



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

Evaluation of physical attributes of growth substrates in the nursery stage for the propagation of two species of forest interest in Santander - Colombia.

 **Ricardo Andrés Oviedo Celis**

raovicel@correo.uis.edu.co

Universidad Industrial de Santander, Colombia

 **Mayra Alejandra Duarte Villabona**

mayraduarte841@gmail.com

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Resumen | 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. El estudio evalúa la respuesta del crecimiento y número de hojas desarrolladas de dos especies forestales en seis sustratos (T0 a T5) bajo condiciones de vivero en Málaga – Santander Colombia. Los seis sustratos se conformaron a partir de suelo natural, cascarilla de arroz, aserrín, residuos de carbón vegetal y estiércol de caprino, en diferentes fracciones, evaluadas en un diseño de bloques al azar donde fueron trasplantados individuos de *Tabebuia rosea*. (Bertol.) Bertero ex A.DC y *Alnus jorullensis*. Kunth medidos cada ocho días por cuatro meses, datos sometidos a pruebas de ANOVA, Tukey ($p>0.05$) y correlación de Pearson. Los resultados indican diferencias en densidad aparente y real, porosidad total, humedad y textura de los sustratos. *Tabebuia rosea* presentó mejor crecimiento y desarrollo foliar en T2, al contrario que *Alnus jorullensis*, donde T0 fue la mejor alternativa. Finalmente, la altura para *Tabebuia rosea* presentó relaciones débiles con las propiedades físicas en comparación con *Alnus jorullensis*, donde se destaca la incidencia de densidad aparente (0.69) y limos (0.93). Se concluye que la física del sustrato es un aspecto importante para el crecimiento de plantines forestales, y la información aportada por el estudio es relevante para definir protocolos de producción en vivero y optimizar la calidad del material destinado a plantación en proyectos forestales de diferente alcance.

Palabras clave | desarrollo foliar, densidad aparente, germinación, porosidad total, vivero forestal

Abstract | Growth substrates in forest nurseries are important for the production of plant material. However, the physical attributes of shaped mixtures are little studied. The study evaluates the growth response and number of developed leaves of two forest species in six substrates (T0 to T5) under nursery conditions in Malaga - Santander Colombia. The six substrates were made up of natural soil, rice husk, sawdust, charcoal residues and

goat manure, in different fractions, evaluated in a randomized block design where individuals of *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC and *Alnus jorullensis* were transplanted. Kunth measured every eight days for four months, data subjected to ANOVA, Tukey ($p>0.05$) and Pearson correlation tests. The results indicate differences in separate and real density, total porosity, humidity and texture of the substrates. *Tabebuia rosea* presented better growth and leaf development in T2, unlike *Alnus jorullensis*, where T0 was the best alternative. Finally, the height for *Tabebuia rosea* presented weak relationships with the physical properties compared to *Alnus jorullensis*, where the incidence of apparent density (0.69) and silt (0.93) stands out. It is concluded that the physics of the substrate is an important aspect for the growth of forest seedlings, and the information provided by the study is relevant to define nursery production protocols and optimize the quality of the material destined for planting in forestry projects of different scope.

Keywords | leaf development, bulk density, germination, total porosity, forest nursery



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons](#)

INTRODUCCIÓN

La presión antrópica sobre los bosques en Colombia y Latinoamérica es promovida por el desarrollo e implementación de modelos de producción agrícolas y pecuarios, que causan la degradación y disminución del área forestal natural y de los servicios ecosistémicos que estas áreas naturales aportan a la sociedad (Laterra et al, 2011). Esta problemática ha impulsado iniciativas para mitigar el daño ambiental sobre los ecosistemas forestales en los Andes de América del Sur, para lo cual, desde diversas organizaciones gubernamentales y privadas 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 (Armenteras y Rodríguez, 2014; Molina, 2019). Por tanto, implementar protocolos de propagación en viveros forestales, es un reto para la ciencia forestal en Latinoamérica, de tal forma que estas iniciativas suplan la demanda 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 elaborar sustratos de crecimiento. Al respecto, Negreros et al. (2016) 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 la actualidad, se reporta gran cantidad de sustratos elaborados a partir de una amplia variedad de materiales y elementos cuya elección depende de factores que influyen durante la fase de producción. Según Varela et al. (2013) la selección del sustrato de crecimiento debe ser coherente con la función que cumple como medio de soporte y nutrición para la plántula en vivero hasta su establecimiento en sitio definitivo.

