

SUELO MINERAL COMO COMPONENTE DE SUSTRATO PARA PLANTAS

MINERAL SOIL AS A COMPONENT OF SUBSTRATE FOR PLANTS

¹Eduarda Demari Avrella, ²Luciana Pinto Paim,
³Marília Tedesco, ⁴Aquelis Armiliato Emer, ⁵Gilmar Schafer,
⁶Paulo Vitor Dutra de Souza, ⁷Claudimar Sidnei Fior

^{1,3,4,5,7}Doctorado en Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia,
Departamento de Horticultura e Silvicultura, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Maestría en Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia,
Departamento de Horticultura e Silvicultura, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁶Doctorado en Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia,
Departamento de Horticultura e Silvicultura, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

¹dudademari@hotmail.com, ²lucianappaim@bol.com.br, ³Marilia_tedesco@hotmail.com,
⁴aquelis_emer@hotmail.com ⁵schafer@ufrgs.br, ⁶pvd Souza@ufrgs.br, ⁷csfior@ufrgs.br

Citación: Avrella, E.D., Paim, L.P., Tedesco, M., Emer, A.A., Schafer, G., de Souza, P.V., y Fior, C.S. (2021). Suelo mineral como componente de sustrato para plantas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 85 – 98.
DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4111>

RESUMEN

Contextualización: el término “sustrato” refiere a todo el material poroso, que, asociado a un contenedor, proporciona anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno al desarrollo de las plantas.

Vacío de conocimiento: la mayoría de los sustratos se forman mezclando dos o más materiales en proporciones variables; sin embargo, cuando algunos materiales se adjuntan a la formulación, suelen generar alteraciones que pueden ser desventajosas, según de su aplicación.

Propósito del estudio: determinar los efectos del uso del suelo mineral en la caracterización

química y física, cuando se utiliza como componente de formulaciones de sustratos para las plantas.

Metodología: se empleó un argisol rojo distrófico típico, que se autoclavó, tamizó (malla 4,75 mm) y posteriormente se mezcló bajo diferentes proporciones (0, 25, 50, 75 e 100%) con turba de *Sphagnum* o polvo-de-coco (v/v). Las mezclas se sometieron a la caracterización física, química y biológica. Se empleó el diseño estadístico enteramente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Los datos se sometieron al análisis de varianza y regresión polinomial ($P < 0,05$).

Resultados y conclusiones: Al añadirse suelo en la formulación de los sustratos hubo disminución en la conductividad eléctrica y manutención del pH, además del aumento en las densidades aparentes en base húmeda y seca, y reducción en la porosidad total, espacio de aireación, disponibilidad y capacidad de retención de agua. Además, se encontraron hongos y nematodos en el suelo, que pueden ser patógenos. Por lo tanto, el empleo de suelo mineral como componente de sustrato, además de generar formulaciones con características de cultivo inadecuadas, pudiendo influenciar negativamente el crecimiento y desarrollo vegetal, provoca daños ambientales debido a su extracción, conllevando a una producción insostenible a largo plazo.

Palabras clave: características físicas; características químicas; invernadero; producción de plantas

ABSTRACT

Contextualization: Substrate means all porous materials, which, associated with a container, provides anchoring and sufficient levels of water and oxygen for the development of plants.

Knowledge gap: Most substrates are formed by mixing two or more materials in varying proportions; however, when some materials are incorporated to the formulation, they tend to generate alterations, which can be disadvantageous, depending on their application.

Purpose: To determine the effects of the use of mineral soil in the chemical and physical

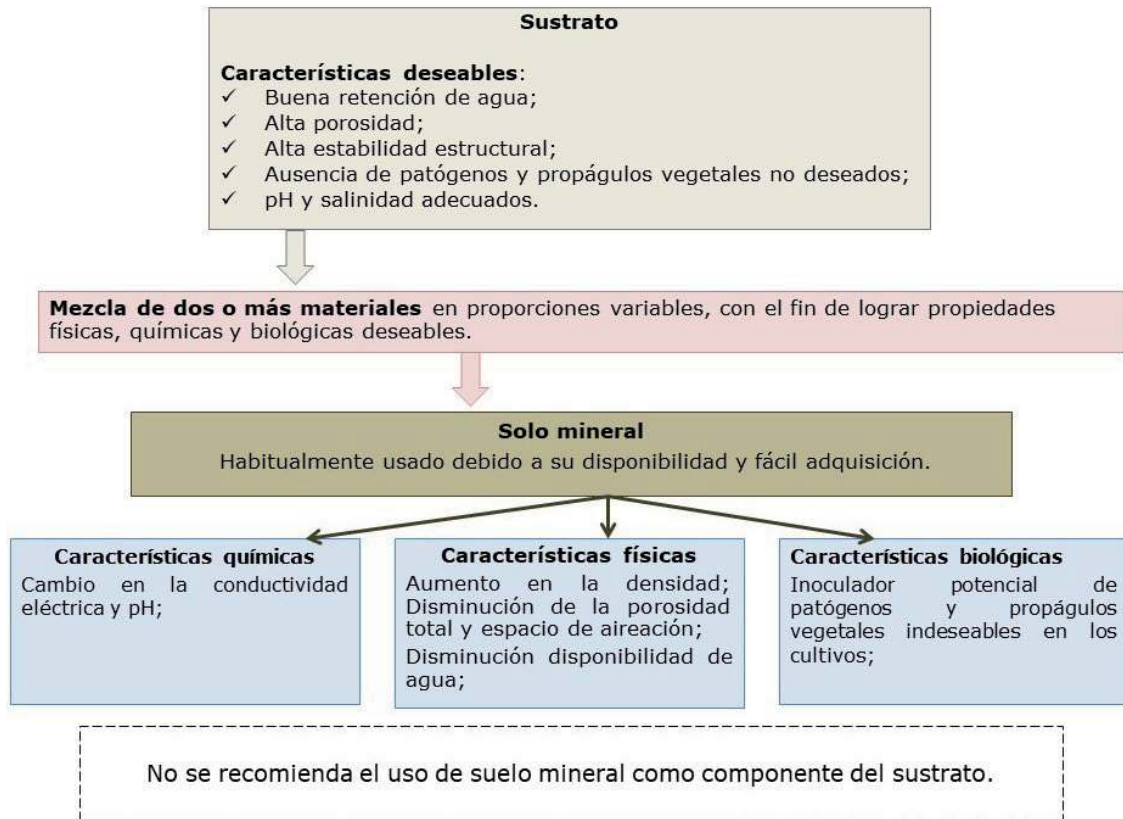
characterization, when it is used as a component of formulations of substrates for plants.

