,50 mg/kg de Zn y 62,02 mg/kg de B) y T4 (1957,50 mg/kg de Fe, 209 mg/kg de Mn, 1205,50 mg/kg de Na, 29 mg/kg de Cu, 87,50 mg/kg de Zn y 38,13 mg/kg de B). Acorde a lo manifestado por Escobar (2017) la concentración óptima de micronutrientes para la fase de vivero de las especies de eucalipto es de: 4 mg/kg de Fe, 0,80 mg/kg de Mn, 0,32 mg/kg de Zn, 0,15 mg/kg de Cu y 0,50 mg/kg de B; estos valores son inferiores a los obtenidos en este estudio. Según Escobar (2017), el hierro en un 75% forma parte de los cloroplastos, por lo tanto, es indispensable para la síntesis de clorofila. El manganeso por su parte es necesario para el transporte de electrones entre el fotosistema II y el agua. Mientras que, el cobre, forma parte de las enzimas que usan oxígeno para la oxidación del sustrato (lacas, tirosinasa, ácido ascórbico oxidasa y fenolasas).

5.3. Porcentajes de Mortalidad y Supervivencia

Figura 9

Porcentajes de mortalidad en fase de invernadero para cada sustrato.

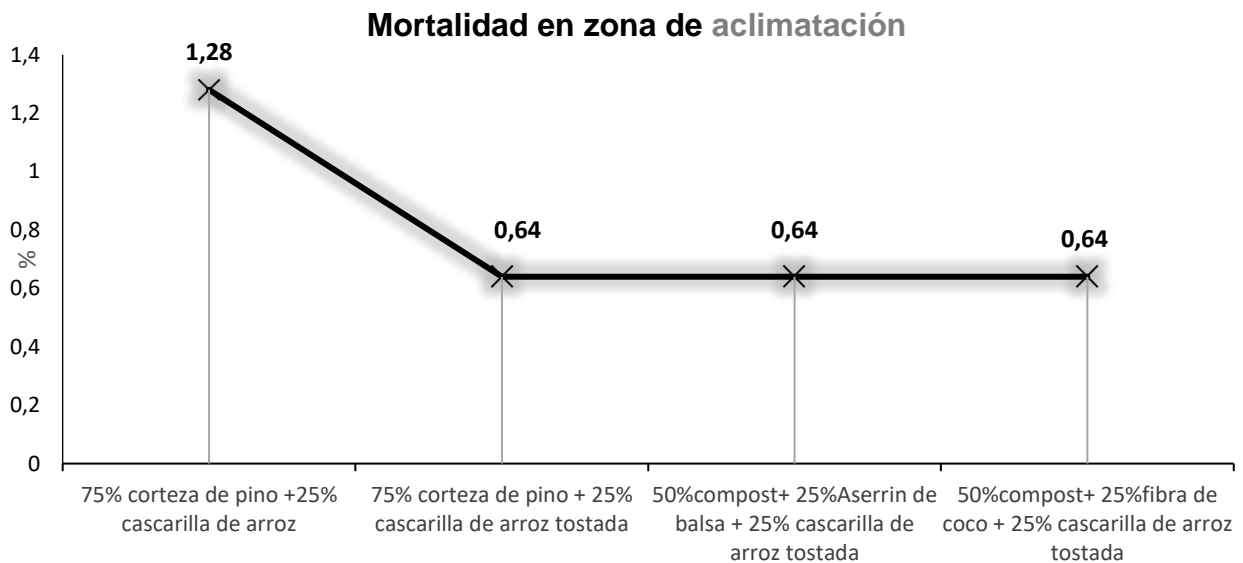


La figura 9 muestra la mortalidad y supervivencia que existió en fase de invernadero, obteniéndose un mayor porcentaje de mortalidad en el tratamiento cuatro, a base de 50% Compost+ 25% fibra de coco + 25% cascarilla de arroz tostada con un 68,75%, seguido por el tratamiento tres con un 59,82% ambos tratamientos superaron la mortalidad de 51% obtenida habitualmente en el invernadero. Mientras que en el tratamiento uno y dos las mortalidades fueron inferiores al 50%, obteniéndose un 39,29% y 45,71% respectivamente, cabe destacar que estos porcentajes representaron el total de plantas que se propagaron por cada tratamiento incluyendo sus cuatro repeticiones, de tal manera que inicialmente cada tratamiento tuvo 560 plantas, quedando vivas luego de la fase de invernadero para el T1 340, T2 304; T3 225 y T4 175 plantas. Además, cabe destacar que la tendencia que mostro la figura en base a la porosidad,

cuanto mayor humedad retenía un sustrato mayor fue la mortalidad, lo cual podría indicar que en esta fase de casa de vegetación el clon LA-157 no tiene un requerimiento hídrico muy alto respecto a otros clones.

Figura 10

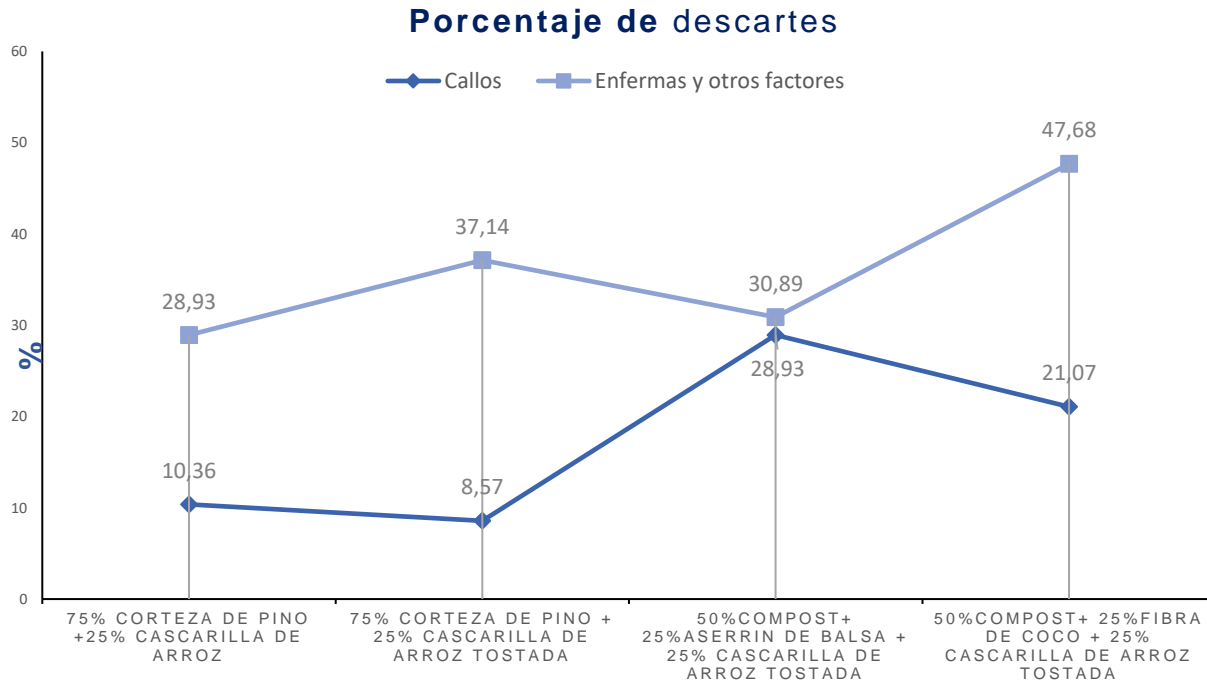
Porcentaje de mortalidad en fase de aclimatación