Todo lo anterior demanda explorar nuevos materiales que, una vez configurados, proporcionen un óptimo desarrollo en altura, hojas y masa radicular a las plántulas y no impliquen altos costos de producción y administración (Villota et al, 2019). La propagación de especies forestales está relacionada directamente con sus requerimientos nutricionales y con las características físicas 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 con el medio (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. El estudio de las propiedades físicas de los sustratos requiere atención y abordaje integral en producción de plántulas forestales (Pire y Pereira, 2003). En el proceso de propagación forestal sexual, las propiedades físicas afectan el desarrollo de la planta. En tal sentido, se deben llevar a cabo análisis de las propiedades físicas de sustratos; a fin de identificar aspectos que promuevan o alteren el desarrollo y crecimiento del material vegetal (Rodríguez et al, 2012).

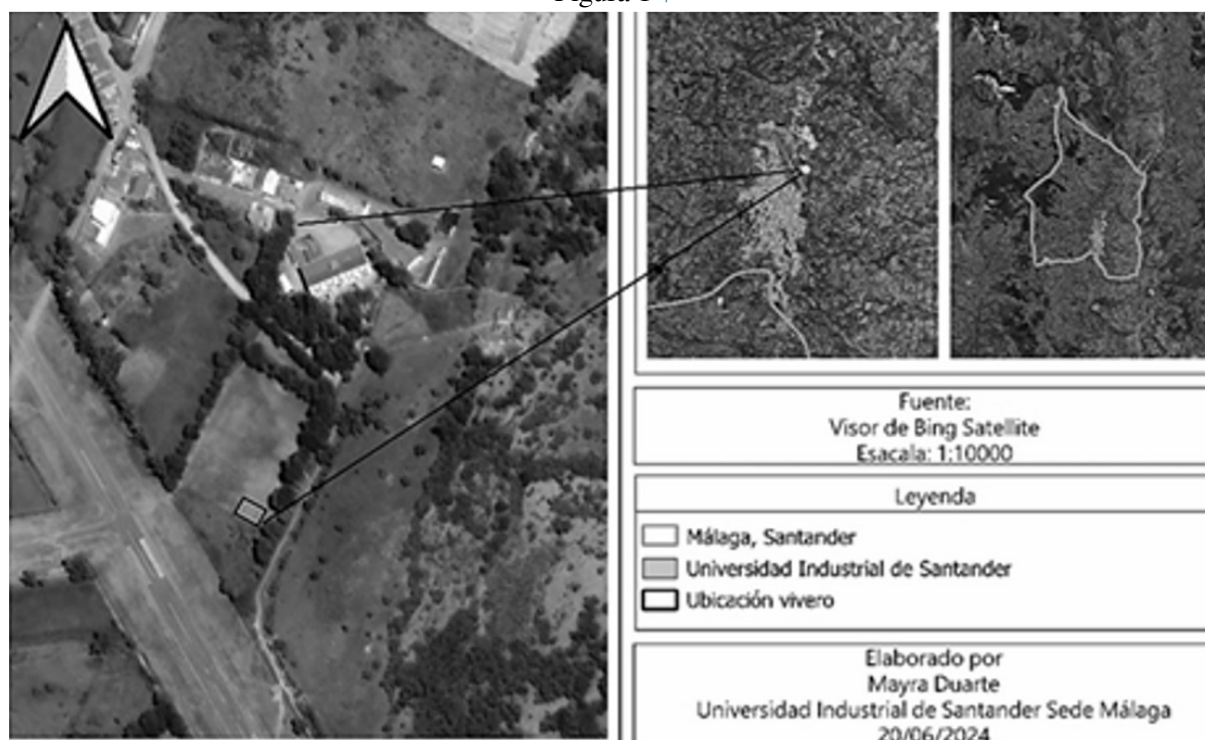
Comprender los sustratos de crecimiento, más allá de la función nutricional que aportan a las plántulas en etapa de vivero, es un reto para viveristas (Pérez et al, 2018). En tal sentido, la condición física del sustrato es un aspecto pocas veces tratado en ciencias forestales. Sin embargo, Ormeño et al. (2013) indican que, además de las propiedades físicas del sustrato, tienen importancia también el control de malezas y de agentes patógenos, entre otras labores claves para lograr individuos de óptima calidad. Aun así, los estudios que tratan el análisis de sustratos desde la base nutricional son más abundantes (Luna, 2019).

