

Efecto del sustrato en el desarrollo del área foliar de *Moringa oleifera* Lam. y *Cedrela fissilis* Vell.¹

Substrate effect on leaf area development in *Moringa oleifera* Lam. and *Cedrela fissilis* Vell.¹

Jatnel Alonso Lazo¹ <https://orcid.org/0000-0001-8697-5981>, Lázaro Castro Hernández^{1,2} <https://orcid.org/0000-0001-8259-230X>, Gustavo Amaral Costa³ <https://orcid.org/0009-0004-0486-4620>, Maria Cecília Mota Docha³ <https://orcid.org/0000-0003-1247-5604>, Iago Thomaz do Rosario Vieira³ <https://orcid.org/0000-0002-1232-1835>, Leonardo David Tuffi Santos³ <https://orcid.org/0000-0002-9362-778X> y Reginaldo Arruda Sampaio³ <https://orcid.org/0000-0003-3214-6111>

¹Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. ²Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Ciencias Biológicas, Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas Mención Ecología, Avenida Portugal 49, 8320000 Santiago, Chile.

³Universidad Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciencias Agrarias, Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros, MG, Brasil.
jatnelalonso72@gmail.com

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de distintos sustratos compuestos por diferentes combinaciones de suelo, en el desarrollo del área foliar en posturas de *Moringa oleifera* Lam. y *Cedrela fissilis* Vell.

Materiales y Métodos: La investigación se realizó en el Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais, en Montes Claros, Brasil, bajo clima tropical de sabana (Aw). Las semillas de *M. oleifera* se sembraron sin tratamiento previo, mientras que las de *C. fissilis* se hidrataron 12 horas antes. El diseño experimental incluyó 12 tratamientos con distintas proporciones de suelo, materia orgánica y fertilizantes, más un testigo comercial, distribuidos en bloques al azar con cuatro repeticiones. Las plantas se cultivaron en tubetes de 170 cm³, con riego controlado y sombreado inicial. Se midieron indicadores físicos y químicos de los sustratos y se evaluó el área foliar mediante análisis de imágenes digitales con Image J.

Resultados: Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos para ambas especies. En *C. fissilis*, los sustratos con estiércol bovino y fertilización combinada (superfosfato + KCl) produjeron la mayor área foliar (129 cm² en T10), mientras que el lodo de alcantarilla generó valores inferiores (67-70 cm²). El sustrato comercial (Bioplant Plus) tuvo el menor desempeño (14,3 cm²). Por otro lado, *M. oleifera* presentó su mayor área foliar (8,2 cm²) en sustratos con estiércol y superfosfato simple (T2), pero no respondió favorablemente a la adición de KCl. El sustrato comercial mostró resultados intermedios en esta especie (52,8 cm²).

Conclusión: La composición del sustrato influyó significativamente en el desarrollo foliar de las posturas evaluadas, con respuestas diferenciadas entre las especies. *C. fissilis* se benefició más del empleo de estiércol bovino y la fertilización mineral combinada, mientras que *M. oleifera* tuvo un mejor desempeño con estiércol y superfosfato sin KCl. El lodo de alcantarilla resultó menos efectivo para *C. fissilis*, y las mezclas formuladas localmente superaron en desempeño al sustrato comercial para ambas especies; lo que sugiere alternativas más efectivas y sostenibles para viveros forestales en condiciones similares.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, *Cedrela fissilis*, sustrato, vivero

Abstract

Objective: To evaluate the effect of various substrates composed of different soil combinations on leaf area development in *Moringa oleifera* Lam. and *Cedrela fissilis* Vell seedlings.

Materials and Methods: The research was carried out at the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Minas Gerais, in Montes Claros, Brazil, under tropical savanna climate (Aw). *M. oleifera* seeds were sown without pretreatment; while *C. fissilis* seeds were hydrated 12 hours before. The experimental design included 12 treatments with different proportions of soil, organic matter and fertilizers, plus a commercial control, distributed in randomized blocks with four replications. Plants were grown in 170 cm³ conical containers, with controlled irrigation and initial shading. Physical and chemical indicators of the substrates were measured and leaf area was evaluated by digital image analysis with Image J.