Al contrario de la mortalidad obtenida en casa de vegetación, el sustrato con menos porosidad de retención de agua ,fue el que mayor % de mortalidad mostro, siendo el T1 con 1,28% ,lo cual represento 5 plantas muertas, por otro lado los tratamientos 2,3 y 4 obtuvieron mortalidades más bajas siendo de 0,64% correspondiente a 2 plantas, sin embargo, la mortalidad en aclimatación fue muy baja respecto a la ocurrida en invernadero ,por lo cual se podría deducir que la fase que debería ajustarse en cuanto a frecuencias y tiempos de riego es los primeros días dentro del invernadero, así mismo es importante destacar que las plantas salieron a su fase de aclimatación al día 21 y una semana después se realizó una primera clasificación donde se eliminaron todas las plantas muertas y en mal estado quedando únicamente las más aptas para sobrevivir.

Figura 11

Porcentaje de plantas descartadas por callosidad.



Estos valores son derivados de los porcentajes de mortalidad obtenidos en fase de invernadero, con el fin de determinar cuántas plantas se descartaron por callosidad y cuantas por enfermedades y otros factores como pudrición por exceso de agua, de lo cual estos dos últimos conllevan relación. No obstante, en cuanto a los porcentajes de callosidad se mostró que en el T3 y T4 fueron mayores respecto a los otros tratamientos, además se vio que a pesar de que el Tratamiento 2 presento mayores descartes en relación con el T1, sin embargo, presento menor porcentaje de callosidad con un 8,57% correspondiente a 56 plantas de 220 que se descartaron pese a esto no se tiene claro cuál es el factor que induce a que se formen callos.

Cañizares (1972), citado por Niño (2022) y Morales (2020), Describen al callo como una masa amorfa e irregular con diferentes estados de lignificación; en todo caso podría tratarse de un sistema defensivo, pese a ello la formación no es sinónimo de enraizamiento, por el hecho

que las raíces no se forman del callo sino de los radios vasculares continuos de la estaca, por otra parte Hartman y Kester (1998), mencionan que en gran probabilidad las primeras raíces se forman a través del callo, en caso de que la formación de los callos sea importante para el enraizamiento, no obstante, en la mayoría de las plantas los dos procesos ocurren de forma separada. El autor Silva de Oliveira *et al.*, (2012) presentan concordancia con lo mencionado con anterioridad al determinar en un ensayo de enraizamiento de mini estacas apicales de híbridos entre *E. urophylla* x *E. globulus* y *E. grandis* x *E. globulus*, que las estacas formaron raíces sin presentar callosidades. En referencia a esto no se tiene muy claro porque hubo diferencias en los porcentajes de callosidad mientras que, un estudio de Niños (2022) al evaluar diferentes concentraciones de AIB vs un preparado comercial y un testigo libre de hormonas en el enraizamiento de *E. urograndis*, determino que existió mayor porcentaje de callosidad en aquellas estacas que fueron tratadas con AIB, es por ello que existe una discordancia en que la presente investigación muestra diferentes porcentajes de callosidad siendo que para todos los sustratos evaluados se usó AIB para enraizar las estacas y los porcentajes en este sentido deberían ser al menos cercanos en valor, lo cual dejaría una puerta abierta a futuras investigaciones para afirmar si el único factor inductor de callos sería AIB, o existirían otros factores inherentes entre ellos, luminosidad temperatura, humedad e incluso algunos nutrientes que podrían jugar un rol en sinergia con el AIB.

5.4. Longitud Radicular

Análisis de la varianza

Se realizaron cinco mediciones, la primera se hizo a los 21 días y reporto un p valor de 0,27 el cual no es estadísticamente significativo, y se obtuvo un coeficiente de variación bastante alto de 18,3. Las siguientes mediciones en los días 36, 51 y 66 no mostraron ninguna diferencia con valores de $p > 0,05$, pese a ello los coeficientes de variación en estos días fueron disminuyendo lo cual pudo deberse a las clasificaciones que se realizaron a las plantas, donde

se eliminaron aquellas en mal estado y con síntomas de enfermedad , sin embargo, el día 81 en el cual se realizó la última evaluación de la longitud radicular ,si se mostró significancia estadística.

Tabla 21

Análisis de la varianza de la longitud radicular a los 81 días.

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,96	3	1,65	4,89	*0,0191
Tratamientos	4,96	3	1,65	4,89	*0,0191
Error	4,06	12	0,34		
Total	9,01	15			
C.V.			3,08		

Nota: el anova de la última medición mostro diferencia estadística con un p valor de 0,019 menor al alfa de 0,05, por lo cual se rechaza la hipótesis nula que indica que no existió diferencia en ningún tratamiento respecto a la variable longitud radicular y se acepta la hipótesis alternativa al existir diferencia estadística en al menos un tratamiento.