Por ello, esta investigación busca aportar información sobre los atributos físicos de sustratos de crecimiento empleados en viveros forestales en la región donde se desarrolla el estudio, a partir de la evaluación del crecimiento de *Alnus jorullensis*. Kunth y *Tabebuia rosea*. (Bertol.) Bertero ex A.DC, especies seleccionadas por su interés en proyectos forestales de protección, comerciales y agroforestales en Santander, Colombia. Este tipo de enfoque y estudio no ha sido abordado anteriormente en el país para sectores como el forestal, donde el uso de sustratos en ocasiones se ha estandarizado sin el conocimiento de sus propiedades físicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Universidad Industrial de Santander con sede en Málaga, Santander – Colombia. El municipio presenta una precipitación promedio anual de 1400 mm, ubicado sobre los 2220 m s.n.m y una temperatura media de 15°C a 17°C. El ensayo se ubicó en las instalaciones del vivero forestal localizado a N 6°42'23.78" W 72°43'41.99" como se observa en la [Figura 1](#).

Figura 1 ↑



Ubicación estudio, campus principal Universidad Industrial de Santander sede Málaga – Santander Colombia.

La siembra en germinadores se realizó el 1 de marzo de 2024, y transcurridos 33 días finalizó la germinación de las dos especies forestales. El trasplante se llevó a cabo el 3 de abril cuando las plántulas alcanzaron 2 cm de altura, a bolsas de polietileno de 25 cm x 30 cm, calibre 1,5 mm con fuelle. La altura se midió desde el cuello de la plántula, hasta la yema terminal con un calibrador pie de rey. En el caso del número de foliolos, los datos se obtuvieron por conteo directo en cada plántula. Los registros se tomaron a partir del 10 de abril, cada ocho días, hasta el 31 de agosto de 2024. El material vegetal no fue fertilizado durante el estudio, y permaneció en condiciones controladas de vivero, con riegos cada dos días, control de malezas y luminosidad del 45%. La distribución porcentual de los materiales empleados en cada uno de los sustratos se detalla en la [Tabla 1](#).

Tabla 1 ↑

Material	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Suelo local molido	100%	50%	50%	50%	30%	50%
Aserín 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 vegetal	0%	10%	20%	0%	10%	20%

Distribución porcentual de materiales empleados para conformar sustratos de crecimiento

La evaluación de sustratos se realizó en las especies *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea*, seleccionadas por su adaptabilidad y uso frecuente en proyectos de compensación forestal en la región Andina de Colombia. El ensayo se estructuró en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, cada una con 22 unidades de medición (plantines), técnica sugerida para estudios de ciencias agrarias por Almeida (2021), que permitió el análisis de la varianza de los tratamientos, reflejada en la respuesta al desarrollo en altura y número de folíolos de las plántulas en las dos especies forestales por sustrato.

Se determinaron seis propiedades físicas a los sustratos evaluados Tabla 2. Los valores de cada una de esas propiedades fueron determinados en dos momentos: uno al iniciar el embolsado, donde se tomaron 24 muestras por tratamiento con 12 muestras por especie, y otro al finalizar el ensayo, con igual número de réplicas.

Tabla 2 ↑

Propiedad	Símbolo	Método	Fórmula
Textura	T	Bouyoucos tamiz de 2 mm	$A = 100 - 2 (L1)$ $Ar = 2 (L2)$ $L = 100 - (\%A + \%Ar)$
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	$Pt = (1 - \frac{Da}{Dr}) * 100$

Propiedades físicas evaluadas en sustratos de crecimiento para *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea* en condiciones de vivero.

(A) Arena ϕ 2.0 – 0.02 mm, (L) Limo ϕ 0.02 – 0.002 mm, (Ar) Arcilla ϕ <0.002mm

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la caracterización de propiedades físicas de los sustratos y análisis de altura, se validaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, seguido de un ANOVA de un factor (con $p < 0.05$). La prueba de Tukey se empleó para identificar similitudes o diferencias en los sustratos evaluados, y la respuesta de la altura a estos. El número de folíolos se analizó de forma descriptiva, y finalmente se realizó prueba de correlación de Pearson; para establecer relaciones entre la altura y las propiedades físicas del sustrato.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS SUSTRATOS EVALUADOS

La prueba de Tukey reveló diferencias en las propiedades físicas de los sustratos evaluados. La densidad aparente (Da), fue diferente en los sustratos T0 y T1. La Humedad mostró diferencias en T0 y T3, y respecto de la densidad real (Dr), se presentó igualdad solo en T1 y T3. Para el caso de la porosidad total (Pt) las diferencias se dieron entre T0, T1, T3 y T4. Finalmente, las fracciones de arena (A) Limo (L) y Arcilla (Ar), presentaron diferencias en las seis alternativas de sustratos como lo indica la [Tabla 3](#).

