

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE *Pinus tecunumanii* A PARTIR DE
ESPUMAS FENÓLICAS Y FERTILIZANTE EN FASE DE VIVERO”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

DEYSI VICTORIA MENDO PONCE

LIMA – PERÚ

2023












**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

PRESIDENTE JURADO DE TESIS

| | |
|-------------------|--|
| Analyzed document | TESIS MENDO DEYSI_Rev0118 (2).pdf (D162534075) |
| Submitted | 3/29/2023 3:13:00 PM |
| Submitted by | |
| Submitter email | eloycuellar@lamolina.edu.pe |
| Similarity | 3% |
| Analysis address | eloycuellar.unalm@analysis.arkund.com |

Sources included in the report

| | | | |
|-----------|---|---|---|
| W | URL: https://doi.org/10.21829/myb.2017.232512 Fetched: 3/31/2023 2:41:00 AM |  | 4 |
| W | URL: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2821/1/T026_43200528_T.pdf Fetched: 3/31/2023 2:38:00 AM |  | 3 |
| W | URL: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf Fetched: 3/31/2023 2:38:00 AM |  | 1 |
| SA | UNC_Forestal_2022_TesisMarcel_ver.1.docx Document UNC_Forestal_2022_TesisMarcel_ver.1.docx (D139758305) |  | 1 |
| SA | UNU_FORESTAL_2021_BT_DELYRIOJA_V1.pdf.pdf Document UNU_FORESTAL_2021_BT_DELYRIOJA_V1.pdf.pdf (D123286848) |  | 1 |
| W | URL: http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1707 Fetched: 3/31/2023 2:39:00 AM |  | 1 |
| SA | UNU_FORESTAL_2022_T_JUAN_MORALES_V1.pdf Document UNU_FORESTAL_2022_T_JUAN_MORALES_V1.pdf (D140567030) |  | 2 |
| SA | UNU_FORESTAL_2021_PI_CESAR-MORI_V1.docx Document UNU_FORESTAL_2021_PI_CESAR-MORI_V1.docx (D102732636) |  | 2 |
| W | URL: https://www.redalyc.org/pdf/634/63439016008.pdf Fetched: 3/31/2023 2:42:00 AM |  | 1 |
| SA | Franklin Junior Guerrero Irene-PT-IFA.pdf Document Franklin Junior Guerrero Irene-PT-IFA.pdf (D115654013) |  | 1 |
| W | URL: https://www.redalyc.org/pdf/629/62980109.pdf https://secure.arkund.com/view/155586470-677054-499462#/ |  | 1 |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE *Pinus tecunumanii* A PARTIR DE
ESPUMAS FENÓLICAS Y FERTILIZANTE EN FASE DE VIVERO”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL
DEYSI VICTORIA MENDO PONCE**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

*Ing. María Isabel Manta Nolasco, Dra.
Presidente*

*Ing. Sonia Cesarina Palacios Ramos, Mg.Sc.
Miembro*

*Ing. Carlos Fernando Bulnes Soriano
Miembro*

*Ing. José Eloy Cuellar Bautista, Dr.
Asesor*

*Ing. Gino Fernando Mondragón Aguirre
Co-asesor*

DEDICATORIA

A mi madre Deysi, y mi padre Joel, por su amor, confianza y apoyo incondicional. Por ser mi soporte en cada momento de mi vida y ser mi más grande inspiración. Por enseñarme que con perseverancia, esfuerzo y gratitud todo es posible.

A mis hermanos, Giancarlo, Kelly, y Joel, por ser mi mayor motivación para ser mejor cada día y mi fuerza para continuar frente a las adversidades.

A mi “Mamita” María, y “Papanapo” Napoleón, tío Jorge, tía Delia, por su cariño, ejemplo de fortaleza y superación. En donde quiera que me encuentre siempre los llevo en mi corazón.

A mi familia por su amor incondicional, todos los momentos compartidos, sus palabras de ánimo, y sus sabios consejos.

“Primer principio: nunca dejarse abatir por las personas o por los acontecimientos”

(Marie Curie)

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Al Vicerrectorado de Investigación de la UNALM, presidido por la Dra. Patricia Gil Kodaka, por fomentar la investigación científica mediante concursos de financiamiento.

A mi asesor, Dr. José Eloy Cuellar Bautista; y, co-asesor, Ing. Gino Fernando Mondragón Aguirre, por el tiempo brindado, conocimiento compartido, y los consejos que siempre atesoraré.

Al Centro de Investigación en Silvicultura y Mejoramiento Forestal (CESILMEF) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por brindarme los espacios y facilidades para realizar el presente estudio.

Al Ing. Jordan Cristopher Romero Carranza, por sus enseñanzas y paciencia a lo largo de esta investigación.

Al técnico Jonathan Llano de la empresa FENOCOL, e Ing. Richard Huaraca por su asesoría técnica, y a Desireé Encarnación, y Gerson Gárate, por su tiempo y apoyo en la presente investigación.

A mis padres, hermanos y familiares, por su paciencia y motivación en todo este proceso.

A José Cipra y Yury Llancari, por todos sus valiosos consejos y apreciada amistad.

A Fernando Ruiz, Marlon Gomez, María Cuno, Kaori Wong, José Coronado y Gimena Lázaro, por sus palabras de ánimo y su amistad incondicional.

A Adrian Rivas, por ser mi soporte y el mejor compañero al final de este camino. Agradezco cada palabra y sonrisa que compartimos. Gracias por ser mi luz frente a las adversidades.

A mis amigos(as) y futuros colegas del Círculo de Investigación de Plantaciones Forestales (CIPLAN Forestal), por compartir conocimientos y experiencias en el área de plantaciones forestales.

A todas las personas que me acompañaron en este proceso, gracias por regalarme valiosas palabras, innumerables sonrisas, y su confianza en mí.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTOS..... | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | vii |
| <i>Índice de tablas</i> | x |
| <i>Índice de figuras</i> | xi |
| <i>Índice de anexos</i> | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Antecedentes..... | 3 |
| 2.2. Sustrato..... | 4 |
| 2.3. Tipos de sustratos..... | 5 |
| 2.4. Espumas fenólicas..... | 5 |
| 2.5. Nutrición vegetal y elementos esenciales..... | 6 |
| 2.6. Fertilización en viveros..... | 7 |
| 2.7. Atributos morfológicos de plantones forestales..... | 8 |
| 2.7.1. Altura..... | 8 |
| 2.7.2. Diámetro del cuello radicular..... | 8 |
| 2.7.3. Biomasa seca aérea y radicular..... | 9 |
| 2.8. Índices de calidad de plantones forestales..... | 9 |
| 2.8.1. Índice de robustez (IR)..... | 9 |
| 2.8.2. Relación altura tallo/longitud de raíz (R A/LR)..... | 9 |
| 2.8.3. Índice de Tallo - Raíz (ITR o R BSA/BSR)..... | 10 |
| 2.8.4. Índice de lignificación (IL)..... | 10 |

| | |
|---|----|
| 2.8.5. Índice de Dickson (ICD) | 10 |
| 2.9. Caracterización de <i>Pinus tecunumanii</i> | 11 |
| 2.9.1. Taxonomía | 11 |
| 2.9.2. Descripción botánica..... | 11 |
| 2.9.3. Distribución geográfica y ecología | 12 |
| 2.9.4. Manejo en vivero | 12 |
| III. METODOLOGÍA | 13 |
| 3.1. Lugar de ejecución..... | 13 |
| 3.2. Materiales y equipos..... | 15 |
| 3.3. Métodos y procedimientos..... | 16 |
| 3.3.1. Preparación y germinación de las semillas | 16 |
| 3.3.2. Acondicionamiento e instalación de las espumas fenólicas..... | 17 |
| 3.3.3. Repique | 18 |
| 3.3.4. Labores culturales | 19 |
| 3.3.5. Fertilización | 20 |
| 3.3.6. Evaluación de los atributos morfológicos..... | 21 |
| 3.3.7. Índices de calidad de plantones..... | 23 |
| 3.3.8. Evaluación de la supervivencia y estado fitosanitario de los plantones | 24 |
| 3.3.9. Diseño y análisis estadístico | 25 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 30 |
| 4.1. Evaluación de la calidad de plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> | 30 |
| 4.1.1. Efecto de los tratamientos en la supervivencia y estado fitosanitario..... | 30 |
| 4.1.2. Efecto de los factores de dimensión de espumas y dosificación de fertilizante (F2) en la altura..... | 33 |
| 4.2. Cuantificación de los atributos morfológicos de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> .. | 36 |
| 4.2.1. Altura | 36 |
| 4.2.2. Atributos morfológicos | 38 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Determinación de los índices de calidad de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> | 40 |
| 4.4. Análisis de la influencia de los tratamientos en la calidad de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> | 41 |
| 4.4.1. Influencia de los tratamientos en los atributos morfológicos | 42 |
| 4.4.2. Influencia de los tratamientos en los índices de calidad | 44 |
| V. CONCLUSIONES | 48 |
| VI. RECOMENDACIONES | 49 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 50 |
| VIII. ANEXOS | 58 |

Índice de tablas

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1: Funciones fisiológicas y síntomas de deficiencia de los macronutrientes N, P, K..... | 7 |
| Tabla 2: Listado de materiales, insumos, herramientas, equipos y softwares..... | 15 |
| Tabla 3: Dosificación de fertilizantes..... | 20 |
| Tabla 4: Valores determinados para la evaluación de calidad de los plantones en fase de vivero | 24 |
| Tabla 5: Categorías del estado fitosanitario de los plantones..... | 25 |
| Tabla 6: Descripción de los niveles de cada factor..... | 25 |
| Tabla 7: Descripción de los tratamientos..... | 26 |
| Tabla 8: Supervivencia y estado fitosanitario de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> a los 89 días después del repique..... | 30 |
| Tabla 9: Prueba de comparación múltiple de Duncan de los tratamientos en la altura..... | 33 |
| Tabla 10: Altura (cm) a los 25 días después del repique..... | 36 |
| Tabla 11: Altura (cm) a los 89 días después del repique..... | 37 |
| Tabla 12: Atributos morfológicos a los 89 días después del repique de los tratamientos sin fertilizante..... | 38 |
| Tabla 13: Índice de calidad a los 89 días después del repique de los tratamientos sin fertilizante | 40 |
| Tabla 14: Prueba de comparación múltiple de Duncan del efecto de los tratamientos en la altura | 42 |
| Tabla 15: Prueba de comparación múltiple de Kruskal - Wallis del efecto de los tratamientos en los atributos morfológicos..... | 43 |
| Tabla 16: Prueba de comparación múltiple de Duncan del efecto del Índice de Robustez..... | 44 |
| Tabla 17: Prueba de comparación múltiple de Kruskal - Wallis del efecto de los índices de calidad..... | 45 |

Índice de figuras

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1: Ubicación del Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa | 13 |
| Figura 2: Climograma del distrito de Chontabamba | 14 |
| Figura 3: Flujograma de actividades del trabajo de investigación | 16 |
| Figura 4: Preparación y germinación de semillas de <i>Pinus tecunumanii</i> (a) Método pre germinativo; (b) Siembra de semillas; (c) Selección de semillas germinadas | 17 |
| Figura 5: Acondicionamiento e instalación de espumas fenólicas (a) Primer orificio en la parte superior de la espuma; (b) Segundo orificio en el interior del primero; (c) Aplicación de K_2CO_3 en agua; (d) Inmersión de espumas en la solución | 18 |
| Figura 6: (a) Repique de semillas de <i>Pinus tecunumanii</i> ; (b) Bloque de espuma fenólica luego del repique | 18 |
| Figura 7: Labores culturales en espumas fenólicas (a) Riego; (b) Aplicación de fungicida | 19 |
| Figura 8: Fertilizantes (a) Dosificación F2; (b) Dosificación F3; (c) Dosificación F4; (d) Aplicación de fertilizante | 21 |
| Figura 9: Medición de altura de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> | 21 |
| Figura 9: Ensayo para la determinación de biomasa seca (a) Retiro de los plantones de las espumas; (b) Corte a nivel del cuello radicular; (c) Secado de muestras en la estufa de secado; (d) Pesado de muestras secas en la balanza analítica | 22 |
| Figura 11: Croquis de distribución de los tratamientos evaluados..... | 27 |
| Figura 12: Imágenes microscópicas de los plantones de <i>Pinus tecunumanii</i> de la (a) parte aérea; (b) base de las acículas; (c) corte longitudinal del tallo; (d) raíz principal | 31 |
| Figura 13: Interacción entre los factores de Dimensión de espuma fenólica y Dosificación de Fertilizante..... | 34 |
| Figura 14: Formación de raíces en espumas fenólicas de dimensiones (a) D1: 3 cm x 3 cm x 7 cm; (b) D2: 4 cm x 4 cm x 10 cm; (c) D3: 4 cm x 4 cm x 14 cm..... | 35 |
| Figura 15: Variación de altura media en los tratamientos evaluados..... | 36 |
| Figura 16: Variación de la biomasa seca aérea de <i>Pinus tecunumanii</i> en los tratamientos sin fertilizante..... | 43 |
| Figura 17: Variación de la relación altura tallo/longitud de raíz de <i>Pinus tecunumanii</i> en los tratamientos sin fertilizante | 45 |
| Figura 18: Variación del Índice tallo – raíz de <i>Pinus tecunumanii</i> en los tratamientos sin fertilizante..... | 46 |

Figura 19: Variación del índice de lignificación de *Pinus tecunumanii* en los tratamientos sin fertilizante.....47

Índice de anexos

| | Página |
|---|--------|
| Anexo 1: Registro de temperatura y humedad relativa de la estación Oxapampa..... | 58 |
| Anexo 2: Análisis de calidad de semilla | 61 |
| Anexo 3: Ficha técnica de la espuma fenólica | 62 |
| Anexo 4: Estado fitosanitario de los plántones de <i>Pinus tecunumanii</i> | 63 |
| Anexo 5: Resultados del cumplimiento de supuestos y comparación de medias para la altura | 64 |
| Anexo 6: Estadísticos descriptivos de la altura del tallo..... | 65 |
| Anexo 7: Estadísticos descriptivos de la longitud de raíz..... | 65 |
| Anexo 8: Estadísticos descriptivos del peso seco del plánton..... | 66 |
| Anexo 9: Estadísticos descriptivos del peso húmedo del plánton..... | 66 |
| Anexo 10: Resultados del cumplimiento de supuestos y comparación de medias para los atributos morfológicos..... | 67 |
| Anexo 11: Resultados del cumplimiento de supuestos y comparación de medias para los índices de calidad..... | 71 |

RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad de plantones de *Pinus tecunumanii* a partir del uso de espumas fenólicas y aplicación de dosificaciones de fertilizante para elaborar un protocolo de producción en el Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa, que responda a la necesidad de generar tecnologías innovadoras para la producción a nivel de vivero. Se instaló un ensayo con 12 tratamientos a partir de la combinación de tres dimensiones de espuma (3 cm x 3 cm x 7 cm; 4 cm x 4 cm x 10 cm; 4 cm x 4 cm x 14 cm) y cuatro fertilizaciones (tres diferentes dosificaciones de fertilizante y un testigo sin fertilizar). Se evaluaron los atributos morfológicos de altura, diámetro del cuello radicular, biomasa seca aérea y radicular y se determinaron los índices de calidad de robustez, relación altura tallo/longitud de raíz, índice de tallo - raíz, índice de lignificación e índice de Dickson. Se empleó un Diseño experimental Completamente al Azar DCA con 30 repeticiones por tratamiento. Se reportó que los plantones sin fertilizar (T1, T5, T9) mostraron los mayores valores de supervivencia e individuos relativamente sanos, aunque fueron de calidad baja según el índice de Dickson. Además, se obtuvo diferencias altamente significativas en el efecto de la dosificación de fertilizante (F2) sobre la altura, aunque las concentraciones utilizadas tuvieron efectos no beneficiosos para los plantones a comparación de los testigos. Debido a ello, se concluyó que no es posible recomendar un protocolo de producción, pero se demostró que las dosificaciones de fertilizante y dimensiones de espuma si influyen en la altura de los plantones, formación radicular, su supervivencia y estado fitosanitario. Esto sugiere que es necesario continuar con investigaciones en base a los resultados obtenidos para encontrar un sistema de producción que brinde plantones de buena calidad.

PALABRAS CLAVE:

Pinus tecunumanii, espumas fenólicas, viveros, índices de calidad, fertilizantes

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of *Pinus tecunumanii* seedlings after the use of phenolic foams and application of different doses of fertilizer to determine a production protocol in the Vivero Forestal “La Molina” – Sede Oxapampa. This responds to the necessity of generating innovative research for forestry sector at the nursery level. For this purpose, a trial of 12 treatments was installed based on the combination of three foam dimensions (3 cm x 3 cm x 7 cm; 4 cm x 4 cm x 10 cm; 4 cm x 4 cm x 14 cm) and four fertilizations (three different dosages of fertilizer and a control without fertilizer). The morphological attributes of height, root collar diameter, aerial and root dry biomass were evaluated and the quality indexes of robustness index, stem height/root length ratio, stem-root index, lignification index and Dickson index were determined. To evaluate the influence of the treatments, a Completely Randomized Experimental Design DCA was used with 30 replicates per treatment. The study showed that unfertilized seedlings (T1, T5, T9) obtained the highest survival values and relatively healthy individuals, although they were of low quality according to Dickson's index. In addition, highly significant differences were obtained in the effect of fertilizer dosage (F2) on height, although the concentrations used had non-beneficial effects on the seedlings compared to the controls. It was concluded that is not possible to recommend a production protocol, but it was shown that fertilizer dosages and foam dimensions do influence seedling height, survival and phytosanitary status. This suggests that it is necessary to continue with research based on the results obtained to find a production system that provides good quality seedlings.

KEYWORDS: *Pinus tecunumanii*, phenolic foams, nursery, quality indexes, fertilizer

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales a nivel mundial cuentan con 131 millones de hectáreas, esto equivale al 3 % de la superficie forestal; en América del Sur en la implementación de plantaciones se utiliza en mayor proporción especies introducidas principalmente pino y eucalipto (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2020).

El Perú presenta condiciones edafológicas y climatológicas favorables para lograr una alta productividad en las plantaciones forestales maderables de determinadas especies (Tello y Tello, 2016) como *Pinus tecunumanii* F.Schwerdtf. ex Eguiluz & J.P.Perry, y *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden en el caso de exóticas; y *Guazuma crinita* Mart y *Calycophyllum spruceanum* f. *intermedium* Chodat & Hassl. en cuanto a nativas (Guariguata et al., 2017). Según el registro del Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural AGRO RURAL, en el periodo 2010 – 2020 se han instalado 2 853,04 ha de plantaciones (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR, 2021).

Respecto a la silvicultura de plantaciones forestales, Terán (2018), Zanabria y Cuellar (2014) señalan que, la fase de vivero es determinante para el éxito de la plantación, puesto que en este espacio se deben producir plántones forestales de calidad que logren satisfacer la demanda del mercado. En la producción de plántones uno de los principales problemas que se observa a nivel de vivero es el escaso conocimiento en el uso de sustratos, fertilizantes, tipo de contenedor, entre otros factores, para producir plántones de calidad (Dominguez-Liévano y Espinoza-Zaragoza, 2021; Robles et al., 2017).

Es evidente la necesidad de investigar nuevas metodologías que permitan obtener plántones con excelentes características en fase de vivero, particularmente en especies de alto valor comercial, como *Pinus tecunumanii*; y con estos resultados favorables proponer metodologías de producción, más rentables y sostenibles con el ambiente.

El uso de las espumas fenólicas, es una tecnología innovadora y que se quiere introducir en el Perú en la producción a nivel de fase vivero, debido a sus cualidades como la no interferencia en la nutrición, buen soporte, y la alta capacidad de retención de humedad y aireación, brindan medios asépticos para las semillas y plantones, además de ser una alternativa frente al uso del suelo en fase vivero (Cárdenas et al., 2020). Esta tecnología aún no se masifica por la escasa información que existe sobre su implicancia en el desarrollo de los plantones (Silva et al., 2012), Para ello es necesario validar su eficiencia en la producción de vivero en el país, para desarrollar protocolos de producción utilizando espumas fenólicas. Lo que resultará de gran utilidad para programas y/o empresas de producción de plantones (Rueda-Sánchez et al., 2012), como el Vivero Forestal “La Molina” – Sede Oxapampa.

En el caso del Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa del Centro de Investigación en Silvicultura y Mejoramiento Forestal (CESILMEF) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), se produce anualmente *Pinus tecunumanii*, siendo una de las especies exóticas con mayor demanda (Terán, 2018), debido a su rápido crecimiento, adaptación a la zona, calidad de madera, entre otros (Gorbitz, et al., 2020); además, presenta diversos usos como construcción de casas, postes, muebles, artesanías, y leña (Sulca, 2021). Si bien la especie posee una gran cantidad de estudios a nivel de métodos de propagación en viveros convencionales y de alta tecnología, son muy pocas las investigaciones sobre la determinación de un protocolo que establezca las mejores dimensiones de espumas fenólicas y la dosificación necesaria de fertilizante para la producción de plantas de calidad.