Tabla 22

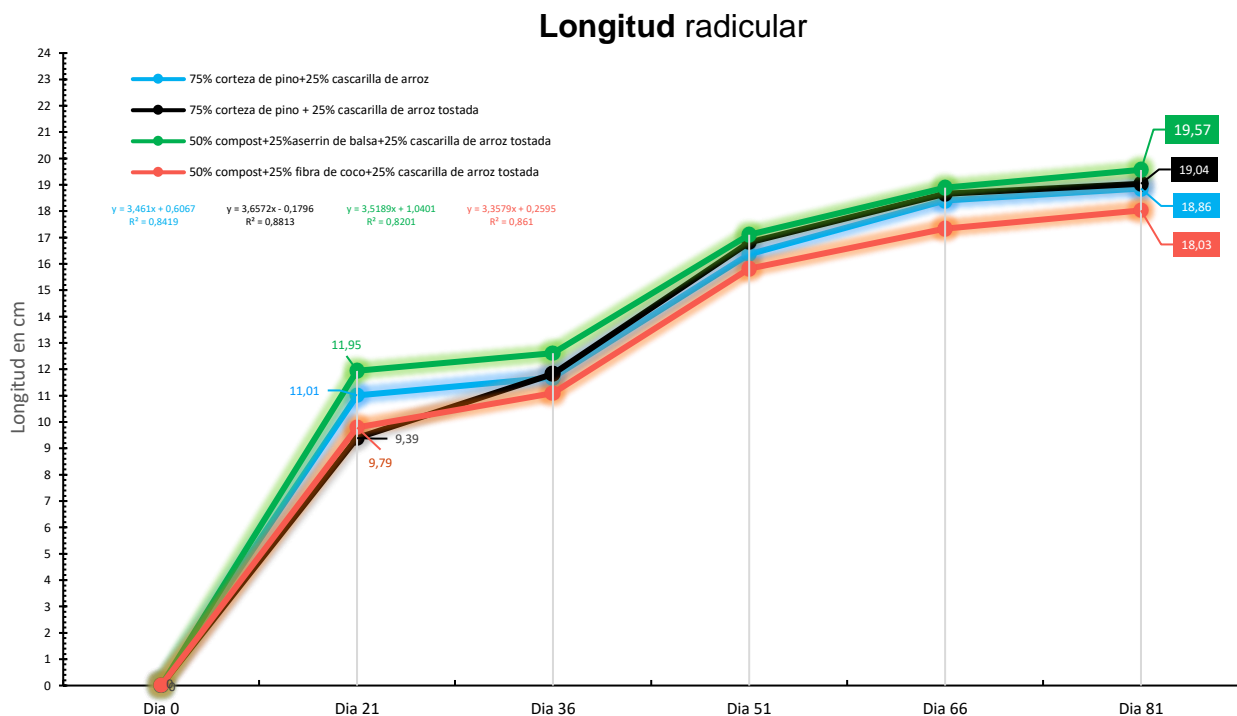
Comparación de medias de la longitud radicular, mediante la prueba de Tukey al 5%

Tratamientos	Dia 21	Dia 36	Dia 51	Dia 66	Dia 81
T1	11,01 A	11,69A	16,36A	18,40 A	18,66AB
T2	9,39 A	11,82A	16,89A	19,04 A	19,04AB
T3	11,95 A	12,62A	17,11A	18,89 A	19,58A
T4	9,79 A	11,10A	15,82A	17,35 A	18,03B
DMS:	4,23	4,24	4,97	3,11	1,22

Letras iguales no muestran diferencias, la única diferencia que existió fue al día 81 entre el T3 y el T4 al superar la DMS, mientras que al compararse con el T1 Y T2, no existió significancia estadística.

Figura 12

Crecimiento en longitud radicular a través del tiempo de evaluación



La figura 12, muestra el crecimiento en longitud que tuvo la raíz en cada uno de los días de evaluación, dándose en la fase de invernadero un crecimiento de mayor longitud para el tratamiento tres a base de 50% compost+25% aserrín de balsa +25% cascarilla de arroz tostada, con una longitud promedio de 11,95 cm, lo cual es cercano , siendo mayor ,a la longitud radicular de 10 cm obtenida por Casas Niños (2022); en su estudio sobre el efecto del enraizamiento de estacas de *E urograndis* bajo diferentes dosis de AIB, donde utilizo como medio de crecimiento un sustrato comercial denominado Mecplant ® , el cual contenía corteza de pino , vermiculita y aditivos correctores de pH como también nutrientes a base de P2O5 y K2O., Mientras que Muñoz

(2018), en su estudio sobre el enraizamiento de estacilla de *E urograndis*, obtuvo longitudes radiculares de 8 cm , así mismo (Granados C. A., 2019); obtuvo longitudes radiculares de 6,03 a los 26 días de evaluación, sin embargo, es importante destacar que los sustratos fueron distintos y a pesar de la especie ser la misma los clones en los estudios comparados fueron diferentes al utilizado en el presente trabajo.

Es importante destacar que la tendencia que mostro la gráfica permitió observar que el mayor crecimiento en longitud radicular se dio en la fase de invernadero para todos los sustratos, sin existir diferencias estadísticas entre ellos, mientras que a partir del día 51 al 81 empiezan a mantener relativamente estable su crecimiento en longitud, debido a que en este punto las raíces ya sobresalían por el inferior del tubete, generando que las raíces fuera del orificio se oxiden y se empiecen a amarrar al pan de tierra en el último tercio final del mismo.

5.5. Peso radicular

Análisis de la varianza

El análisis de varianza realizado a los 21 días no mostro diferencias estadísticamente significativas con un p valor de 0,80, mientras que a partir de los días 36 ,51,66 y 81 si existieron diferencias altamente significativas con valores de $p < 0,0001$, muy por debajo del nivel de significancia establecido de 5% , lo cual nos permitió aceptar la hipótesis alternativa y determinar que en cuanto a la variable de peso radicular al menos un sustrato fue mejor respecto a los demás, para las cuatro mediciones respectivas, no obstante , el tratamiento que presento mayor peso radicular se determinó mediante la comparación de medias de Tukey, presentada a continuación:

Tabla 23

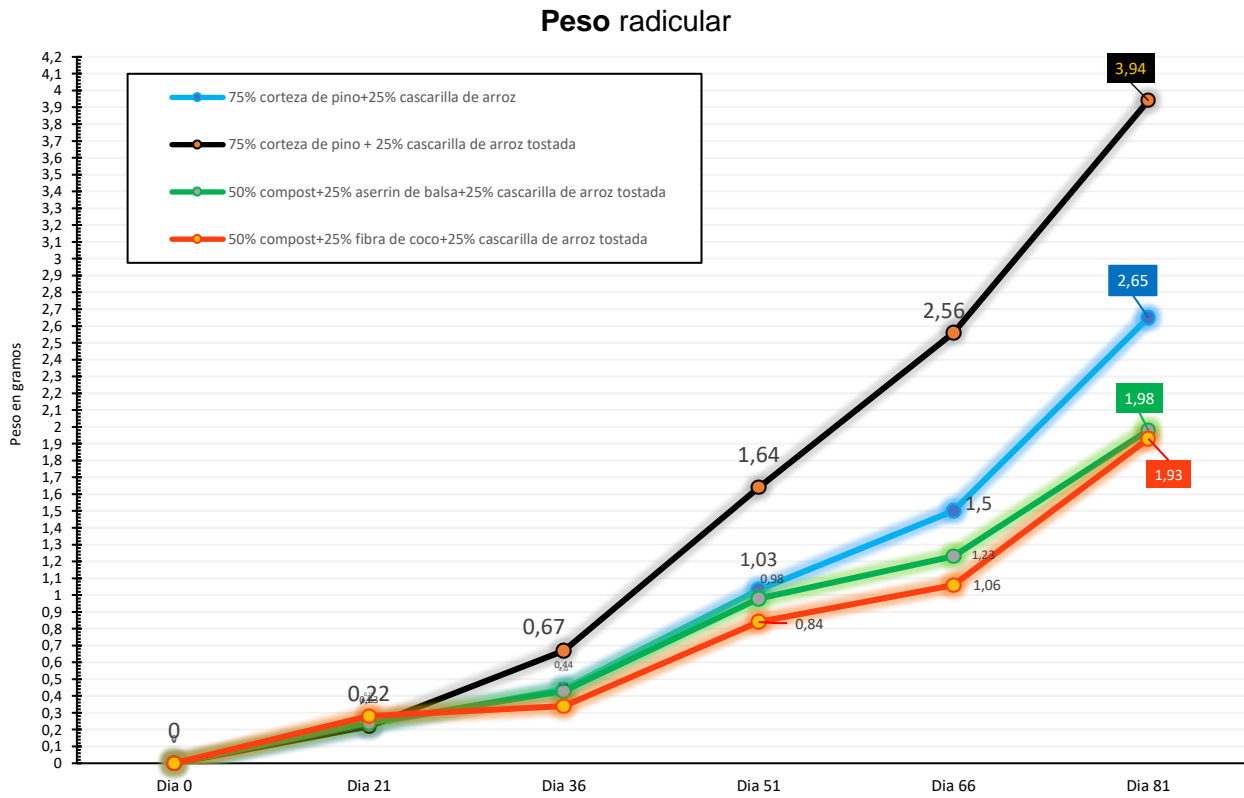
Comparación de medias de Tukey, para la variable peso radicular en gramos.

Tratamientos	Día 21	Día 36	Día 51	Día 66	Día 81
T1	0,23 A	0,42B	1,03B	1,49B	2,65B
T2	0,22 A	0,67A	1,64A	2,56 A	3,94A
T3	0,24 A	0,41B	0,98B	1,23C	1,97C
T4	0,22 A	0,40B	0,84C	1,06D	1,91C
DMS:	0,06	0,12	0,11	0,11	0,24

Nota: Letras iguales no muestran diferencias estadísticamente significativas, con lo cual se pudo determinar que el día 36 el T2 mostro el mayor peso radicular expresado en 0,67 gramos superando la DMS respecto a los demás tratamientos ,así mismo al día 51 el T2 siguió siendo superior a los demás tratamientos con un peso de 1,64 es decir 0,61 gr por encima del T1 el cual mostro un peso de 1,03 gr que a su vez fue estadísticamente igual al T3, siendo que el único tratamiento que mostro el menor peso fue el T4, de la misma forma al día 66 hubo diferencia altamente significativa, es decir todos los sustratos mostraron pesos distintos, siendo el T2 muy superior al resto con 1,29 gramos de diferencia respecto al segundo con mejor peso que fue el T1, que a su vez fue superior al T3, mientras este último le gano en peso radicular al T4 que fue inferior a todos, en la última evaluación a los 81 días siguió el T2 con el mayor peso radicular respecto al resto, mientras el T4 siguió siendo el sustrato que menor peso radicular género , pero esta vez ya siendo estadísticamente igual al T3.

Figura 13

Aumento del peso radicular en gramos vs tiempo



A diferencia de la longitud radicular, en cuanto a peso de la raíz si se mostraron diferencias estadísticamente significativas a partir del día 36, siendo el tratamiento 2 con 75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada el que ganó en relación a esta variable con un aumento promedio en gramos de 1,09 cada 15 días, mientras que en longitud fue el segundo mejor, lo cual indica que el T2 mostró una mayor cantidad de pelos absorbentes y una mayor adherencia al cepellón o pan de tierra, indicando finalmente que el crecimiento en longitud radicular no es directamente proporcional a un aumento en el peso radicular, o al menos en el presente estudio no lo fue.

5.6. Altura de la planta

Análisis de varianza

Los días 21 y 36 no se tuvo ninguna diferencia a nivel estadístico presentando valores de p 0,89 y 0,63 respectivamente, Mientras que a partir del día 51 si hubo diferencia significativa con un p valor de 0,002 y un coeficiente de variación de 9,07, así mismo los días 66 y 81 también presentaron diferencia, pero esta vez fue altamente significativa con p valores $<0,0001$ y coeficientes de variación de 4,92 y 2,78 respectivamente, razón por la cual también se aceptó la hipótesis alternativa, es decir al menos un tratamiento fue superior en la variable altura respecto a los demás.