Tabla 3 ↑

Tr	Da (g.cm ³)	H (%)	Dr (g.cm ³)	Pt (%)	A%	L%	Ar%
T0	1,5±0,0 a	26,7±2,0 bc	2,8±0 b	45,2±1,9 ab	90±0,0 d	2±0,0 a	4±0 b
T1	1,1±0,1 b	20,3±2,0 c	1,7±0 c	30,6±5,6 bc	90±0,0 b	10±0,0 bc	0±0 ab
T2	1,2±0,0 ab	34,4±1,2 a	3,0±0 a	57,3±2,9 a	94±0,0 b	4±0,0 b	2±0 b
T3	1,4±0,0 ab	28,7±0,4 ab	1,7±0 c	16,4±1,7 cd	94±0,0 a	5±1,4 c	1±1,4 ab
T4	1,3±0,1 ab	35,1±0,5 a	1,5±0 d	11,9±6,7 d	96±0,0 c	2±0 b	2±0 ab
T5	1,2±0,0 ab	21,1±2,5 c	3,0±0 a	58,8±0,8 a	92±0,0 b	6±0 b	2±0 a

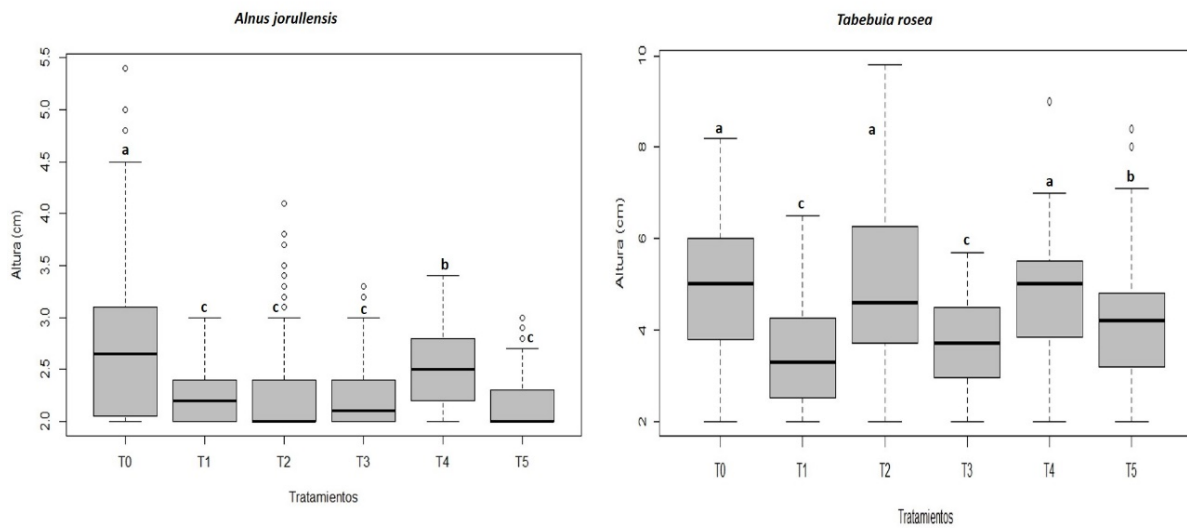
Comparación de medias de los atributos físicos de los sustratos de crecimiento evaluados. Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos. Prueba de Tukey ($p<0.05$).

RESPUESTA EN VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LAS DOS ESPECIES EN LOS SUSTRATOS EVALUADOS

Altura

La respuesta de plantines forestales en altura respecto a los sustratos evaluados, fue diferente según las medias observadas ($p<0.05$). No obstante, el análisis por grupos en las dos especies reveló algunas similitudes entre sustratos. En *Alnus jorullensis*, un 66% de los sustratos según la prueba de Tukey indicaron igualdad. Pero, la respuesta general en altura para las mezclas conformadas, no superó 1 cm, y solo el tratamiento de suelo local molido, duplicó el valor de referencia durante el periodo de evaluación. Los resultados en altura para *Tabebuia rosea*, fueron superiores en el 50% de los sustratos evaluados, que incluían, mezclas conformadas por materiales orgánicos. No obstante, esta especie mostró una respuesta entre cuatro a cinco veces mayor en dos tratamientos (T0 y T2), aspecto diferenciador comparado con *Alnus jorullensis* donde el patrón de altura a pesar de la variabilidad fue más homogéneo como se muestra en la [Figura 2](#).