Results: The results showed significant differences among treatments for both species. In *C. fissilis*, substrates with cattle manure and combined fertilization (superphosphate + KCl) produced the largest leaf area (129 cm² in T10); while sewage sludge generated lower values (67-70 cm²). The commercial substrate (Bioplant Plus) had the lowest performance (14,3 cm²). On the other hand, *M. oleifera* showed its largest leaf area (8,2 cm²) in substrates with manure and simple superphosphate (T2), but did not respond favorably to the addition of KCl. The commercial substrate showed moderate results in this species (52,8 cm²).

Conclusion: Substrate composition significantly influenced leaf development of the evaluated seedlings, with differentiated responses among species. *C. fissilis* benefited more from the use of cattle manure and mineral fertilization combined; while *M. oleifera* performed better with manure and superphosphate without KCl. Sewage sludge was less effective for *C. fissilis*, and locally formulated mixtures outperformed commercial substrate for both species, suggesting more effective and sustainable alternatives for forest nurseries under similar conditions.

Keywords: *Moringa oleifera*, *Cedrela fissilis*, substrata, plant nurseries

¹ Trabajo presentado en VII Convención Internacional Agrodesarrollo 2024. Centro de Convenciones Plaza América, Varadero, Cuba. 21 al 25 de octubre del 2024

¹ Work presented at the International Convention Agrodesarrollo 2024. Plaza América Convention Center, Varadero, Cuba. October 21-25, 2024

Recibido: 19 de diciembre de 2024

Aceptado: 15 de abril de 2025

Como citar este artículo: Alonso-Lazo, Jatnel; Castro-Hernández, Lázaro; Costa, Gustavo Amaral; Docha, Maria Cecília Mota; Santos, Iago Thomaz do Rosario; Vieira, Leonardo David Tuffi & Sampaio, Reginaldo Arruda. 2025. Efecto del sustrato en el desarrollo del área foliar de *Moringa oleifera* Lam. y *Cedrela fissilis* Vell.. *Pastos y Forrajes*. 48:e05.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

La integración de árboles y arbustos en los agroecosistemas agropecuarios es una práctica viable ante los efectos de la revolución verde y el cambio climático. Para el establecimiento y generalización de éstos, la producción de posturas en viveros es una alternativa que asegura un mejor desarrollo en las edades tempranas de crecimiento y garantiza el éxito en programas de reforestación, recuperación de áreas degradadas y conservación de la biodiversidad.

Las especies *Moringa oleifera* Lam. y *Cedrela fissilis* Vell, aunque con propósitos diferentes, pueden integrarse en los sistemas para la producción agropecuaria. García *et al.* (2017) evidenciaron el potencial de *M. oleifera* para la producción de rumiantes ya que posee aceptables valores nutricionales, buena palatabilidad, adaptabilidad a condiciones adversas y alta producción de biomasa. Por su parte, *C. fissilis* contribuye a mejorar la calidad de vida de los productores mediante la provisión de madera, cortinas rompevientos, combustibles, la conservación de la biodiversidad y promover otros servicios medioambientales como disminuir la erosión y la pérdida de nutrientes (Luna *et al.*, 2020).

El sustrato utilizado para la producción de posturas incide significativamente en el desarrollo de las posturas durante la fase de vivero (Abanto-Rodríguez *et al.*, 2016), ya que influye directamente en el desarrollo radicular, la formación de biomasa aérea y, en consecuencia, en el establecimiento exitoso de las plantas en campo. No obstante, los estudios orientados a definir procedimientos y recomendaciones técnicas para su elaboración, muestran resultados diversos. La utilización de fuentes orgánicas en la elaboración de sustratos es una práctica adecuada ambientalmente y disminuye los costos de producción (Monsalve-Camacho *et al.*, 2021). Sin embargo, investigaciones que aborden la fisiología de las plantas en respuesta a diferentes concentraciones de estas fuentes orgánicas son aún incipientes.

En este sentido el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintos sustratos compuestos por diferentes combinaciones de suelo, en el desarrollo del área foliar en posturas de *M. oleifera* y *C. fissilis*.

Materiales y Métodos

Localización. La investigación se realizó en áreas del laboratorio de Biología y Manejo de Plantas Dañinas del Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais en el

municipio Montes Claros, Brasil; referenciado en los 16,72 ° de latitud sur y 43,87 ° de longitud oeste a 647,2 m de altitud. El clima, tropical de sabana con inviernos secos, se clasifica como Aw según Köppen (1936).