Methodology: A typical dystrophic red argisol was used, which was autoclaved, sieved (4.75 mm mesh) and subsequently mixed under different proportions (0, 25, 50, 75 and 100%) with *Sphagnum* peat or coconut fiber (v / v). The mixtures were subjected to physical, chemical and biological characterization. The statistical design was completely randomized, with three repetitions per treatment. The data were added to the variance analysis and polynomial regression ($P < 0.05$).

Results and conclusions: When soil was added in the formulation of the substrates, there was a decrease in electrical conductivity and pH maintenance, in addition to an increase in apparent densities on wet and dry basis, and a reduction in total porosity, aeration space, availability and capacity of water retention. In addition, fungi and nematodes were found in the soil, which can be an inoculator for pathogens. Therefore, the use of mineral soil as a substrate component, in addition to generating formulations with inadequate cultivation characteristics that may have a negative influence on plant growth and development, causes environmental damage due to its extraction, leading to unsustainable long-term production.

Keywords: physical characteristics; chemical characteristics; greenhouse; plant production

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

El actual desarrollo del cultivo de plantas en contenedores e invernaderos ha ido aumentando la demanda por tecnologías que optimicen la producción de plantas, buscando su estandarización y calidad (Ceccagno *et al.*, 2019a). Los avances tecnológicos en la elección de insumos y manejo durante el cultivo son esenciales para mantener condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Caldeira *et al.*, 2008, Saidelles *et al.*, 2009). En este sentido, para proporcionar un desarrollo óptimo de la planta, es esencial utilizar sustratos con características físicas, químicas y biológicas adecuadas (Schafer *et al.*, 2015).

Se entiende por sustrato para plantas el entorno donde se desarrollan las raíces de las plantas que crecen fuera del suelo *in situ* (Kämpf, 2005), es decir, asociado a un contenedor. Por

lo tanto, los sustratos son medios porosos que proporcionan anclaje y niveles suficientes de agua y oxígeno para un desarrollo óptimo de las plantas (Vence, 2008). La condición para el desarrollo de plantas en contenedores es diferente al observado en campo, principalmente debido al espacio disponible para las raíces, el intercambio de gases y la dinámica del agua. En consecuencia, para satisfacer las necesidades de las plantas, el sustrato debe tener diferentes características del suelo *in situ* (Kämpf, 2005). Además, entre los requisitos, un sustrato debe tener buena retención de agua; alta porosidad; alta estabilidad estructural con fibras resistentes a la descomposición; ausencia de patógenos y propágulos vegetales no deseados; potencial de hidrógeno (pH) y salinidad adecuados; y disponibilidad en una escala que cumpla a las demandas (Kämpf, 2005).

Es difícil encontrar un sustrato con un solo componente que cumpla con las características deseables para el desarrollo óptimo de un determinado cultivo. Como resultado, la mayoría de los sustratos se forman mezclando dos o más materiales en proporciones variables, con el fin de lograr propiedades físicas, químicas y biológicas deseables (Kämpf, 2005, Schafer *et al.*, 2015). Por lo tanto, usar un componente puro o usarlo en una mezcla es una decisión que se toma con base en los objetivos de uso y las características de estos componentes. Sin embargo, algunos materiales, incluso si presentan ciertas propiedades satisfactorias, cuando se incorporan a las formulaciones pueden causar cambios desventajosos, dependiendo de la aplicación.

Cuando el suelo mineral, un componente que todavía se usa con frecuencia debido a su disponibilidad y fácil adquisición, se incorpora a la formulación de sustratos, promueve la compactación durante todo el ciclo de cultivo, generando características no deseadas (Ludwig *et al.*,

2010). Sin embargo, la información es escasa que presentan qué características del sustrato realmente cambian con la adición de suelo mineral en la formulación de sustratos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos del uso del suelo mineral en la caracterización química y física, cuando se utiliza como componente del sustrato para las plantas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Departamento de Horticultura y Silvicultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad Federal del Río Grande del Sur (UFRGS), en Porto Alegre, RS, en 2018.

