

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Evaluación de atributos físicos de sustratos de crecimiento en etapa de vivero para la propagación de dos especies de interés forestal.

Mayra Alejandra Duarte Villabona

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Ricardo Andrés Oviedo Celis

MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga, Santander

2024

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar a esta meta, llenándome de sabiduría y perseverancia hasta lograr lo propuesto.

A mis padres Lucy Villabona y Alejandro Duarte, por su apoyo incondicional y motivación en cada momento, sus sacrificios diarios han hecho posible todo lo que soy. Gracias por ser mi inspiración y mi mayor apoyo.

A mis hermanos quienes siempre han sido la base principal de mi vida, y con paciencia y amor han hecho parte fundamental de todo este proceso, por ellos y para ellos este logro alcanzado.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Agradecimientos

Agradezco a Dios por acompañarme siempre, ser mi refugio ante cualquier adversidad y permitirme culminar este proceso académico.

A mis padres, incansables luchadores, por su amor incondicional y por ser mi constante apoyo, infundiéndome la fe y la determinación que en ocasiones me faltaron.

A mi director de Tesis, el profesor Ricardo Oviedo Celis, cuyo conocimiento, paciencia y confianza fueron fundamentales para la culminación de este trabajo, un agradecimiento especial para él.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de desarrollar mis capacidades para alcanzar cada una de las metas propuestas en mi formación académica.

A Anderson Moreno, cuya compañía y apoyo constante me permitió mantener la motivación y superar cada obstáculo presente.

A mis amigas y compañeros, por su compañía y ánimo durante este proceso

.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2 Marco referencial	16
2.1 Marco teórico	16
2.1.1 Alnus jorullensis	16
2.1.2 Tabebuia rosea	17
2.1.3 Producción forestal en viveros.....	18
2.1.4 Sustratos de crecimiento	19
2.1.5 Propiedades físicas del suelo	19
2.2 Marco legal	21
3 Metodología	22
3.1 Área de estudio	22
3.2 Conformación sustratos de crecimiento.....	23
3.4 Diseño experimental	23
3.5 Variables de evaluación	24
3.6 Variables físicas del sustrato.....	25
3.7 Incidencia parámetros físicos del sustrato al crecimiento.....	26
4 Resultados	26
4.1 Caracterización física de sustratos de crecimiento conformados.	26

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

4.2 Respuesta del crecimiento en sustratos conformados.....	27
4.2.1 Análisis para altura	27
4.2.2 Análisis desarrollo foliar.....	29
4.2.3 Análisis de crecimiento para <i>T. rosea</i> y <i>A. jorullensis</i>	30
4.3 Incidencia de los parámetros físicos en el crecimiento de las especies forestales	32
5 Discusión.....	33
6 Conclusiones	35
7 Recomendaciones.....	37
Referencias Bibliográficas	38
Apéndice	42

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Fracción porcentual de materiales empleados para conformar sustratos de crecimiento	23
Tabla 2 Características físicas evaluadas en sustratos de crecimiento	25
Tabla 3 Comparación de medias características físicas sustratos de crecimiento	27

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación área de estudio.....	22
Figura 2. Diseño experimental para análisis de propiedades físicas sustratos.....	24
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes para altura en <i>Alnus jorullensis</i>	28
Figura 4. Análisis de varianza altura para <i>Tabebuia rosea</i>	28
Figura 5 Análisis de varianza pares de hojas para <i>Alnus jorullensis</i>	29
Figura 6. Análisis de varianza No de hojas para <i>Tabebuia rosea</i>	30
Figura 7. Comparación de medias entre tratamientos para crecimiento en <i>A. jorullensis</i> y <i>T. rosea</i>	31
Figura 8. Prueba de Tukey para crecimiento en <i>A. jorullensis</i> y <i>T. rosea</i>	31
Figura 9. Correlograma para propiedades físicas <i>Alnus jorullensis</i>	32

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Proceso de germinación vivero UIS – Sede Málaga	42
Apéndice B. Diseño experimental de tratamientos para <i>A. jorullensis</i> y <i>T. rosea</i> en vivero UIS, Sede Málaga.....	42
Apéndice C. Resultados prueba de Bouyoucos para textura del suelo, laboratorio UIS	43
Apéndice D. Anillos con muestra de suelo para determinación de densidad	43
Apéndice E. Comparación longitud de raíces en <i>Alnus jorullensis</i>	44

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Glosario

Contenedor: recipientes usados para mantener las plántulas durante sus primeras etapas de desarrollo.

Crecimiento vegetal: aumento permanente en volumen y masa que implica la división y elongación celular.

Era de crecimiento: áreas designadas al óptimo desarrollo de las plantas posterior a la germinación.

Germinador: medio adaptado a condiciones favorables para la germinación de las semillas y obtención de plántulas.

Plántula: etapa inicial de crecimiento de la planta que surge posterior a la germinación de la semilla.

Propagación sexual y asexual: Métodos o actividades realizadas para reproducir y multiplicar plantas con el fin de generar nuevas y aumentar la cantidad de estas.

Rizosfera: sección del suelo próxima a las raíces de la planta donde interactúan las raíces de la planta con el suelo y sus microorganismos.

Sustrato: material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular.

Vivero: sitio destinado a la producción de material vegetal forestal cuya infraestructura y administración permiten el óptimo desarrollo de plántulas.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Resumen

Título: Evaluación de atributos físicos de sustratos de crecimiento en etapa de vivero para la propagación de dos especies de interés forestal.*

Autor: Mayra Alejandra Duarte Villabona**

Palabras Clave: Crecimiento de plantas, Plántula, Producción forestal, Vivero forestal, Sustratos.

Descripción: Los sustratos de crecimiento en viveros forestales, son importantes para la producción de material vegetal. Sin embargo, los atributos físicos de las mezclas conformadas son poco estudiadas. La investigación plantea como Ho: Igualdad entre sustratos respecto de las propiedades físicas, y H1: diferencias en sustratos respecto de sus propiedades físicas. Como alcance del estudio, se busca evaluar la respuesta del crecimiento y número de hojas de dos especies forestales en cinco tratamientos “sustratos” en condiciones de vivero en el municipio de Málaga – Santander. Las cinco mezclas se conformaron a partir de materias primas locales en diferentes fracciones, evaluadas en un diseño de bloques al azar donde fueron trasplantados individuos de *Tabebuia rosea* y *Alnus jorullensis* medidos cada ocho días por cuatro meses, datos sometidos a pruebas de ANOVA, Tukey ($p > 0.05$) y correlación de Person. Los resultados indican diferencias en los atributos físicos de los sustratos. *T. rosea* presentó mejor crecimiento y desarrollo en número de hojas en T2, contrario a *A.jorullensis* donde T0 fue la mejor alternativa. Finalmente, el crecimiento para *T. rosea* presentó relaciones débiles con las variables físicas, contrario en *A. jorullensis* donde se destaca la incidencia de porosidad total y limos. Se concluye, que la física del sustrato es un aspecto importante para el crecimiento de material vegetal forestal, y las informaciones aportadas por el estudio; son relevantes para que viveristas y silvicultores, optimicen los protocolos de producción en vivero, y puedan optimizar calidad del material destinado a siembra en proyectos de diferente alcance.