Figura 2 ↑

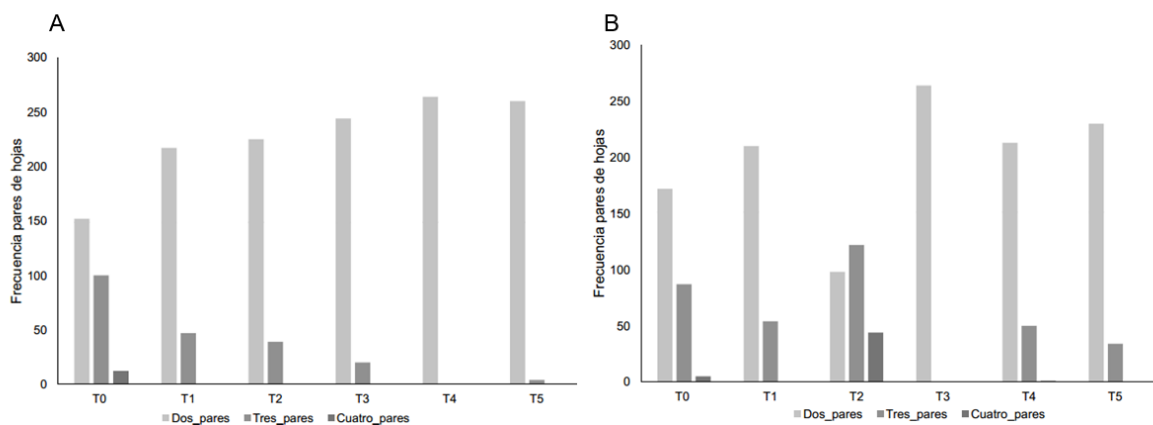


Análisis de varianza para altura por tratamiento para *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea*

Desarrollo foliar

La respuesta del número de hojas en los sustratos, no presentó mayor grado de variación durante el estudio. Sin embargo, el comportamiento de la variable fue diferente para las dos especies. Para *Alnus jorullensis*, el sustrato control mostró la mejor respuesta respecto de la presencia de hojas. Este fue el único sustrato donde el 38% y 5% los plantines desarrollaron más de dos y tres pares de hojas respectivamente, sin registros de alteraciones en su forma natural. A pesar de ello, algunos sustratos conformados con mezclas adicionales al suelo local molido, desarrollaron tres pares de hojas, aunque esta respuesta no superó el 17% de los plantines. En *Tabebuia rosea* el desarrollo foliar fue superior. Para esta especie el sustrato control presentó comportamiento similar a *A. jorullensis*, pero T2 alcanzó el mayor grado de desarrollo foliar con un 46% de los plantines con tres pares de hojas y el 17% con cuatro. El sustrato T3 en *T. rosea*, no obtuvo valores mayores a dos pares de hojas, y las restantes alternativas evaluadas fueron similares respecto de las frecuencias de pares de hojas; donde un 80% de plantines desarrollo dos pares, y el 17% tres pares [Figura 3](#).

Figura 3 ↑

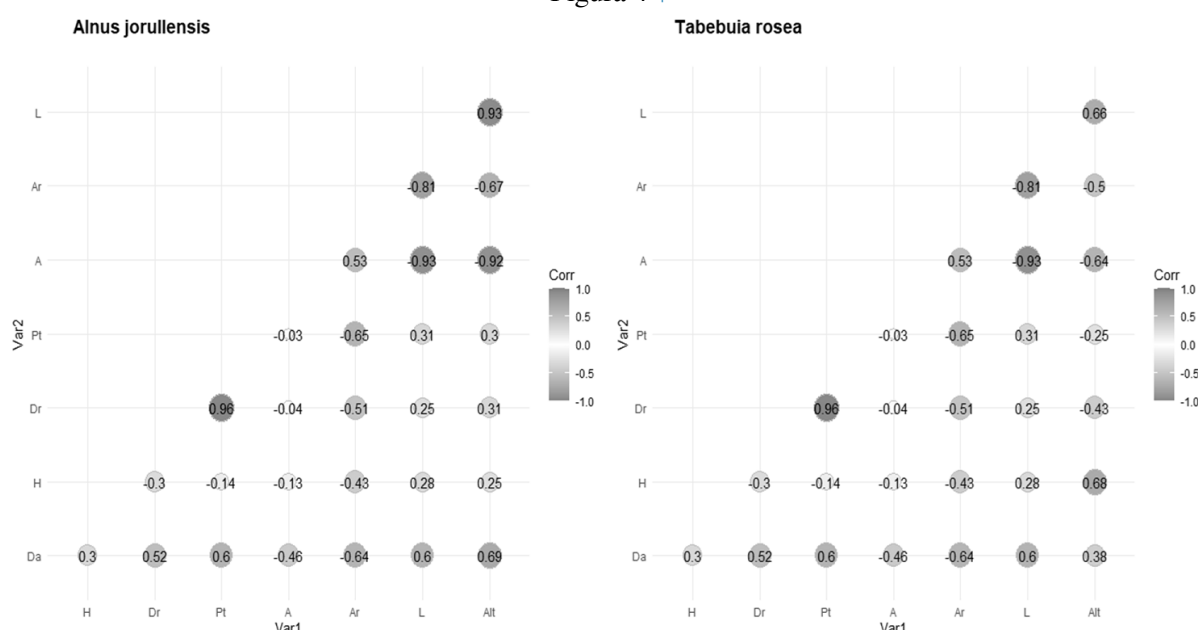


Desarrollo número de hojas por tratamiento para (A) *Alnus jorullensis* y (B) *Tabebuia rosea*.