Especies en estudio. Se estudiaron las especies *M. oleifera* y *C. fissilis*. Las semillas de *M. oleifera* fueron donadas por el grupo de Plantas Dañinas y no se sometieron a ningún tratamiento antes de la siembra, mientras que las de *C. fissilis* se obtuvieron a través del Instituto Estatal de Bosques (IEF) y se embebieron en agua durante 12 horas antes de la siembra para favorecer el proceso de imbibición.

Tratamientos y diseño experimental. En la tabla 1 se describen los materiales, las proporciones y la cantidad de fertilizante utilizado en cada uno de los tratamientos evaluados (sustratos). Los tratamientos correspondieron a diferentes combinaciones de suelo (arcilloso o arenoso), materia orgánica (estiércol bovino y lodo de alcantarilla) y fertilizantes minerales (superfosfato simple y cloruro de potasio). Además, como testigo (tratamiento T13) se evaluó el sustrato comercial Bioplant Plus, el cual se elabora utilizando turba de *Sphagnum*, fibra de coco, cáscara de arroz, cáscara de pino y vermiculita. En experimentos separados, para ambas especies, se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro réplicas y cada unidad experimental estuvo conformada por cinco plantas.

Procedimiento experimental. La recolecta del estiércol seco de ganado vacuno se hizo directamente en el corral de la hacienda experimental “Profesor Hamilton de Abreu Navarro” (FEHAN) del Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais. El lodo de alcantarilla deshidratado, aprobado para su uso en diferentes actividades agrícolas por la resolución 375 de la CONAMA, se recolectó en la Estación de Tratamiento de Esgoto (ETE) en Montes Claros después de tratamiento preliminar en reactor anaeróbico UASB y secado en deshidratadora hasta un 5 % de humedad.

La siembra de ambas especies se realizó en tubetes plásticos rígidos de 170 cm³, dispuestos bajo telas de sombra con capacidad para retener el 30 % de la luz solar. Para garantizar la emergencia de una planta en cada tubete, se sembraron cuatro semillas en cada uno de ellos. En los tubetes donde emergió más de una planta se realizó un raleo 15 días después de la siembra, dejándose la planta de mayor vigor. Todas las plantas se colocaron a pleno sol 20 días después del raleo y el riego se realizó tres veces al día hasta capacidad de campo durante todo el experimento.

Tabla 1. Materiales empleados, su proporción en relación al volumen y cantidad de fertilizantes químicos en la elaboración de los sustratos.

Tratamiento	Tipo de suelo	Arena	Estiércol bovino	Lodo de alcantarilla	Superfosfato simple	KCl
T ₁ (3:1:1:0+SS)	Arcilloso	x	x	-	1 kg/m ³	-
T ₂ (3:0:1:0+SS)	Arenoso	-	x	-	1 kg/m ³	-
T ₃ (3:1:0:1+SS)	Arcilloso	x	-	x	1 kg/m ³	-
T ₄ (3:0:0:1+SS)	Arenoso	-	-	x	1 kg/m ³	-
T ₅ (3:1:1:0+KCl)	Arcilloso	x	x	-	-	1 kg/m ³
T ₆ (3:0:1:0+KCl)	Arenoso	-	x	-	-	1 kg/m ³
T ₇ (3:1:0:1+KCl)	Arcilloso	x	-	x	-	1 kg/m ³
T ₈ (3:0:0:1+KCl)	Arenoso	-	-	x	-	1 kg/m ³
T ₉ (3:1:1:0+SS+KCl)	Arcilloso	x	x	-	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₀ (3:0:1:0+SS+KCl)	Arenoso	-	x	-	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₁ (3:1:0:1+SS+KCl)	Arcilloso	x	-	x	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₂ (3:0:0:1+SS+KCl)	Arenoso	-	-	x	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₃ (testigo)	Todo el volumen con sustrato comercial (Bioplant Plus)					

SS: superfosfato simple; KCl: cloruro de potasio

La caracterización física y química de los sustratos (tabla 2) se realizó según la metodología de EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1997) en el laboratorio de residuos sólidos del ICA/UFMG y se evaluó el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de retención de humedad (CRH), la densidad aparente (DA) y se estimó la porosidad total (PT).