Los componentes de los sustratos utilizados fueron turba de *Sphagnum*, polvo-de-coco (fibra del mesocarpio triturada - Golden Mix tipo PM) y un argisol rojo distrófico típico (clase de textura de arcilla arenosa, arena = 488 g kg⁻¹; arcilla = 265 g kg⁻¹ y limo = 247 g kg⁻¹), cuyas propiedades físicas y químicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros químicos y físicos de turba de *Sphagnum*, polvo-de-coco y suelo mineral.

	Turba de <i>Sphagnum</i>	Polvo-de-coco	Suelo mineral
Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	0,75	0,57	0,04
Potencial de hidrógeno (Ph)	4,73	5,32	4,76
Densidad húmeda (kg m ⁻³)	303,97	356,50	1.146,98
Densidad seca (kg m ⁻³)	96,10	85,71	996,04
Porosidad total (%)	93,45	91,80	62,48
Espacio de aireación (%)	29,56	27,64	21,03
Agua asimilable (%)	34,59	34,97	20,09
Agua fácilmente asimilable (%)	29,57	28,43	16,84
Agua de reserva (%)	5,66	6,54	3,25
Agua difícilmente disponible (%)	29,30	29,19	21,36
CRA 10 (%)	64,56	64,16	41,45
CRA 50 (%)	35,28	35,73	24,61
CRA 100 (%)	29,63	29,19	21,36

CRA = capacidad de retención de agua.

Fuente: Autores.

El suelo utilizado se recogió y luego se sometió a autoclave (120 °C y 1,2 atm, durante 1 hora, en dos días consecutivos) y se tamizó en una malla de 4,75 mm. Las composiciones del sustrato consistieron en mezclas de suelo mineral (SM) con turba de *Sphagnum* (TS) o polvo-de-coco (PC), en las proporciones 0, 25, 50, 75 y 100% (v/v) de suelo mineral en relación con cada uno de los otros dos materiales, que se consideran componentes básicos. Todas las mezclas se caracterizaron por sus propiedades químicas y físicas.

En el análisis químico, se consideraron las evaluaciones de conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno (pH), en una dilución sustrato-agua de proporción 1:5 (v/v), de acuerdo con la Instrucción Normativa nº 17, del 21 de mayo de 2007, del Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento de Brasil (MAPA, 2007).

En la caracterización física se determinaron las densidades húmeda y seca, por el método de auto compactación (Hoffmann, 1970). Las determinaciones de porosidad total, espacio de aireación, agua asimilable, agua fácilmente asimilable, agua de reserva, agua difícilmente disponible y capacidad de retención de agua fueron realizados bajo tensiones de 0, 10, 50 y 100 hPa, utilizando embudos de tensión, de acuerdo con los principios de De Boodt y Verdonck (1972), que consiste en las mediciones de las variables del contenido hídrico volumétrico en función de la tensión aplicada, resultando en los parámetros que relacionan volúmenes relativos de agua y aire. Según estos autores, la porosidad total corresponde a la humedad presente en las muestras saturadas (0 hPa); el espacio de aireación se refiere al volumen de agua retenido entre las tensiones de 0 y 10 hPa; el agua asimilable se refiere al volumen de agua entre 10 y 100 hPa; el agua fácilmente asimilable, entre 10 y 50 hPa; el agua de reserva, entre 50 y 100 hPa; y agua

difícilmente disponible corresponde al volumen de agua que queda en el material después de haber sido sometido a una tensión de 100 hPa.

Los tratamientos se organizaron en un diseño completamente al azar, con 10 composiciones de sustrato (100%TS+0%SM; 75%TS+25%SM; 50%TS+50%SM; 25%TS+75%SM; 0%TS+100%SM; 100%PC+0%SM; 75%PC+25%SM; 50%PC+50%SM; 25%PC+75%SM y 0%PC+100%SM), y los análisis se realizaron por triplicado. Los datos se sometieron a las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett para verificar la normalidad y la homogeneidad de las variaciones, respectivamente. Después de cumplir con estos presupuestos, se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) un factor, seguido de comparación de medias (test de Fisher LSD - *Least Significant Difference*) y de una regresión polinómica ($P < 0,05$), con la ayuda de los programas estadísticos Costat 6.4 y SigmaPlot 11.0. Las regresiones fueron validadas mediante ANOVA de cada modelo probado; sin embargo, los datos de agua fácilmente asimilable para mezclas entre el suelo y el polvo-de-coco se transformaron a $1/x$, para adaptarse a la distribución normal de los residuos.

Además, se envió una muestra de suelo (sin pasar por el proceso de esterilización en autoclave) al Laboratorio de Diagnóstico y Consultoría Fitosanitaria - Agronómica, para el análisis biológico de cultivos, en medios de cultivo BDA y Agua-Agar por dilución en serie, siguiendo metodología descrita por Alfenas *et al.* (2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de la caracterización química y física de las formulaciones de los sustratos analizados, se observó que la adición de suelo mineral a los materiales polvo-de-coco y turba de *Sphagnum* influyó significativamente en todos los parámetros evaluados (Tabla 2).