*. Trabajo de grado

** Instituto de proyección regional a distancia IPRED. Programa Ingeniería Forestal. Director Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Codirector

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Abstract

Title: "Evaluation of physical attributes of growth substrates in nursery stage for the propagation of two forest species of interest. *

Author(s): Mayra Alejandra Duarte Villabona **

Key Words: Plant growth, Seedling, Forest production, Forest nursery, Substrates.

Description: Growth substrates in forest nurseries, are important for the production of plant material. However, the physical attributes of conformal mixtures are little studied. The research poses as Ho: Similarity between substrates with respect to the physical properties, and H1: differences in substrates with respect to their physical properties. As the scope of the study, it seeks to evaluate the growth and leaf number response of two forest species in five “substrate” treatments under nursery conditions in the municipality of Málaga – Santander. The five mixtures were conformed from local raw materials in different fractions, evaluated in a random block design where individuals of *Tabebuia rosea* and *Alnus jorullensis* were transplanted measured every eight days for four months, data subjected to ANOVA tests, Tukey ($p > 0.05$) and Person correlation. The results indicate differences in the physical attributes of the substrates. *T. rosea* presented best growth and development in number of leaves at T2, contrary to *A. jorullensis* where T0 was the best alternative. Finally, the growth for *T. rosea* presented weak relationships with the physical variables, contrary to *A. jorullensis* where the incidence of total porosity and silts stands out. It is concluded, that the physics of the substrate is an important aspect for the growth of forest plant material, and the information contributed by the study; are relevant for nurserymen and foresters, to optimize nursery production protocols, and can optimize the quality of material intended for planting in projects of different scope.

.

*Degree work

** Institute for regional projection at a distance IPRED. Forest Engineering Program. Director Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Sustainable Development and Environment. Co-director:

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Introducción

La presión antrópica sobre los bosques en Colombia, se relaciona con la implementación de modelos de producción agrícolas y pecuarios, que causan su degradación y la disminución de los servicios ecosistémicos para la sociedad que estas áreas naturales aportan (Laterra et al., 2011). Esta problemática, ha impulsado nuevas alternativas para mitigar el daño ambiental sobre los ecosistemas forestales en el país, para lo cual, desde diversos entes públicos y privados se promueven la reforestación y restauración ecológica como acciones de gestión sobre el patrimonio forestal que permitan su recuperación mediante el uso de especies nativas (Molina, 2019). Por tanto, implementar protocolos de propagación en viveros forestales, es un reto para la ciencia forestal en Colombia, de tal forma, que estas iniciativas suplan la demandan de material vegetal de óptima calidad (Cortés, 2009).

Uno de los aspectos relevantes para la producción de material vegetal, es la selección de materiales para conformar sustratos de crecimiento. Al respecto, Negreros - Castillo et al., (2010), indican que los sustratos de crecimiento son una parte importante en la producción de plántulas forestales. Por tanto, se deben buscar las mejores características de composición que permitan un desarrollo ideal de la rizosfera. En actualidad, la evidencia bibliográfica reporta gran cantidad de sustratos conformados sobre una amplia variedad de materiales y elementos, sin embargo, la selección de estos, no es un estándar y se debe a otros factores que influyen en las características físicas. Para Varela et al., (2013) el sustrato es el medio de soporte y nutrición para la plántula en vivero, durante las fases de crecimiento y desarrollo hasta su establecimiento en sitio definitivo. Por tanto, reconocen su alto valor en la etapa de producción de material vegetal forestal.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Todo lo anterior, demanda explorar nuevos materiales que una vez configurados proporcionen un óptimo rendimiento en altura y masa radicular de plántulas forestales que no impliquen altos costo de producción y administración (Villota et al., 2019). La propagación de especies forestales, está relacionada directamente con sus requerimientos nutricionales y físicos del sustrato. Por tanto, es necesario emplear materiales capaces de brindar condiciones para la circulación del agua y aire, aspectos importantes para la interacción de la raíz (Salto et al., 2016). La selección adecuada de tales materiales no solo favorece el crecimiento, también, reduce las tasas de la mortalidad durante las primeras etapas de los procesos de propagación.

Sobre la calidad del sustrato, el estudio de sus características físicas requiere atención y abordaje integral en producción de plántulas forestales (Pire & Pereira, 2003). En el proceso de propagación forestal sexual, las propiedades físicas surgen con mayor relevancia en el desarrollo de la planta, más aún, en la selección de sustratos que tengan una composición donde la relación planta – sustrato tenga las mejores condiciones desde la física del material embolsado, donde también es importante los aspectos químicos y biológicos (Rodríguez et al., 2012).

La propagación forestal implica un análisis en diferentes contextos, desde los cuales se comprenden los sustratos que soportan y sustentan la rizosfera en la etapa de vivero (Pérez et al., 2018). En tal sentido, la condición física del sustrato es un aspecto pocas veces tratado en ciencias forestales. Lo anterior, por criterios unificados de sustratos en la literatura disponible. Sin embargo, Ormeño et al., (2013), indica que no solo lo físico del sustrato es importante, también, reconoce en el control de malezas como una labor clave para lograr individuos de óptima calidad y sustratos libres de agentes patógenos. Sin embargo, los estudios que tratan el análisis de sustratos desde su aporte nutricional son más abundantes (Luna, 2019).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Por ello, esta investigación busca aportar informaciones sobre la física de sustratos de crecimiento empleados en viveros forestales, a partir de una evaluación de la incidencia de algunas propiedades físicas en el crecimiento de *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea* seleccionadas por su interés en proyectos forestales de protección, comerciales y agroforestales en el departamento de Santander. Este tipo de enfoque, no ha sido abordado para el departamento y hasta donde se tiene conocimiento, tampoco a nivel nacional se cuenta con este tipo de estudios para sectores como el forestal; donde el uso de sustratos en ocasiones se ha estandarizado sin su pleno conocimiento desde las propiedades físicas, un aspecto que se busca ampliar desde diferentes alternativas de sustratos y materiales.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar atributos físicos de sustratos de crecimiento empleados en etapa de vivero para la producción de *Alnus jorullensis*, K y *Tabebuia rosea*, B.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar parámetros físicos para cinco alternativas de sustratos de crecimiento conformados.

Identificar la mejor alternativa como sustrato de crecimiento, para procesos de propagación de material vegetal de las dos especies forestales.

Explicar la incidencia de los parámetros físicos en el crecimiento de las especies forestales objeto de estudio.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

2 Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Alnus jorullensis*

Conocida comúnmente como aliso o cerezo, esta especie de la familia Betulácea, se ubica en Colombia naturalmente en las laderas de la cordillera Central y Oriental, en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío (Venegas et al., 1986). Crece en un rango altitudinal entre los 2000 y 3.250 m s.n.m, desarrollándose mejor entre los 2.300 y 2.900 m s.n.m. Actualmente, la especie ha sido objeto de establecimiento en laderas o pastizales erosionados, sin embargo, los individuos evidencian troncos múltiples o deformes. La especie, requiere suelos de textura liviana, con porcentajes de humedad moderada, aspectos que le permiten desarrollar un fuste recto.

Dentro de sus características, se reportan alturas de 15 a 20 m, corteza de color grisáceo a veces plateado y lenticelas visibles, copa irregular, angosta y abierta. Venegas et al., (1986), por su parte destaca su rápido crecimiento y capacidad de fijación de nitrógeno, sin embargo, el autor informa del alto grado de susceptibilidad a hongos en suelos con alto contenido de materia orgánica.