En tal sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de plantones de *Pinus tecunumanii* a partir de la aplicación de espumas fenólicas y dosificación de fertilizante para proponer un protocolo de producción en el Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa, mediante la cuantificación de atributos morfológicos y la determinación de índices de calidad, así como la influencia de los distintos tratamientos en relación a la calidad de plantones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

En países de Latinoamérica como Colombia, México y Brasil se han desarrollado algunas investigaciones relacionadas con la producción de especies forestales en espumas fenólicas. Por ejemplo:

Se evaluó el uso de la espuma hortícola como alternativa para la producción de plantas, en Cali, Colombia. Se utilizaron cinco especies nativas: *Annona squamosa*, *Annona cherimola*, *Maclura tinctoria*, *Psidium guajava* y *Manilkara zapota*, en dos tipos de sustrato: espuma hortícola "Ultrafoam" (Fenocol, Colombia) y suelo (mezcla de tierra y cascarilla de arroz). Se observó que el crecimiento y la tasa de supervivencia fue similar para todas las especies en ambos sustratos. Esto se puede atribuir a que las especies no dependen de los nutrientes del sustrato en sus primeros estadios, sino de los nutrientes que les aporta el cotiledón. Se destacó que las espumas son elementos biodegradables, de bajo peso, y asépticos (Cárdenas et al., 2020).

Se determinó el efecto de la espuma fenólica de célula abierta para mitigar el estrés hídrico en *Pinus leiophylla*, en el Estado de Hidalgo, México. Para lo cual, se rellenaron bolsas de plástico negro con tierra agrícola hasta la mitad. Luego, se insertó cada planta de 1 año de edad en el centro de la bolsa. Después, se colocó el bloque de espuma hidratada al lado del cepellón de la planta y se completó el llenado hasta el cuello de la planta. Se estudiaron cinco tratamientos: T1 (1 bloque de espuma de 3,3 cm × 7 cm × 10 cm), T2 (1 bloque de espuma de 4,4 cm × 7 cm × 10), T3 (2 bloques de espuma de 3,3 cm × 7 cm × 10 cm), T4 (2 bloques de espuma de 4,4 cm × 7 cm × 10), T5 (Testigo, sin espuma). Este experimento se realizó en un invernadero, y las plantas no fueron regadas. Se concluyó que las espumas fenólicas en condiciones de estrés hídrico actúan como buen mitigador, además de propiciar un mejor desarrollo en altura y diámetro (Palacios – Romero et al., 2017).

Se estudió el efecto de las diferentes dosificaciones de fertilizante foliar Powegizer®45 en la producción de diferentes especies forestales en espumas fenólicas, en Huánuco, Perú. Se trabajó con plántulas de: *Calycophyllum spruceanum* Benth., *Guazuma crinita* C. Mart y *Colubrina glandulosa* Perkins. Éstas se repicaron en espumas de 4 cm x 4 cm x 15 cm y se aplicaron diferentes dosificaciones de fertilizante foliar Powegizer®45. Se determinó que el tratamiento T12 (*C. glandulosa*, con 6 mL del fertilizante) presentó los mayores valores en variables como altura y diámetro del tallo. En cambio, los tratamientos testigos, mostraron datos inferiores. Indicó que, debido a las condiciones de clima y tardío control de plagas en el vivero, afectó de forma negativa al desarrollo de los plántones en las espumas agrícolas (Muñoz, 2014).

Se investigó sobre el uso de espumas fenólicas para la producción de especies de *Eucalyptus*, en Brasil. Para lo cual se llevó a cabo cuatro experimentos: Experimento 1 (en vivero, en la época de verano – otoño), experimento 2 (en vivero, en la época de otoño – invierno), experimento 3 (en campo, en la época de otoño) y experimento 4 (en campo, en la época de primavera). Donde se estudiaron los mismos 4 tratamientos: T1 (Tubete de 55 cm³, con sustrato convencional comercial), T2 (espuma de 60 cm³), T3 (espuma de 75 cm³), T4 (espuma de 90 cm³). En todos los ensayos se evaluó tasa de mortalidad y biomasa. Se obtuvieron resultados relevantes en vivero como: El experimento 2 presentó mayor porcentaje de mortalidad a comparación del tratamiento convencional, debido al exceso de agua en la fase de enraizamiento. Mientras que, en campo, el experimento 4 obtuvo menor grado de mortalidad en las espumas medianas y grandes, es decir tuvo mejor resistencia al déficit hídrico. Finalmente, se concluyó que el uso de espumas frente al tubete es viable, pero se debe adecuar las condiciones del vivero, dando énfasis al manejo del riego (Silva et al., 2012).

2.2. Sustrato

Es todo material sólido diferente del suelo, el cual puede ser natural o sintético, mineral u orgánico, así también puede ser puro o mezclado; además, es uno de los principales responsables del óptimo crecimiento de las plantas y también puede estar asociado a la nutrición de la misma (Mondragón, 2016).

El sustrato debe proveer a la planta de agua, oxígeno y nutrientes, así como del pH y conductividad eléctrica que la especie requiera para su desarrollo óptimo, además de evitar la toxicidad por elementos químicos (Guerrini y Trigueiro, 2004).

2.3. Tipos de sustratos

Martínez-Florián, y Roca (2011), mencionan que existen sustratos según sus propiedades y según su origen.

Según sus propiedades:

- Químicamente inertes: Por ejemplo, la arena silícea, grava, roca volcánica, arcilla expandida, etc.
- Químicamente activos: Por ejemplo, turbas, orujos, algunos residuos de madera, vermiculita, etc.

Según su origen:

- Materiales orgánicos: La turba rubia y negra, fibra de coco, corteza de árboles y residuos madereros, entre otros.
- Material sintético: Polímeros de la industria de plásticos, poliuretano, poliacrilamida y poliestireno, entre otros.
- Minerales: Se encuentran los minerales naturales como los que proceden de las rocas y minerales, también los minerales tratados como la vermiculita, arcilla expandida, estériles del carbón, entre otros.

2.4. Espumas fenólicas

Las espumas fenólicas son polímeros celulares cuyo componente principal es de tipo fenólico, y se caracterizan principalmente por ser ligeras, pero a su vez rígidas (Saz-Orozco, 2013), los cuales cumplen la función de ser sustrato y contenedor para el plantón. Estas características dependen de su composición. Aquellas preparadas con resoles fenólicos tienen densidades entre

0,02407 a 0,08026 g/cm³, sin embargo; se recomienda tener densidades entre 0,03210 a 0,06420 g/cm³ (Espinoza, 2010).

Las espumas fenólicas permiten un buen desarrollo del sistema radicular, puesto que aporta la porción perfecta de aire/agua para la planta, fomentando su crecimiento (Bezerra et al., 2010) y debido a su propiedad aséptica evita la presencia de patógenos (Cárdenas et al., 2020).

Muñoz (2014) sugiere que para el manejo de las espumas se debe realizar riegos según las condiciones climáticas que aseguren su humedad, y respecto a la fertilización, utilizar nutrimentos solubles que la especie requiera para la fertilización en la fase de vivero.

2.5. Nutrición vegetal y elementos esenciales

Los nutrientes esenciales que requieren las plantas superiores son de carácter inorgánico, y se caracterizan por ser indispensables en su ciclo de vida (Mengel y Kirkby, 2000). Halvin et al. (2017) indican que, para determinar la dosificación adecuada se deben tomar en cuenta factores como la humedad, temperatura, el tipo de especie, entre otros.

Según su concentración en el tejido vegetal, se dividen en macro y micronutrientes. El primer grupo se divide en los nutrientes primarios: N, P, K, y secundarios: Ca, Mg, S. El segundo grupo incluye elementos catiónicos: Fe, Mn, Zn Cu, Ni, y aniónicos: B, Mo, Cl (Hasanuzzaman et al., 2018). Cada elemento cumple una función fisiológica importante en el desarrollo de la planta. La baja o alta concentración de los mismos puede producir déficit o intoxicación, respectivamente (Alvarado y Raigosa, 2012), lo cual resulta en un desarrollo anormal de la especie, debido a:

- El lavado o lixiviación de nutrientes
- Efectos del pH
- Interacción con otros nutrientes
- Poca o inexistente asociación micorrítica

Tabla 1: Funciones fisiológicas y síntomas de deficiencia de los macronutrientes N, P, K

| Nutriente | Funciones fisiológicas | Síntomas de deficiencia |
|----------------------|---|---|
| Nitrógeno (N) | Crecimiento de la planta. Permite la formación de tallos, ramas y hojas. | Clorosis en las acículas. Su ausencia dificulta el crecimiento de la planta. |
| Fósforo (P) | Propicia el desarrollo de las raíces, rebrotes, floración y fructificación. | Se observa acículas amarillentas en la parte inferior del tallo. Afecta el crecimiento de la planta |
| Potasio (K) | Permite la fotosíntesis y favorece la resistencia a enfermedades. | Clorosis desde las acículas inferiores hasta el ápice. Dificulta la lignificación de los haces vasculares |

Fuente: Adaptado de Hasanuzzaman et al. (2018); Alvarado y Raigosa (2012)

2.6. Fertilización en viveros

En viveros se aplican fertilizantes generalmente de forma líquida, por lo cual utilizan formulaciones que contengan altas proporciones de nitrógeno (N) y fósforo (K) solubles en agua (Alvarado y Raigosa, 2012). Además, la disposición y absorción del fertilizante depende de factores como la textura y estructura de la superficie donde se encuentre la planta, ya que de esto determina la aireación, circulación y almacenamiento del agua (Finck, 2021).

Esta práctica permite a los plantones crecer de forma óptima (De Freitas et al., 2007), particularmente el sistema radicular (Alvarado y Raigosa, 2012), así mismo, deben satisfacer los requerimientos de las plantas; mantener un adecuado equilibrio entre la actividad vegetal y productiva; y tener en cuenta el costo en la aplicación (Ellena et al., 2013).

Las malas prácticas de fertilización con compuestos hidrosolubles pueden ocasionar problemas de intoxicación, lixiviación, daños por salinidad, deficiencia de macro y micronutrientes. Esto puede resultar en una desproporción en el desarrollo de la parte aérea de la planta y su sistema radicular, disminuir la calidad de los plantones y aumentar las mermas en la producción (Finck, 2021; Castro et al., 2018).

En cuanto a los fertilizantes, el nitrógeno (N) puede estar disponible como N-nitrato y N-urea, en ambos casos se movilizan con el agua, aunque el segundo con mayor facilidad. En cuanto a los fosfatos solubles, pueden generar reacciones de precipitación con calcio (Ca) y magnesio

(Mg). Respecto al potasio (K), es el más estable de todos los nutrientes (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

2.7. Atributos morfológicos de plántones forestales

Navarro et al. (2006) detallan que, para caracterizar la calidad de una planta se utilizan atributos morfológicos cuantitativos, donde los más utilizados son la altura, diámetro del cuello radicular, y la biomasa seca aérea y radicular.

2.7.1. Altura

Se define como la longitud desde el cuello radicular hasta el ápice terminal de la planta (Thompson, 1985). Según Ramos y Lombardi (2020), la altura de planta es uno de los predictivos de las dimensiones futuras en campo.

Por otro lado, esta variable está relacionada con la capacidad fotosintética y superficie de transpiración de las plántulas, además que, a mayor altura, las plántulas pueden lidiar mejor con la vegetación competidora (Quiroz et al., 2009). No obstante, no es un indicativo para la supervivencia, ni resulta muy informativo, puesto que omite la arquitectura del tallo, por lo que su importancia radica en la relación que tiene con otros criterios (Guigues, 2019).

2.7.2. Diámetro del cuello radicular

Es un indicador de la capacidad relativa de tolerancia a altas temperaturas de la plántula, su resistencia mecánica y su capacidad de transporte de agua (Quiroz et al., 2009), así mismo, esta característica es la más importante en cuanto a calidad de la plántula, ya que puede predecir su supervivencia, además de definir la robustez del tallo, vigor y éxito de la plantación (Guigues, 2019).

La dimensión del diámetro es fácil de medir, y variará de acuerdo a la especie, además está correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radicular (López, 2020). Al respecto, Huaraca (2020) señala que, se puede presentar grandes diámetros cuando los plántones están

por mucho tiempo en un contenedor, lo cual puede producir raíces muy compactadas y enredadas. El mismo autor señala que, las plántulas que cuenten generalmente con valores mayores a 5 mm de diámetro, son más propensas a ser resistentes al doblamiento, y más tolerantes a los daños por plagas; dicho valor dependerá también de la especie.

2.7.3. Biomasa seca aérea y radicular

Es la cantidad o volumen de materia seca presente en una planta, puede ser aérea, subterránea o total, así mismo, la alta concentración de ésta puede indicar la una mayor probabilidad de supervivencia (Huaraca, 2020). Además, el peso seco radicular es un excelente predictor de supervivencia de los plantones que son instaladas en campo definitivo, así mismo, respecto al desarrollo radicular, éste depende del exceso o deficiencia de agua a nivel del suelo; en caso esta problemática sea por un largo periodo, se genera la interrupción del crecimiento de las raíces (López, 2020).

2.8. Índices de calidad de plantones forestales

Son relaciones morfológicas, a partir de las combinaciones de dos o más atributos morfológicos (Navarro et al., 2006). Con base a lo estudiado por Sáenz et al. (2014) y Prieto et al. (2009), se define:

2.8.1. Índice de robustez (IR)

Mide la resistencia de la planta a partir de la relación de altura (cm) y el diámetro al cuello de la raíz (mm). Su valor debe ser menor a 6, en consecuencia, a más bajos valores, mejor será la calidad de la planta y son más aptos para establecerse en lugares con poca humedad. Valores más altos hacen referencia a una desproporción en cuanto a la altura y el diámetro.

2.8.2. Relación altura tallo/longitud de raíz (R A/LR)

Se determina por la relación altura de tallo (cm) y longitud de la raíz principal (cm). El cociente ideal es de 1:1, ya que expresa una proporción entre la parte aérea y radicular; aunque, también

se podría obtener una relación de 2 – 2,5:1 (De Freitas et al., 2007). Se dice que a partir de este índice se predice el éxito de la plantación, ya que la relación anterior mencionada, favorece las altas tasas de supervivencia en la plantación.

2.8.3. Índice de Tallo - Raíz (ITR o R BSA/BSR)

Se expresa mediante la relación peso seco de la biomasa seca aérea (g) y biomasa seca raíz (g). Para considerar una buena relación los valores deben estar entre 1,5 y 2,5. Los valores menores a uno indica que la biomasa aérea es igual a la subterránea, mientras que, valores mayores a 2,5 denotan una desproporción, y un sistema radical que no es lo suficiente para la provisión de energía a la parte aérea de la planta.

2.8.4. Índice de lignificación (IL)

Se indica mediante la relación peso seco de la planta (g) y peso húmedo de la planta (g), el cual se expresa en porcentaje. Según Saénz et al. (2010), un valor de 11,3% - 17,01% indica plantones con un pre-acondicionamiento óptimo de calidad alta; 10% - 11,3%, plantones con un pre-acondicionamiento intermedio de calidad baja; menor al 10%, plantones que no están listos para su instalación en campo de calidad baja.

2.8.5. Índice de Dickson (ICD)

Se determina por la relación del peso seco total de la planta (g), y la sumatoria de la relación entre altura (cm) y diámetro del cuello de la raíz (mm) con la relación entre la biomasa seca aérea (g) y la biomasa seca radical (g). Este índice muestra las diferencias morfológicas entre plantas, y es considerado el que expresa mejor la calidad de la planta, ya que indica la proporcionalidad del plantón.

2.9. Caracterización de *Pinus tecunumanii*

Danida Forest Seed Centre (2000) detalla las siguientes especificaciones de la especie:

2.9.1. Taxonomía

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry

Nombres comunes: “Pino ocote” (México y Guatemala); “Pinabete” (Honduras)

Sinonimia: *P. patula* Schiede & Deppe spp. *tecunumanii* (Eguluz & Perry); *P. oocarpa* var *tecunumanii bajamensis* (Schwerdtfeger). Aguilar

2.9.2. Descripción botánica

Árbol de 50-120 cm de diámetro y 40-55 m de alto, con fuste recto, ramificado hasta un 40-60% de su altura, con ramas verticiladas y normalmente delgadas, la copa con tendencia piramidal y rala. Corteza externa de color café rojizo en la base, que se desprende en placas pequeñas separadas por fisuras poco profundas, y se torna lisa, decidua y de tonalidad rojo naranja después de los 3 a 4 m de la base. Hojas aciculares de color verde brillante y amarillo verdosas en algunas de ellas; dispuestos en fascículos de 4 acículas. Conos femeninos de tamaño pequeño, forma conoidal, con ápice puntiagudo, base redonda, de color café claro verdoso. Conos masculinos estaminados, al final de las ramitas. Semillas de 4,5-6,5 mm de largo y 2,4-3,3 mm de ancho, de color café claro y jaspeadas.

2.9.3. Distribución geográfica y ecología

Es originaria de México, en los estados de Oaxaca, Chiapas, Guatemala, al norte de El Salvador, sudeste de Honduras, y noreste de Nicaragua. Se desarrolla entre los 1 500 msnm - 2 600 msnm, en temperaturas que oscilan entre los 12 °C - 22°C, y precipitaciones de 1 800 mm - 2 400 mm. Crecen en suelos ligeramente ácidos, de pH de 4,5-5,5.

2.9.4. Manejo en vivero

La calidad de semillas indica que puede alcanzar de 60 000 a 80 000 semillas/kg, con porcentaje de pureza del 90 % - 99 %. Su germinación es de tipo epigeo y se observa a partir de los 8 días después de la siembra. Se puede utilizar como tratamiento pre germinativo el remojo en agua por 12 horas previo a la siembra.

La producción de plántones se puede realizar de forma directa en bolsas o cajas germinadoras. Se sugiere realizar la siembra en sustratos ligeramente ácidos, de pH de 5,5-6, y con micorrizas. Los plántones deben alcanzar 25 cm de altura para considerar que están listas para ir a campo.

Es importante considerar que en la fase de vivero es común la aparición de hongos que afectan el tallo. Así también, algunos insectos se alimentan de los plántones.

III. METODOLOGÍA

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en el Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa del Centro de Investigación en Silvicultura y Mejoramiento Forestal (CESILMEF) de la UNALM. Se ubica en el centro poblado de San José, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa, en la región de Pasco, entre las coordenadas UTM (453713 E y 88282985 S), a una altitud de 1820 msnm (Figura 1). En este espacio se realizó la instalación del experimento, además de la evaluación en campo de altura y diámetro del cuello radicular de los plántones. Finalmente, las evaluaciones de calidad se realizaron en el Laboratorio de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LS – FCF UNALM), se determinaron los valores de los atributos de biomasa húmeda, biomasa seca área y radicular.

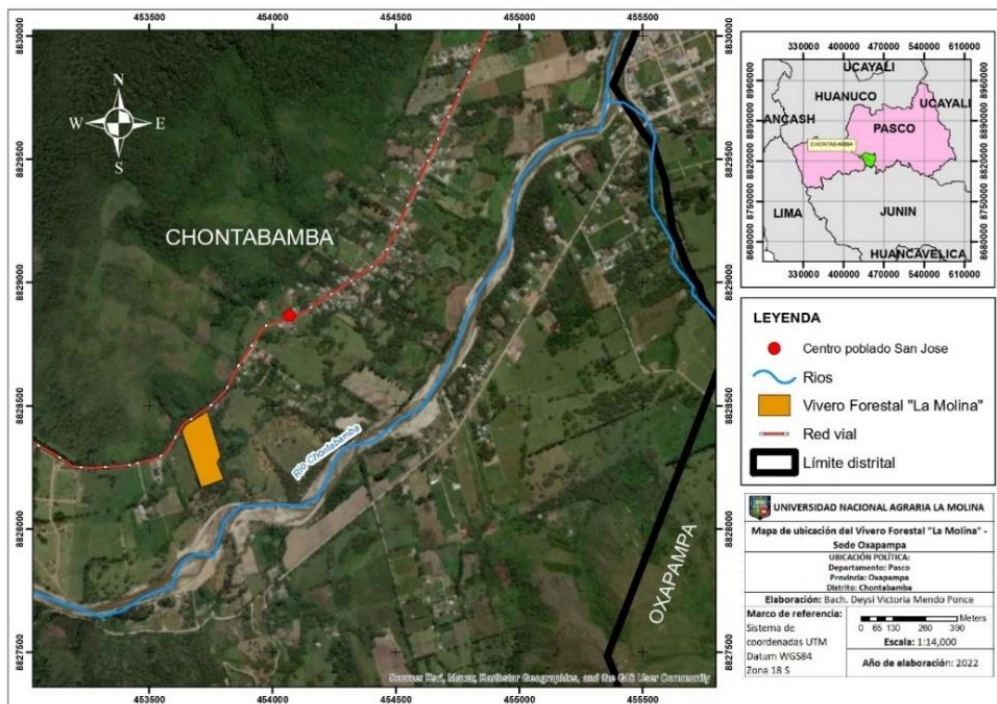


Figura 1: Ubicación del Vivero Forestal “La Molina” - Sede Oxapampa

El clima de Chontabamba se caracteriza por cálido y húmedo durante todo el año (Castro et al., 2021). Según el mapa climático del Perú, tiene temperaturas máximas entre 25°C a 29°C, y temperaturas mínimas entre 11°C a 17°C; con precipitaciones anuales entre 1 200 mm a 3 000 mm aproximadamente (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, 2020).