Los resultados del análisis de regresión mostraron una disminución en la conductividad eléctrica con la adición de suelo mineral en la formulación (Figura 1). En cualquier caso, este resultado no debe considerarse inapropiado, ya que los bajos valores de conductividad eléctrica facilitan el ajuste de la fertilización mediante la incorporación de aditivos, o mediante fertirrigación, adaptando las formulaciones según las necesidades de cada cultivo.

Con respecto al potencial de hidrógeno (pH) para las mezclas entre el suelo mineral y polvo-de-coco, el análisis de regresión no fue significativo ($P = 0,083$), con un valor promedio de 5,41; sin embargo, cuando el suelo se mezcló con turba de *Sphagnum*, hubo un ligero cambio en el pH, cuyos datos resultaron en una tendencia cuadrática negativa, con valores que van desde 4,7 a 4,9.

Tabla 2. Análisis de varianza y comparación de medias de los parámetros químicos y físicos de sustratos formulados por distintas proporciones de turba de *Sphagnum* y polvo-de-coco mezclados a suelo mineral.

		CE (mS cm ⁻¹)	Ph	DH (kg m ⁻³)	DS (kg m ⁻³)	PT (%)	EA (%)	AA (%)	AFA (%)	AR (%)	ADD (%)	CRA 10 (%)	CRA 50 (%)	CRA 100 (%)
Suelo x TS	Valor P	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,011	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Media	0,059	4,80	776,2	596,3	78,2	20,7	31,6	26,9	4,8	25,9	57,5	30,7	25,9
	CV (%)	5,85	0,50	1,29	1,46	1,57	4,40	**	4,51	3,67	2,58	2,03	2,06	2,58
	0%	0,075 ^a	4,73 ^c	304,1 ^e	96,1 ^e	93,5 ^a	29,6 ^a	34,6 ^a	28,9 ^b	5,7 ^a	29,3 ^b	64,6 ^a	35,3 ^a	29,6 ^a
	25%	0,056 ^b	4,86 ^a	563,5 ^d	358,8 ^d	89,0 ^b	22,9 ^b	35,6 ^a	30,2 ^a	5,4 ^a	30,6 ^a	65,2 ^a	35,3 ^a	30,3 ^a
	50%	0,057 ^b	4,86 ^a	817,3 ^c	626,5 ^c	77,8 ^c	18,5 ^c	32,5 ^b	27,7 ^c	4,9 ^b	26,8 ^c	59,3 ^b	31,6 ^b	26,8 ^b
	75%	0,056 ^b	4,80 ^b	1023,8 ^b	864,5 ^b	69,4 ^d	16,3 ^d	29,8 ^c	25,7 ^d	4,1 ^c	23,3 ^d	53,1 ^c	27,4 ^c	23,3 ^c
	100%	0,052 ^b	4,77 ^{bc}	1172,7 ^a	1035,6 ^a	61,4 ^e	16,1 ^d	25,7 ^d	21,8 ^e	3,8 ^c	19,5 ^e	45,2 ^d	23,4 ^d	19,5 ^d
Suelo x PC	Valor P	< 0,001	0,022	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,016	< 0,001	< 0,001	0,017	< 0,001
	Media	0,263	5,41	781,6	557,7	79,3	22,7	27,7	22,1	5,6	27,8	55,9	33,8	27,8
	CV (%)	1,69	**	1,10	1,29	2,29	5,56	5,65	9,00	**	2,15	3,04	**	2,15
	0%	0,570 ^a	5,32 ^{bc}	356,5 ^e	85,7 ^e	91,8 ^a	27,7 ^a	35,0 ^{ab}	28,4 ^a	6,5 ^b	29,2 ^b	64,2 ^b	35,7 ^b	29,2 ^b
	25%	0,338 ^b	5,47 ^b	606,4 ^d	357,8 ^d	87,4 ^b	19,7 ^b	37,0 ^a	28,4 ^a	8,6 ^a	30,7 ^{ab}	67,7 ^a	39,3 ^a	30,7 ^{ab}
	50%	0,260 ^c	5,31 ^{bc}	826,4 ^c	586,2 ^c	80,7 ^c	16,7 ^c	32,4 ^b	25,5 ^a	6,9 ^{ab}	31,7 ^a	64,1 ^b	38,6 ^{ab}	31,7 ^a
	75%	0,114 ^d	5,24 ^c	997,5 ^b	802,2 ^b	73,0 ^d	27,2 ^a	19,4 ^c	16,1 ^b	3,4 ^c	26,4 ^c	45,8 ^c	29,7 ^c	26,4 ^c
	100%	0,034 ^e	5,72 ^a	1121,2 ^a	956,5 ^a	63,6 ^e	25,9 ^a	14,5 ^d	11,8 ^c	2,7 ^c	23,2 ^d	37,7 ^d	25,9 ^d	23,2 ^d

TS = turba de *Sphagnum*; PC = polvo-de-coco; CE = conductividad eléctrica; pH = potencial de hidrógeno; DH = densidad húmeda; DS = densidad seca; PT = porosidad total; EA = espacio de aireación; AA = agua asimilable; AFA = agua fácilmente asimilable; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible; CRA = capacidad de retención de agua; CV = coeficiente de variación; ** Análisis no paramétrica por el test de Kruskal-Wallis. Los promedios seguidos por la misma letra en la columna no difieren entre sí por el test de Fisher LSD (Least Significant Difference) al 5% de probabilidad de error

Fuente: Autores.