El área foliar de las posturas en ambas especies se evaluó al momento del trasplante, 60 y 120 días después de la siembra para *M. oleifera* y *C. fissilis*, respectivamente. En cada unidad experimental se eliminó la planta de menor desarrollo y todas las hojas de las otras cuatro se escanearon. El procesamiento de las imágenes para el cálculo del área foliar se realizó a través del programa Image J 1.48s (Schneider *et al.*, 2012).

Procesamiento estadístico. Los datos se sometieron a la prueba de normalidad (*Shapiro-Wilk*, 1965) y homogeneidad de varianza (O'Neill y Mathews, 2002). El procesamiento estadístico se realizó en ambiente R (R Core Team, 2020) usando la librería "ExpDes.pt" para análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para la comparación de media y la aplicación "Extended Boxplot Graphics" para la confección de gráficos (Denis-Ávila y Ramírez-Arrieta, 2020).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos para el índice de área foliar de las posturas en las dos especies estudiadas (tabla 3). Los sustratos en estudio tuvieron incidencias diferentes en este indicador para las especies *C. fissilis* y *M. oleifera* (figuras 1 y 2). Estos resultados indican que la composición del sustrato influyó directamente en el desarrollo foliar durante la fase de vivero.

El área foliar para *C. fissilis* fue superior en todos los tratamientos elaborados. El tratamiento donde se combinó suelo arenoso con estiércol bovino más la aplicación de superfosfato simple y KCl (T10) alcanzó la mayor área foliar (129 cm²) y no difirió de los tratamientos que emplearon el estiércol bovino como fuente de materia orgánica (T1, T2, T6, T9 y T12). Esto sugiere que el estiércol bovino, en combinación con fertilizantes minerales, crea un entorno nutricional favorable para esta especie. Esta respuesta coincide con lo observado por Gomes *et al.* (2002) en especies nativas, donde la adición de materia orgánica mejoró significativamente las características morfológicas de las posturas.

Por el contrario, los tratamientos que contenían lodo de alcantarilla (T3, T4, T7 y T11) presentaron valores más bajos de área foliar, (69,1; 67,3; 69,6 y

Tabla 2. Atributos físicos y químicos de sustratos elaborados a partir de diferentes tipos de suelos y fuentes orgánicas.

Tratamientos	Atributos de los sustratos				
	Químico		Físico		
	pH	CE, $\mu\text{s}/\text{cm}$	CRH, ml/g	DA, g/cm^3	PT, %
T ₁ (3:1:1:0+SS)	6,1	335,03	0,57	1,35	44,16
T ₂ (3:0:1:0+SS)	6,8	313,23	0,50	1,41	39,61
T ₃ (3:1:0:1+SS)	5,3	465,07	0,53	1,31	44,61
T ₄ (3:0:0:1+SS)	5,2	457,80	0,45	1,39	44,12
T ₅ (3:1:1:0+KCl)	6,1	501,53	0,53	1,27	48,74
T ₆ (3:0:1:0+KCl)	7,0	513,47	0,50	1,39	42,05
T ₇ (3:1:0:1+KCl)	5,7	456,30	0,50	1,36	44,36
T ₈ (3:0:0:1+KCl)	5,6	431,13	0,48	1,44	38,46
T ₉ (3:1:1:0+SS+KCl)	6,9	545,93	0,55	1,29	47,15
T ₁₀ (3:0:1:0+SS+KCl)	7,1	519,10	0,50	1,43	42,07
T ₁₁ (3:1:0:1+SS+KCl)	5,8	571,43	0,50	1,32	46,37
T ₁₂ (3:0:0:1+SS+KCl)	5,5	558,40	0,45	1,42	42,77
T ₁₃ (testigo)	5,7	500,00	0,77	0,36	69,37

SS: superfosfato simple; KCl: cloruro de potasio.

Tabla 3. Análisis de varianza para el índice de área foliar en posturas de plantas arbóreas creciendo en diferentes sustratos.