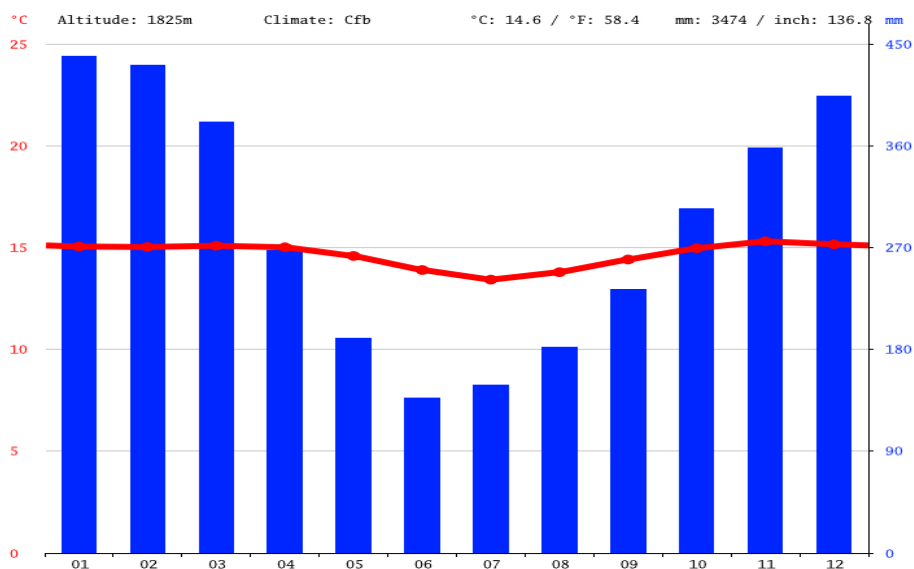


Figura 2: Climograma del distrito de Chontabamba

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG

En la Figura 2 se observa que la mayor precipitación se da en diciembre, hasta el mes de marzo; mientras que, la menor precipitación en junio. De acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdrige, el área de estudio se encuentra en las zonas de Bosque Húmedo Montano bajo Tropical (bh-mbt) y Bosque Muy Húmedo Montano bajo Tropical (bmh-MBT).

La investigación se realizó en el periodo de marzo a junio de 2022. Se consideró este periodo de 4 meses porque, de acuerdo a la experiencia observada en el Vivero Forestal “La Molina” – Sede Oxapampa, los plántones de *Pinus tecunumanii* están listos para la instalación en campo definitivo luego de este periodo de tiempo.

Los datos de temperatura, precipitación y humedad se obtuvieron de la Estación meteorológica de Oxapampa (ver Anexo 1), ubicada a 3,5 km del lugar de estudio.

3.2. Materiales y equipos

Tabla 2: Listado de materiales, insumos, herramientas, equipos y softwares

| Materiales | Insumos | Herramientas | Equipos | Softwares |
|---|---|--|--|-----------------------------------|
| Espumas fenólicas de dimensiones del cubo de 3 cm x 3 cm x 7 cm; 4 cm x 4 cm x 10 cm; 4 cm x 4 cm x 14 cm | 13 g con 68% PG de <i>Pinus tecunumanii</i> | Manguera dúplex 1 ^{1/4} reforzada de 100 m | Balanza digital CAMRY Ek5055 (1g de precisión) | R 4.1.3 R Studio-2022.02.1-461 |
| Malla en tejido raschel color negro 80% de sombra | Fosfato monoamónico soluble (NH ₄ H ₂ PO ₄) Nitrato de calcio (Ca(NO ₃) ₂) | Pistola de riego Truper de 8 salidas Roseador 2 L | Balanza SANSON (100 g de precisión) | Microsoft Excel 2021 |
| Mesas de metal con malla en rejillas | Cloruro de potasio (KCl) | Mochila pulverizadora 7L | Balanza analítica AND GR-200 (0,0001 g de precisión) | Microsoft Word 2021 |
| Cajas de plástico | Úrea (CH ₄ N ₂ O) | Tijera de podar | Estufa de secado Digitheat (250 °C) | Arcgis 10.5 |
| Probeta de plástico de 1 L | Sulfato de magnesio (MgSO ₄) Inver Micromix – PS | | Desecador de silicagel | |
| Bolsas de papel Kraft | Fungicida agrícola Carboxin “Vitavax” | | Estereoscopio binocular PREMIERE | |
| Libreta de campo | Fungicida agrícola Metalaxil-M | | Cámara fotográfica Sony α 5100 | |
| Útiles de escritorio | “Ridomil” | | | |
| Placa petri | Plaguicida químico Cypermethrin “Apache” Carbonato de potasio (K ₂ CO ₃) al 50 % | | Laptop Dell Inspiron 15 3000 | |

3.3. Métodos y procedimientos

Las actividades realizadas para la producción de los plantones y su posterior evaluación se detallan en la Figura 3.

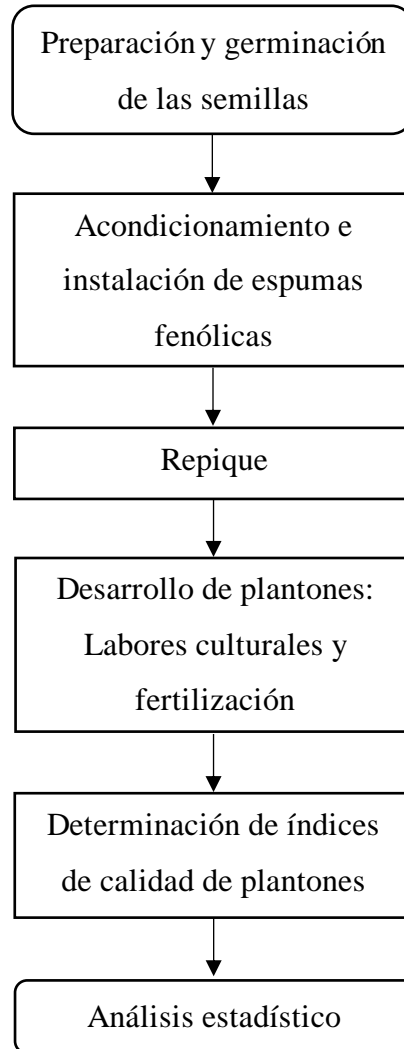


Figura 3: Flujograma de actividades del trabajo de investigación

3.3.1. Preparación y germinación de las semillas

Se emplearon semillas de *Pinus tecunumanii* de procedencia Huancabamba (Perú). Las semillas se sumergieron en agua fría durante 24 horas como método pre germinativo. Luego, se aplicó 4 g de fungicida “Vitavax” hasta que la semilla presentó un color ligeramente fucsia, para la prevención de presencia de hongos. Luego se realizó la siembra directa en arena de río como sustrato (fecha de siembra: 05 de marzo de 2022). Después de 12 días se seleccionó 360 semillas

germinadas con una radícula recta de 0,3 cm a 0,8 cm de largo en promedio; éstas fueron colocadas en placas Petri con papel toalla humedecido.

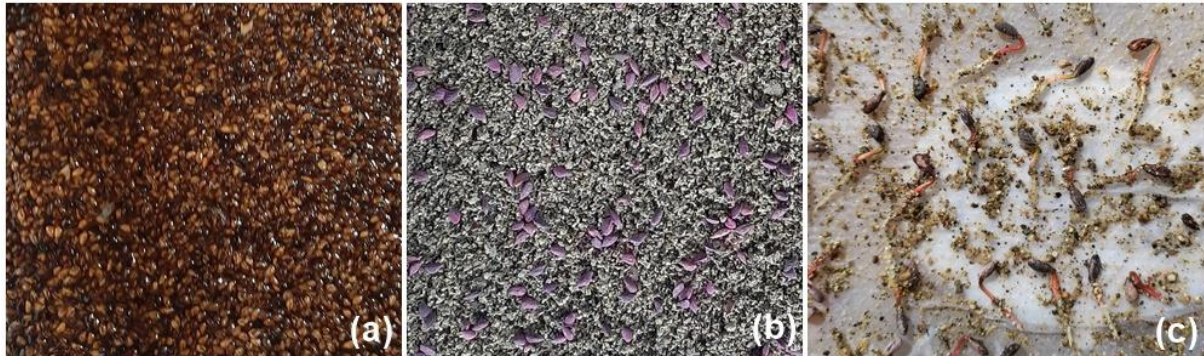


Figura 4: Preparación y germinación de semillas de *Pinus tecunumanii* (a) Método pre germinativo; (b) Siembra de semillas; (c) Selección de semillas germinadas

3.3.2. Acondicionamiento e instalación de las espumas fenólicas

Las láminas de espumas fenólicas se dividieron de forma manual en 4 bloques de 30 cubos para cada dimensión de espumas de 3 cm x 3 cm x 7 cm; 4 cm x 4 cm x 10 cm y 4 cm x 4 cm x 14 cm. Cabe resaltar que la elección de tamaños fue a partir de las referencias comerciales de la empresa proveedora y de la longitud de los tubetes de 115 cm³. Posteriormente, se realizó un orificio en la parte superior de cada cubo con un repicador cilíndrico a profundidad de 0,8 cm, y luego se hizo un segundo orificio al interior del primero con un repicador con punta con la finalidad de acomodar la radícula de las semillas germinadas. Después, solo para la hidratación inicial, se sumergió cada bloque de espumas en una solución de 30 L de agua y 20 mL (300 gotas) de carbonato de potasio (K₂CO₃) al 50 % hasta alcanzar su saturación. Se adicionó K₂CO₃ para aumentar el pH ácido (2,8 a 3,5) del producto, según lo indicó la guía de uso del producto (ULTRAFOAM, 2020). Seguidamente, se colocaron en mesas de metal con malla en rejillas de 0,80 m de alto y 1 m ancho, al interior de un tinglado construido con malla raschel 80% de color negro, según los tratamientos del experimento.

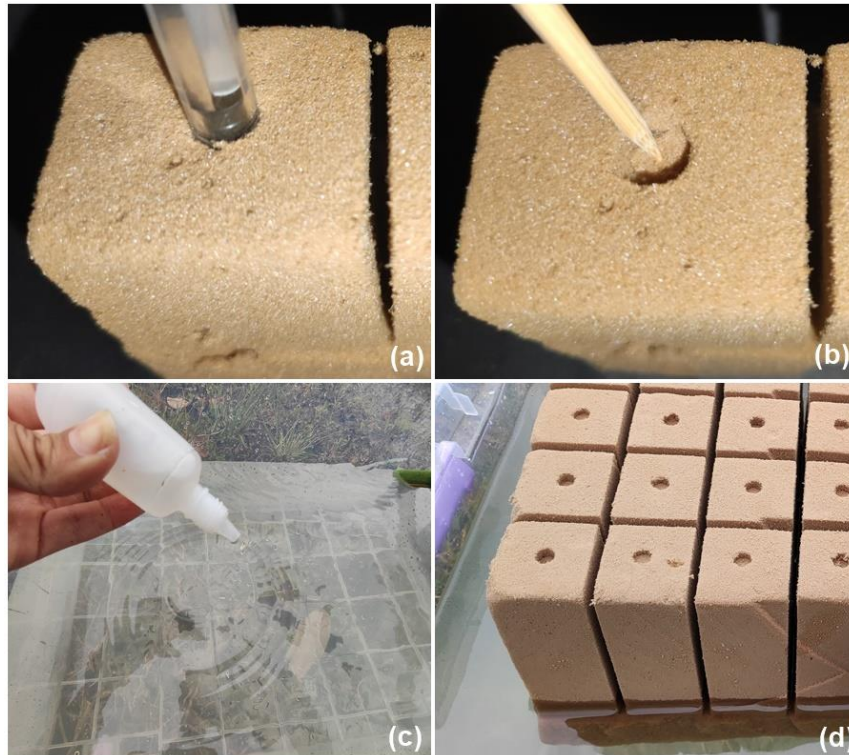


Figura 5: Acondicionamiento e instalación de espumas fenólicas (a) Primer orificio en la parte superior de la espuma; (b) Segundo orificio en el interior del primero; (c) Aplicación de K₂CO₃ en agua; (d) Inmersión de espumas en la solución

3.3.3. Repique

Se repicaron las 360 semillas germinadas en cada agujero de las espumas (fecha de repique: 17 de marzo de 2022). Para ello, se insertó la radícula en cada hoyo en posición vertical evitando quebrarlas. Los orificios no fueron cubiertos con ningún insumo.

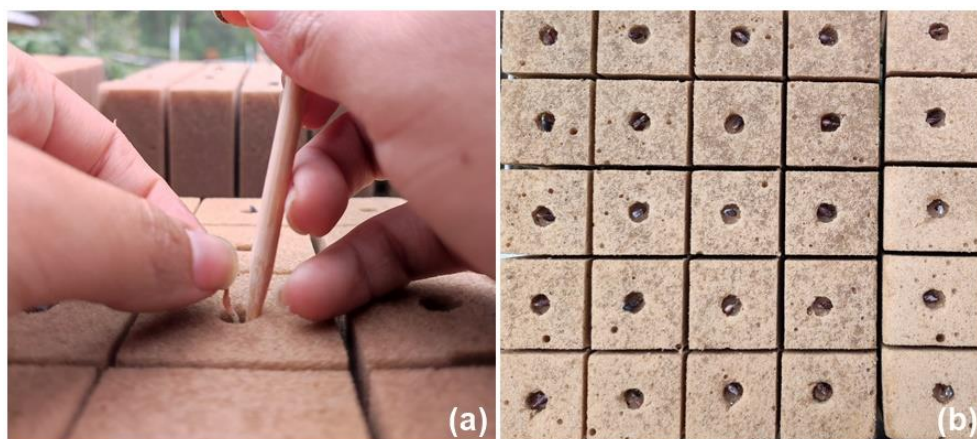


Figura 6: (a) Repique de semillas de *Pinus tecunumanii*; (b) Bloque de espuma fenólica luego del repique

3.3.4. Labores culturales

a. Riego

Se realizó el riego directo con manguera de forma diaria en las mañanas, excepto en las fechas con lluvias prolongadas a lo largo del día. Esto con la finalidad de mantener la espuma saturada. Es importante mencionar que mayormente esta tecnología de producción se realiza con riegos automatizados.

b. Protección fitosanitaria:

Se diluyó 5 mL del insecticida “Apache” en 5 L de agua dentro de una mochila pulverizadora, y se aplicó el preparado al interior y bordes del tinglado. Esto con la finalidad de prevenir el ataque de insectos como grillos y polillas. En el día 21 después del repique ante indicios de la presencia de hongos de pudrición en la base del tallo debido a la humedad, se aplicó de forma preventiva en las espumas y mesas de metal 5 g del fungicida “Ridomil” diluidos en 15 L de agua con la mochila pulverizadora.



Figura 7: Labores culturales en espumas fenólicas (a) Riego; (b) Aplicación de fungicida

3.3.5. Fertilización

La fertilización se inició a partir del día 27 después del repique (fecha de aplicación: 13 de abril de 2022) cuando se observaron plantas libres de cotiledón y homogéneas. La elección de las dosificaciones se hizo a partir del plan de fertilización que se utiliza en el Vivero Forestal “La Molina” – Sede Oxapampa, las cuales se exponen en la Tabla 3 según su respectivo tratamiento.

Tabla 3: Dosificación de fertilizantes

| Componente | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|-----------|--------------|-----------------|-----------|
| Macronutriente | | Dosis | (g/12 L) | |
| Nitrato de calcio Ca(NO ₃) ₂ | 0 | 240 | 800 | 1500 |
| MAP (NH ₄ H ₂ PO ₄) | 0 | 110 | 550 | 1000 |
| Cloruro de potasio (KCl) | 0 | 70 | 320 | 650 |
| Urea (CH ₄ N ₂ O) | 0 | 70 | 600 | 600 |
| Sulfato de magnesio (MgSO ₄) | 0 | 120 | 350 | 700 |
| Micronutriente | | Dosis | (g/12 L) | |
| Manganeso EDTA (Mn) | 0 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Hierro EDTA (Fe) | 0 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Cobre EDTA (Cu) | 0 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Zinc EDTA (Zn) | 0 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Boro (B) | 0 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Molibdeno (Mo) | 0 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| Azufre (S) | 0 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Magnesio (MgO) | 0 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| Lignosulfonato vegetal | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Nota: Se aplicó 4g del producto Inver Micromix – PS, el cual se compone de los micronutrientes expuestos en la tabla. | F1) Sin fertilizante, F2) Fertilización 2, F3) Fertilización 3, F4) Fertilización 4

Fuente: Adaptado de Tello (2019)

La aplicación fue en la parte superior de las espumas, bajo dos modalidades: 2 semanas de forma interdiaria, y luego 1 semana sin fertilizar, para lo cual se empleó un roseador de 2 L. Se continuó con dicha dinámica hasta finalizar la evaluación (fecha de última evaluación: 14 de junio de 2022). Se aplicó por separado el preparado del nitrato de calcio diluido, para evitar la precipitación de los compuestos. Después, se lavaron las acículas de la planta con la función de gotas finas de la pistola de riego, para evitar quemaduras. En total se realizaron 18 aplicaciones.



Figura 8: Fertilizantes (a) Dosificación F2; (b) Dosificación F3; (c) Dosificación F4; (d) Aplicación de fertilizante

3.3.6. Evaluación de los atributos morfológicos

Las evaluaciones se realizaron de acuerdo a lo expuesto en López (2020); Huaraca (2020) y Terán (2018).

a. Altura

Se realizó en todos los plantones a partir del día 2 después del repique, se usó una regla de metal de 30 cm, con precisión en milímetros, se midió desde el cuello radicular ubicado a nivel de la espuma hasta el ápice terminal del plantón. Se realizaron en total 20 evaluaciones.

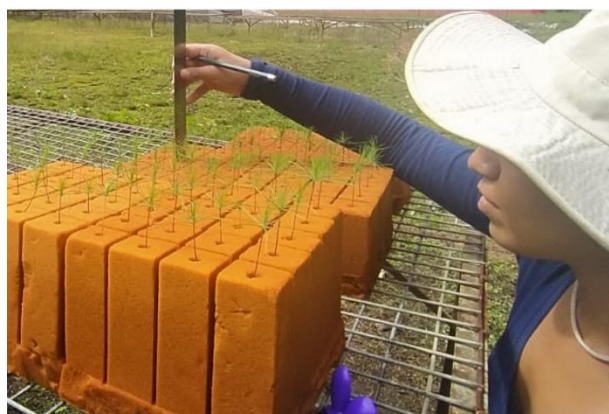


Figura 9: Medición de altura de los plantones de *Pinus tecunumanii*

b. Diámetro del cuello radicular

Se realizó únicamente al finalizar la investigación se midió al nivel de la espuma utilizando una regla de metal de 30 cm. Se excluyó el empleo del vernier para evitar daño en el tallo durante la medición.

c. Biomasa seca aérea y radicular

Se desmenuzó la espuma para retirar el plantón, para luego medir la raíz más larga en longitud, con una regla de metal, para posteriormente determinar el índice de Relación altura tallo/longitud de raíz (R A/LR).

Para la determinación de biomásas secas se realizó un corte a nivel del cuello radicular para separar la parte aérea y radicular con tijera de podar. Cada parte se pesó en la balanza analítica para la obtención del peso húmedo inicial. Después, se empaquetaron en bolsas de papel kraft para la obtención del peso húmedo inicial. Después, se colocaron en la estufa de secado a 70°C de temperatura durante 72 horas, y posteriormente en el desecador de silicagel por 5 minutos, para la determinación del peso seco.