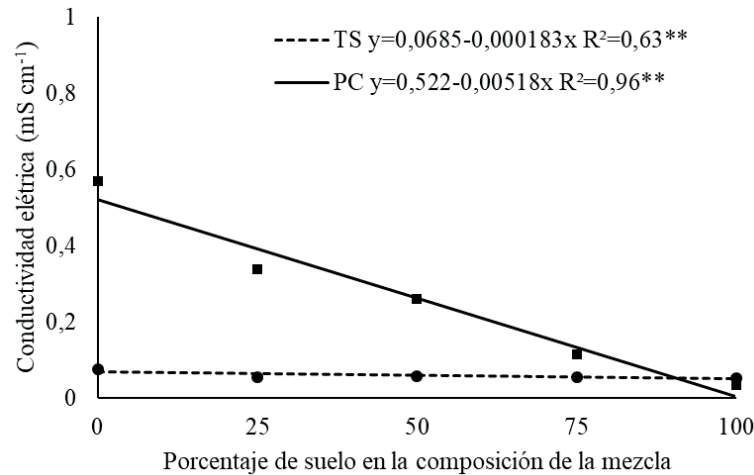


Figura 1. Conductividad eléctrica de sustratos formulados por diferentes proporciones de turba de *Sphagnum* (TS) y polvo-de-coco (PC) mezclados a suelo mineral. ** = $P < 0,01$; ns = no significativo.

Fuente: autores.

Es importante el uso de sustratos con valores de pH dentro del rango recomendado para formulaciones con predominio de materia orgánica (entre 5,0 y 5,8) o suelo mineral (entre 6,0 y 6,5), ya que esto influye en la disponibilidad de nutrientes y presenta un efecto directo sobre los procesos fisiológicos de las plantas (Kämpf, 2005). Hay varias formas de cambiar el pH de los sustratos y, durante el período de cultivo, los principales factores que causan estos cambios son la alcalinidad del agua de riego y/o la fertilización utilizada (Ceccagno *et al.*, 2019ab). Además, la mezcla de componentes originalmente ácidos o alcalinos a las formulaciones, antes de llenar los envases, también puede promover cambios en los valores de pH.

La mayoría de los materiales que se usan actualmente como sustrato para la producción de plantas tienen un pH alcalino, lo que hace que el manejo sea difícil y costoso debido a la necesidad de usar fertilizantes a base de ácido o la aplicación de acidificantes (Schafer *et al.*, 2015). El hecho de que el suelo mineral tenga naturalmente un pH ácido es lo que intensifica el uso de los elementos mencionados anteriormente en la mayoría de los viveros medianos y pequeños; sin

embargo, hay materiales que tienen un pH ácido y que pueden usarse para reemplazar el suelo mineral, como las acículas de *Pinus* sp., que, según Ceccagno *et al.* (2019ab), son un desecho con el potencial de ser utilizado como acondicionador para sustratos alcalinos, debido a que sus características químicas, físicas y biológicas lo convierten en un insumo favorable para el desarrollo de nuevos medios de cultivo. Por lo tanto, de manera similar a lo que se mencionó para los resultados de conductividad eléctrica, la influencia de la adición de suelo mineral a los sustratos orgánicos probados tampoco fue desventajosa con respecto al pH resultante de la mezcla.

En relación con las características físicas, el uso del suelo promovió aumento significativo en las densidades húmeda y seca, al tiempo que disminuyó los valores de porosidad total y espacio de aireación (Figura 2). Para la densidad, hubo una tendencia lineal creciente y su aumento fue directamente proporcional a la proporción de suelo en las mezclas, alcanzando valores promedios de 1.190,74 y 1.034,06 kg m⁻³ para las densidades húmeda y seca, respectivamente, cuando el suelo se utilizó de forma aislada (100% del suelo) (Figura 2A).