Por su parte, Añazco, (1996), la agrega como una de especies fundamental para emplear combinada con pastos donde se han reportado óptimas ganancias para los productores en fincas bajo modelos silvopastoriles, en este contexto, Aulestia-Guerrero et al., (2018) coincide con estos autores, al indicar que las raíces de esta especie son poco profundas, poseen nódulos que tienen alta capacidad de fijación de nitrógeno, por lo que las hojas de esta son utilizadas principalmente como forrajes debido a su alto valor proteico.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Para Oliveros et al., (2008), la exigencia de la planta en humedad es indispensable a la hora de plantarse, por lo que su preparación en sitios que son semi-secos requiere de una adecuada preparación del sitio con el fin de aumentar la infiltración de agua. En tal sentido, el papel que juega esta especie es fundamental en el mejoramiento de suelos, esto debido a su simbiosis radicular, con hongos que influyen en la capacidad de la especie de extraer mayor volumen de agua y nutrientes (Molina et al., 2006).

2.1.2 *Tabebuia rosea*

También conocida como Guayacán rosado, es una especie de la familia Bignoniácea, su nombre proviene del latín “rosea”, rosa, en referencia al color de sus flores. Es una especie nativa de Centro y Sur América, distribuida geográficamente de México hasta Ecuador. Llega a alcanzar una altura de hasta 40 metros y diámetro de hasta 100 cm, posee una densidad de follaje media y la copa que supera los 14 metros (Martínez et al., 2006).

Presenta hojas caducifolias con foliolos y flores acampanadas de aproximadamente 5cm de largo, estas florecen en época seca y sus frutos se dispersan por viento (anemócora). La madera de *Tabebuia rosea* es utilizada principalmente en ebanistería fina y carpintería, empleándose principalmente con propósitos ornamentales y en proyectos de restauración ecológica en áreas urbanas y rurales. Su temperatura media anual se distribuye entre los 22 y 27°C, con precipitaciones de 1250 a 2500 mm (Martínez et al., 2006).

Presenta un potencial de crecimiento en sitios planos principalmente, su suelo de origen calizo o aluvial, bosque pantanoso o inundable, por lo que presenta ligeros problemas de drenaje, se desarrolla apropiadamente en suelos conocidos como vertisoles. Es una especie potencial en plantaciones comerciales, en sistemas agroforestales y para reforestación en zonas degradadas.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

2.1.3 Producción forestal en viveros

La producción de plántulas forestales en viveros, se define como el proceso de cultivo de plántulas en viveros forestales, donde generalmente estas tienen mejor desarrollo y mayor crecimiento como resultado de los manejos controlados establecidos, en este contexto la posibilidad de proveer a las plantas agua y nutrientes se hace mayor, al aumentar la existencia de estas en óptimas condiciones, sanas y vigorosas. De este modo, se entiende a un vivero forestal como un lugar destinado a la reproducción de plántulas de calidad, que garanticen una supervivencia y óptimo desarrollo en su lugar de establecimiento.

Este óptimo desarrollo implica llevar a cabo diversas metodologías que en cualquiera de los casos conlleve a una producción de calidad desde la siembra hasta su etapa de recolección. Para ello, indica Buamscha et al., (2012), la diversidad de factores existentes en un vivero puede influir directamente en dichos procesos, por lo tanto, el personal encargado de realizar dichas actividades está capacitado para ejecutar las técnicas más adecuadas. Del mismo modo, se hace énfasis principalmente en como la calidad de estas plántulas depende también de su sistema productivo, en este caso relacionado con el tipo de plantas que se produzcan, junto con su desarrollo y posterior sitio de plantación.

Por su parte, Jiménez (1993), hace notar que los viveros forestales son una base ideal y fundamental en cualquier plan de producción de plántulas, lo que resalta gran parte en los cuidados requeridos, las necesidades en vivero y preparación para que su desarrollo una vez afuera, presente vitalidad y calidad. Este tipo de producción de plántulas, asume con seguridad la obtención de estas con calidad superior, esto implica aspectos como sanidad relacionada con plagas y/o enfermedades, tamaño adecuado, manejo equilibrado en el uso de fertilizantes y riego, que busquen la sobrevivencia y el óptimo desempeño de estas en cualquiera de sus actividades finales.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

2.1.4 *Sustratos de crecimiento*

Ante la diversidad de materiales usados en la agricultura, la horticultura y la jardinería, los sustratos son usados como suministro para proporcionar nutrientes a las plantas durante su desarrollo, este se define como un producto natural resultante de la descomposición de materiales, ya sea de origen vegetal, animal o mixto, en este sentido Raviv et al., (2016), explica que estos tienen la capacidad de optimizar la fertilidad y productividad de los cultivos en el suelo. Por otro lado, en agricultura este término se define como todo material sólido natural distinto al suelo ubicado en un contenedor en cualquier forma, que permite el desarrollo del sistema radicular y el óptimo crecimiento (Vargas et al., 2008).

Los sustratos a lo largo del mundo, definen diversas ventajas que lo han categorizado como un producto de gran importancia desde el punto de vista económico, en este sentido, el uso de estos abonos fomenta respuestas óptimas en las prácticas agrícolas (Nieto et al., 2002). Una de las grandes ventajas respecto a los cultivos en el suelo es su potencial en el rendimiento, la calidad y la sanidad de estos.

2.1.5 *Propiedades físicas del suelo*

La proporción ubicada entre los diversos componentes del suelo (materia orgánica, organismos y minerales) corresponde a la que define en este las propiedades físicas, químicas y biológicas, (Intagri, 2017), estas características corresponden a la influencia en un desempeño óptimo de la productividad. El suelo definido como un cuerpo poroso contiene mezclas de partículas orgánicas e inorgánicas que, en cualquier grado de desintegración, agua y aire, establecen interacciones para dar apertura a características definidas como textura, estructura, consistencia, porosidad, drenaje y profundidad. En este contexto, estas últimas permiten un mejor desarrollo de las prácticas de riego y drenaje, fertilización y labranza.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Al ser el suelo un ente dinámico, se entiende que está sujeto a diferentes procesos dados por agentes incluidos que son los que al final darán como resultado el tipo de suelo (Carrasco et al., 2012). De esta manera, se define al clima, organismos vivos, relieve, roca madre y tiempo, como los factores más influyentes en la formación de este, así mismo, la interacción en cualquier grado de estos componentes asignara al suelo características y propiedades específicas que facilitarían el manejo y entendimiento en el desarrollo de diversas plantas. De esta forma, una acción integrada y conjunta de estos factores, definirá según Carrasco et al., (2012), el suelo como una asociación de partículas agregadas que terminarían por dar origen a poros y agua.

Según Bienes, (2006), los diversos procesos físicos, químicos y biológicos, se relacionan de forma simultánea con una única finalidad, enriquecer o empobrecer las condiciones del suelo y sus funciones, en tal sentido, funciones como el anclaje de raíces que permite una fotosíntesis más eficiente, un suministro adecuado de agua, lo que resguarda un alto potencial hídrico, o una adecuada proporción de nutrientes que estimula la fertilidad natural. En general, estas funciones desempeñan para cada elemento ventajas que se determinan en una visión de crecimiento y desarrollo óptimo en las plantas.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

2.2 Marco legal

Este trabajo se realizó teniendo en cuenta la resolución 0780006 de 2020. Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2020): **Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país.**

“Que es función del ICA ejercer el control técnico de la producción y comercialización de los insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para siembra, con el fin de prevenir riesgos que puedan afectar la sanidad agropecuaria y la inocuidad de los alimentos y la producción agropecuaria del país.”