RELACIONES ENTRE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y ALTURA DE PLANTINES

La prueba de Pearson para *Alnus jorullensis* mostró relaciones positivas entre altura - limo, y altura - densidad aparente, cuyos valores de correlación fueron 0,93 y 0,69 clasificadas como fuertes. El porcentaje de arena y la densidad real, también presentaron una relación alta de correspondencia; en este caso inversa con la altura de -0,92 y -0,67 respectivamente. En *Tabebuia rosea* los atributos físicos, mostraron menos pares correlacionados. En este caso, la humedad y porcentaje de la fracción de tamaño correspondiente a limos del sustrato, incidieron de forma moderada y positiva en la altura, contrario al porcentaje de arena donde también se presentó relación inversa Figura 4.

Figura 4 ↑



Correlograma atributos físicos sustratos con variables de crecimiento para *Alnus jorullensis* y *Tabebuia rosea*.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sobre las características físicas de los sustratos conformados, concuerda con estudios de Ilbay (2012), para quien la textura y composición física del sustrato son aspectos relevantes en la propagación de material vegetal. No obstante, Bannister et al. (2022) reportan una tendencia mayor de los viveristas hacia los análisis químicos de sustratos. El análisis de propiedades físicas en los sustratos evaluados, reveló diferencias en Da, Pt, H, Dr y las fracciones de A, L, Ar. Al respecto, estudios de Barbaro y Karlanián, (2020), Mixquititla-Casbis et al. (2022) y Barbaro, (2023), concuerdan con los resultados para Da, Pt, y Dr, sin embargo, fueron propiedades evaluadas en especies no forestales, y sustratos conformados a partir de mezclas orgánicas como turbas, condiciones que difieren del presente estudio. El contenido de humedad fue mayor en T4, que contenía un 70% de materiales orgánicos, información similar reportada por Saldaña et al. (2018) quienes obtuvieron mayores porcentajes de retención de humedad en sustratos conformados con fracciones superiores al 50% materiales orgánicos.

La mayor altura para *A. jorullensis* fue de 4.5 cm, obtenida en la alternativa de sustrato que no incluía

materiales adicionales al suelo local. En cambio, *T. rosea* registro valores entre 8 a 10 cm en T0 y T2, control y mezcla conformada por aserrín, residuo de carbón y caprinaza. Con relación a esto, Valenzuela et al. (2014) reportan mayores incrementos en altura en sustratos cuya base de mezcla son materiales orgánicos, esto, en ensayos realizados para la producción de plantines de especies agrícolas en condiciones de invernadero, y bajo dosis reguladas de fertilización. Resultados que coinciden respecto del sustrato T2 para *T. rosea*, y difieren para *A. jorullensis*, sin embargo, la no fertilización durante el estudio pudo ser otro factor diferenciador para la respuesta obtenida en altura.

Respecto al desarrollo foliar, la literatura consultada no reporta número de foliolos como variable específica de análisis. Sin embargo, los ensayos revisados abordan este aspecto desde la biomasa foliar, por tanto, fue asumido para esta discusión como similar. Las informaciones acá reportadas revelan una mayor cantidad de foliolos, en los sustratos donde la altura en las dos especies forestales igualmente fue superior. Sánchez Quintero (2017), empleó mezclas similares para evaluar el desarrollo de *Cariniana pyramidalis*, y concluyen que los sustratos con fracciones del 20% en residuos vegetales, y suelo natural no mayor al 60%; generan mejores respuestas en desarrollo foliar. En este mismo sentido, Bannister et al. (2022) reportan mejores resultados en sustratos, cuyas fracciones de suelo natural son del 50%, informaciones que concuerdan con en el presente estudio en T2 para *T. rosea*. Contrario a esto, estudios de Costa et al. (2011) en *Tamarindus indica*, concluyen que sustratos con 80% de suelo y 20% de materiales orgánicos, son ideales para el desarrollo de plantines en vivero, contexto que difiere de los obtenidos para las dos especies forestales evaluadas. Por último, 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 en las alternativas empleadas.