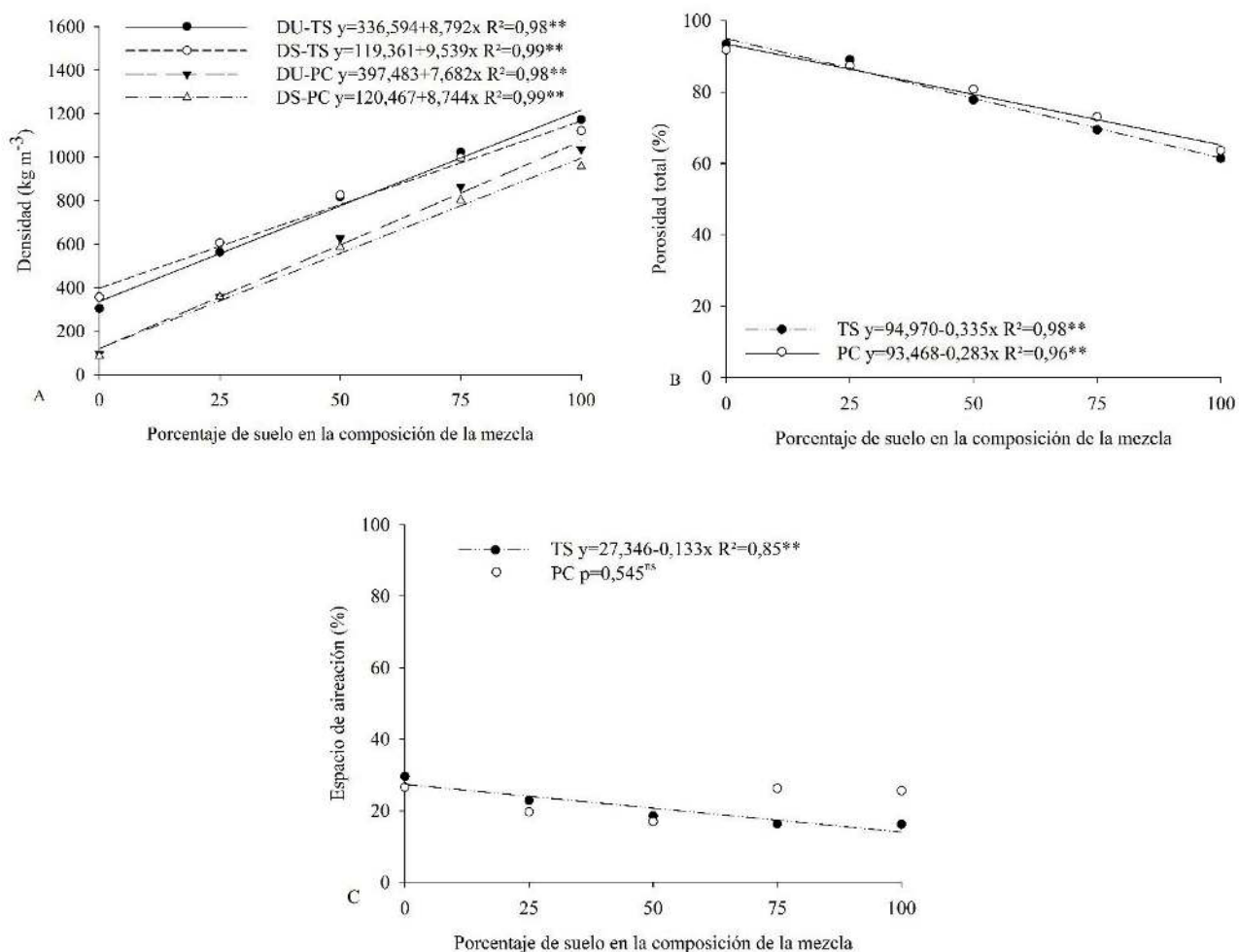


Figura 2. Densidad húmeda (DH) y seca (DS) (A), porosidad total (B) y espacio de aireación (C) de sustratos formulados por diferentes proporciones de turba de *Sphagnum* (TS) y polvo-de-coco (PC) mezclados a suelo mineral. ** = $P < 0,01$; ns = no significativo.

Fuente: autores.

La densidad expresa la relación entre la masa y el volumen de un sustrato. Kämpf (2005) señala que los valores de referencia para la densidad en seco deben tener en cuenta la altura y el volumen del contenedor de cultivo, y se recomienda el uso de formulaciones de hasta 400 kg m^{-3} para contenedores de hasta 15 cm altura. Por lo tanto, el uso de suelo en proporciones superiores al 25% en las mezclas no es adecuado para este tipo de contenedor. Además, cuanto mayor es la densidad, más difícil es crecer en el contenedor, ya sea debido a las

limitaciones de crecimiento de las plantas o la dificultad para transportar macetas o bandejas. Esto indica que el uso de suelo mineral en la composición de sustratos puede dificultar el manejo en el vivero y/o limitar el crecimiento del sistema de raíces, ya que, a medida que aumenta la proporción de este componente en la mezcla, hubo un aumento en la densidad de las formulaciones.

En un estudio de Ludwig *et al.* (2010), se evidenció que la presencia de suelo en la

formulación de los sustratos probados para el cultivo de *Gerbera jamesonii* Bolus ex Hook (gerbera) resultó en un aumento en la densidad de las mezclas, lo que dificultó el crecimiento de las raíces, especialmente en contenedores pequeños. Como resultado, hubo una limitación en el crecimiento de las plantas, principalmente debido a las características químicas y físicas inadecuadas que presentaban estos sustratos.

El aumento en la densidad de los sustratos promueve una disminución en la porosidad total y en el espacio de aireación, debido al aumento en la cantidad de partículas que ocupan el espacio poroso del medio en un volumen dado. Esto explica los resultados obtenidos para estos dos parámetros en el presente estudio, donde hubo una disminución proporcional al aumento en el porcentaje de suelo mineral mezclado con polvo-de-coco y turba *Sphagnum* para la porosidad total (Figura 2B), y de suelo con turba de *Sphagnum* para el espacio de aireación (Figura 2C).

Los sustratos son medios porosos, formados por sólidos y poros llenos de aire y agua. Los poros son responsables del intercambio de gases entre el sustrato y la atmósfera, así como también de determinar los movimientos del agua en el recipiente y su drenaje (Maggioni *et al.*, 2014). Por lo tanto, los sustratos deben ser suficientemente porosos para permitir un intercambio de gases eficiente, evitando la falta de aireación para respirar las raíces y para la actividad de los microorganismos en el medio ambiente (Kämpf, 2005). Así que, la adición de suelo en proporciones superiores al 25% condicionó las mezclas a valores que pueden causar poros insuficientes para el crecimiento adecuado de las plantas en contenedores.