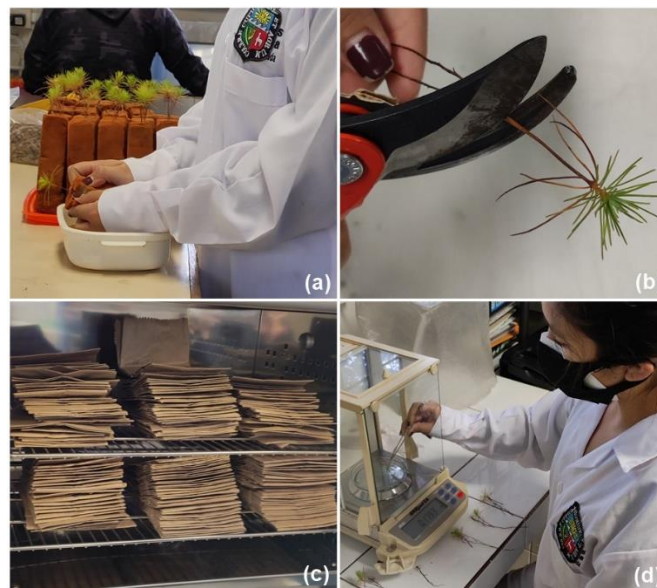


Figura 10: Ensayo para la determinación de biomásas secas (a) Retiro de los plantones de las espumas; (b) Corte a nivel del cuello radicular; (c) Secado de muestras en la estufa de secado; (d) Pesado de muestras secas en la balanza analítica

3.3.7. Índices de calidad de plantones

A partir de los datos de atributos morfológicos obtenidos se calcularon los índices de calidad mediante las siguientes fórmulas:

a. Índice de robustez (IR):

$$IR = \frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro del cuello radicular (mm)}}$$

b. Relación altura tallo/longitud de raíz (R A/LR):

$$RA/LR = \frac{\text{altura de tallo (cm)}}{\text{longitud de raíz (cm)}}$$

c. Índice de Tallo – Raíz (ITR o R BSA/BSR):

$$ITR = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca raíz (g)}}$$

d. Índice de lignificación (IL):

$$IL = \frac{\text{peso seco total de la planta(g)}}{\text{peso húmedo total de la planta(g)}}$$

e. Índice de Dickson (ICD):

$$ICD = \frac{\text{peso seco total de la planta (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro del cuello radicular (mm)}} + \frac{\text{biomasa seca aérea (g)}}{\text{biomasa seca raíz (g)}}$$

Para la calificación de la calidad de plantones se utilizó lo referido en la Tabla 4, según los parámetros sugeridos por Huaraca (2020) en plantones con crecimiento normal en fase de vivero.

Tabla 4: Valores determinados para la evaluación de calidad de los plantones en fase de vivero

| N° | Atributos morfológicos | Calidad | | |
|----|------------------------------------|---------|-----------|--------------|
| | | Baja | Media | Alta |
| 1 | Altura (cm) | < 10 | 10 - 11,9 | > 12 |
| 2 | Diámetro (mm) | < 2,5 | 2,5 - 3,9 | > 4 |
| 3 | I. Robustez (cm mm ⁻¹) | > 8 | 7,9 - 6 | < 6 |
| 4 | R BSA/BSR | > 2,5 | 2,4 - 2 | < 2,0 |
| 5 | IL (%) | < 10 | 10 - 11,3 | 11,3 - 17,01 |
| 6 | ICD | < 0,2 | 0,2 - 0,4 | > 0,5 |

Fuente: Huaraca (2020)

3.3.8. Evaluación de la supervivencia y estado fitosanitario de los plantones

El porcentaje de supervivencia se calculó al finalizar la evaluación en relación al número de individuos vivos respecto al total de 30 plantones. Se consideró plantón vivo aquel que presentó una guía principal en condición de turgencia con acículas verdosas o amarillentas; y como muertos cuando no contaban con una guía principal o eran completamente de color café.

En cuanto a la evaluación fitosanitaria se adaptaron a partir de lo propuesto por Rojas (2002), quien indica evaluar en hojas y tallo problemas como amarillamiento, herrumbre, exudados, presencia de agallas y cualquier manifestación que indique la presencia de agentes patógenos. Se contabilizaron los plantones vivos según la categoría registrada a partir de los síntomas observados al finalizar la evaluación y los criterios expuestos en la Tabla 5.

Tabla 5: Categorías del estado fitosanitario de los plantones

| | |
|-------------|--|
| EFS1 | Plántula completamente sana sin ningún problema fitosanitario visible, de buen color y vigor. |
| EFS2 | Plántula relativamente sana, con alguna evidencia de problemas fitosanitarios pero que no corre riesgo de morir, y principalmente cuando no se presente en más de un 50 % del follaje o que no haya provocado heridas severas en el tallo. |
| EFS3 | Enferma, plantones con problemas fitosanitarios que afectan el desarrollo normal de la plántula tales como la pérdida del eje dominante o del follaje y en general, daños visibles en más del 50 % de la planta. |

Fuente: Rojas (2002)

3.3.9. Diseño y análisis estadístico

Se planteó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 3x4; con dos variables independientes (factores): dimensión de los cubos de las espumas y dosificación de fertilizantes. Como variable dependiente se consideró la calidad de plantones determinado a partir de los atributos morfológicos e índices de calidad definidos para este estudio.

Tabla 6: Descripción de los niveles de cada factor

| Primer factor: Dimensión de los cubos de las espumas | |
|---|----------------------------|
| D1 | 3 cm x 3 cm x 7 cm |
| D2 | 4 cm x 4 cm x 10 cm |
| D3 | 4 cm x 4 cm x 14 cm |
| Segundo factor: Dosificación de fertilizantes | |
| F1 | Sin fertilizante (testigo) |
| F2 | Fertilización 2 |
| F3 | Fertilización 3 |
| F4 | Fertilización 4 |

La combinación de ambos factores resultó en 12 tratamientos. Se consideró a un plantón como unidad experimental, y se utilizaron 30 repeticiones para cada tratamiento. A continuación, se detalla los niveles de cada factor:

Tabla 7: Descripción de los tratamientos

| Tratamiento (T) | Dimensión de los cubos de espumas fenólicas + Dosificación de fertilizante | Unidad experimental (plantón) | Repeticiones | Total de plantones |
|---------------------------|---|--------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| T1 | D1 + F1 | 1 | 30 | 30 |
| T2 | D1 + F2 | 1 | 30 | 30 |
| T3 | D1 + F3 | 1 | 30 | 30 |
| T4 | D1 + F4 | 1 | 30 | 30 |
| T5 | D2 + F1 | 1 | 30 | 30 |
| T6 | D2 + F2 | 1 | 30 | 30 |
| T7 | D2 + F3 | 1 | 30 | 30 |
| T8 | D2 + F4 | 1 | 30 | 30 |
| T9 | D3 + F1 | 1 | 30 | 30 |
| T10 | D3 + F2 | 1 | 30 | 30 |
| T11 | D3 + F3 | 1 | 30 | 30 |
| T12 | D3 + F4 | 1 | 30 | 30 |
| Total de plantones | | | | 360 |

El croquis de la distribución de los tratamientos en campo se realizó al azar, y se muestra en la Figura 11.

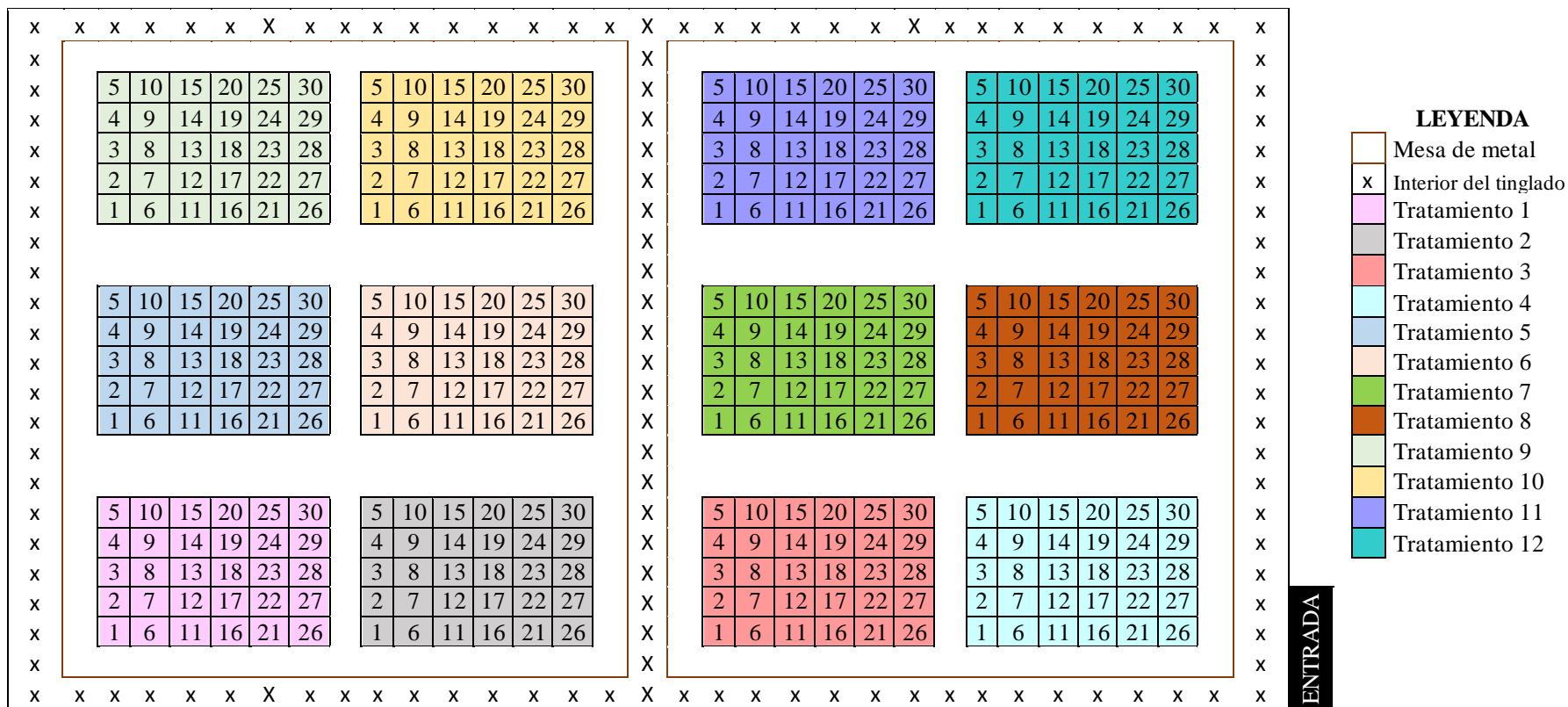


Figura 11: Croquis de distribución de los tratamientos evaluados

Para el análisis estadístico, primero se realizó la digitalización de los datos en Microsoft Excel 2021, y luego se utilizó el programa R 4.1.3 y R Studio-2022.02.1-461.

El análisis de los datos experimentales se dividió en 2 fases:

- Primera fase: Hasta el día 25 después del repique (fecha: 11 de abril de 2022). Se realizó el análisis de la altura en todos los tratamientos mediante estadísticos descriptivos, ya que hasta esa fecha no se aplicó ningún fertilizante.
- Segunda fase: Hasta el día 89 después del repique (fecha: 14 de junio de 2022).

Para la segunda fase se analizó la supervivencia y estado fitosanitario en todos los tratamientos. Luego, a partir de los tratamientos con individuos sobrevivientes se realizó un análisis de ANOVA, el cual requirió de la validación de supuestos mediante la prueba de normalidad de errores de Shapiro-Wilk y luego la prueba de homogeneidad de varianzas de los errores del modelo mediante la prueba de Breusch – Pagan. Luego se aplicó el modelo estadístico del DCA, pero en arreglo factorial 3x2, para analizar el efecto de los factores de crecimiento en la altura.

El modelo aditivo lineal para el diseño factorial fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Con $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2$

Donde:

- Y_{ijk} : Crecimiento en altura con la i -ésima dimensión de espuma fenólica en la j -ésima dosis de dosificación de fertilizante.
- μ : Media general
- α_i : Efecto producido en el nivel i -ésimo del factor dimensión de la espuma fenólica
- β_j : Efecto producido en el nivel la j -ésimo del factor dosificación de fertilizante
- $(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de la interacción entre factores: dimensión de la espuma fenólica x dosificación de fertilizante

- ϵ_{ijk} : efecto del error experimental en el i-ésimo del factor dimensión de la espuma fenólica y la j-ésima del factor dosificación del fertilizante

Se complementó el análisis de la segunda fase con la evaluación del efecto de los tratamientos 1, 5 y 9 sobre los atributos morfológicos e índices de calidad, lo cual se llevó a cabo de forma descriptiva y mediante el análisis de varianza (ANOVA), utilizando el modelo estadístico del DCA.

Para validar el ANOVA, primero se realizó la prueba de normalidad de errores y luego la prueba de homogeneidad de varianzas de los errores del modelo, mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Bartlett, respectivamente.

En los casos donde se validaron ambos supuestos, y se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple de Duncan, para evaluar cuáles presentaron mayores efectos significativos sobre la variable respuesta. Mientras que, para las variables que no cumplieron con uno o ninguno de los supuestos, pero presentaron un valor de ($p < 0,05$), se procedió a utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis.

También se analizó el efecto independiente de cada variable con un DCA bajo el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Con $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3 \dots 30$

Donde:

- Y_{ij} : Crecimiento en el i-ésimo tratamiento observado en la j-ésima repetición.
- μ : Media general
- τ_i : Efecto del i-ésimo tratamiento
- ϵ_{ij} : efecto del error experimental en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la calidad de plántones de *Pinus tecunumanii*

4.1.1. Efecto de los tratamientos en la supervivencia y estado fitosanitario

Tabla 8: Supervivencia y estado fitosanitario de los plántones de *Pinus tecunumanii* a los 89 días después del repique

| Tratamientos | Supervivencia (%) | Estado fitosanitario | | |
|--------------|-------------------|----------------------|------|------|
| | | EFS1 | EFS2 | EFS3 |
| T1 | 100 | - | 30 | - |
| T2 | 100 | - | 7 | 23 |
| T3 | 3,33 | - | - | 1 |
| T4 | 0 | - | - | - |
| T5 | 100 | - | 30 | - |
| T6 | 100 | - | 12 | 18 |
| T7 | 13,33 | 4 | - | - |
| T8 | 0 | - | - | - |
| T9 | 100 | - | 30 | - |
| T10 | 100 | - | 9 | 21 |
| T11 | 3,33 | 1 | - | - |
| T12 | 3,33 | - | - | 1 |

Nota: La edad de los plántones fue de 15 semanas

En la Tabla 8 se observa que bajo los tratamientos T1, T2, T5, T6, T9 y T10 todos los individuos sobrevivieron, al contrario de T4 y T8 donde ningún individuo sobrevivió. La supervivencia fue disminuyendo en el tiempo probablemente debido a la frecuencia de aplicación de fertilizante, y sus concentraciones. Los plántones de los tratamientos T4 y T8 fueron fertilizados con el F4, el cual presenta mayor contenido de macronutrientes. Respecto a los tratamientos fertilizados con el F3 (T3, T7, T11) presentaron bajos valores de supervivencia. A partir de ello, se presume que las altas concentraciones de fertilizantes produjeron efectos adversos en los plántones (Alvarado y Raigosa, 2012), ya que, el exceso de NPK puede ser tóxico para las plantas y puede generar altas tasas de mortalidad luego de su aplicación (Sodimu et al., 2020).

En relación al estado fitosanitario de los individuos sobrevivientes, se muestra que en su mayoría se encontraron relativamente sanas (EFS2), seguido de las plantas con problemas fitosanitarios (EFS3), y en menor cantidad plantas completamente sanas (EFS 1).

Si bien los tratamientos sin fertilizante (T1, T5, T9) y los fertilizados con menor concentración de dosificación (T2, T6, T10) presentaron el 100% de supervivencia, ninguno de todos estos individuos se observaron completamente sanos. En el primer caso, los individuos sin fertilizar se caracterizaron por presentar clorosis y afecciones en el crecimiento del plantón, los cuales posiblemente sean síntomas de deficiencia nutricional de los macronutrientes N, P, K (Hasanuzzaman et al., 2018; Alvarado y Raigosa, 2012), pero, no mostraron riesgo de mortandad. Mientras que, en el segundo caso, los cuales recibieron fertilización con menor concentración de fertilizante, en su mayoría tenían clorosis, ápice caído, con daños en más del 50% de la planta (ver Anexo 4), lo cual se presume sea síntomas de intoxicación por exceso de macronutrientes (Prieto et al., 2009).

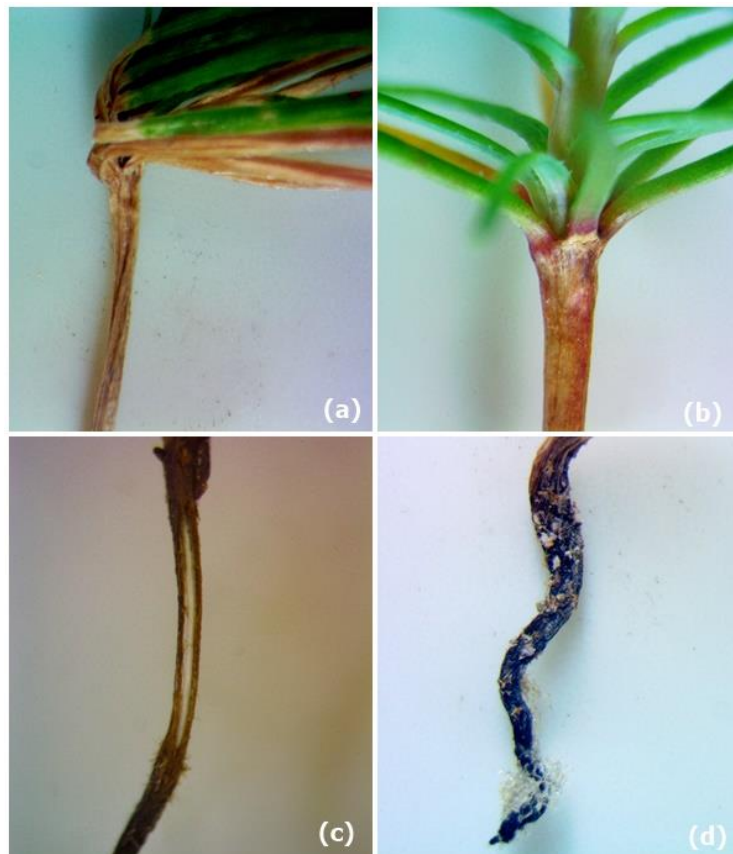


Figura 12: Imágenes microscópicas de los plantones de *Pinus tecunumanii* de la (a) parte aérea; (b) base de las acículas; (c) corte longitudinal del tallo; (d) raíz principal

Las evidencias de las afecciones producidas en los plantones que recibieron la dosificación F3 (T3, T7, T11) y F4 (T4, T8, T12) se muestran a nivel de microscopio en la Figura 12.

Como se mencionó anteriormente, el estado fitosanitario se vio afectado a partir de la aplicación de fertilizante, ya que se observaron en los plantones posibles síntomas como clorosis en el follaje y bajo crecimiento, lo cual denota exceso de nitrógeno; amarillamiento general, exceso de fósforo; necrosis de la raíz y crecimiento deficiente, exceso de potasio (Prieto et al., 2009), por lo que se presume que debido al exceso de concentración de nutrientes se produjo un desarrollo no normal de la planta (Alvarado y Raigosa, 2012).

La raíz principal de los tratamientos (T3, T4, T7, T8, T11, T12) mostraron una coloración parda – negra, lo cual coincide con los síntomas de pudrición radicular (Herrera, 1968), posiblemente por exceso de riego, lo cual es una de las principales causas del mal desarrollo radicular, y puede ocasionar inconvenientes en el crecimiento (Dumroese et al., 2012).

Con base a lo anterior, se denota que la fertilización es un factor determinante en la supervivencia y estado fitosanitario, tal como lo afirma Muñoz (2014). Por tanto, en *Pinus tecunumanii*, es fundamental controlar los niveles de salinidad que producen los fertilizantes y en general realizar estudios de las soluciones que se apliquen (Landis et al., 1989). También es importante emplear riegos tecnificados en este tipo de producción, para evitar efectos de pudrición en la raíz (Silva et al., 2012).

Los estudios realizados con las diferentes dosificaciones y dimensiones de espumas fenólicas no fueron concluyentes para proponer un protocolo de producción, ya que en los tratamientos (T3, T4, T7, T8, T11, T12) obtuvieron bajos valores de supervivencia, mientras que, en los tratamientos (T1, T2, T5, T6, T9, T10), si bien contó con el 100% de supervivencia, no contaron con un buen estado fitosanitario, ni lograron alcanzar la altura necesaria para ser trasladados a campo (Tabla 7). No obstante, los resultados obtenidos presentan una primera aproximación en el uso de estas nuevas tecnologías para la producción de *Pinus tecunumanii*, y brindan aportes importantes en cuanto a las consideraciones para su manejo a nivel de fertilización y dimensiones. Para la masificación de esta tecnología se requiere de más investigaciones que permitan obtener una metodología de producción de plantones óptimos para campo.