Las relaciones entre las variables analizadas, confirman la incidencia de la física del sustrato en el crecimiento de las especies forestales en etapa de vivero. Negreros et al. (2016) identificaron en los limos, un separado del sustrato relevante para el crecimiento de plantines cedro, caoba y roble, reporte que concuerda con los valores de correlación entre altura y limo reportados para *A. jorullensis* (0.93) y *T. rosea* (0.66). Acosta (2019), Domínguez-Lievano et al. (2021) en estudios con *Quercus humboldtii*. Bonpl, y otras especies de interés forestales; informan sobre correlaciones positivas entre densidad aparente, densidad real y porosidad total con el crecimiento de plantines. Circunstancia similar se presentó solo en *A. jorullensis*, respecto de la densidad aparente (0.69), y contrario para la densidad real y porosidad total, cuyas correlaciones indicaron influencias débiles e inversas respecto de la altura como variable de crecimiento en las dos especies. En tal sentido, Espinosa, (2018) y Guigues, (2019) indican que esta relación para el caso de la porosidad total, pueda estar asociada a los materiales empleados.

Finalmente, respecto de la humedad Guigues (2019), reconoce su influencia en el crecimiento, al permitir que la interfaz sustrato rizosfera presente equilibrios físicos y químicos necesarios en la fisiología de los individuos propagados, situación que solo fue similar en *T. rosea* donde esta variable se correlaciono de forma moderada con la altura.

CONCLUSIONES

La producción de plantines forestales de calidad, es posible cuando se dispone de sustratos de crecimiento que promuevan el desarrollo y crecimiento de las especies durante las etapas de vivero. Los sustratos conformados, requieren ser estudiados no solo en los aspectos nutricionales, al contrario, el abordaje de las propiedades físicas permite a los viveristas alcanzar optimas metas de producción. Las diferencias aportadas en valores de Da, Dr, Pt, H, A, L y Ar, corroboran la influencia del material en las propiedades físicas, un aspecto de la silvicultura hasta ahora no tratado para la zona de estudio ni las especies forestales

seleccionadas.

El análisis de la altura en plantines forestales, y otras especies de plantas, es frecuente como variable indicadora del buen desarrollo y crecimiento en viveros. Esta investigación, demuestra inicialmente que los protocolos donde se emplea el mismo sustrato, causan no homogeneidad de la variable como se mostró en *A. jorullensis* y *T. rosea*, aun sobre condiciones ambientales y de vivero iguales. Y un segundo aspecto referente *A. jorullensis*, sobre el no uso de componentes orgánicos en el sustrato para alcanzar mayores valores en altura, resultado que establece un nuevo referente técnico para ser tenido en cuenta en viveros locales de la zona de estudio, y que puede ser validado para otras regiones en Latinoamérica. El conteo de foliolos, no es una variable empleada en estudios de plantines en viveros, a pesar de ello, los datos aportados por la investigación validan su inclusión para analizar el desarrollo y crecimiento de especies forestales en vivero, por tanto, se sugiere integrarla en los protocolos de producción y futuras investigaciones.

Las relaciones entre propiedades físicas y el crecimiento en altura, corroboran la importancia del estudio y comprensión de los materiales en cada sustrato empleado para la producción de plantines. En tal sentido, la presencia de limos en suelos locales que integran sustratos, incide sobre el desarrollo en altura de plantines un aspecto fundamental durante el ciclo de producción. Las informaciones que aporta el estudio, son línea base para continuar con este enfoque de análisis físico de los sustratos de crecimiento en el sector forestal en Latinoamérica. De esta forma, la producción de materia vegetal se puede realizar, bajo lineamientos técnicos específicos para especies o grupos de especies, cuyo destino de establecimiento son los diferentes proyectos forestales; un escenario que adquiere relevancia para propietarios y administradores de viveros en procesos de certificación, a quienes estos resultados les permiten definir protocolos para una producción sostenible y de calidad en beneficio de la silvicultura, la reforestación y la restauración ecológica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa de ingeniería forestal de la UIS, por el aporte de insumos e instalaciones necesarios para desarrollo de la investigación, y a los estudiantes del curso viveros y plantaciones forestales semestre 2024 A, por el apoyo durante el montaje del ensayo.

Contribución de los autores

Nombre del autor	Colaboración académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ricardo Andrés Oviedo Celis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Mayra Alejandra Duarte Villabona			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X

Referencias. 1-administración del proyecto, 2-adquisición de fondos, 3-análisis formal, 4-conceptualización, 5-curaduría de datos, 6-escritura, revisión y edición, 7-investigación, 8-metodología, 9-recursos, 10-redacción, borrador original, 11-software, 12-supervisión, 13-validación, 14-visualización.