“Que es necesario ejercer el seguimiento, vigilancia sanitaria y la identificación genética en viveros de propagación, para garantizar la procedencia y la calidad del material vegetal de propagación, así como para prevenir la introducción y diseminación de plagas en el territorio nacional.”

Artículo 4.- Registro de los viveros y/o huertos básicos productores y comercializadores de material vegetal de propagación y/o plantas vivas.

Toda persona natural o jurídica que se dedique a la producción, comercialización o ambas actividades, de material vegetal de propagación y/o plantas vivas a través de viveros y/o huertos básicos, debe registrar el vivero productor y/o comercializador o el huerto básico ante la Gerencia Seccional del ICA de la jurisdicción donde se encuentre ubicado, mediante solicitud que cumpla con los requisitos establecidos (ICA, 2020).

PARAGRAFO 1. Las especies a producir no deben ser objeto de plagas cuarentenarias y/o reglamentadas conforme a la resolución ICA 3593 de 2015 y aquellas que la adicionen, modifiquen o sustituyan (ICA, 2020).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

3 Metodología

Inicialmente, se presenta una descripción del área de estudio, seguido de los métodos y técnicas de análisis empleados para abordar los objetivos definidos.

3.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en el vivero adscrito al programa de ingeniería forestal en la Universidad Industrial de Santander sede Málaga. El municipio, presenta una precipitación promedio anual de 1400 mm, ubicado sobre los 2220 m s.n.m y una temperatura media de 15 a 17°C. El ensayo se ubicó en el costado Nororiental del campus central **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Allí se llevó a cabo la siembra, germinación y evaluación del crecimiento, así como la conformación de sustratos base para el desarrollo del proyecto.

Figura 1

Ubicación área de estudio



ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

3.2 Conformación sustratos de crecimiento

Se conformaron 6 sustratos (tratamientos), a partir de 5 materiales seleccionados por su disponibilidad en la región y su uso tradicional en producciones de material vegetal forestal. La distribución porcentual de los materiales se realizó a criterio de la autora del estudio **Tabla 1**.

Tabla 1

Fracción porcentual de materiales empleados para conformar sustratos de crecimiento

Material	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Suelo natural	100%	50%	50%	50%	30%	50%
Aserrín tamizado	0%	10%	0%	10%	20%	10%
Cascarilla de arroz	0%	30%	20%	40%	10%	10%
Caprinaza	0%	0%	10%	0%	30%	10%
Residuo carbón	0%	10%	20%	0%	10%	20%

Nota. Durante el tiempo del ensayo no se realizó fertilización a las plántulas.

3.3 Selección de especies

La evaluación del sustrato se realizó según el crecimiento de *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea*, seleccionadas por su interés de uso en proyectos de compensación forestal en el departamento de Santander. De igual forma, se trata de dos especies forestales con alto grado de adaptabilidad en la provincia de García Rovira, donde la Universidad Industrial de Santander sede Málaga tiene injerencia y cobertura. El material genético de las especies se obtuvo por aporte del programa de Ingeniería Forestal (semilla certificada).

3.4 Diseño experimental

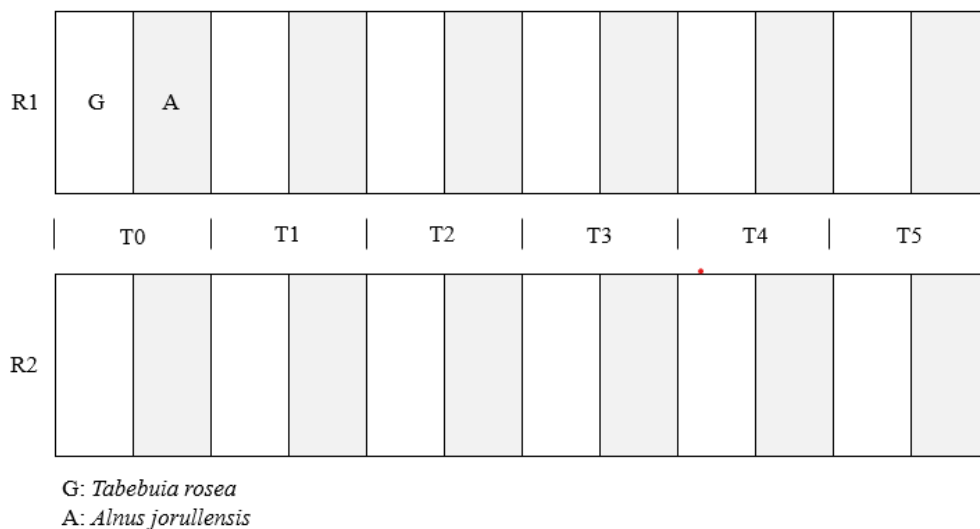
Fue implementado un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, técnica sugerida por (Infante & Zarate, 1990) que permite el análisis de la varianza de los tratamientos, de tal forma,

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

que se refleja la respuesta en este caso de cada sustrato conformado a crecimiento de las dos especies desde la incidencia de las propiedades físicas del sustrato. El montaje del diseño propuesto, se llevó a cabo a los 20 días cuando las plántulas de *Tabebuia rosea* en germinador alcanzaron una altura promedio de 5 cm, y a los 33 días cuando las plántulas de *Alnus jorullensis* alcanzaron una altura de 4 cm, momento en el cual se trasladaron a bolsas de polietileno (25 x 30 cm, calibre 1,5 con fuelle) llenadas con los respectivos sustratos definidos en la **Tabla 1**.

Figura 2

Diseño experimental para evaluación de propiedades físicas sustratos en Tabebuia rosea y Alnus jorullensis



3.5 Variables de evaluación

Las variables definidas para evaluar la incidencia de los sustratos en las especies forestales fueron: altura que corresponde a la proyección vertical medida desde el límite superior del sustrato hasta la yema terminal de la plántula, y número de hojas registrado como la cantidad de folíolos

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

presentes durante el tiempo de medición del ensayo. Estos registros se realizaron cada 8 días por 5 meses.

3.6 Variables físicas del sustrato

Para cada uno de los tratamientos de la Tabla 1, se determinaron 6 propiedades físicas. La selección de estas características, se hace a criterio del autor del estudio. Los valores para cada una de las propiedades; fueron determinados en dos momentos, uno al iniciar el embolsado donde se tomaron 24 muestras por tratamiento con 12 muestras de cada especie, y otro al finalizar el ensayo con igual número de réplicas Tabla 2.