Tabla 24

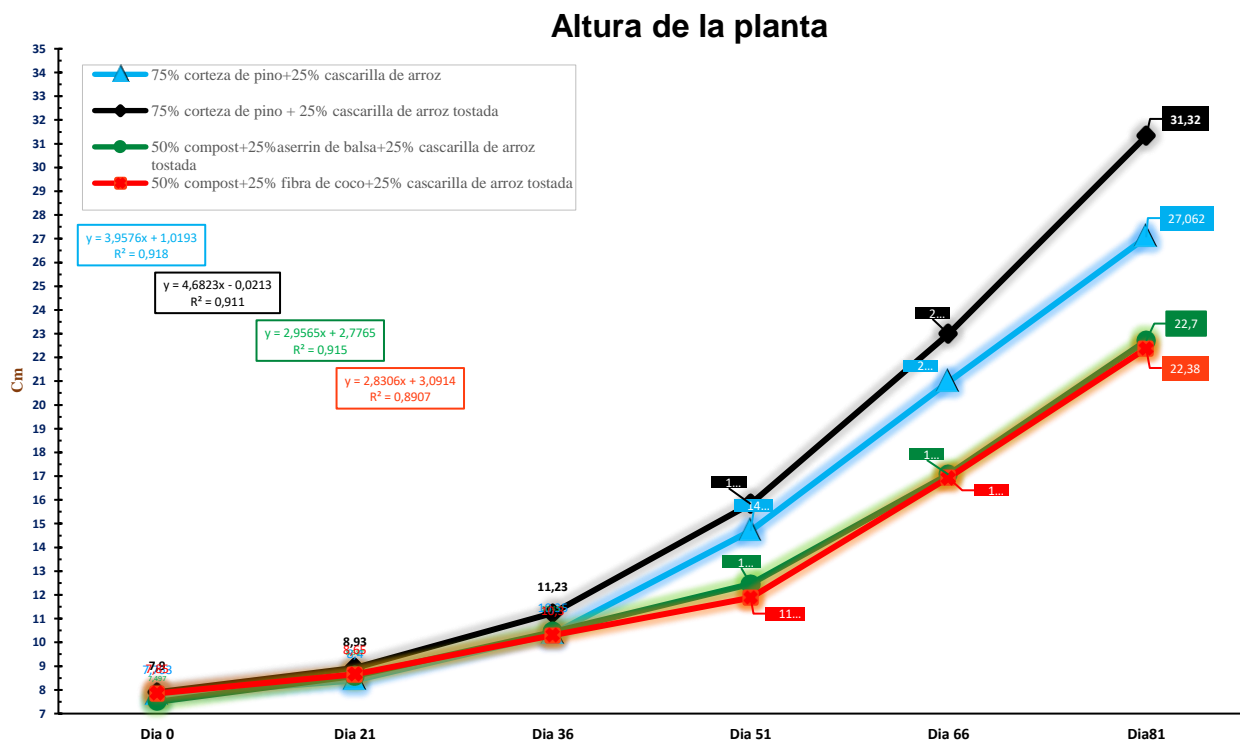
Comparación de medias de la variable altura de la planta en cm, mediante la prueba de Tukey al 5%.

Tratamientos	Día 21	Día 36	Día 51	Día 66	Día 81
T1	8,34 A	10,35A	14,69AB	20,97B	27,06B
T2	8,94 A	11,23A	15,83A	22,29 ^a	31,32A
T3	8,59 A	10,44A	12,45BC	17,07C	22,70C
T4	8,65 A	10,30A	11,88C	16,93B	22,38C
DMS:	2,3	2,4	2,71	2,01	1,5

Nota: Letras iguales no muestran diferencia entre sí, lo cual demuestra que solo existió diferencia estadística en los días 51,66 y 81, mostrándose al T2 como el que mayor altura mostro respecto a los demás tratamientos llegando a obtener 31 cm de altura en la evaluación final a los 81 días, seguido del T1 con 27 cm de altura.

Figura 14

Crecimiento en altura expresada en cm, desde el día 0 al 81.



Los coeficientes de determinación presentados en el gráfico muestran un valor de R² cercano a 1 mostrando cierta linealidad en el crecimiento, debido a esto se determinó que en promedio el tratamiento que ganó en altura fue el T2 con 31,32 cm de altura, con un crecimiento promedio de 5,6 cm cada 15 días, seguido por el T1 que presentó un incremento promedio en altura de 4,7 cm cada 15, mientras T3 y T4 tan solo incrementaron en promedio 3,52 y 3,43 cm respectivamente. Un estudio realizado en Perú por Chávez (2015), en el cual determinó el efecto de sustratos comerciales en la germinación y crecimiento inicial de *Eucalyptus urograndis* y *E. saligna* en condiciones de vivero obtuvo en el mejor sustrato, que tiene por nombre comercial Sunshine-Pro mix a base de turba rubia y aditivos con perlita y vermiculita un incremento promedio en altura de 6,72 cada 14 días es decir 1,12 cm más en incremento a comparación del mejor sustrato de la presente investigación, no obstante, es importante mencionar que al tratarse de sustratos comerciales son medios más estables en cuanto a las características físicas y

químicas contando con aditivos y nutrientes en niveles más cercanos a lo óptimo pero a mayor costo, por otro lado la presente investigación evaluó el efecto del crecimiento inicial en estacas , mientras que el realizado por Chávez en el 2015, fue en semillas y se empezó a medir el crecimiento luego de los 12 días que está ya germinando , en base a ello la semilla guarda nutrientes de reservas que dan el impulso inicial, mientras las estacas agotan sus reservas , hasta los 15 días que recién se da la rizo-génesis.

5.7. Diámetro a la altura del cuello

Análisis de la varianza

Los días 21 y 36 no mostraron diferencias estadísticas, en cambio los días 51 y 66 si fueron diferentes estadísticamente para la variable diámetro en milímetros con p valores de 0,0016 para ambos, mientras que en el día 81 la diferencia fue altamente significativa con un valor de $p < 0,0001$, determinando que al menos un tratamiento mostro mayor crecimiento en diámetro respecto a los demás.

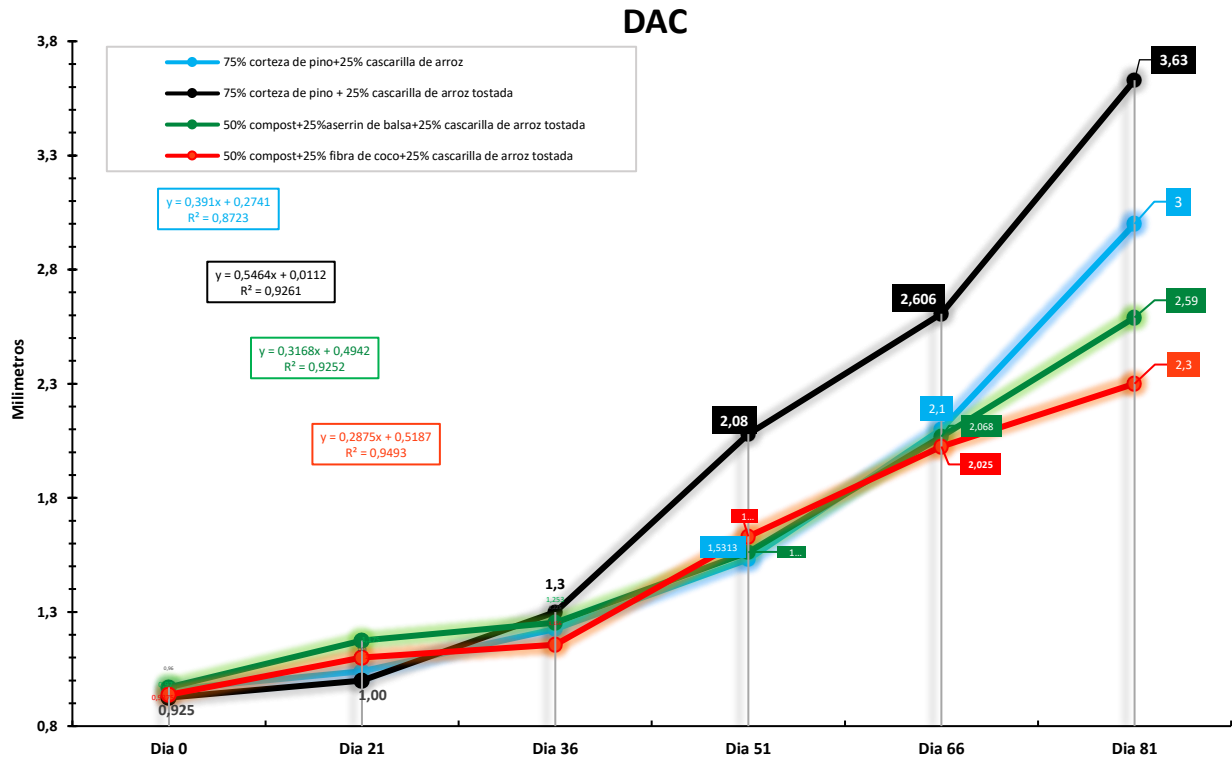
Tabla 25 Comparación de medias con la prueba de Tukey para la variable diámetro en mm