Referencias

- Acosta, E. (2019). *Evaluación de giberelinas y sustratos orgánicos en el crecimiento inicial de plántulas de Quercus humboldtii* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad de Pamplona. ↑↑
- Almeida, J. (2021). *Diseño experimental: Un enfoque en las ciencias agrarias*. Editorial UNAD. ↑↑
- Armenteras, D. y Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de latino américa: Una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233-246. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07> ↑↑
- Bannister, J., Galindo, N., Acevedo, M., González, M. y Cartes, E. (2022). Diagnóstico de la producción de plantas nativas en la región de Los Lagos, Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 28(3), 7-18. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.572> ↑↑
- Barbaro, L. (2023). Evaluación de las propiedades físicas del sustrato para La producción de plantines de yerba mate. *Ciencia del Suelo*, 41(2), 131-143. ↑↑
- Barbaro, L. y Karlanián, M. (2020). Efecto de las propiedades físicas del sustrato sobre el desarrollo de plantines florales en maceta. *Ciencia del Suelo*, 38(1), 1-11. ↑↑
- Cortés, L. (2009). Porque proteger los bosques de Santander, Colombia. *Seven publicaciones académicas*, 1, 1-8. ↑↑
- Costa, E., Yock, L., Nagel, P., Rezende, C. y dos Santos, A. (2011). Qualidade de mudas de berinjela submetida a diferentes métodos de produção. *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), 1017-1025. ↑↑
- Domínguez-Liévano, A. y 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), 107-117. <https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1707> ↑↑
- Espinosa, R. (2018). *Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de Caesalpinia spinosa y Enterolobium cyclocarpum en diferentes sustratos en siembra directa en bolsas bajo tinglado* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3516> ↑↑
- Guigues, A. (2019). *Evaluación de crecimiento de plántulas de Cedrela odorata y Grevillea robusta en diferentes sustratos durante su fase de propagación* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31450.90563> ↑↑
- Ilbay, L. (2012). *Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de plántulas de brócoli (Brassica oleracea Var. Itálica)* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad técnica de Ambato. ↑↑
- Laterra, P., Jobbágy, E. y Paruelo, J. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA. ↑↑
- Luna, C. (2019). Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 39(1), 19-29. ↑↑
- Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M. y Sotelo-Nava, H. (2022). Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081007> ↑↑

- Molina, Y. A. (2019). La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas. *Revista Científica*, 4(13), 182-199. ↑ ↑
- Negreros-Castillo, P., Apodaca-Martínez, M. y Mize, C. W. (2016). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques*, 16(2), 7-18. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1621169> ↑ ↑
- Ormeño, M., Ovalle, A., Terán, N. y Rey, J. (2013). Evaluación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo de plantas de guayaba y calidad de los suelos en vivero. *Agronomía Tropical*, 63(1-2), 73-84. ↑ ↑
- Pire, R. y Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 15(1), 55-64. ↑ ↑
- Pérez, A., Ruiz, M., Lobato, M., Valera, E. y 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 Contaminación Ambiental*, 34(3), 383-394. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.02> ↑ ↑
- Quintero, M. F., Guzmán, J. M. y Valenzuela, J. L. (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de mini clavel. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 76-87. ↑ ↑
- Rodríguez, S., Del Carmen, M., Tenorio, V., María, J., Prado, R. y Campillo, C. (2012). *Germinación y manejo de especies forestales tropicales*. Universidad Veracruzana. <https://doi.org/10.25009/uv.1995.121> ↑ ↑
- Saldaña, E., Pineda, J., Rivera, R., Vargas, M. y Avitia, A. (2018). *Variación en propiedades físicas en sustratos reutilizados en el cultivo de fresa [Conferencia]*. I Congreso Luso-Brasileiro de Horticultura, Lisboa, Portugal. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24246.34885> ↑ ↑
- Salto, C. S., Harrand, L., Javier Oberschelp, G. P. y 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> ↑ ↑
- Sánchez Quintero, S. N. (2017). *Sustratos, tamaño de recipiente y ambiente de cultivo en el crecimiento inicial de Cariniana pyriiformis Miers* [Trabajo de grado no publicada]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. ↑ ↑
- Valenzuela, O., Gallardo, C., Carponi, M., Aranguren, M., Tabares, H. y Barrera, M. (2014). Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 4, 1-19. ↑ ↑
- Varela, S., Martínez, A., Basil, G., Mazzarino, M. y Fariña, M. (2013). Sustratos alternativos en la producción de plantines forestales. *Presencia*, 60, 36-39. <http://hdl.handle.net/11336/6717> ↑ ↑
- Villota, L., Torres, F., Rodríguez, E., Sánchez, J. y Avella, A. (2019). *Domesticación de plantas nativas empleadas en procesos de restauración ecológica*. Fundación Natura/Enel-Emgesa. ↑ ↑