Con respecto al espacio de aireación para las mezclas entre la turba de *Sphagnum* y el suelo, hubo una disminución, que varió de 27,35 % a 14,05 %, a medida que aumentó el porcentaje de suelo (Figura 2C). Se verifica, por lo tanto, que el uso del suelo además de influir negativamente en la porosidad total, también tiene un efecto desfavorable en la aireación de las formulaciones, lo que genera sustratos con baja capacidad de drenaje.

Los sustratos con valores apropiados de porosidad total, capacidad de retención de agua y aireación dan como resultado plántulas de mejor calidad (Mesquita *et al.*, 2012). En un estudio con la producción de plántulas de *Ocimum basilicum* L. (albahaca), se encontró un mejor rendimiento de la planta cuando se usaron sustratos con mayor retención de humedad y baja densidad, lo que proporcionó condiciones adecuadas para la aireación y la disponibilidad de agua (Maggioni *et al.*, 2014).

La determinación de las características de disponibilidad de agua en los sustratos proporciona información sobre el volumen de agua disponible para las plantas dentro de cada rango de estrés (Fermino, 2014). Según De Boodt y Verdonck (1972), el agua asimilable se refiere al volumen de agua liberada entre 10 hPa y 100 hPa de tensión, que es la suma del agua fácilmente asimilable (tensiones entre 10 hPa y 50 hPa) y el agua de reserva (tensiones entre 50 hPa y 100 hPa). El agua restante (agua difícilmente disponible) es el contenido volumétrico que permanece en el sustrato después de aplicar la tensión de 100 hPa. En el presente estudio, la adición de suelo mineral causó una disminución con el aumento de la proporción de suelo mineral en la formulación de sustratos para el agua asimilable (figura 3A), agua fácilmente asimilable (Figura 3B), agua de reserva (Figura 3C) y agua difícilmente disponible (Figura 3D).