4.1.2. Efecto de los factores de dimensión de espumas y dosificación de fertilizante (F2) en la altura

Se analizó el efecto de la dimensión de espumas y dosificación de fertilizante (F2) en los tratamientos (T1, T2, T5, T6, T9, T10), ya que contaron con 30 individuos sobrevivientes y se determinó a partir de la prueba de normalidad Shapiro Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Breusch – Pagan que en ambos casos se cumple con los supuestos, por tanto, al realizar el ANOVA (ver Anexo 5), se mostró que existen diferencias muy significativas ($p < 0,001$) en la dimensión de espumas y en la dosificación de fertilizante (F2), aunque este último factor lo fue en mayor medida. Además, la interacción de los factores mostró altas diferencias significativas ($p < 0,01$). Por tanto, se comprueba que al menos un nivel de los factores estudiados produce una altura diferente a los demás.

Tabla 9: Prueba de comparación múltiple de Duncan de los tratamientos en la altura

| Tratamientos | Altura media (cm) | Agrupamiento |
|--------------|-------------------|--------------|
| T2 | 7,56 | a |
| T6 | 7,43 | a |
| T10 | 6,67 | b |
| T1 | 5,28 | c |
| T9 | 5,16 | c |
| T5 | 5,05 | c |

Nota: (a, b, c) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)

En la Tabla 9, se muestra que los plantones fertilizados con la dosificación F2 (T2, T6) presentan las mayores alturas medias frente a los tratamientos sin fertilizar (T1, T5 y T9), esto evidencia que, la práctica de fertilización propicia el crecimiento de los plantones (De Freitas et al., 2007) al brindarle los nutrientes que éstos requieren (Ellena et al., 2013). Esto coincide con lo investigado por Muñoz (2014), quien obtuvo diferencias significativas en cuanto a la altura por la aplicación de fertilizante foliar Powegizer®45 en espumas fenólicas de 4 cm x 4 cm x 15 cm en *Calycophyllum spruceanum*, *Guazuma crinita* y *Colubrina glandulosa*.

De modo general, se observa que las alturas medias de los plantones analizados presentan valores menores a 10 cm, lo cual se podría interpretar como plantones de calidad baja y que

posiblemente no estén listos para campo (Huaraca, 2020). Estos resultados se pueden explicar relacionando estos valores con las altas tasas de fertilización que se adicionó a nivel de vivero y que pudieron producir consecuencias poco favorables para los plántones (Landis et al., 1989), como una desproporción en su crecimiento (Finck, 2021; Castro et al., 2018). Además, podría deberse a la influencia de otros factores de manejo silvicultural como el pH y la luminosidad (Alvarado y Raigosa, 2012), así como, la frecuencia y tipo de riego (Landis et al., 1989).

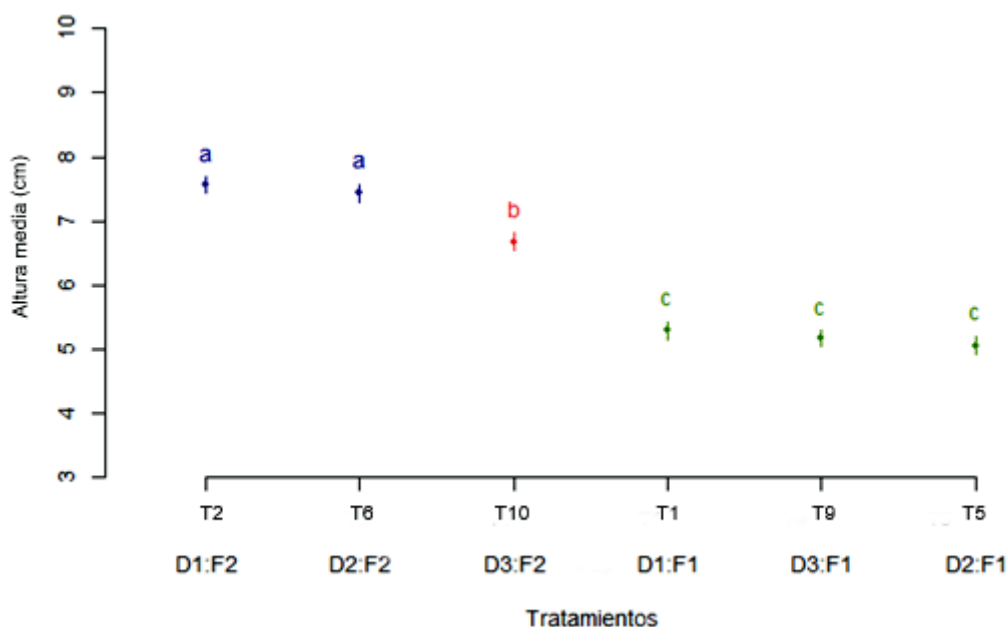


Figura 13: Interacción entre los factores de Dimensión de espuma fenólica y Dosificación de Fertilizante

En la Figura 13 se muestra que a nivel de dosificación de fertilizante (F1 y F2) la aplicación de fertilizante genera diferencias significativas en la altura media de los plántones, al igual que las dimensiones de espuma (ver Anexo 5). Al comparar los tratamientos (T2, T6) frente a (T10) se muestra que la mayor dimensión de espuma (D3) obtuvo plántones de menor altura, lo cual contradice la teoría de Landis et al. (1990), quien indica que a mayor tamaño de contenedor se obtendrán plantas más grandes. Esto pudo deberse a factores de manejo como luz, agua o nutrientes ya que, al tener más espacio para el desarrollo de sus raíces, tuvo mayor capacidad de absorción de fertilizante (Santos et al. 2022) y también podría explicarse por un exceso de nutrientes que no resultó favorable para los plántones (Alvarado y Raigosa, 2012).



Figura 14: Formación de raíces en espumas fenólicas de dimensiones (a) D1: 3 cm x 3 cm x 7 cm; (b) D2: 4 cm x 4 cm x 10 cm; (c) D3: 4 cm x 4 cm x 14 cm

En relación al desarrollo del sistema radicular en la espuma, en la Figura 14 se observa que en las dimensiones de espuma D1, D2, D3, para los tratamientos T1, T5, y T9, respectivamente, tanto en D1 como en D2, se obtuvo un 43% de raíces bifurcadas; mientras que en D3 solo fue el 27%, y el resto tenían una raíz principal. Esto se podría explicar debido al volumen de la espuma, ya que a mayor volumen de espuma se deduce que el plantón cuenta con más espacio para desarrollarse (Terán, 2018). En ese sentido, el tratamiento T9 propiciaría la formación de una raíz principal recta con abundantes raíces secundarias (Prieto et al., 2009).

Finalmente, se debe tomar en cuenta que, las espumas fenólicas además de cumplir la función de sustrato, también son contenedores de los plantones, por tanto, la dimensión de este material debe ayudar a cumplir con la relación tallo:raíz de 1:1 para obtener plantas de buena calidad (Saénz et al., 2014).

4.2. Cuantificación de los atributos morfológicos de los plantones de *Pinus tecunumanii*

4.2.1. Altura

Tabla 10: Altura (cm) a los 25 días después del repique

| Estadísticos descriptivos | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Media | 3,79 | 4,00 | 3,88 | 3,99 | 3,84 | 4,14 | 3,88 | 4,14 | 3,83 | 3,86 | 4,21 | 4,20 |
| Mediana | 4,10 | 4,08 | 3,93 | 4,00 | 3,85 | 4,20 | 3,80 | 4,10 | 3,93 | 3,98 | 4,20 | 4,33 |
| Varianza | 0,45 | 0,42 | 0,19 | 0,52 | 0,48 | 0,17 | 0,30 | 0,30 | 0,41 | 0,30 | 0,40 | 0,53 |
| Desviación estándar | 0,67 | 0,65 | 0,43 | 0,72 | 0,70 | 0,41 | 0,55 | 0,55 | 0,64 | 0,55 | 0,64 | 0,73 |

El análisis descriptivo de la variable altura hasta el día 25 después del repique se muestra en la Tabla 10, y se observa que el T11 (4,21 cm) presenta la mayor altura promedio, seguido del T12 (4,20 cm). Mientras que, T1 (3,79 cm) fue el de menor altura promedio. En cuanto a la variabilidad de las observaciones, la varianza del T12 (0,53 cm²) denota la mayor dispersión de datos, a comparación del T3 (0,19 cm²) que muestra menor variabilidad. Es probable que al inicio de su crecimiento las especies no tengan una alta dependencia del sustrato, ya que al ser una especie epigea su desarrollo depende de las reservas de nutrientes que tiene el cotiledón (Crang et al. 2019).

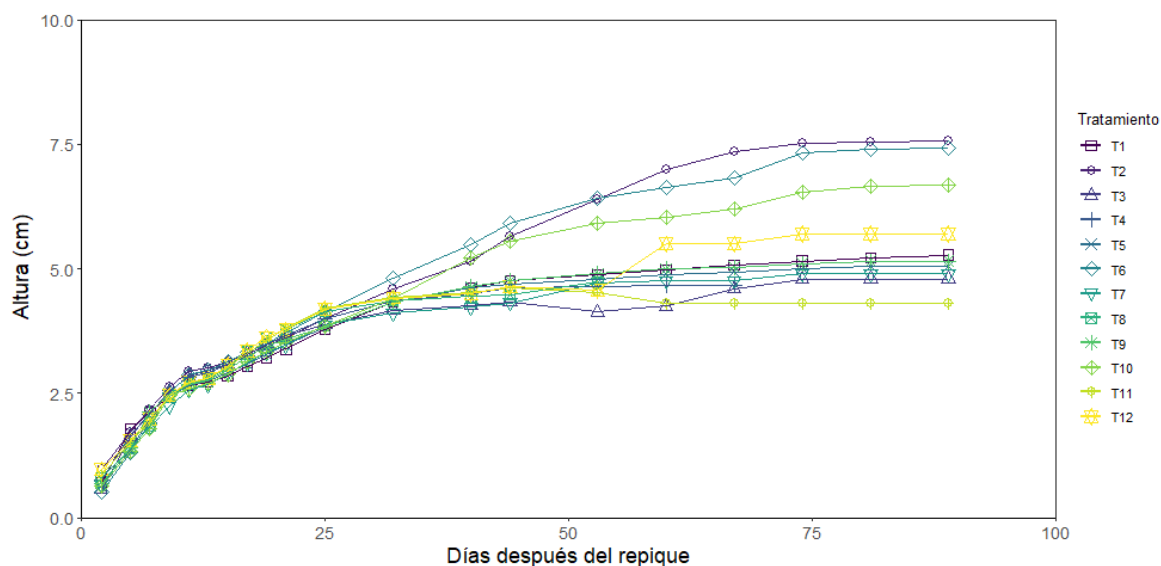


Figura 15: Variación de altura media en los tratamientos evaluados

En la Figura 15 se muestra el crecimiento de los plantones durante todo el experimento. Hasta el día 25 todos los plantones siguen una tendencia de desarrollo similar y rápido en el tiempo, además de presentar la mayor tasa de crecimiento. Al empezar con la fertilización de las plantas en el día 27 después del repique, cada tratamiento mostró un comportamiento diferente en el desarrollo en altura. Cabe precisar que la tendencia de los tratamientos T3 y T11 fue a reducción luego del día 50 después del repique, presentando menores individuos vivos sobre los cuales se determinó la media. Así mismo, a partir del día 75 después del repique no se muestra un incremento en altura, si no que se mantiene constante. En cuanto a la altura de los plantones se puede observar que hasta los 89 días después del repique el mayor promedio fue de 7,5 cm, dato ligeramente superior a lo reportado por López (2020) quien obtuvo alturas de 7,23 cm en promedio de todos sus tratamientos para la misma especie a los 90 días de edad utilizando tratamientos con diferentes combinaciones de sustratos y fertilizantes.

Tabla 11: Altura (cm) a los 89 días después del repique

| Estadísticos descriptivos | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| n | 30 | 30 | 1 | 0 | 30 | 30 | 4 | 0 | 30 | 30 | 1 | 1 |
| Media | 5,28 | 7,56 | 4,80 | - | 5,05 | 7,43 | 4,90 | - | 5,16 | 6,67 | 4,30 | 5,70 |
| Mediana | 5,40 | 7,55 | 4,80 | - | 5,10 | 7,35 | 5,05 | - | 5,15 | 6,55 | 4,30 | 5,70 |
| Varianza | 0,58 | 0,39 | - | - | 0,59 | 0,57 | 0,65 | - | 0,46 | 0,60 | - | - |
| Desviación estándar | 0,76 | 0,62 | - | - | 0,77 | 0,76 | 0,80 | - | 0,68 | 0,78 | - | - |

El número de muestras vivas al concluir el experimento denota que, para el T3, T4, T7, T8, T11, y T12 solo se contó con menos de 5 individuos vivos, ya que, luego de la aplicación de los fertilizantes el estado fitosanitario de los tratamientos fue afectado hasta llegar al grado de mortandad, como se observa en la Tabla 11. En relación a las alturas medias, el T2 (7,56 cm) y T6 (7,43 cm) presentaron los mayores valores, siendo los tratamientos que recibieron la menor concentración de fertilizante (F2), frente al T4, T8 y T12, que recibieron la mayor concentración (F4). De esto se deduce que no necesariamente altas proporciones de fertilizante producirán mejores resultados, por el contrario, la sobre fertilización puede generar efectos negativos para los plantones (Alvarado y Raigosa, 2012), como inhibir el crecimiento de las plantas debido a la toxicidad (Landis et al., 1989). En cuanto a las alturas medias de todos los tratamientos, se observó que no superan los 10 cm, lo cual de acuerdo a Huaraca (2020) en su investigación sobre calidad de plantones en tubetes, se categorizan como calidad baja, además Pietro et al. (2009) recomienda que los plantones cuenten con 15 cm de altura. Se podría mencionar que la

dosificación F2 fue la más efectiva, ya que los tratamientos (T2, T6, T10) presentaron las mayores alturas promedio. Sin embargo, como se detalló anteriormente, su estado fitosanitario no fueron los óptimos. Por lo que, se debería contemplar hacer uso de concentraciones más bajas o disminuir la frecuencia de aplicación para evitar efectos desfavorables para la planta.

4.2.2. Atributos morfológicos

Es necesario mencionar que se evaluó los atributos morfológicos de los tratamientos (T1, T5, T9), puesto que fueron los que presentaron mejor estado fitosanitario y sobrevivieron sus 30 individuos.

Tabla 12: Atributos morfológicos a los 89 días después del repique de los tratamientos sin fertilizante

| Atributos Morfológicos | Tratamientos | Estadísticos descriptivos | | | | |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-------|---------|----------|---------------------|
| | | n | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar |
| Altura | T1 | 30 | 5,28 | 5,40 | 0,58 | 0,76 |
| | T5 | 30 | 5,05 | 5,10 | 0,59 | 0,77 |
| | T9 | 30 | 5,16 | 5,15 | 0,46 | 0,68 |
| Diámetro del cuello radicular | T1 | 30 | 1,5 | | | |
| | T5 | 30 | 1,5 | | | |
| | T9 | 30 | 1,5 | | | |
| Biomasa seca aérea (BSA) | T1 | 30 | 0,07 | 0,07 | < 0,001 | 0,02 |
| | T5 | 30 | 0,07 | 0,07 | < 0,001 | 0,02 |
| | T9 | 30 | 0,06 | 0,06 | < 0,001 | 0,01 |
| Biomasa seca radicular (BSR) | T1 | 30 | 0,03 | 0,03 | < 0,001 | 0,01 |
| | T5 | 30 | 0,03 | 0,03 | < 0,001 | 0,01 |
| | T9 | 30 | 0,03 | 0,03 | < 0,001 | 0,01 |

Nota: En el caso del diámetro del cuello radicular resultó tener valores contantes, por tanto, solo se determinó su media.

Con respecto a la altura, se observa en la Tabla 12, que al finalizar la evaluación en el T1 (5,28 cm) las plántulas presentan la mayor altura promedio, mientras que T5 (5,05 cm) siendo el de menor altura. Los valores obtenidos son similares (5,645 cm) a lo reportado por López (2020), quien produjo la misma especie en tubetes de 115 cm³ con sustrato de tierra, sin fertilización, pero en ambos casos, menores (13,11 cm) a lo reportado por Terán (2018), en un sistema de producción con bolsas de polietileno de 327 cm³ (sustrato de tierra, arena) y sin fertilización.

Esto denota que tanto la composición del sustrato, como tipo y tamaño del contenedor influyen en el desarrollo de la morfología de la planta (Santos et al., 2022; Bezerra et al., 2010; Landis et al., 1990).

En el caso de los diámetros del cuello radicular resultaron con la misma medición de 1,5 mm, por tanto, cuenta con medias iguales, las cuales se califican como calidad baja, ya que se encuentra debajo de 2,5 mm (Huaraca, 2020), lo cual es negativo para los plántones por ser menos resistentes al doblamiento y presentar un tallo con menor vigor (Pietro et al., 2009). No obstante, este valor es mayor (0,919 mm) a lo obtenido por López (2020), pero menor al resultado de Terán (2018), el cual fue de 1,92 mm; esto debido a que generalmente mayores tamaños de contenedor se obtienen diámetros de cuello más grandes (Santos et al., 2022).

Los valores obtenidos respecto a la biomasa seca aérea y radicular son mayores a los reportados por López (2020), pero menores a lo obtenido por Terán (2018), los cuales son de 0,032 y 0,006; 0,36 y 0,28, respectivamente. Tanto para la biomasa seca aérea y radicular, las diferencias expuestas se podrían explicar por los diversos sustratos y la cantidad de agua utilizados en la producción, ya que estos factores repercuten en el desarrollo de la planta (López, 2020), en particular en sustratos como las espumas fenólicas, que se comportan como reservorios de agua (Palacios-Romero et al., 2017) y tienden a absorber y perder agua en su superficie, lo cual podría influenciaren los valores de biomasa seca (Silva et al., 2012).

4.3. Determinación de los índices de calidad de los plantones de *Pinus tecunumanii*

Al igual que en el caso de los atributos morfológicos, se analizaron los tratamientos (T1, T5, T9), debido a que presentaron 30 individuos vivos y con mejor estado fitosanitario frente a los otros tratamientos.

Tabla 13: Índice de calidad a los 89 días después del repique de los tratamientos sin fertilizante

| Índices de calidad | Tratamientos | Estadísticos descriptivos | | | | |
|--|--------------|---------------------------|-------|---------|----------|---------------------|
| | | n | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar |
| Índice de robustez (IR) | T1 | 30 | 3,52 | 3,60 | 0,26 | 0,51 |
| | T5 | 30 | 3,37 | 3,40 | 0,26 | 0,51 |
| | T9 | 30 | 3,44 | 3,43 | 0,20 | 0,45 |
| Relación altura tallo/longitud de raíz (RA/LR) | T1 | 30 | 0,86 | 0,88 | 0,01 | 0,11 |
| | T5 | 30 | 0,61 | 0,57 | 0,02 | 0,14 |
| | T9 | 30 | 0,51 | 0,47 | 0,02 | 0,15 |
| Índice tallo – raíz (ITR) | T1 | 30 | 2,49 | 2,59 | 0,43 | 0,66 |
| | T5 | 30 | 2,58 | 2,24 | 0,96 | 0,98 |
| | T9 | 30 | 1,84 | 1,76 | 0,19 | 0,43 |
| Índice de lignificación (IL) | T1 | 30 | 0,40 | 0,36 | 0,01 | 0,09 |
| | T5 | 30 | 0,45 | 0,42 | 0,01 | 0,09 |
| | T9 | 30 | 0,42 | 0,42 | 0,01 | 0,08 |
| Índice de Dickson (ICD) | T1 | 30 | 0,02 | 0,02 | < 0,001 | < 0,001 |
| | T5 | 30 | 0,02 | 0,02 | < 0,001 | < 0,001 |
| | T9 | 30 | 0,02 | 0,02 | < 0,001 | < 0,001 |

En cuanto al índice de robustez, se observa en la Tabla 13 que el T1 (3,52 cm mm⁻¹) cuenta con el mayor valor de mayor altura promedio (ver Tabla 12), este índice es directamente proporcional a la altura del plantón. En este caso, solo depende de la altura, puesto que todos los tratamientos tienen los mismos valores de diámetro del cuello radicular. Así mismo, el resultado expuesto se califica como calidad alta, ya que es menor a 6 (Huaraca, 2020), esto indica una buena proporción entre el crecimiento de altura y diámetro (Prieto et al., 2009; Saénz et al., 2014).

Respecto a la relación de altura del tallo y longitud de raíz, el T1 (0,86), que compara dimensiones longitudinales cuenta con el mayor valor en comparación del T9 (0,51) que presenta el menor resultado. Esto se puede explicar principalmente por el valor de la longitud

de raíz, ya que a mayor longitud de raíz menor valor del índice (ver Anexo 7). Según Marín (2018) y Saénz et al. (2014) la relación tallo - raíz ideal debería ser de 1:1, por tanto, se podría indicar que T1 mostró la mejor proporción.