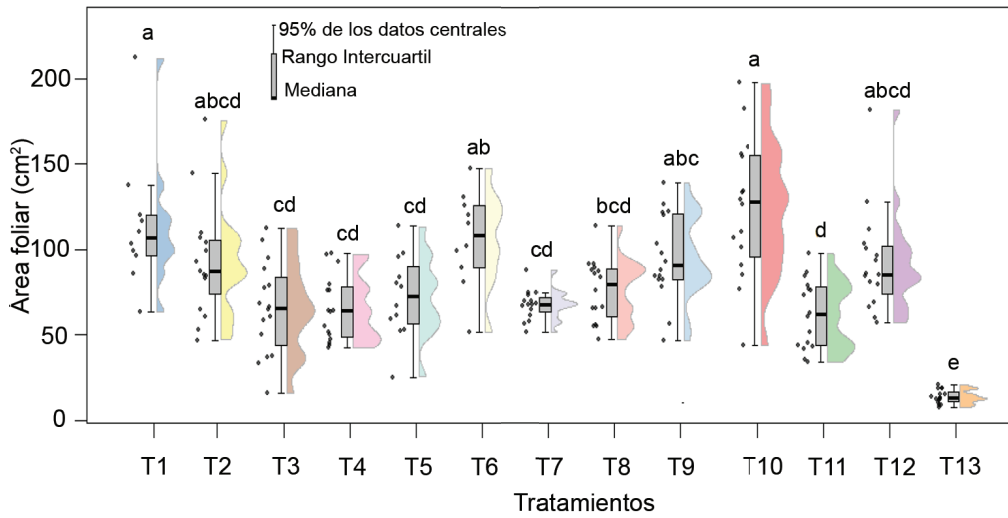
Fuente de variación	Especie									
	<i>M. oleifera</i>					<i>C. fissilis</i>				
	GL	SC	CM	FC	Valor - P	GL	SC	CM	FC	Valor - P
Tratamiento	10	2 120,6	212,063	2,81695	0,02326	12	41 838	3 486,5	13,1008	0,00000
Bloques	2	82,1	41,058	0,54579	0,58777	3	207	69	0,2593	0,85418
Residuos	20	1 504,6	75,228			36	9 581	266,1		
Total	32	3 707,3				51	51 626			
CV %			13,2					19,6		

67,1 cm^2). A pesar de su valor como acondicionador del suelo, el lodo de alcantarilla puede presentar limitaciones asociadas a su composición química, como salinidad elevada, metales pesados o desbalances nutricionales, que podrían afectar negativamente el desarrollo inicial de las plantas (Singh y Agrawal, 2008).

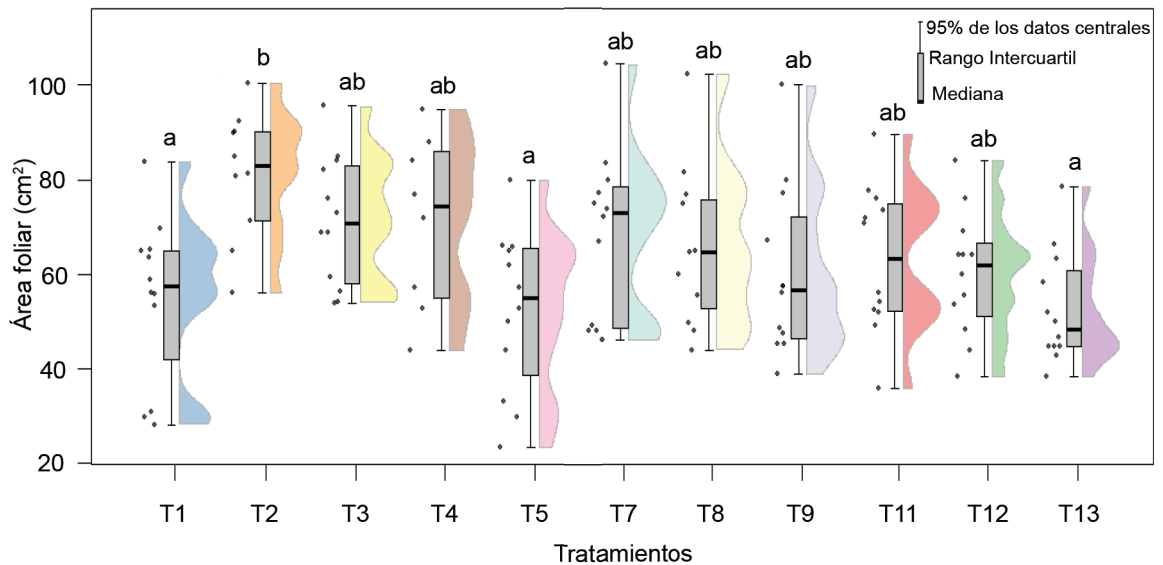
Cabe destacar que el tratamiento T13, que utilizó el sustrato comercial Bioplant Plus, fue el que produjo el menor valor de área foliar (14,3 cm^2), muy por debajo de los tratamientos formulados localmente. Esto pone en cuestión la eficiencia de algunos sustratos comerciales genéricos para especies nativas específicas, y respalda la idea de que los sustratos formulados con materiales locales