Tabla 2

Características físicas evaluadas en sustratos de crecimiento

Característica	Símbolo	Método	Fórmulas
Textura	T	Bouyoucos	$A = 100 - 2(L1)$
			$Ar = 2(L2)$
			$L = 100 - (\%A + \%Ar)$
Densidad Aparente	Da	Relación masa volumen anillo	$Da = \frac{Ps}{Vt}$
Densidad Real	Dr	Relación masa volumen picnómetro	$Dr = \frac{Ps}{Vs}$
Humedad (Volumétrica)	H	Secado	$H = \frac{Vs}{Vt} * 100$
Porosidad total	Pt	Relación Da/Dr	$Pt = (1 - \frac{Da}{Dr}) * 100$

Nota. Dónde, A: Arena, Ar: Arcilla, L: Limo, Da: Densidad aparente, Ps: Peso sólidos, Vt: Volumen total, Dr: Densidad real, Vs: Volumen sólidos, H: Humedad, Pt: Porosidad total.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

3.7 Incidencia parámetros físicos del sustrato al crecimiento

Finalmente, se llevó a cabo la evaluación de incidencia de los parámetros físicos listados en la Tabla 2 respecto del crecimiento de las dos especies forestales. Para esto se empleó inicialmente un análisis estadístico de tendencia central, para conocer el comportamiento general de cada variable respecto de su media. Luego, se emplearon técnicas estadísticas multivariadas como ANOVA de un factor, con niveles de significancia ($p < 0.05$) y pruebas de Tukey que permitieron identificar el o los sustratos con la mejor respuesta al crecimiento.

4 Resultados

A continuación, se presentan y describen los productos generados del trabajo de grado según la estructura metodológica definida.

4.1 Caracterización física de sustratos de crecimiento conformados.

La prueba de Tukey para los atributos físicos evaluados, permitió identificar similitudes o diferencias respecto de la configuración de sustratos. La Da mostró diferencias para los sustratos T0 y T1, en la H T0 y T3 fueron diferentes ($p < 0,05$). En el caso de la Dr, los tratamientos T0, T2, T4 y T5 también arrojaron diferencias, para la Pt las diferencias se presentaron en T0, T1, T3 y T4. Finalmente, las características que describen la textura como arena (A); arrojó las mayores diferencias en los tratamientos T0, T3 y T4. (

Tabla 3.) Este primer panorama que caracteriza los sustratos desde las características físicas, refleja cómo las diferentes mezclas si tienen incidencia en los parámetros físicos comúnmente analizados para el suelo, para este caso asumido como sustrato.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Tabla 3.

Comparación de medias características físicas sustratos de crecimiento

Tr	Da (g.cm ³)	H (%)	Dr (g.cm ³)	Pt (%)	A%	L%	Ar%
T0	1,531±0,060 a	26.755±2.04 bc	2.8±0.00 b	45.286±1.99 ab	90±0,0 d	2±0,0 a	4±0,0 b
T1	1,178±0.157 b	20.395±2.02 c	1.7±0.00 c	30.657±5.61 bc	90±0,0 b	10±0,0 bc	0,0±0,0 ab
T2	1,280±0.051 ab	34.443±1.27 a	3.0±0.00 a	57.307±2.97 a	94±0,0 b	4±0,0 b	2±0,0 b
T3	1419±0.052 ab	28.796±0.47 ab	1.7±0.00 c	16.477±1.75 cd	94±0,0 a	5±1,4 c	1±1,41 ab
T4	1,320±0.114 ab	35.100±0.56 a	1.5±0.00 d	11.933±6.72 d	96±0,0 c	2±0,0 b	2±0,0 ab
T5	1,234±0.013 ab	21.170±2.59 c	3.0±0.00 a	58.835±0.85 a	92±0,0 b	6±0,0 c	2±0,0 a

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas de las variables respecto de los tratamientos. Prueba de Tukey ($p < 0.05$).

4.2 Respuesta del crecimiento en sustratos conformados.

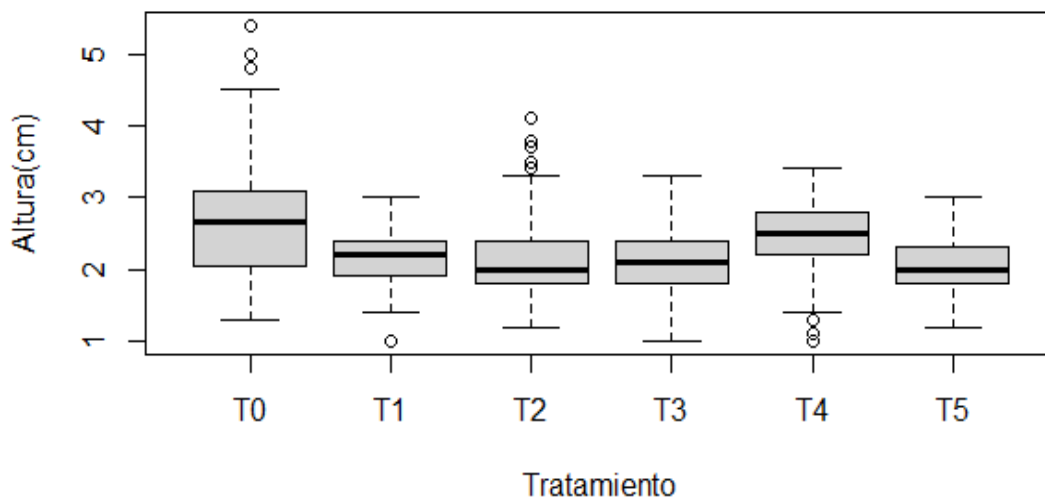
4.2.1 Análisis para altura

La respuesta de *A. jorullensis* en altura respecto de los sustratos conformados, mostró a T0 como diferente de los demás según la media. Los tratamientos restantes comparten mayor área entre cajas, lo que representa una distribución más homogénea entre ellos, sin que esto indique un mejor comportamiento de la variable. Para este conjunto de datos, los tratamientos T0, T1, T2 y T4 presentaron valores atípicos respecto de sus medidas, sin embargo, T0 igualmente los presentó, pero fue el sustrato donde la variable altura alcanzó los mayores valores (Figura 3).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Figura 3.

*Diagrama de cajas y bigotes para altura en *Alnus jorullensis**



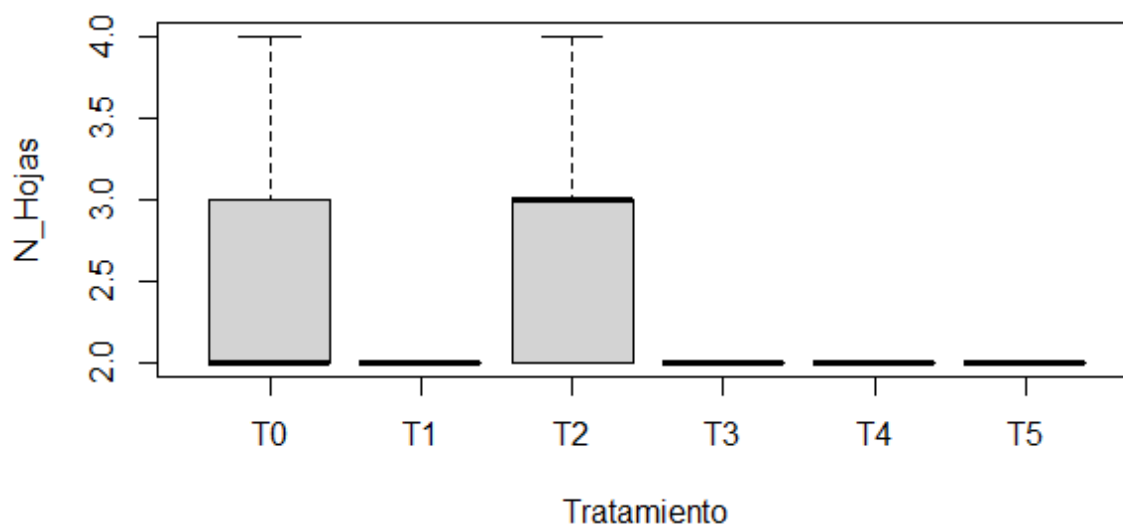
Por su parte, *T. rosea* presentó una mejor respuesta en altura en T0 y T2 que se mostraron como diferentes de los demás según la media. En este caso, T2 conformado por diferentes fracciones de cascarilla de arroz, caprinaza, residuo de carbón y base suelo natural (50%), evidenció ser el sustrato donde la variable alcanzó los mayores valores, y fue el único de los tratamientos que no presentó mezcla con aserrín. Los tratamientos T1, T3, T4 y T5, comparten áreas entre cajas y fueron similares respecto de sus valores medios de altura alcanzados. Estos tratamientos fueron conformados en su composición con la mayor proporción de elementos utilizados para el estudio. Finalmente, los tratamientos T4 y T5 presentaron en su composición la totalidad de los elementos utilizados, los cuales, a su vez, arrojaron valores atípicos respecto de sus medidas para esta variable de importancia silvicultural (Figura 4).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