Por otra parte, en el índice tallo – raíz, que mide la biomasa, el T9 (1,84), presenta el menor valor a comparación del T1 (2,49) los cuales denotan una calidad alta, y T5 (2,58) calidad baja (Huaraca, 2020). Respecto a T1 y T5, al tener cocientes cercanos a 2,5 muestran una desproporción en la planta, ya que la biomasa aérea es superior a la radicular (Saénz et al., 2014).

Respecto al índice de lignificación, el T1 (0,40) es el de menor índice, seguido de T9 (0,42) y T5 (0,45), los cuales no se pueden calificar puesto que los valores no se encuentran en el rango propuesto por Huaraca (2020). Esto probablemente se debió a que los valores de peso seco y húmedo de la planta no variaron en gran medida (ver Anexo 8 y Anexo 9).

Finalmente, en cuanto al índice de Dickson, el cual determina de mejor manera la calidad de la planta (Saénz et al., 2014), al ser valores menores a 0,2, se califica como calidad baja a los plantones de *Pinus tecunumanii* producidos en espumas fenólicas sin fertilizante. Una respuesta similar fue obtenida por López (2020), quien, a pesar de la aplicación de fertilizantes, bioestimulantes y distintos tipos de sustratos a base de tierra, turba y/o arena para la producción de la misma especie resultó en calidad baja.

4.4. Análisis de la influencia de los tratamientos en la calidad de los plantones de *Pinus tecunumanii*

Se determinó que, en el caso de los atributos morfológicos de: altura y biomasa seca aérea; y los índices: índice de robustez e índice de Dickson, si cumplen con el supuesto de normalidad. En cambio, para el diámetro del cuello radicular y la biomasa seca radicular; y los índices de relación altura tallo/longitud de raíz, índice tallo – raíz e índice de lignificación los errores no se distribuyen normalmente (ver Anexo 10 y Anexo 11).

En el caso de la homogeneidad, para la altura, biomasa seca radicular, índice de robustez, relación altura tallo/longitud de raíz, e índice de lignificación si se cumplió el supuesto. Mientras que, para el diámetro del cuello radicular, biomasa seca aérea, índice tallo – raíz, e índice de Dickson no se determinó la homogeneidad de varianzas (ver Anexo 10 y Anexo 11).

4.4.1. Influencia de los tratamientos en los atributos morfológicos

Tabla 14: Prueba de comparación múltiple de Duncan del efecto de los tratamientos en la altura

| Variable | Tratamientos | Media | Agrupamiento |
|----------|--------------|-------|--------------|
| Altura | T1 | 5,28 | a |
| | T5 | 5,05 | a |
| | T9 | 5,16 | a |

Nota: (a) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)

En la Tabla 14 se muestra mediante la prueba de Duncan, que la altura media no presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), en contraste a lo reportado por López (2020) quien determinó que el efecto de los distintos tipos de sustrato si genera respuestas diferentes para los plántones de *Pinus tecunumanii*. A nivel de composición, al utilizar diferentes insumos para la formulación del sustrato pueden generar respuestas diferentes en el plantón, ya que se modifican propiedades físicas como la distribución de los tamaños de poro (Blanco y Centeno, 2020); en cambio, las espumas fenólicas ya cuentan con un sistema poroso que permite una buena proporción de agua y aire (Bezerra et al., 2010). No obstante, es importante considerar que el tamaño de las espumas es muy importante para el desarrollo radicular (Landis et al., 1990).

Tabla 15: Prueba de comparación múltiple de Kruskal - Wallis del efecto de los tratamientos en los atributos morfológicos

| Variable | Tratamientos | Media rankeada | Agrupamiento |
|--------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| Diámetro del cuello radicular | T1 | 1,5 | a |
| | T5 | 1,5 | a |
| | T9 | 1,5 | a |
| Biomasa seca aérea | T1 | 54,82 | a |
| | T5 | 51,12 | a |
| | T9 | 30,57 | b |
| Biomasa seca radicular | T1 | 42,83 | a |
| | T5 | 41,45 | a |
| | T9 | 52,22 | a |

Nota: (a, b) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)

La Tabla 15 muestra que para el diámetro del cuello radicular y la biomasa seca radicular no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados, por lo que se podría deducir que no hay efecto diferenciado de ninguna de las dimensiones de espumas fenólicas. Por el contrario, López (2020) si encontró diferencias significativas en ambos atributos morfológicos, probablemente por las variaciones de sus tratamientos en cuanto a composición de sustrato, los cuales repercuten en la respuesta de la especie (Blanco y Centeno, 2020; Bezerra et al., 2010). En cambio, para la biomasa seca aérea si se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre los tratamientos, donde el T1 y T5 no difieren estadísticamente, pero si presentan diferencias estadísticas significativas con T9 y cuentan con mayores valores de las medias rankeadas.

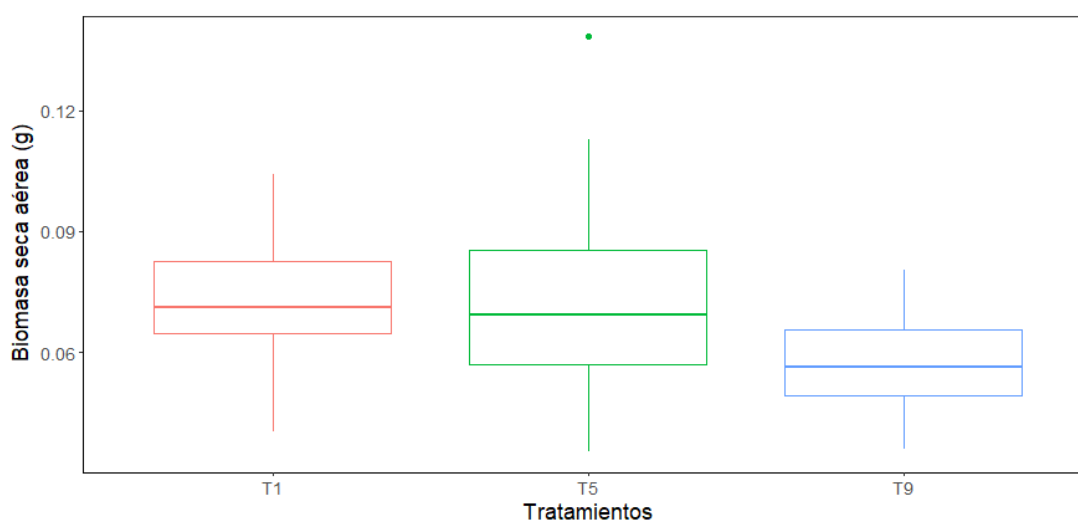


Figura 16: Variación de la biomasa seca aérea de *Pinus tecunumanii* en los tratamientos sin fertilizante

La Figura 16 muestra la distribución de los valores observados de la biomasa seca aérea por tratamiento evaluado. Se observa una mayor similaridad entre T1 y T5. El T9 es el más simétrico. Este atributo al ser un predictivo para la probabilidad de supervivencia (Huaraca, 2020), si los plantones hubieran obtenido las alturas necesarias para ir a campo, se podría decir que el T1 y T5 tendrían mayores posibilidades para sobrevivir al instalarse en campo, aunque el mejor predictor es la biomasa seca de la raíz (Saéñz et al., 2010).

4.4.2. Influencia de los tratamientos en los índices de calidad

Tabla 16: Prueba de comparación múltiple de Duncan del efecto del Índice de Robustez

| Variable | Tratamientos | Media | Agrupamiento |
|--------------------|--------------|-------|--------------|
| Índice de robustez | T1 | 3,52 | a |
| | T5 | 3,37 | a |
| | T9 | 3,44 | a |

Nota: (a) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)

La Tabla 16 expone que el índice de robustez no presenta diferencias significativas ($p > 0,05$) en los tratamientos (T1, T5, T9), por lo que las dimensiones de las espumas fenólica no provocaron un efecto significativo sobre la relación altura y diámetro del cuello radicular. El resultado coincidió con lo obtenido por López (2020), quien también determinó que no existen diferencias significativas para el efecto del sustrato en el índice de robustez. Sin embargo, considerando a las espumas fenólicas como contenedores, los resultados se oponen a lo encontrado por Terán (2018) quien si encontró diferencias significativas en la producción utilizando bolsas y tubetes.

Tabla 17: Prueba de comparación múltiple de Kruskal - Wallis del efecto de los índices de calidad

| Variable | Tratamientos | Media rankeada | Agrupamiento |
|---|--------------|----------------|--------------|
| Relación altura tallo/longitud de raíz | T1 | 0,86 | a |
| | T5 | 0,61 | b |
| | T9 | 0,51 | c |
| Índice tallo – raíz | T1 | 54,13 | a |
| | T5 | 53,47 | a |
| | T9 | 28,90 | b |
| Índice de lignificación | T1 | 35,70 | b |
| | T5 | 52,67 | a |
| | T9 | 48,13 | a b |
| Índice de Dickson | T1 | 46,67 | a |
| | T5 | 46,03 | a |
| | T9 | 43,80 | a |

Nota: (a, b, c) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)

Se observa en la Tabla 17 que el efecto de los tratamientos (T1, T5, T9) sobre el índice de lignificación y de Dickson no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$). Por el contrario, los índices de relación altura/tallo longitud de raíz y el índice tallo – raíz, si cuentan con diferencias altamente significativas ($p < 0,001$).

Por otra parte, en el caso del índice de Dickson, el cual representa mejor las diferencias morfológicas de las plantas (Saénz et al., 2010), las dimensiones de espuma no provocan un efecto significativo sobre este índice.

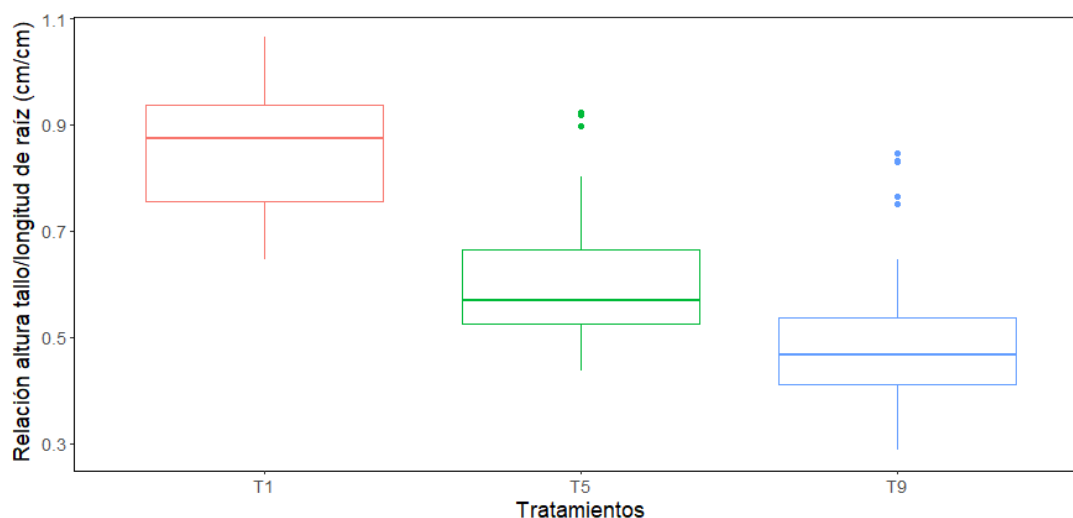


Figura 17: Variación de la relación altura tallo/longitud de raíz de *Pinus tecunumanii* en los tratamientos sin fertilizante

Por otra parte, existe un grupo de indicadores que si presentaron diferencias significativas, como la altura tallo/longitud de raíz y el índice tallo – raíz.

Las diferencias significativas en relación a la altura tallo/longitud de raíz entre los tratamientos se observa en la Figura 17. Se observó que T1, espuma de menor dimensión, generó raíces de menor longitud y en la mayoría de los casos no presentó una raíz principal, en contraste del T9, espuma de mayor dimensión, desarrolló raíces principales de mayor longitud. Además, T9 presenta la distribución de datos más simétricos. Mientras que, T1 y T5 muestran asimetría negativa y asimetría positiva, respectivamente. Esto podría deberse a que el 43% de las raíces de los tratamientos T1 y T5 no presentaron raíces principales, por lo que en esos casos se midió la raíz más larga.

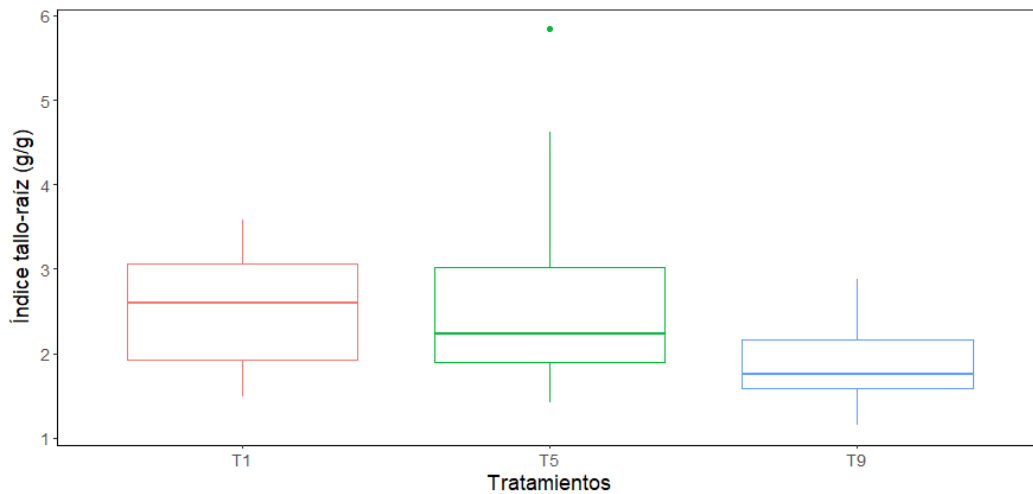


Figura 18: Variación del Índice tallo – raíz de *Pinus tecunumanii* en los tratamientos sin fertilizante

En el caso del índice tallo – raíz, se observa en la Figura 18 que T1 y T5 no presentaron diferencias significativas, aunque la mediana de T1 es mayor al T5, mientras que T9 si cuenta con diferencias estadísticamente significativas y una mediana menor a los tratamientos anteriores. No obstante, T9 es el que presentó menor variabilidad en sus datos.

Al igual que la relación de altura tallo/longitud de raíz, T9 al ser la espuma de mayor dimensión propició un mayor desarrollo de raíz principal, esto podría explicar los resultados obtenidos.

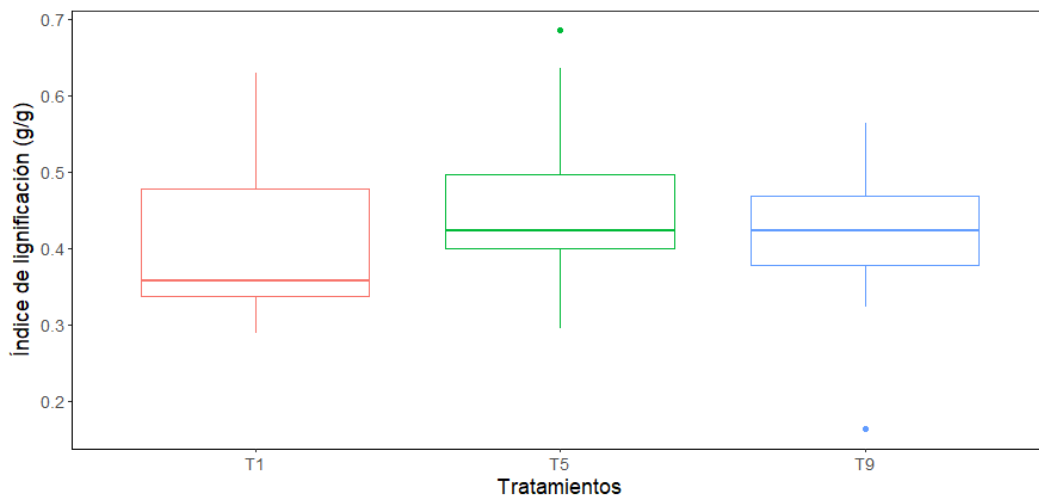


Figura 19: Variación del índice de lignificación de *Pinus tecunumanii* en los tratamientos sin fertilizante

La Figura 19 muestra que la mediana del T1 está por debajo de los otros tratamientos, donde T5 tiene la mayor mediana, seguido de T9 y T1. Así mismo, T9 es el tratamiento que presentó menor variabilidad a comparación de T1. Al ser dependiente de la dimensión de espumas, se podría decir que T5 propició una mejor relación entre peso seco y peso húmedo del plantón, lo cual en la etapa de precondicionamiento puede promover la producción de lignina (Prieto et al., 2009).

V. CONCLUSIONES

- Debido a que los valores reportados para los diferentes tratamientos evaluados con distintas dosificaciones de fertilizante y dimensiones de espumas fenólicas no contienen los valores necesarios para asegurar una producción continua de *Pinus tecunumanii*, no es posible recomendar un protocolo de producción.
- Los tratamientos sin fertilización (T1, T5, T9) presentaron mayores porcentajes de supervivencia y estado fitosanitario relativamente sano en todos sus individuos, los otros mostraron bajos valores de supervivencia y ciertos efectos de toxicidad. El tratamiento T9 presentó en 73% una conformación radicular principal recta.
- El efecto de las dosificaciones de fertilizantes, mostraron diferencias altamente significativas con respecto a la altura de *Pinus tecunumanii*, siendo la dosificación de fertilizante F2 la que presentó los mayores promedios en altura del plantón.
- Las dimensiones de espumas fenólicas presentaron diferencias significativas en los tratamientos fertilizados con la dosificación de fertilizante F2, mientras que, para los tratamientos sin fertilizar, no se observaron diferencias significativas.
- En los tratamientos sin fertilización (T1, T5, T9), no se encontraron diferencias significativas en los atributos morfológicos de altura, diámetro del cuello radicular, biomasa seca radicular, pero si existen diferencias significativas en biomasa seca aérea.
- Los plantones de los tratamientos (T1, T5 y T9), teniendo valores de sobrevivencia al 100% y estado fitosanitario relativamente sano, se calificaron como calidad baja según el índice de Dickson, mientras que el índice de robustez (T1, T5 y T9) e índice tallo – raíz (T1 y T9) fueron de calidad alta.

VI. RECOMENDACIONES

- En vista del resultado observado, se debería investigar con dimensiones de espumas fenólicas similares, diferentes dosis de fertilizante y sistema de riego por nebulizado para poder regular la frecuencia y cantidad de agua con fertilizante a utilizar.
- Controlar y evaluar variables como el pH y la CE de las espumas fenólicas, debido a que ambas pueden variar durante el proceso de producción e influenciar en el desarrollo y crecimiento de los plantones.
- Realizar análisis de nutrición vegetal para evaluar el efecto de los fertilizantes en los plantones.
- Realizar investigaciones relacionadas al uso de micorrizas en este nuevo sistema de producción en especies del género *Pinus*.
- Realizar el estudio de viabilidad económica para evaluar su rentabilidad frente otros tipos de producción como bolsas y tubetes.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A. y Raigosa, J. (2012). Nutrición y Fertilización Forestal en Regiones Tropicales. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bezerra, E., Santos, R., Pessoa, P., Andrade, P., Oliveira, S. Mendonça, I. (2010). Tratamiento de espuma fenólica para produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(3), 418-422. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119016971022.pdf>
- Blanco, E. y Centeno, L. (2020). Efecto de cuatro tipos de sustratos y tres envases en la obtención de plantones de pino (*Pinus tecunumanii*) en vivero, anexo Marapata – Paucartambo – Pasco 2017 (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). Recuperado de: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2821/1/T026_43200528_T.pdf
- Cárdenas, C., Calderón, A., Guevara, L., Lucumí, C., Pizano, C. (2020). Agricultural Foam as a Propagation Substrate for Lowland Tropical Forest Tree Species. *Ecological Rest*, 38(4), 216-219. doi: <http://dx.doi.org/10.3368/er.38.4.216>
- Castro, A., Davila, C., Laura, W., Cubas, F., Avalos, G., López, C., Villena, D., Valdez, M., Urbiola, J., Trebejo, I., Menis, L., Marín, D. (2021). Climas del Perú – Mapa de Clasificación Climática Nacional. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Castro, S., Aldrete, A., López-Upton, J., Ordáz-Chaparro, V. (2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia*, 52(1), 115-127. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100115

- CLIMATE-DATA.ORG. Clima Chontabamba. Recuperado de: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/pasco/chontabamba-459600/>
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., y Wise, R. (2018). *Plant anatomy: A concept-based approach to the structure of seed plants*. Springer.
- Danida Forest Seed Centre. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. (Vol. 1). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado de: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2959>
- De Freitas, M., Quispe, A., Tello, J., Palomino, J. (2007). *Instalación y manejo de plantaciones forestales de alta productividad en la Selva Central del Perú*. (1ª ed.).
- Dominguez-Liévano, A., y Espinoza-Zaragoza, S. (2021). Evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de *Hymenaea courbaril* L. en condiciones de vivero. *Revista Forestal del Perú*, 36 (1), 107 - 117. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1707>
- Dumroese, R.; Landis, T.; Wilkinson, K. (2012). Riego y fertirriego. Producción de plantas en viveros forestales. En: Contardi, L.; Gonda, H., coord. *Producción de plantas en viveros forestales*. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones; Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco UNPSJB; Comodoro Rivadavia: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Argentina. p. 115-125., 115-125. Recuperado de: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/45738>
- Ellena, M., Montenegro, A., Sandoval, P., González, A., Azocar, G. (2013). Fertilización. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7676>
- Espinoza, D. (2010). *Elaboración de espumas florales fenólicas que incorporan nutrientes, sustancias inhibidoras de etileno, preservantes y bactericidas para la conservación prolongada de plantas obtenidas in vitro en el laboratorio de cultivo de tejidos* (Tesis de

Ingeniería, Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/648>

Finck, A. (2021). Fertilizantes y fertilización. Reverté, S.A.