pueden ofrecer mejor desempeño, como también lo sugirió Benito *et al.* (2005).

Los sustratos que combinaron suelo arcilloso, arena, estiércol vacuno más KCl (T6) y suelo arenoso, estiércol vacuno, superfosfato simple más KCl (T10) no favorecieron el crecimiento y desarrollo de *M. oleifera* (figura 2). Esto quizás se debió a desbalances en la relación NPK o a la sensibilidad de esta especie a altas concentraciones de cloruros. Este fenómeno concuerda con lo reportado por Yao *et al.* (2010), quienes para otras especies de plantas encontraron una reducción en el crecimiento cuando se expuso a dosis elevadas de KCl. Ello sugiere una posible toxicidad iónica.



Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).
Figura 1. Área foliar en posturas de *C. fissilis* producidas en diferentes sustratos.



Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).
Figura 2. Área foliar en posturas de *M. oleifera* producidas en diferentes sustratos.

El sustrato donde se combinó suelo arenoso, estiércol vacuno más superfosfato simple (T2) alcanzó la mayor área foliar (8 224 cm²) con diferencia del sustrato que combinó suelo arcilloso, arena, estiércol vacuno, superfosfato simple más KCl (T9) (figura 2). Esta diferencia puede atribuirse a la mejora en la estructura del suelo proporcionada por el estiércol vacuno, que aumenta la porosidad y la retención de agua en suelos arenosos, facilitando así el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes (Loehwing, 1931; Rayne y Aula, 2020). Además, el

superfosfato simple (sin KCl adicional) provee fósforo biodisponible sin riesgo de sinergias iónicas negativas (Khan *et al.*, 2023).

Por otro lado, los tratamientos que utilizaron el sustrato comercial Bioplant Plus mostraron las menores áreas foliares (54,2 y 52,8 cm²). Estos resultados coinciden con estudios previos que indican que algunos sustratos comerciales pueden tener propiedades físicas y químicas que limitan el desarrollo de las plántulas, posiblemente debido a una menor capacidad de retención de agua o a un equilibrio nutricional subóptimo.

Conclusiones

La composición del sustrato influyó significativamente en el desarrollo foliar de *C. fissilis* y *M. oleifera* durante la fase de vivero, observándose respuestas diferenciadas según las combinaciones de suelo, materia orgánica y fertilizantes minerales utilizadas. En *C. fissilis*, los sustratos que incorporaron estiércol bovino y fertilización mineral promovieron un mayor desarrollo del área foliar, mientras que los que contenían lodo de alcantarilla mostraron limitaciones posiblemente asociadas a su composición química.

En *M. oleifera*, los mejores resultados se obtuvieron con mezclas de suelo arenoso, estiércol bovino y superfosfato simple, sin mejoras significativas al añadir KCl. Los sustratos comerciales resultaron menos eficientes que los formulados localmente, lo que sugiere que el uso de materiales disponibles en la región representa una alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible para la producción de posturas. Estos hallazgos respaldan la formulación de sustratos adaptados a especies nativas o multipropósito y promueven su aplicación en viveros forestales, especialmente en contextos de bajos recursos, donde el uso de recursos locales puede optimizar la calidad de las plantas producidas.