La respuesta de pares de hojas en *Tabebuia rosea*, indica un comportamiento que varía únicamente en los tratamientos T0 y T2, siendo T1, T3, T4 y T5 los tratamientos con menor número de pares de hojas alcanzados y manteniendo su mismo valor durante la selección de los datos (Figura 6).

Figura 6.

Análisis de varianza pares de hojas para Tabebuia rosea



4.2.3 Análisis de crecimiento para *T. rosea* y *A. jorullensis*

El análisis de crecimiento equivalente al promedio de las variables en cada uno de los tratamientos, indica diferencias en las especies forestales. En este sentido, *T. rosea* en los tratamientos T0 y T2 reportó mayor efecto de los sustratos al crecimiento, aun así, la variable reflejó altos valores en T2 donde se tenía una mezcla de materiales, sin embargo, la prueba de Tukey indica que son similares (Figura 7 y Figura 8). Para *A. jorullensis*, se evidenció menor variación entre tratamientos con mezclas, siendo T0 donde el crecimiento fue mejor y T5 el de menor valor. Para este caso, la prueba de Tukey arrojó mayor grado de similitud entre los tratamientos (Figura 7, Figura 8)

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Figura 7

Comparación de medias entre tratamientos para crecimiento en A. jorullensis y T. rosea.

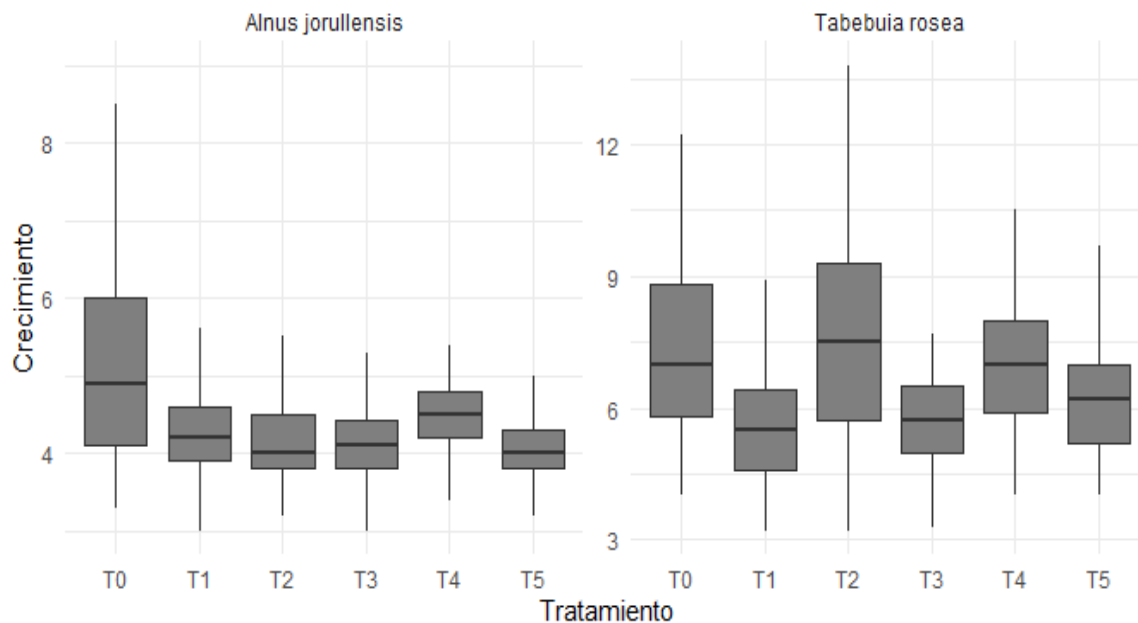
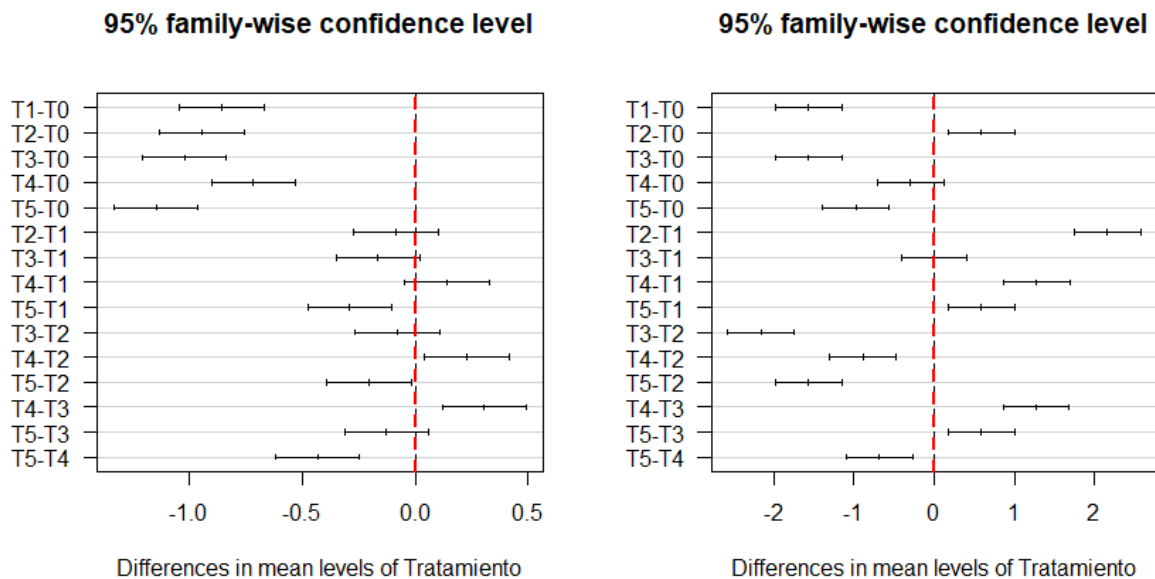


Figura 8.

Prueba de Tukey por tratamientos y crecimiento en A. jorullensis y T. rosea.