Tratamientos	Dia 21	Dia 36	Dia 51	Dia 66	Dia 81
T1	1,04 A	1,23A	1,53B	2,10B	3,01B
T2	0,99 A	1,30A	2,09A	2,60 ^a	3,64A
T3	1,18 A	1,25A	1,56B	2,08B	2,60C
T4	1,10 A	1,14A	1,63B	2,02B	2,30D
DMS:	0,22	0,23	0,35	0,36	0,11

Letras iguales no muestran diferencia estadística con un alfa de 5% mientras que letras distintas si lo hacen siendo la letra A la que representa mayor promedio respecto a los demás tratamientos.

Figura 15

Incremento del diámetro vs el tiempo



Se determinó que el tratamiento que mayor diámetro mostro fue el T2 con 3,63 mm , seguido del T1 con 3 mm, sin embargo, estos valores obtenidos en los dos mejores sustratos en la presente investigación, son inferiores a los mostrados por Sánchez (2015) en su tesis ,al evaluar distintos sustratos comerciales en la germinación de semillas de *E urograndis* , en la cual obtuvo en el mejor sustrato un diámetro promedio de 5 mm a los 66 días, sin embargo, Granados (2019) obtuvo a los 78 días diámetros de 2 mm en *Eucaliptus urograndis* a partir de estacas.

5.8. Calidad de la Planta Producida por Sustrato

Figura 16

Índice de calidad de Dickson con su respectiva interpretación

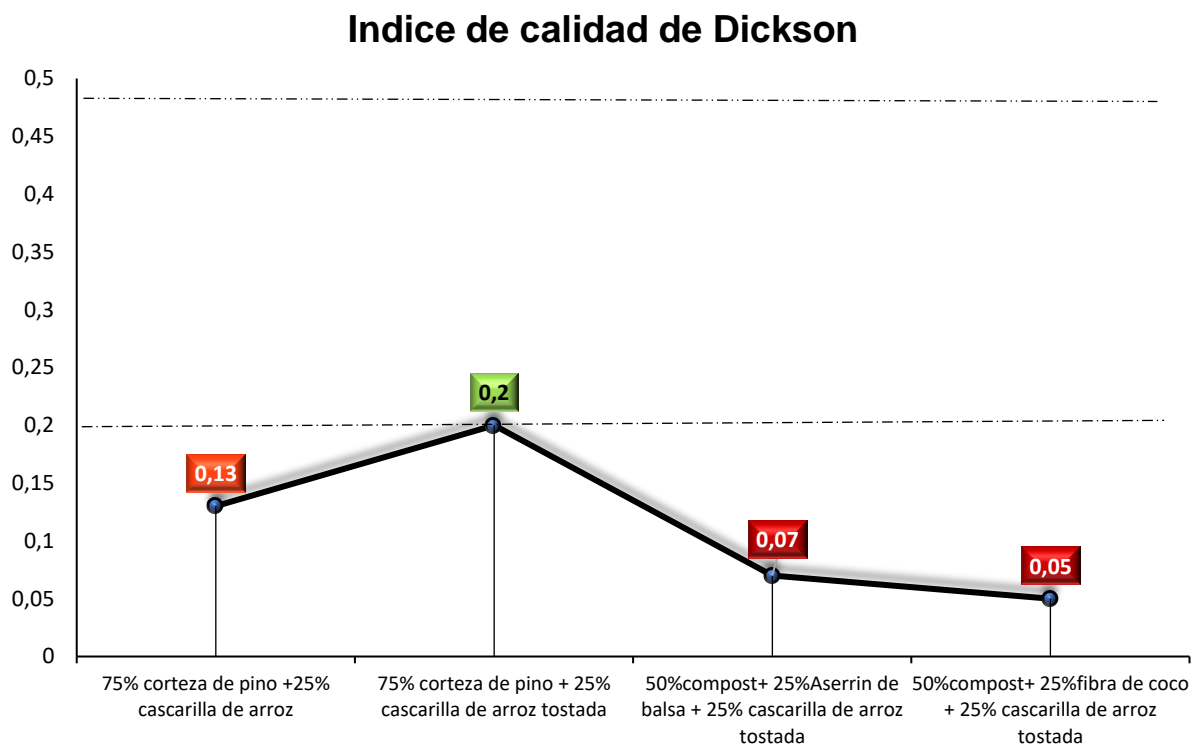


Tabla 26

Valores para calificar la calidad de la planta según CONAFOR (2005)

Calidad y rango		
Alta	Media	Baja
>0,50	0,20-0,49	<0,20

En base a los valores referenciales, el sustrato 2 constituido por 75% Corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada, a pesar, de mostrar un mejor promedio en las variables de peso radicular, altura y diámetro llegó tan solo a producir plantas de mediana calidad según el ICD, mientras los demás sustratos produjeron plantas de mala calidad de acuerdo con este índice.

El menor costo de producción obtenido por bandeja ,es decir por cada 140 plantas lo obtuvo el T1 con 0,30 centavos, seguido del T2 con 0,36 centavos , mientras T3 Y T4 duplicaron el costo debido a que el compost como materia prima representa un alto valor dentro de los insumos utilizados en la producción de plantas, realizando un balance entre el costo y la calidad determinada con el índice de Dickson el tratamiento 2 a base de 75% corteza de pino + 25% cascarilla de arroz tostada sería la mejor opción.