Food and Agriculture Organization. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Principales resultados. doi: <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

Gorbitz, G., Ríos, L., Marujo, C., Cornejo, V., Medina, R., Sáenz, L. (2020). Estimación de la ganancia genética esperada de *Pinus tecunumanii* en plantaciones forestales en Oxapampa, Perú. Revista Forestal del Perú, 35(3), 56-64. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v35i3.1601>

Guariguata, M., Arce, J., Ammour, T., Capella, J. (2017). Las plantaciones forestales en Perú – Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169, Centro para la Investigación Forestal Internacional. doi: <https://doi.org/10.17528/cifor/006461>

Guerrini, I., y Trigueiro, R. (2004). Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28, 1069-1076. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hyq75V5csnVCYVPCVWcbLQC/?lang=pt&format=pdf>

Guigues, A. (2019). Evaluación de crecimiento de plantulas de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta* en diferentes sustratos durante su fase de propagación, Lima. (Tesis de ingeniero, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3897>

Halvin, J., Tisdale, S., Nelson, W., Beaton, J. (2017). Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management. (8^a ed.). Pearson.

Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., y Hawrylak-Nowak, B. (Eds.). (2018). Plant nutrients and abiotic stress tolerance. Springer.

- Herrera, S. (1968). Pudrición radicular en plántulas de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don), pino oregon (*Pseudotsuga menziessii*) y nogal negro (*Juglans nigra*). *Agricultura Técnica*, 28(1), 43-45. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/37818>
- Huaraca, M. (2020). Caracterización de la calidad de plantones de dos procedencias de *Pinus tecunumanii* en fase de Vivero – Oxapampa (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4594>
- Kafkafi, U. y Tarchitzky, J. (2012). *Fertirrigación – Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*. (1ª ed.). Asociación internacional de la industria de fertilizantes.
- Landis, D., Tinus, R., Mc Donald, E., Barnett, P. (1989). *Manual de Viveros para la producción de Especies Forestales en Contenedor*. United States Department of Agriculture, Forest Service.
- López, J. (2020). Efecto de sustratos y fertilizantes en la optimización del crecimiento de plántulas de *Pinus tecunumanii* (Schw.) en condiciones de vivero (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4389>
- López-Roldán, P. y Fachelli, S. (2015). Análisis. En P. López-Roldán y S. Fachelli, *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa*. (1ª ed.). Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de: <http://ddd.uab.cat/record/163568>
- Martínez-Florián, P. y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Victor J., Flórez, R. (Ed.) *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. (7-78). Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía. Bogotá (Colombia). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11939/3894>
- Mengel, K., y Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (Trad. R. Melgar). (4ª ed.). Instituto Internacional del Potasio. Recuperado de:

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf

Mondragón, G. (2016). Evaluación del crecimiento de plántulas de *Caesalpinia spinosa*, *Sapindus saponaria* y *Tecoma Stans* en diferentes sustratos durante su propagación en vivero – Lima (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2641>

Muñoz, R. (2014). Efecto de un fertilizante foliar en tres especies forestales producidas con sustrato espuma agrícola en vivero (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperado de: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/614>

Navarro, R., Villar-Salvador, P., Del Campo, A. (2006). Morfología y establecimiento de los plantones. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos degradados. Estado actual de conocimientos. Ministerio de Medio Ambiente. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Pedro-Villar-Salvador/publication/256670158_Morfologia_y_establecimiento_de_los_plantones/links/0c96052397c75d8b7c000000/Morfologia-y-establecimiento-de-los-plantones.pdf

Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárte, R., Meza-Rangel, J., Prieto-García, F., y Hernández-Flores, M. (2017). Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plántulas de *Pinus leiophylla*. *Madera y bosques*, 23(2), 43-52. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.232512>

Prieto, J., García, J., Mejía, J., Huchín, S., y Aguilar, J. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (28).

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P. Soto, H. (2009). Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Recuperado de: <https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz->

cubierta/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta-completo/at_download/file

- Ramos-Huapaya, A. y Lombardi-Indacochea, I. (2020). Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de caso con “Eucalipto urograndis”. *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 132-145. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v35i2.1581>
- Robles, F., Rodríguez, D., Villanueva, A. (2017). Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 55-76. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n42/2007-1132-remcf-8-42-00055.pdf>
- Rojas, F. (2002). Metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica* mill.) en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 75-81. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62980109.pdf>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J., Prieto-Ruiz, J., Sáenz, J., Orozco-Gutiérrez, G., Molina, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(14), 69-82. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322012000600006&script=sci_arttext
- Sáenz, J., Villaseñor, F., Muñoz, H., Rueda, A., y Prieto, J. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Folleto técnico (17), 4-48.
- Sáenz, J.; Muñoz, H.; Pérez, C., Rueda, A., Hernández, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/634/63439016008.pdf>

- Santos, J., Souza, M., Souza, J., Silva, R., Mendonça, A. (2022). Production time and container size for Simarouba amara Aubl. seedlings. *Floresta e Ambiente*, 29(3). doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2022-0030>.
- Saz-Orozco, B. (2013). *Formulación y caracterización de espumas fenólicas tipo resol reforzadas con lignosulfonato cálcico y con partículas de "Pinus radiata"* (Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/23809/1/T34964.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2021). *Compendio Estadístico Forestal 2010 – 2020*. Recuperado de: <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/929>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Mapa Climático del Perú*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>
- Silva, P.; Kager, D.; Moraes, J.; Natal, A. (2012). Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. *CERNE*, 18(4), 639-649. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400014>
- Sodimu, A.; Usman, M.; Osunsina, O.; Awobona, T. (2020). Effect of Cowdung and NPK Fertilizer on the Early Growth of Tamarindus indica. L in Kaduna Northern Guinea Savanna Eco - Zone of Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 13(11). Recuperado de: <https://infinitypress.info/index.php/jas/article/view/1949/0>
- Sulca, K. (2021). *Estudio de calidad y rendimiento de la madera rolliza a aserrada para Pino tecunumani (Pinus tecunumanii Eguiluz & Perry) de la zona de Oxapampa – Perú* (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4831>

Tello, J. (2019). Dosis nutricionales para plantas en las fases de sombra, crecimiento, rusificación y expedición. Plantaciones Perú.

Tello, J. y Tello, E. (2016). Clonación del Eucalipto y Bolaina. Ministerio de la Producción.

Terán, A. (2018). Efecto de dos fertilizantes de liberación controlada sobre el crecimiento del *Pinus tecunumanii* en la etapa de Vivera – Oxapampa (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3180>

Thompson, B. (1985). Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. Recuperada de: https://rngr.net/publications/evaluating/PDF.2003-10-27.0157/at_download/file

ULTRAFOAM. (2020). Guía básica de uso – ULTRAFOAM Medio de Propagación Vegetal.

Zanabria, Y. y Cuellar, J. (2014). Tecnologías de producción en viveros de cuatro especies forestales en el Valle del Mantaro. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado de: <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/387>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE LA ESTACIÓN OXAPAMPA

| Día/mes/año | TEMPERATURA (°C) | | | HUMEDAD RELATIVA (%) | PRECIPITACIÓN (mm/día) TOTAL |
|-------------|------------------|-------|-------|----------------------|------------------------------|
| | MAX | MIN | PROM | | |
| 1/03/2022 | 20,50 | 14,80 | 17,65 | 92,30 | 3,50 |
| 2/03/2022 | 21,20 | 13,90 | 17,55 | 86,60 | 2,50 |
| 3/03/2022 | 22,00 | 13,60 | 17,80 | 84,10 | 2,00 |
| 4/03/2022 | 23,70 | 14,70 | 19,20 | 87,20 | 0,00 |
| 5/03/2022 | 23,90 | 15,20 | 19,55 | 83,40 | 6,00 |
| 6/03/2022 | 21,60 | 14,00 | 17,80 | 88,10 | 5,00 |
| 7/03/2022 | 20,50 | 13,80 | 17,15 | 90,60 | 13,00 |
| 8/03/2022 | 25,00 | 13,50 | 19,25 | 82,30 | 11,50 |
| 9/03/2022 | 19,40 | 14,10 | 16,75 | 92,20 | 9,00 |
| 10/03/2022 | 24,60 | 13,30 | 18,95 | 87,80 | 0,00 |
| 11/03/2022 | 19,80 | 14,60 | 17,20 | 93,20 | 16,00 |
| 12/03/2022 | 22,90 | 14,20 | 18,55 | 91,60 | 27,50 |
| 13/03/2022 | 21,90 | 14,00 | 17,95 | 91,00 | 5,50 |
| 14/03/2022 | 21,90 | 14,60 | 18,25 | 88,40 | 8,00 |
| 15/03/2022 | 21,30 | 14,30 | 17,80 | 88,80 | 7,50 |
| 16/03/2022 | 20,10 | 14,80 | 17,45 | 85,00 | 18,50 |
| 17/03/2022 | 22,20 | 12,20 | 17,20 | 82,40 | 0,00 |
| 18/03/2022 | 24,40 | 12,10 | 18,25 | 81,60 | 0,00 |
| 19/03/2022 | S/D | 12,60 | 12,60 | S/D | S/D |
| 20/03/2022 | 20,30 | 12,50 | 16,40 | 92,20 | 26,00 |
| 21/03/2022 | 21,50 | 14,70 | 18,10 | 88,40 | 6,00 |
| 22/03/2022 | 24,80 | 14,80 | 19,80 | 82,60 | 7,00 |
| 23/03/2022 | 25,20 | 13,80 | 19,50 | 84,40 | 0,00 |
| 24/03/2022 | 24,20 | 13,80 | 19,00 | 84,70 | 4,00 |
| 25/03/2022 | 23,10 | 15,60 | 19,35 | 81,70 | 15,00 |
| 26/03/2022 | 21,20 | 15,20 | 18,20 | 87,40 | 1,00 |
| 27/03/2022 | 22,30 | 13,80 | 18,05 | 85,40 | 8,50 |
| 28/03/2022 | 22,60 | 14,20 | 18,40 | 87,50 | 9,00 |
| 29/03/2022 | 25,30 | 13,90 | 19,60 | S/D | 0,00 |
| 30/03/2022 | 22,60 | 13,10 | 17,85 | 90,40 | 1,00 |
| 31/03/2022 | 21,90 | 14,80 | 18,35 | 89,30 | 0,00 |

| | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1/04/2022 | 18,80 | 14,20 | 16,50 | 93,00 | 7,50 |
| 2/04/2022 | 22,80 | 13,40 | 18,10 | 86,00 | 5,50 |
| 3/04/2022 | 24,60 | 14,30 | 19,45 | 85,00 | 2,50 |
| 4/04/2022 | 24,80 | 13,80 | 19,30 | 89,80 | 7,50 |
| 5/04/2022 | 24,60 | 14,10 | 19,35 | 83,40 | 0,00 |
| 6/04/2022 | 22,40 | 12,50 | 17,45 | 87,00 | 5,00 |
| 7/04/2022 | 23,30 | 12,40 | 17,85 | 89,40 | 3,00 |
| 8/04/2022 | 23,50 | 12,70 | 18,10 | 84,80 | 9,00 |
| 9/04/2022 | 24,90 | 12,10 | 18,50 | 84,80 | 5,00 |
| 10/04/2022 | 24,40 | 13,70 | 19,05 | 82,80 | 2,00 |
| 11/04/2022 | 25,00 | 14,30 | 19,65 | 83,60 | 0,00 |
| 12/04/2022 | 23,40 | 13,70 | 18,55 | 90,00 | 0,00 |
| 13/04/2022 | 21,90 | 12,90 | 17,40 | 89,90 | 28,00 |
| 14/04/2022 | 24,80 | 13,60 | 19,20 | 85,30 | 17,50 |
| 15/04/2022 | 19,90 | 13,00 | 16,45 | 89,90 | 0,00 |
| 16/04/2022 | 24,70 | 13,20 | 18,95 | 80,50 | 0,00 |
| 17/04/2022 | 24,10 | 13,20 | 18,65 | 81,10 | 0,00 |
| 18/04/2022 | 24,30 | 14,30 | 19,30 | 82,00 | 0,00 |
| 19/04/2022 | 24,40 | 14,20 | 19,30 | 82,80 | 0,00 |
| 20/04/2022 | 24,10 | 11,90 | 18,00 | S/D | 0,00 |
| 21/04/2022 | 24,00 | 12,20 | 18,10 | 84,50 | 2,00 |
| 22/04/2022 | 27,00 | 13,80 | 20,40 | 77,80 | 0,00 |
| 23/04/2022 | 25,60 | 14,30 | 19,95 | 78,80 | 0,00 |
| 24/04/2022 | 26,20 | 13,10 | 19,65 | 81,90 | 12,50 |
| 25/04/2022 | 21,50 | 14,40 | 17,95 | 85,30 | 5,50 |
| 26/04/2022 | 25,60 | 13,20 | 19,40 | 79,70 | 0,00 |
| 27/04/2022 | 25,70 | 12,00 | 18,85 | 79,90 | 0,00 |
| 28/04/2022 | 23,80 | 13,80 | 18,80 | 85,30 | 12,00 |
| 29/04/2022 | 25,30 | 14,20 | 19,75 | S/D | 3,00 |
| 30/04/2022 | 24,70 | 13,20 | 18,95 | 85,20 | 0,00 |
| 1/05/2022 | 24,70 | 13,80 | 19,25 | 82,00 | 0,00 |
| 2/05/2022 | 25,20 | 14,20 | 19,70 | 82,10 | 0,00 |
| 3/05/2022 | 22,40 | 15,20 | 18,80 | 89,90 | 0,00 |
| 4/05/2022 | 21,20 | 13,00 | 17,10 | 88,70 | 1,00 |
| 5/05/2022 | 22,70 | 12,60 | 17,65 | 85,90 | 0,00 |
| 6/05/2022 | 24,20 | 11,80 | 18,00 | 80,10 | 0,00 |
| 7/05/2022 | 24,70 | 13,30 | 19,00 | 83,40 | 15,50 |
| 8/05/2022 | 22,90 | 14,80 | 18,85 | 88,30 | 4,50 |
| 9/05/2022 | 24,90 | 14,70 | 19,80 | 83,10 | 3,00 |
| 10/05/2022 | 24,00 | 14,60 | 19,30 | 85,60 | 1,00 |
| 11/05/2022 | 23,00 | 14,80 | 18,90 | 87,20 | 1,00 |
| 12/05/2022 | 21,20 | 14,30 | 17,75 | 88,60 | 5,50 |
| 13/05/2022 | 23,80 | 14,70 | 19,25 | 86,80 | 16,00 |

| | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14/05/2022 | 24,80 | 14,90 | 19,85 | 85,00 | 0,00 |
| 15/05/2022 | 24,40 | 14,00 | 19,20 | 83,30 | 1,00 |
| 16/05/2022 | 24,40 | 14,20 | 19,30 | 87,50 | 13,50 |
| 17/05/2022 | 21,20 | 14,70 | 17,95 | 91,20 | 2,50 |
| 18/05/2022 | 21,50 | 13,80 | 17,65 | 87,00 | 0,00 |
| 19/05/2022 | 20,80 | 12,30 | 16,55 | 89,00 | 1,00 |
| 20/05/2022 | 20,20 | 12,00 | 16,10 | 84,80 | 0,00 |
| 21/05/2022 | 23,90 | 13,80 | 18,85 | 82,40 | 0,00 |
| 22/05/2022 | 23,10 | 13,30 | 18,20 | 82,00 | 13,70 |
| 23/05/2022 | 23,10 | 13,20 | 18,15 | 79,40 | 4,00 |
| 24/05/2022 | 23,50 | 14,30 | 18,90 | 82,80 | 2,00 |
| 25/05/2022 | 18,60 | 14,90 | 16,75 | 91,90 | 1,50 |
| 26/05/2022 | 24,80 | 10,90 | 17,85 | 84,80 | 1,00 |
| 27/05/2022 | 23,90 | 11,00 | 17,45 | 87,60 | 0,00 |
| 28/05/2022 | 23,50 | 13,70 | 18,60 | 84,80 | 0,00 |
| 29/05/2022 | 23,60 | 13,50 | 18,55 | 80,70 | 0,00 |
| 30/05/2022 | 24,40 | 13,20 | 18,80 | 82,60 | 0,00 |
| 31/05/2022 | 20,80 | 13,80 | 17,30 | 88,20 | 5,50 |
| 1/06/2022 | 20,90 | 13,00 | 16,95 | 86,10 | 6,00 |
| 2/06/2022 | 22,60 | 14,80 | 18,70 | 86,60 | 10,50 |
| 3/06/2022 | 19,50 | 14,10 | 16,80 | 94,90 | 14,50 |
| 4/06/2022 | 22,90 | 12,40 | 17,65 | 84,20 | 3,50 |
| 5/06/2022 | 24,60 | 14,70 | 19,65 | 85,70 | 9,50 |
| 6/06/2022 | 23,60 | 14,80 | 19,20 | 84,70 | 0,00 |
| 7/06/2022 | 23,10 | 14,40 | 18,75 | 85,50 | 8,50 |
| 8/06/2022 | 23,80 | 13,90 | 18,85 | 84,10 | 0,00 |
| 9/06/2022 | 23,80 | 13,30 | 18,55 | 82,90 | 0,00 |
| 10/06/2022 | 23,70 | 13,10 | 18,40 | 82,10 | 1,00 |
| 11/06/2022 | 20,10 | 11,70 | 15,90 | 85,60 | 0,00 |
| 12/06/2022 | 22,40 | 7,60 | 15,00 | 80,60 | 0,00 |
| 13/06/2022 | 21,20 | 8,20 | 14,70 | 80,40 | 0,00 |
| 14/06/2022 | 22,50 | 10,80 | 16,65 | 74,60 | 0,00 |

ANEXO 2: ANÁLISIS DE CALIDAD DE SEMILLA

tesis (Mendo)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE SILVICULTURA

DATOS DE SEMILLAS FORESTALES

Especie: Pinus tecunumanii Número de registro o lote: _____
 Nombre común: Pino Procedencia: Oxapampa Fecha de cosecha: _____
 Cantidad de semillas por unidad de peso: _____ Fecha de recepción: _____ Ubicación: Huancabamba
 Peso de 1000 semillas: 14,87 g Condiciones y períodos de almacenaje: _____

Substrato: Arena de río Condiciones de germinación Resultado de Ensayo
 Temperatura: 23°C Grado de pureza: ~100%
 Luz: Indirecta - natural Humedad: 100% Energía de germinación: _____
 Tratamiento Pre-germinativo: Remojo en agua tibia x 24 h Fecha de siembra: 08/03/22 Fecha de germinación: 18/03/22
 Tratamiento Fito-sanitario: Fungicida Vitavax Fecha de terminación de la prueba: 04/04/22

ANÁLISIS DE PUREZA

| Fecha de ejecución | Peso de muestra por repetición (g) | NÚMERO DE SEMILLAS POR REPETICIÓN | | | | | Promedio | Peso impurezas |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| 08/03/22 | 1 | 68 | 69 | 68 | 70 | 71 | 69,2 | 0,0175 |

PORCENTAJE ACUMULATIVO DE GERMINACION

| Repetición | D I A S | | | | | | | | | |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 08/03 | 10/03 | 12/03 | 16/03 | 18/03 | 22/03 | 26/03 | 30/03 | 02/04 | 04/04 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 22 | 51 | 68 | 68 | 68 |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| Promedio | | | | | | | | | | |

Semillas por repetición: 100
 Número total de semillas en prueba: 100
 Observaciones: Germinación epigea