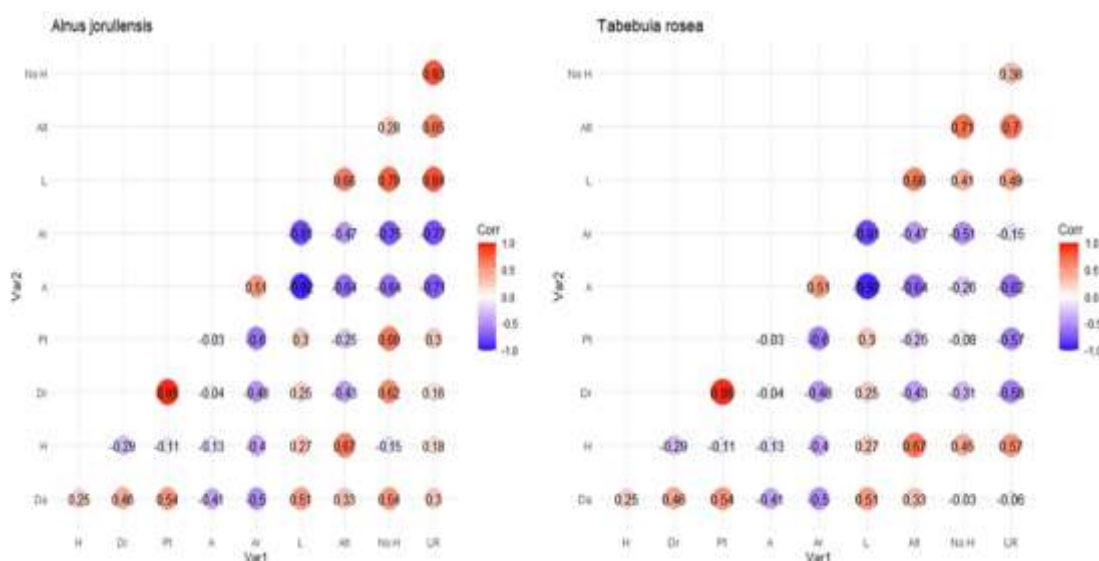
ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

4.3 Incidencia de los parámetros físicos en el crecimiento de las especies forestales

La incidencia de los parámetros físicos en el crecimiento de *A. jorullensis*, estuvo representada por las relaciones positivas entre la longitud de raíz, altura y pares de hojas con limo, cuyos valores de correlación fueron 0.66, 0.79 y 0.88 respectivamente, clasificados en un rango de moderada a fuerte. La porosidad total, densidad aparente y densidad real, también mostraron correlación positiva y moderada con pares de hojas. Para esta especie se registraron otras correlaciones de tipo inversa con atributos físicos como arenas y arcillas. La prueba de Person para *T. rosea* y los atributos físicos, mostró menos pares correlacionados. La humedad y porcentaje de limos del sustrato incidieron de forma moderada en la altura, pares de hojas y longitud de la raíz. Otras propiedades físicas analizadas como porosidad total, densidad real y arenas presentaron correlaciones inversas y moderadas con la longitud de raíz (Figura 9).

Figura 9

Correlograma para propiedades físicas Alnus jorullensis



ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

5 Discusión

El análisis de atributos físicos en sustratos de crecimiento, favorece procesos de propagación de material vegetal en viveros forestales. Sobre este aspecto, las mezclas definidas para el estudio, no fueron reportadas en totalidad en la literatura revisada. Sin embargo, algunos casos similares fueron tomados como referencia para construir la discusión. Los resultados obtenidos sobre las características físicas de los sustratos conformados, concuerdan con estudios de Ilbay, (2012), para quien la textura y composición física del sustrato son aspectos relevantes en la propagación de material vegetal. Adicional a esto, se destaca el rol de la densidad real, densidad aparente, porosidad total y la humedad en cada tratamiento, un aspecto poco estudiado en viveros forestales.

Las cinco alternativas evaluadas, no mostraron igual incidencia en el crecimiento de las dos especies forestales. Los resultados para *A. jorullensis* indicaron que T0, donde solo se tenía suelo fue la mejor alternativa de crecimiento. En *T. rosea*, los tratamientos T0 y T2 fueron la mejor alternativa, sin embargo, estadísticamente T2 supero a T0. Las informaciones al respecto, están soportadas por los valores altura, pares de hojas y longitud de raíz, variables asumidas como indicadores del crecimiento. En tal sentido, Quintero et al., (2012) reconocen que la conformación del sustrato; es un aspecto clave para el crecimiento de plántulas en vivero, sin embargo, estos autores difieren del uso de cascarilla de arroz en sustratos, por generar problemas de patógenos durante los ensayos en vivero, situación no reportada en el presente estudio.

Las relaciones entre las variables analizadas, confirma diferentes respuestas al crecimiento de las especies forestales en las etapas de vivero. En *A. jorullensis* se destacan correlaciones positivas entre variables asociadas al desarrollo foliar con los limos, resultado que concuerda con

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Negreros - Castillo et al., (2010) quienes identifican en los limos un separado del sustrato relevante para el crecimiento de la plántula. Esta misma especie, reflejó correlación positiva entre algunas propiedades físicas como densidad aparente, densidad real y porosidad total, las cuales promovieron el desarrollo en pares de hojas, resultado que valida Acosta, (2019) en estudios con *Q. humboldtii*, una especie con rango de oferta ambiental similar a *A. jorullensis*. Por último, Domínguez-Liévano & Espinosa-Zaragoza, (2021), hallaron correlación positiva entre porosidad total y crecimiento en plántulas de ecosistemas altoandinos propagadas en vivero.

La explicación del crecimiento en *T. rosea* no presentó mayor cantidad de correlaciones con los atributos físicos del sustrato. Solamente, la humedad y los limos se relacionaron de forma positiva con altura, pares de hojas y longitud de la raíz. Al respecto, Guigues, (2019) también reconoce en la humedad del sustrato una variable que influye en el crecimiento, esto, al permitir que la interfaz sustrato rizosfera presente equilibrios físicos y químicos necesarios en la fisiología de los individuos propagados. La porosidad total tuvo una correlación inversa y débil debida posiblemente a los materiales empleados, sin embargo, este resultado concuerda con la incidencia de la compactación en el desarrollo radicular reportados por Espinosa, (2018) & Guigues, (2019).

Sobre el contexto de discusión, se ratifica la importancia de abordar la conformación y selección de sustratos de crecimiento desde investigaciones detalladas, donde se generen informaciones respecto del comportamiento de los materiales empleados y su relación con la plántula.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

6 Conclusiones

Las propiedades físicas analizadas en cada uno de los sustratos, presentaron variaciones respecto de sus medias, y ratifican la incidencia de la cantidad y tipo de material empleado en la propagación de material vegetal forestal. En tal sentido, los resultados del estudio confirman la importancia de planificar desde lo técnico, el proceso conformación de sustratos de crecimiento en viveros forestales.

El uso de diversos materiales para conformar sustratos de crecimiento en viveros forestales, no garantiza procesos de producción de material vegetal óptimos respecto de la cantidad y calidad del material vegetal propagado. En tal sentido, los resultados iniciales aportados por el estudio; permiten a viveristas establecer una base de insumos para sustratos de crecimiento sobre la cual pueden trabajar para propagar las dos especies forestales acá seleccionadas.

Materiales como cascarilla de arroz y aserrín integrados al T2 incidieron en el crecimiento de *Tabebuia rosea*, aspecto sobre el cual no se tenían informaciones en condiciones de vivero como las evaluadas. Contrario al resultado para *Alnus jorullensis* donde el testigo generó el mayor crecimiento, confirmando así, que las especies forestales reaccionan de forma diferente durante la fase de vivero.