Agradecimientos

A la Fundación de Amparo a Investigaciones en el estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por el apoyo financiero para la ejecución de esta investigación y por la concepción de bolsa de posdoctorado para el primer autor. De igual manera, se agradece al Laboratorio de Plantas Danhinas de Instituto de Ciências Agrárias de la Universidad Federal de Minas Gerais por facilitar la ejecución de dicho proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Jatnel Alonso-Lazo. Conceptualizó, formuló y diseñó la investigación. Condujo la investigación en campo, recopiló y elaboró las bases de datos para análisis estadístico e interpretó los resultados. Elaboró el manuscrito original y la escritura final del documento.
- Lázaro Castro-Hernández. Recopilación de los datos, procesamiento e interpretación de los resultados y escritura final del documento.
- Gustavo Amaral Costa. Intervino en las actividades y evaluaciones en campo, así como en la revisión del manuscrito original.

- Maria Cecília Mota-Docha. Participó en las actividades y evaluaciones en campo, así como en la revisión del manuscrito original.
- Iago Thomaz do Rosario Vieira. Intervino en las actividades y evaluaciones en campo, así como en la revisión del manuscrito original.
- Leonardo David Tuffi-Santos. Aportó a la concepción del experimento, participó en los análisis estadísticos y sugirió ideas durante todo el proceso de ejecución del experimento. Intervino en la revisión del manuscrito y recomendó modificaciones.
- Reginaldo Arruda-Sampaio. Dirigió el proyecto del que deriva la investigación. Participó en el diseño de la investigación, así como en la interpretación de los resultados alcanzados. Intervino en la revisión del manuscrito y recomendó modificaciones.

Referencias bibliográficas

- Abanto-Rodríguez, C.; García-Soria, D.; Guerra-Árevalo, W.; Murga-Orrillo, H.; Saldaña-Ríos, Gisela; Vázquez-Reátegui, Daniela *et al.* 2016. Sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.). *Sci. Agropecu.* 7 (3):341-347. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.23>.
- Benito, Marta; Masaguer, A.; De Antonio, R. & Moliner, Ana. 2005. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Biore-sour. Technol.* 96 (5):597-603. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.006>.
- Denis-Ávila, D. & Ramirez-Arrieta, V. M. 2020. Si una imagen vale más que mil palabras. ¿cuánto puede decir un gráfico de cajas? *Rev. Jard. Bot. Nac.* 41:57-69. <https://www.jstor.org/stable/26975226>.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf>.
- Gomes, J. M.; Couto, L.; Leite, H. G.; Xavier, A. & Garcia, Silvana L. R. 2002. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *R. Arvore.* 26 (6):655-664. <https://www.scielo.br/j/rarv/a/cCfXhbwHwJ-4LLmFpXZJfH6x/?format=pdf&lang=pt>.
- Khan, F.; Siddique, A. B.; Shabala, S.; Zhou, M. & Zhao, C. 2023. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants.* 12 (15):2861. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12152861>.
- Köppen, G. 1936. *Classificação climática de Köppen-Geiger*. Berlin: Gebrüder Bornträger.

- Loehwing, W. F. 1931. Soil aeration as a factor in growth and root development of plants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 28 (9):868-869. <https://doi.org/10.3181/00379727-28-5574>.
- Luna, C. V. & Fontana, M. L. 2020. Calidad de planta y comportamiento morfológico de *Cedrela fissilis* Vell. en respuesta a distintos sistemas de producción y sustratos en vivero. *Quebracho (Santiago del Estero)*. 28 (2):145-158. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262020000200145&lng=es&tlng=es.
- Monsalve-Camacho, O. I.; Henao-Toro, Martha C. & Gutiérrez-Díaz, J. S. 2021. Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 22 (1). DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1977.
- O'Neill, M. E. & Mathews, K. L. 2002. Theory & methods: A weighted least squares approach to Levene's test of homogeneity of variance. *Aust. N. Z. J. Stat.* 42 (1):81-100. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-842X.00109>.
- Rayne, Natasha & Aula, L. 2020. Livestock manure and the impacts on soil health: A review *Soil Syst.* 4 (4):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/soil-systems4040064>.
- R Core Team. 2020. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Schneider, C. A.; Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods*. 9:671-675. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 52 (3-4):591-611. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.
- Singh, R. P. & Agrawal, M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Manag.* 28 (2):347-358. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>.
- Yao, S.; Chen, S.; Xu, D. & Lan, H. 2010. Plant growth and responses of antioxidants of *Chenopodium album* to long-term NaCl and KCl stress. *Plant Growth Regul.* 60:115-125. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9426-4>.