6. Conclusiones

. Los análisis físicos de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua mostraron que T2 constituido por 75% corteza de pino+ 25% cascarilla de arroz tostada obtuvo los mejores niveles en cuanto a estas propiedades, adecuándose a los rangos óptimos reportados por la literatura.

En el análisis de las propiedades químicas los valores de pH y conductividad eléctrica fueron adecuados solo en el tratamiento dos, mientras que a nivel de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) el tratamiento 3 fue el mejor, no obstante, se encontró una posible toxicidad de azufre, además, en micronutrientes presento ciertos desbalances respecto a altos niveles sodio, y relaciones Fe/Mn muy altos.

Los porcentajes de mortalidad son normalmente altos en la empresa, puesto que a nivel de invernadero T1 y T2 presentaron valores de 39,29 y 45, 71 siendo estos valores los mejores respecto al resto de tratamientos para este clon mientras que T3 y T4 alcanzaron mortalidades de 59,82 y 68,75 respectivamente atribuyéndose al exceso de riego que provoca la incidencia de plagas y enfermedades.

En la fase de aclimatación la mortalidad más alta fue de 1,28% para T1 y los demás tratamientos alcanzaron un valor de 0,64%, esto básicamente se debe a la clasificación de calidad que se realiza.

Las variables de crecimiento, como Longitud radicular T1 y T2 fueron iguales estadísticamente, pero superiores al resto, sin embargo, en altura, diámetro y peso radicular T2 fue superior a todos mostrando diferencias estadísticamente significativas.

Los costos de producción obtenidos mostraron, que T2 sería el más conveniente, ya que la diferencia fue de \$2600 adicionales cada año, pero asegurando una calidad de planta mayor

a T1, teniendo en cuenta que a mayor calidad mayor supervivencia en campo, lo cual al final se traduce en mayor producción y rentabilidad de m³ de madera

7. Recomendaciones

Para disminuir la tasa de mortalidad se debe ajustar los tiempos y frecuencias de riego con un tensiómetro.

Categorizar a los clones de acuerdo a su requerimiento hídrico, de esta manera se tendrá mejor sanidad y calidad de plantas.

Se recomienda utilizar proporciones de 5% de perlita o vermiculita para mejorar la aireación del T2 que es el mejor tratamiento.

Se recomienda el uso de Hymexazol (Tachigaren) como desinfectante de sustratos ya que en un ensayo alterno que realizamos obtuvimos menor mortalidad, así como una mejor calidad de planta respecto a los métodos (calor o Agrocelhone) que realiza la empresa. * ver anexo 13

8. Referencias Bibliográficas

- Abril, R., Villacis, E., Tapuy, M., Pillco, B., Quishpe, J., & López, K. (2022). Germinación y crecimiento de *Sterculia colombiana* en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51104>.
- Acosta, C. (2008). *Evaluación de una fertilización en Eucalyptus globulus Labill. aplicada en la etapa de máxima acumulación nutritiva, Valdivia, Chile*. Universidad Austral de Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fifa185e/doc/fifa185e.pdf>
- Adam, M., Ibrahim, I., Sulieman, M., Zeraatpisheh, M., Mishra, G., & Brevik, E. (2021). Predicting Soil Cation Exchange Capacity in Entisols with Divergent Textural Classes: The Case of Northern Sudan Soils. *Sage Journals*, 14. doi:10.1177/11786221211042381
- Akratos, C., Tekerlekopoulou, A., Vasiliadou, I., & Vayenas, D. (2017). Compostaje de residuos de almazara para la producción de enmiendas del suelo. *AcademicPress*, 161-182.
- Aldrete. (2012). Características químicas de los sustratos.
- Avrella, E., Weber, J., & Fior, C. (2018). Estrés por saturación de agua en plántulas de Mimosa scabrella. *Floresta e Ambiente*, 26 (1); doi: 10.1590/2179-8087.023516.
- Barbaro, L. (2023). *Sustratos: principales propiedades a tener en cuenta Cerro Azul*. Cerro Azul-Misiones: E.E.A. Cerro Azul – INTA.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2018). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Buenos Aires: INTA.
- Buechel, T. (07 de Septiembre de 2023). *What is CEC and Why Is It Important?* Obtenido de Promix: <https://www.pthorticulture.com/en/training-center/cec-cation-exchange-capacity-soilless-growing->

- Cordova, T. S. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. 12. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000200004
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, J. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. 36(1): 10-13.
- Ebe, S., Ohike, T., Okanami, M., & Ano, T. (2019). Componentes del biocarbón de cáscara de arroz para promover el crecimiento, la esporulación y la producción de iturina A de *Bacillus* sp. cepa IA. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 74(7-8), 211-217; <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0223>.
- Edwards, T. (22 de Junio de 2022). *What is soil organic carbon?* Obtenido de <https://www.agric.wa.gov.au/measuring-and-assessing-soils/what-soil-organic-carbon#:~:text=Organic%20matter%20makes%20up%20just,biological%20function%20of%20agricultural%20soils>.
- Escobar, R. (2017). *Manual de viverización. Eucalyptus globulus a raíz cubierta*. INNOVA - CORFO CHILE. Obtenido de <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/17185/24892.pdf>
- Escobar, R., & Buamscha, G. (2015). *Sustrato o medio de crecimiento*. Obtenido de RNGR.NET
- Estrella, M. (2013). *“Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas*. Ambato.
- Fertilab. (06 de Enero de 2015). *Las propiedades físicas de los sustratos*. Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Las_Propiedades_Fisicas_de_los_Sustratos.pdf

Gallardo. (2018). *Ubicación geográfica Novopan*.

Gamarra, C., Díaz, M., Vera, M., Galeano, M., & Cabrera, A. (2007). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4-26. doi:10.29298/rmcf.v9i46.134

Garibay, S. L., Aldrete, A., Lopez Upton, J., & Ordaz Chaparro, V. (2020). Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. 17. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712019000200212#f3

Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M., & Garruña, R. (2018). Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*.

González, A. (2017). *Propagación de Acer negundo por medio de estacas*. Chapingo.

Granados, C. (2019). *Crecimiento radicular de Eucalyptus exserta, Eucalyptus pellita Y Eucalyptus urograndis sembradas en dos tipos de contenedores y tres sustratos, en la hacienda Los Ángeles del recinto Los Ángeles, parroquia Patricia Pilar, provincia de los Ríos*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Granados, C. A. (2019). Crecimiento radicular de Eucalyptus exserta, Eucalyptus pellita Y Eucalyptus urograndis en dos tipos de contenedores y sustratos en la hacienda los angeles. 85. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/36b58d5d-07cd-4d1b-81cb-1ce7ef50bc2f/content>

Hernández, R., Olarte, A., Salgado, R., Salgado, A., Medrano, S., & Martínez, F. (2023). Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa.

Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 16(30), e00059; <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697> .

Hossain, A. (24 de Marzo de 2021). Coir fiber; Properties, Chemical composition, Manufacturing process, Uses. *AT86*.

Iampietro, J., & Yang, Y. (. (21 de Noviembre de 2023). *Cloning Plants Overview & Methods*.
Obtenido de <https://study.com/academy/lesson/methods-for-cloning-plants.html>

INTA; MINAGRO. (2018). *Manual de vivero*. Buenos Aires.

Kartika, K., Sakagami, J., Lakitan, B., Yabuta, S., Akagi, I., Widuri, L., . . . Izzawati, A. (2021). Efectos del biocarbón de cáscara de arroz en la mejora de las propiedades del suelo y el desarrollo de las raíces en arroz (*Oryza glaberrima* Steud.) expuesto al estrés por sequía durante la etapa reproductiva temprana. *Agricultura y Alimentación* , 737-751; doi: 10.3934/agrfood.2021043.

Kim, N. (2018). Physical and Chemical Properties of Kapok (*Ceiba pentandra*) and Balsa (*Ochroma pyramidale*) Fibers. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 46(4); doi:10.5658/WOOD.2018.46.4.393.

Kiron, M. (18 de Febrero de 2021). *Fibra de coco o bonote: propiedades, proceso de fabricación y aplicaciones*. Obtenido de Department of Textile Engineering Southeast University: <https://textilelearner.net/coconut-or-coir-fiber-properties-manufacturing/>

Landis, T., Tinus, R., McDonald, S., & Barnett, J. (1990). *The Container Tree Nursery Manual*.
Obtenido de <https://www.uidaho.edu/-/media/UIDaho-Responsive/Files/Extension/topic/nursery/technical/physical-characteristics.pdf?la=en&hash=062973D20D8A0510AFA64FBEDDF54181C9816B6A#>

Muñoz, L. (2018). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) EN EL ENRAIZAMIENTO DE MINI ESTACAS DE Eucalyptus urophylla X grandis (EUCALIPTO UROGRANDIS), CANTÓN BUENA FE, PROVINCIA LOS RÍOS*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pire, R., & Pereira, A. (2003). PROPIEDADES FÍSICAS DE COMPONENTES DE SUSTRATOS DE USO COMÚN EN LA HORTICULTURA DEL ESTADO LARA, VENEZUELA. *Barquisimeto*, 15 (1).

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., & Soto, H. (2019). *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Santiago de Chile: INFOR.

Rengifo, J. (2014). *Efecto de diferentes sustratos orgánicos en el crecimiento de plántulas de paliperro (Vitex pseudolea Rusby), en fase de vivero*. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Richardson, E., & Montenari, M. (2020). Capítulo Trece - Evaluación del potencial de yacimientos de gas de esquisto mediante caracterizaciones y cuantificaciones de redes de poros SEM a múltiples escalas: la cuenca de separación Ciñera-Matallana, noroeste de España. *ScienceDirect*, 677-755.

Sadeghian, S. (2018). *Interpretación de los resultados de análisis de suelo. Soporte para una adecuada nutrición de cafetales*. Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana. Obtenido de https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/download/167/133/183

Sáenz, T., Muñoz, J., Pérez, C., Rueda, A., & Hernández, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia". *Revista mexicana de Ciencias Forestales*, 98-111.

- Sawyer, A. (08 de Abril de 2021). *Compost and soil organic matter: The more, the merrier?* Obtenido de University of Minnesota Extension: <https://extension.umn.edu/yard-and-garden-news/compost-and-soil-organic-matter-more-merrier>
- Schultheis, L., Whitney, T., Lesoing, G., Gross, P., Cates, A., Eck, K., . . . Kalwar, N. (31 de Marzo de 2020). *Cation Exchange Capacity*. Obtenido de Nexus: <https://soilhealthnexus.org/resources/soil-properties/soil-chemical-properties/cation-exchange-capacity/>
- Silva, R., Cardoso, G., Silva Júnior, F., Stangerlin, D., Melo, R., Coelho, M., & Pimenta, A. (2022). Production of kraft pulp from *Ochroma pyramidale* wood. *Acta Amazónica*, 52(1); <https://doi.org/10.1590/1809-4392202101011> .
- Singh, B. (2018). Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete. *Woodhead Publishing*, 417-460.
- Soriano, M. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Soto, F. (2016). *Caracterización físico-química de sustratos utilizados en cultivo sin suelo*. San José: Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno.
- Soto-Bravo, F., & Betancurt-Flores, A. (2022). Evaluación de metodologías para determinar las características físicas de un sustrato de fibra de coco. *Agronomía Costarricense*, 29-45.
- Stenger, L., & Hobgood, M. (2018). How the Carbon to Nitrogen Ration Affects Soil. *Natural Sciences Poster Sessions* , 150; <https://spark.parkland.edu/nsps/150/>.
- The Grower. (04 de Septiembre de 2023). *CARBON NITROGEN RATIO*. Obtenido de <https://thegrower.es/en/carbon-nitrogen-ratio/>

- Ureta, D., Ocaña, M., Medina, A., Yunga, W., García, Y., & Arteaga, Y. (2019). Indicadores de calidad de semillas y plántulas de dos especies del género *Cedrela* cultivadas en vivero con fines de restauración en condiciones amazónicas. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 193-202.
- Vásquez-Conde, R., & Vásquez-López, R. (2017). *Temas selectos de biología 2*. México: Grupo Editorial Parra.
- Velázquez, B., & Gaibor, J. (03 de Enero de 2019). *Guía de cultivos energéticos en Latinoamérica*. Obtenido de RED IBEROMASA: <https://iberomasacyted.blogs.upv.es/files/2019/01/Eucalipto.pdf>
- Villegas, O., Domínguez, M., Pérez, M., Andrade, M., Sotelo, H., Martínez, M., . . . Magadan, M. d. (2017). *Sustrato como material de última generación*. OmniaScience.
- Yin, M., Li, X., Liu, Q., & Tang, F. (2022). Rice husk ash addition to acid red soil improves the soil property and cotton seedling growth. *Scientific Reports volume 12, Article number: 1704*, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05199-7>.