Analista

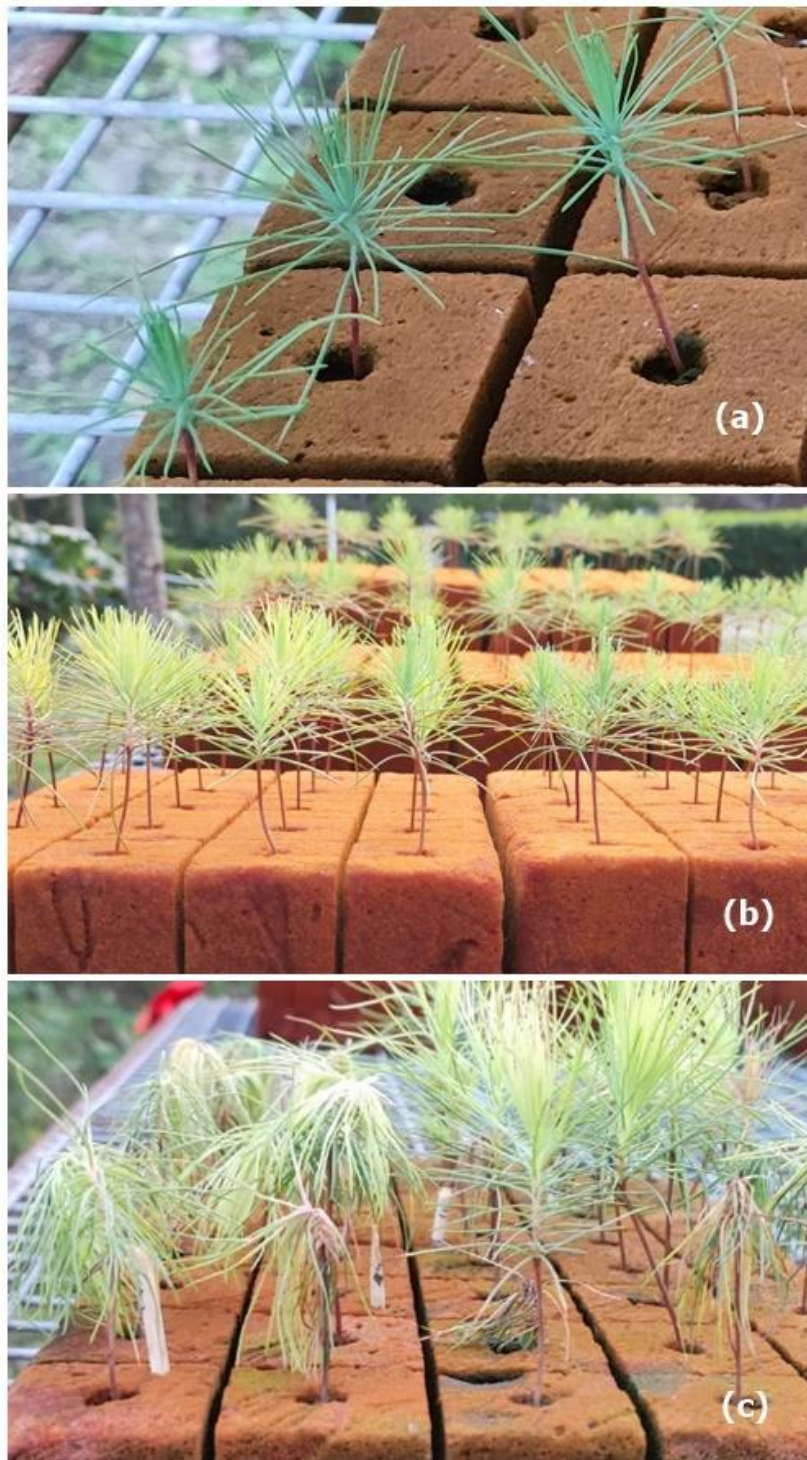
ubifor

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DE LA ESPUMA FENÓLICA

| Características fisicoquímicas | |
|--|----------------|
| Densidad aparente (g/cm ³) | 0,012 – 0,019 |
| Espacio poroso total (% vol) | 96% - 97% |
| Material sólido (% vol) | 3% - 4% |
| Capacidad de aireación (% vol) | 32% - 40% |
| Agua fácilmente disponible (% vol) | 42% - 45% |
| Agua de reserva (% vol) | 10% – 15% |
| Agua totalmente disponible (% vol) | 52% - 57% |
| Agua difícilmente disponible (% vol) | 7% - 13% |
| Capacidad de retención de agua (% vol) | Retención |
| | Baja |
| | 50% - 75% |
| | Retención Alta |
| | >76% |
| Tiempo de absorción en minutos | 0,5 - 1 |
| Contracción (% vol) | 0% |
| pH (suspensión acuosa 1:6) | 5,5 – 6,5 |
| Conductividad eléctrica (ds/m, 20°C) | 0,5 |

Fuente: ULTRAFOAM (2020)

ANEXO 4: ESTADO FITOSANITARIO DE LOS PLANTONES DE *Pinus tecunumanii*



Nota: Calificación de Estados fitosanitario (a) EFS 1, plantas sanas; (b) EFS2, plantas relativamente sanas; (c) EFS3, plantas con problemas fitosanitarios severos

ANEXO 5: RESULTADOS DEL CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA ALTURA

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,371 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Breusch – Pagan |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,69986 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: ANOVA |

ANOVA

| Factores | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Dimensión de espuma | 2 | 7,92 | 3,96 | 7,451 | 0,000785 *** |
| Dosificación de fertilizante (F2) | 1 | 191,17 | 191,17 | 359,868 | < 2e-16 *** |
| Interacción de variables | 2 | 6,74 | 3,37 | 6,348 | 0,002183 ** |
| Residuales | 174 | 92,43 | 0,53 | | |

Nota: (***) muy alta significancia; (**) alta significancia

ANEXO 6: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA ALTURA DEL TALLO

| Estadísticos descriptivos | T1 | T5 | T9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| N | 30 | 30 | 30 |
| Media | 5,78 | 5,63 | 5,7 |
| Mediana | 5,85 | 5,65 | 5,65 |
| Varianza | 0,61 | 0,56 | 0,50 |
| Desviación estándar | 0,78 | 0,75 | 0,71 |
| Rango | 2,8 | 2,9 | 3,1 |
| Mínimo | 4,2 | 4,40 | 4 |
| Máximo | 7 | 7,3 | 7,1 |

ANEXO 7: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA LONGITUD DE RAÍZ

| Estadísticos descriptivos | T1 | T5 | T9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| N | 30 | 30 | 30 |
| Media | 6,75 | 9,40 | 11,74 |
| Mediana | 6,70 | 9,75 | 12,95 |
| Varianza | 0,20 | 1,24 | 6,31 |
| Desviación estándar | 0,44 | 1,12 | 2,51 |
| Rango | 2,10 | 4,10 | 8,70 |
| Mínimo | 5,60 | 6,20 | 5,20 |
| Máximo | 7,70 | 10,30 | 13,90 |

ANEXO 8: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL PESO SECO DEL PLANTÓN

| Estadísticos descriptivos | T1 | T5 | T9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| N | 30 | 30 | 30 |
| Media | 0,10 | 0,10 | 0,09 |
| Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,09 |
| Varianza | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Desviación estándar | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Rango | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Mínimo | 0,07 | 0,06 | 0,04 |
| Máximo | 0,16 | 0,16 | 0,13 |

ANEXO 9: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL PESO HÚMEDO DEL PLANTÓN

| Estadísticos descriptivos | T1 | T5 | T9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| N | 30 | 30 | 30 |
| Media | 0,27 | 0,23 | 0,21 |
| Mediana | 0,28 | 0,23 | 0,21 |
| Varianza | 0,01 | < 0,001 | < 0,001 |
| Desviación estándar | 0,08 | 0,06 | 0,04 |
| Rango | 0,30 | 0,24 | 0,18 |
| Mínimo | 0,12 | 0,11 | 0,13 |
| Máximo | 0,42 | 0,35 | 0,31 |

ANEXO 10: RESULTADOS DEL CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

A. ALTURA

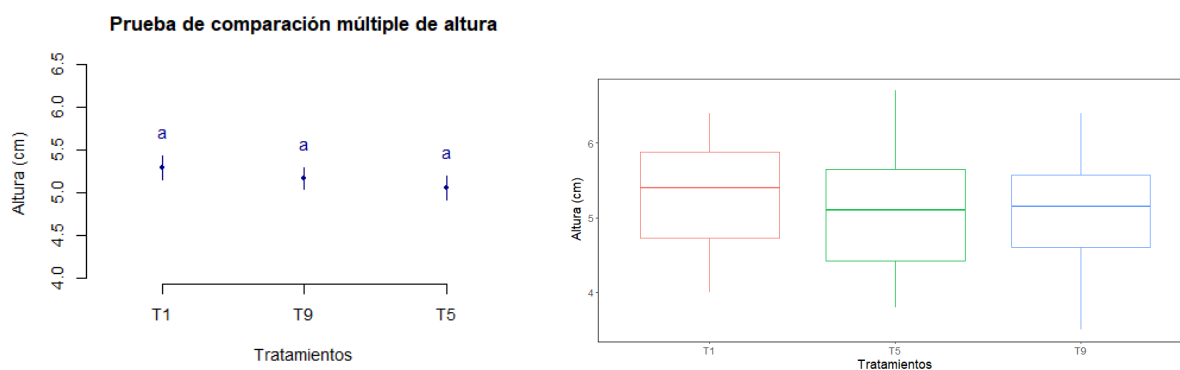
| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|--|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,371 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,69986 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Duncan ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|-------|--------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,79 | 0,3974 | 0,735 | 0,483 |
| Error | 87 | 47,06 | 0,5409 | | |
| Total | 89 | 47,85 | | | |

Nota: (***) muy alta significancia; (**) alta significancia

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DUNCAN ($\alpha=0,05$)



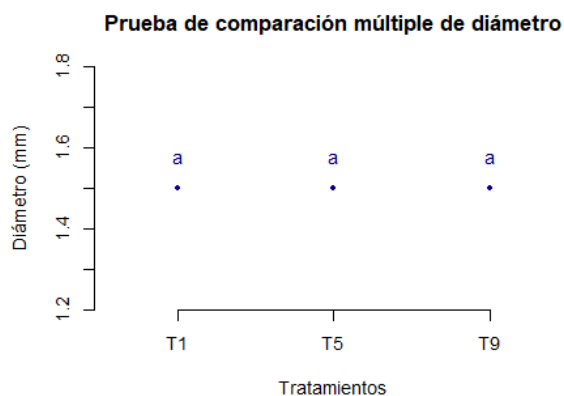
B. DIÁMETRO DEL CUELLO RADICULAR

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|--|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / $< 2,2e-16$ |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | No / $< 2,2e-16$ |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 2 | 1,930e-29 | 9,664e-30 | 1 | 0,372 |
| Error | 87 | 8,407e-28 | 9,664e-30 | | |
| Total | 89 | 8,6e-28 | | | |

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)



C. BIOMASA SECA AÉREA

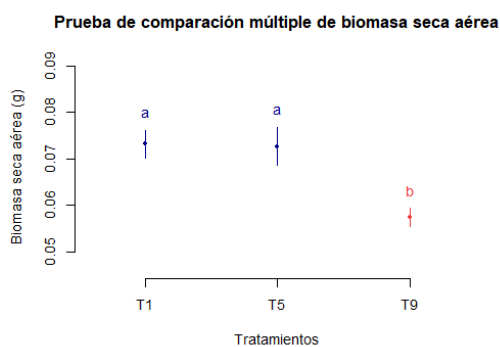
| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,0632 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | No / 0,001772 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 2 | 0,004762 | 0,0023810 | 8,04 | 0,000625 *** |
| Error | 87 | 0,025764 | 0,0002961 | | |
| Total | 89 | 0,030526 | | | |

Nota: (***) muy alta significancia

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)



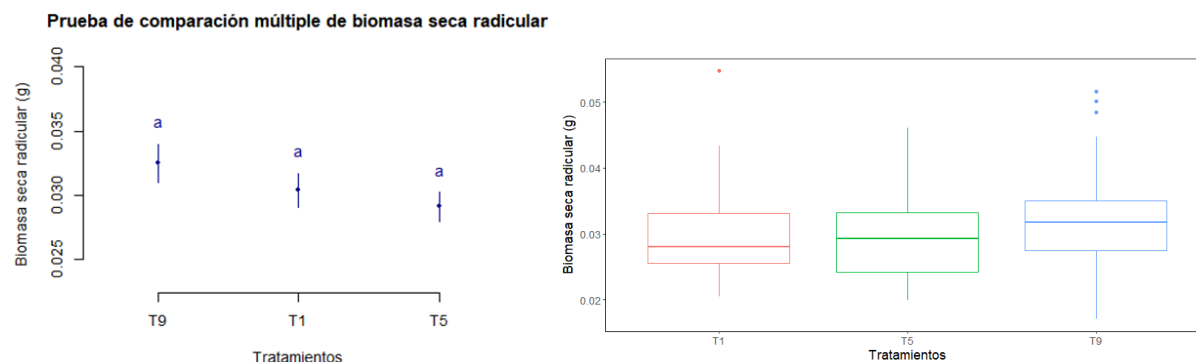
D. BIOMASA SECA RADICULAR

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / 0,0007987 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,2973 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|----------|-----------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,000175 | 8,748e-05 | 1,675 | 0,193 |
| Error | 87 | 0,004543 | 5,221e-05 | | |
| Total | 89 | 0,004718 | | | |

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)



ANEXO 11: RESULTADOS DEL CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS Y COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LOS ÍNDICES DE CALIDAD

A. ÍNDICE DE ROBUSTEZ

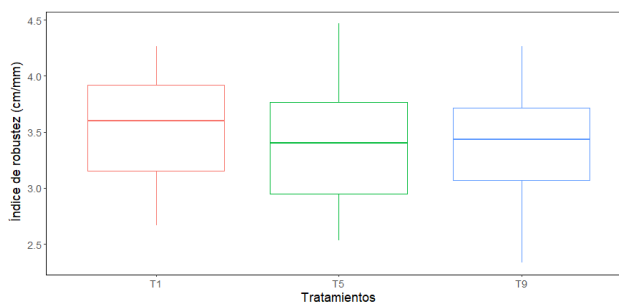
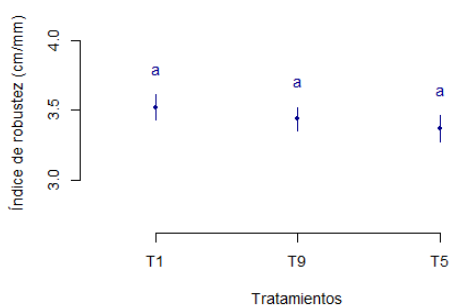
| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|--|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,2564 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,7674 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Duncan ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|--------|--------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,353 | 0,1766 | 0,735 | 0,483 |
| Error | 87 | 20,914 | 0,2404 | | |
| Total | 89 | 21,267 | | | |

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DUNCAN ($\alpha=0,05$)

Prueba de comparación múltiple de índice de robustez



B. RELACIÓN ALTURA TALLO/LONGITUD DE RAÍZ

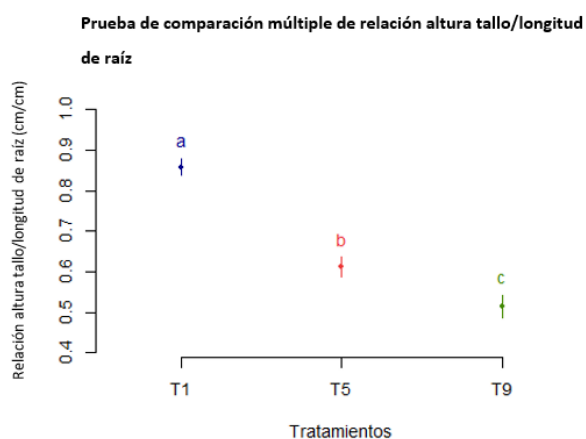
| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / 9,882e-05 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,327 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis (a=0,05) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|-------|--------|---------|--------------|
| Tratamiento | 2 | 1,884 | 0,9421 | 52,45 | 1,13e-15 *** |
| Error | 87 | 1,563 | 0,0180 | | |
| Total | 89 | 3,447 | | | |

Nota: (***) muy alta significancia

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS (a=0,05)



B.1. LONGITUD DE RAÍZ

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|--|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / 3,203e-09 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | No / 1,124e-15 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

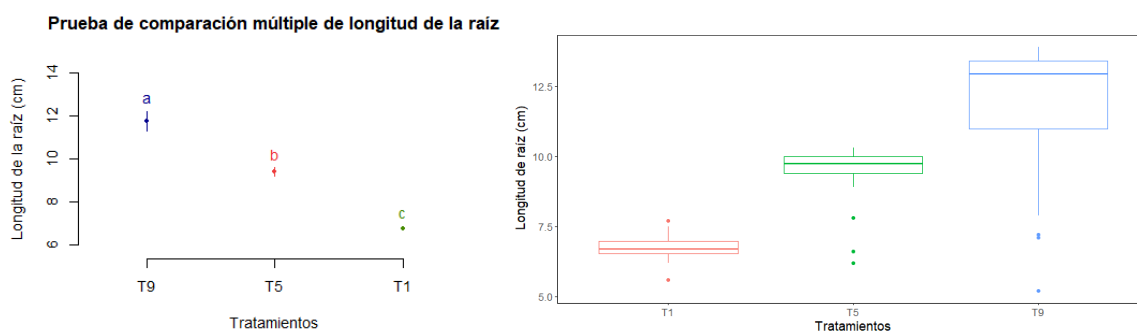
| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|--------|--------|---------|------------|
| Tratamiento | 2 | 374,00 | 186,99 | 72,41 | <2e-16 *** |
| Error | 87 | 224,70 | 2,58 | | |
| Total | 89 | 598,70 | | | |

Nota: (***) muy alta significancia

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)

| Variable | Tratamientos | X | Agrupamiento |
|------------------|--------------|-------|--------------|
| Longitud de raíz | T1 | 19,12 | a |
| | T5 | 49,40 | b |
| | T9 | 67,98 | c |

Nota: (X) valores rankeados; (a, b,c) letras diferentes indican que existe diferencia estadística ($p < 0,05$)



C. ÍNDICE TALLO - RAÍZ

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / 4,618e-05 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | No / 0,0001269 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

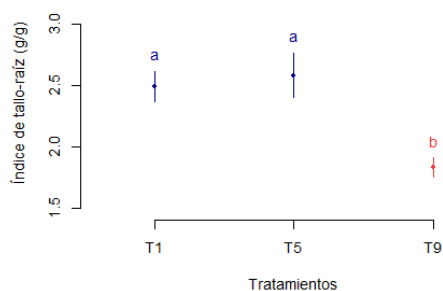
ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|---------------------|----|-------|-------|---------|--------------|
| Tratamiento | 2 | 10,00 | 4,998 | 9,533 | 0,000181 *** |
| Error | 87 | 45,61 | 0,524 | | |
| Total | 89 | 55,61 | | | |

Nota: (***) muy alta significancia

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)

Prueba de comparación múltiple de índice de tallo-raíz



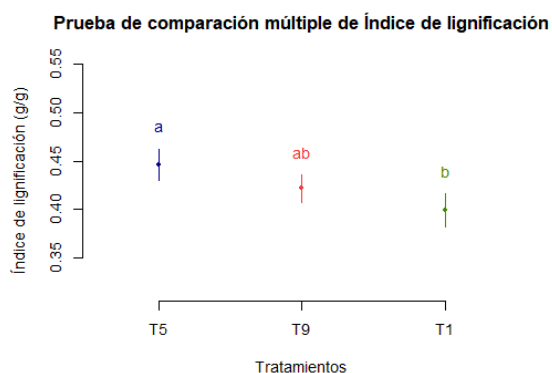
D. ÍNDICE DE LIGNIFICACIÓN

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | No / 0,01349 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,5849 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 2 | 0,0326 | 0,016279 | 2,161 | 0,121 |
| Error | 87 | 0,6555 | 0,007534 | | |
| Total | 89 | 0,6881 | | | |

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)



E. ÍNDICE DE DICKSON

| Factor | Tratamientos |
|-------------------------------------|---|
| Prueba de normalidad | Shapiro-Wilk |
| Cumplimiento / p-valor | Si / 0,1626 |
| Prueba de homogeneidad de varianzas | Bartlett |
| Cumplimiento / p-valor | No / 0,04659 |
| Igualdad de medias | Prueba paramétrica: Comparación múltiple de Kruskal - Wallis ($\alpha=0,05$) |

ANOVA

| Fuente de Variación | GL | SC | MC | VALOR F | P-VALOR |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 2 | 0,0000036 | 1,783e-06 | 0,152 | 0,859 |
| Error | 87 | 0,0010221 | 1,175e-05 | | |
| Total | 89 | 0,0010257 | | | |

PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE KRUSKAL WALLIS ($\alpha=0,05$)

Prueba de comparación múltiple de Índice de lignificación