Las propiedades físicas de las diferentes mezclas conformadas, se relacionaron de forma directa pero moderada en la mayoría de los casos. En *A. Jorullensis* la porosidad total, densidad real y limos fueron las variables del sustrato que mejor revelaron el desarrollo del número de hojas, y

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

confirman la incidencia del espaciamiento entre fracciones sólidas y orgánicas sobre el desarrollo foliar de las plántulas.

Las informaciones aportadas por el estudio, son línea base para continuar con este enfoque de análisis físico de los sustratos de crecimiento, a partir del cual, se puede planificar de forma integral la producción de materia vegetal con destino a diferentes proyectos forestales; más aún en el actual escenario de certificación de viveros por entidades públicas y privadas a quienes estos resultados les sirven de referencia.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

7 Recomendaciones

Promover el estudio de la física de sustratos de crecimiento, en otras especies de interés forestal local y regional, con el objetivo de ampliar el conocimiento y comprensión de los procesos de crecimiento y desarrollo de plántulas durante las etapas de vivero.

Incluir el análisis de granulometría y conductividad hidráulica a los sustratos de crecimiento en futuros trabajos de investigación.

Integrar a las evaluaciones de sustratos de crecimiento, nuevas variables que permitan contrastar los resultados de crecimiento del presente estudio, de tal forma, que se consoliden bases de datos sobre la silvicultura de las especies forestales desde la producción en vivero.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Referencias Bibliográficas

- Acosta, E. (2019). *Evaluación de giberelinas y sustratos orgánicos en el crecimiento inicial de plántulas de Quercus humboldtii*. 1–37.
- Añazco, M. (1996). *El Aliso (Alnus acuminata) Proyecto Desarrollo forestal Campesino de los Andes en el Ecuador*.
- Aulestia-Guerrero, E., Jiménez, L., Quizhpe-Palacios, J., & Capa-Mora, D. (2018). *Alnus acuminata kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono*. In *Bosques Latitud Cero* (Vol. 8, Issue 2).
- Bienes, R. (2006). *Procesos degradativos del suelo*. 1–19.
<https://www.researchgate.net/publication/236022943>
- Buamscha, M. G., Contardi, L., Dumroese, K., Enricci, J., Escobar, R., Gonda, H., Jacobs, D., Landis, T., Luna, T., Mexal, J., & Wilkinson, K. (2012). *Producción de plantas en viveros forestales. 1*, 1–195.
- Carrasco, J., Squella, F., Riquelme, J., Hirzel, C., & Uribe, H. (2012). *Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación en territorios degradados*.
- Cortés, L. (2009). *Porque proteger los bosques de Santander, Colombia*. 1–8.
- Domínguez-Liévano, A., & Espinosa-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. <https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1707>
- Espinosa, R. (2018). *Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de Caesalpinea spinosa y Enterolobium cyclocarpum en diferentes sustratos en siembra directa en bolsas bajo tinglado*.

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

- Guigues, A. (2019). *Evaluación de crecimiento de Cedrela odorata y Grevillea robusta en diferentes sustratos*. 1–96.
- ICA. (2020). *Resolución No.0780006 del 25 de noviembre 2020*. 1–16.
- Ilbay, L. (2012). *Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de plántulas de brócoli*.
- Infante, S., & Zarate, G. (1990). *Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario* (Trillas, Vol. 2).
- Intagri. (2017). *Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas*.
- Jiménez, F. (1993). *Viveros forestales para producción de planta a pie de repoblación*.
- Lattera, P., Jobbágy, E., & Paruelo, J. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial* (Ediciones INTA, Vol. 1). 2011.
- Luna, C. (2019). *Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (Pinus taeda L.) en vivero*. 1–11.
- Martínez, M., Musálem, K., & Pérez, H. (2006). *Guía silvicultural maculís; Tabebuia rosea (Bertol) Dc.* 1–41.
- Molina, M., Medina, M., & Orozco, H. (2006). *El efecto de la interacción Frankia micorrizas - micronutrientes en el establecimiento de árboles Aliso (Alnus acuminata) en sistemas silvopastoriles*.
- Molina, Y. (2019). La reforestación como estrategia ambiental para la conservación de ríos y quebradas. *Revista Científica*, 4, 182–199.
<https://www.redalyc.org/journal/5636/563659492010/html/>

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

- Negreros - Castillo, P., Apodoca - Martínez, M., & Mize, C. (2010). *Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000200001
- Nieto, A., Murillo, B., Troyo, E., Larrinaga, J., & García, J. (2002). *El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (Caosicum annuum L.) en zonas áridas*.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000800006#:~:text=La
- Oliveros, M., Romero, H., & Marina, L. (2008). *Efecto del déficit hídrico en Alnus acuminata H.B.K. bajo condiciones de vivero*.
- Ormeño, M., Ovalle, A., Terán, N., & Rey, J. (2013). Evaluación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo de plantas de guayaba y calidad de los suelos en vivero. *Agronomía Trop*, 2, 1–12.
- Pérez, A., Ruiz, M., Lobato, M., Valera, E., & Rodríguez, P. (2018). Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(3), 383–394.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.02>
- Pire, R., & Pereira, A. (2003). *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela*.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007#:~:text=Las
- Quintero, M. F., Guzmán, J. M., & Valenzuela, J. L. (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel. In *CIENCIAS HORTÍCOLAS* (Vol. 6, Issue 1).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

- Raviv, M., Van der Wurff, A. W. G., Fuchs, J. G., & Termorshuizen, A. (2016). *Manual de compostaje y uso de compost en Horticultura Orgánica*. <https://doi.org/10.18174/375218>
- Rodríguez, S., Del Carmen, M., Tenorio, V., María, J., Prado, R., & Campillo, C. (2012). *Germinación y manejo de especies forestales tropicales* (Vol. 1).
- Salto, C., Harrand, L., Oberschelp, G., & Ewens, M. (2016). Crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque*, 37(3), 527–537. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000300010>
- Varela, S., Martínez, A., Basil, G., Mazzarino, M., & Fariña, M. (2013). *Sustratos alternativos en la producción de plantines forestales*.
- Vargas, P., Castellanos, J., Muñoz, J., Sánchez, P., Tijerina, L., López, R., Martínez, C., & Ojodeagua, J. (2008). *Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Venegas, L., Bustos, I., Restrepo, G., & Berrío, F. (1986). *Informe del seminario sobre forestación en las zonas altas de los Andes*. 1–162.
- Villota, L., Torres, F., Rodríguez, E., Sánchez, J., & Avella, A. (2019). *Domesticación de plantas nativas empleadas en procesos de restauración ecológica* (Vol. 1).

ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Apéndice

Apéndice A.

Proceso de germinación vivero UIS – Sede Málaga



Apéndice B.

Diseño experimental de tratamientos para A. jorullensis y T. rosea en vivero UIS, Sede Málaga



ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Apéndice C.

Resultados prueba de Bouyoucos para textura del suelo, laboratorio UIS

**Apéndice D.**

Anillos con muestra de suelo para determinación de densidad



ATRIBUTOS FÍSICOS SUSTRATOS DE CRECIMIENTO

Apéndice E.

Comparación longitud de raíces en Alnus jorullensis