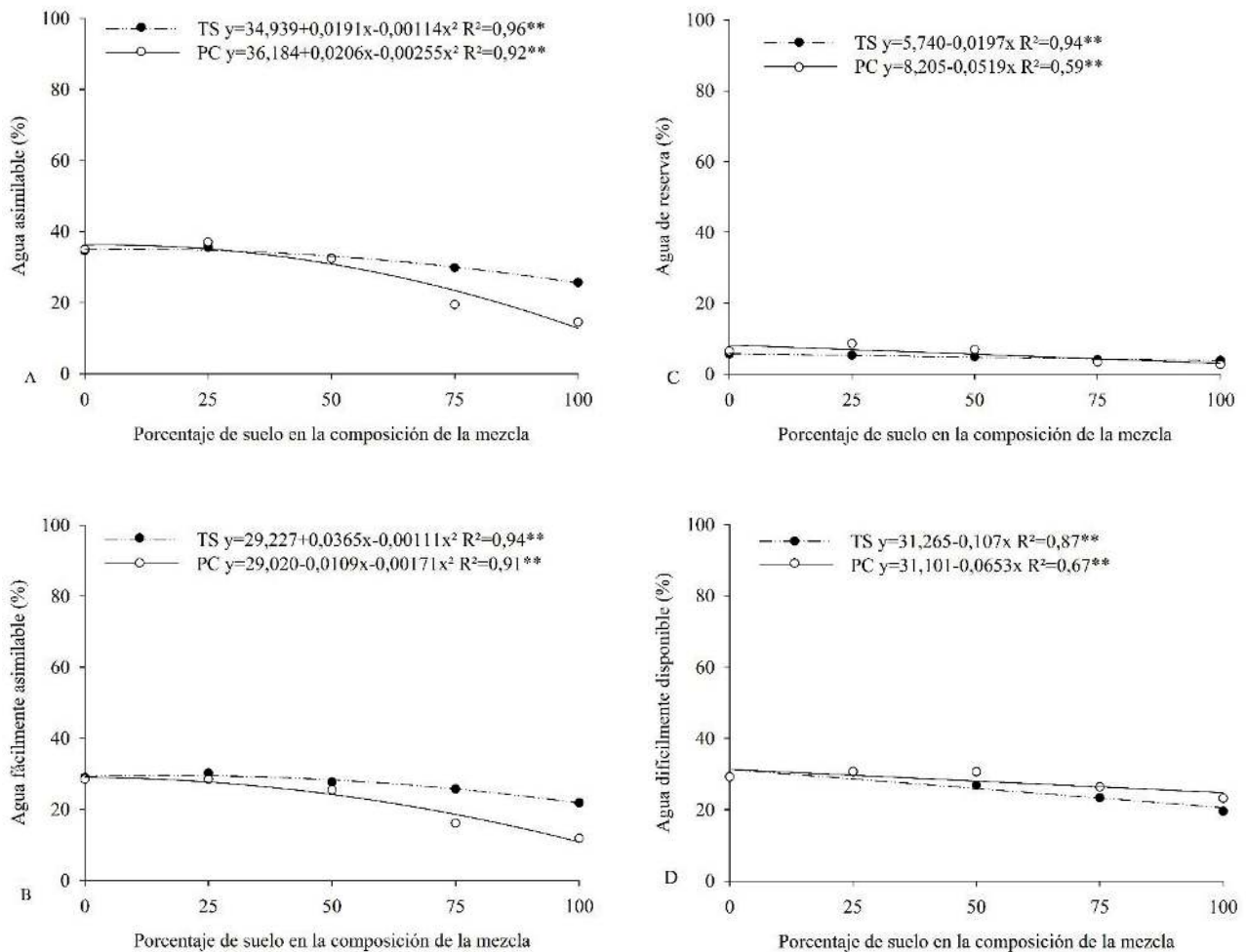


Figura 3. Agua asimilable (A), agua fácilmente asimilable (B), agua de reserva (C) y agua difícilmente disponible (D) de sustratos formulados por diferentes proporciones de turba de *Sphagnum* (TS) y polvo-de-coco (PC) mezclados a suelo mineral. $** = P < 0,01$.

Fuente: autores.

El aumento en la proporción de suelo, independientemente del material estándar utilizado (turba de *Sphagnum* o polvo-de-coco), también causó una disminución en la capacidad de retención de agua (Figura 4), enseñando una deficiencia de estos para el cultivo de plantas en contenedores, debido a su baja capacidad de almacenamiento de agua. Esto tiene un impacto

directo en la gestión del riego durante el cultivo, ya que las características del material, en relación con su capacidad de retención de agua, determinan la necesidad de riego (Schafer *et al.*, 2015), que en este caso condiciona los sistemas de riego con alta frecuencia, esto hacen necesario aumentar el número de ciclos de riego y disminuir el volumen aplicado.

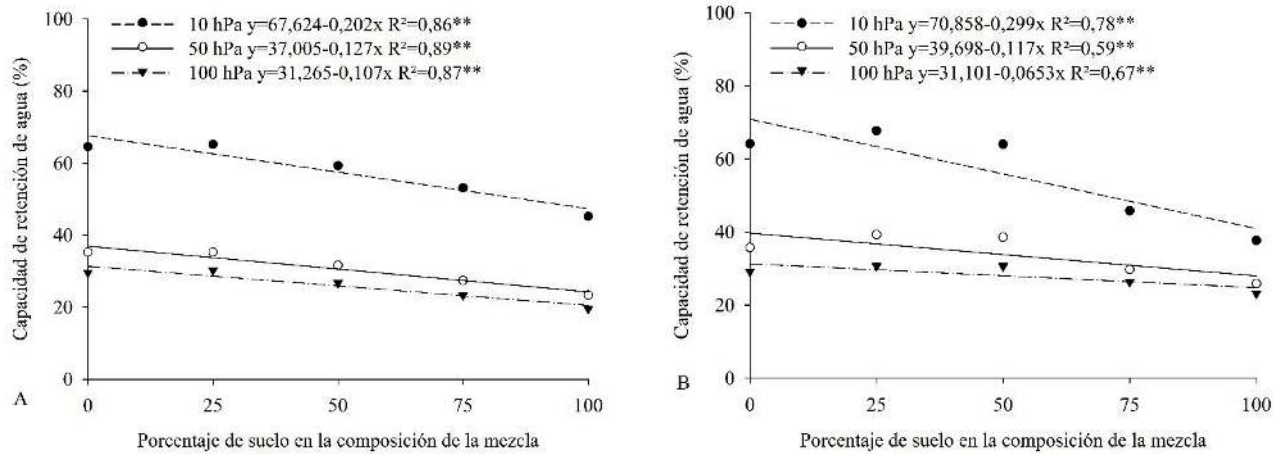


Figura 4. Capacidad de retención de agua de sustratos formulados por diferentes proporciones de turba de *Sphagnum* (TS) (A) y polvo-de-coco (PC) (B) mezclados a suelo mineral. ** = $P < 0,01$.

Fuente: autores.

La capacidad superior de retención de agua de la turba de *Sphagnum* y el polvo-de-coco, cuando se analiza sin la adición de suelo mineral, indica sustratos con condiciones favorables para el desarrollo de plantas en contenedores. Esto se debe a que la capacidad de retención de agua está directamente relacionada con la capacidad de las partículas del sustrato para retener y liberar agua, y proporcionar información sobre el volumen de agua disponible para las plantas a ciertas tensiones (Fernandes *et al.*, 2012).

La producción de plántulas de calidad está directamente relacionada con las características de los sustratos, como la aireación, el drenaje, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes (Maggioni *et al.*, 2014). La adición de suelo en diferentes proporciones con turba de *Sphagnum* y polvo-de-coco, ya que proporcionó un aumento significativo en la densidad, promovió cambios en otras propiedades físicas de las mezclas (reducción de la porosidad total, espacio de aireación y disponibilidad de agua), que se refleja negativamente en la aireación, drenaje y retención de agua. Respecto a la densidad, se debe considerar el costo de transportar las

plántulas al sitio de plantación. Para las plántulas forestales, por ejemplo, la distancia entre el vivero y las áreas de plantación puede representar decenas o cientos de kilómetros. En estos casos, un pequeño porcentaje de diferencia en la densidad puede representar un costo enorme en el transporte de estas plántulas, ya que la forma de transporte predominante, en la gran mayoría de los casos, es por carretera, cuya limitación de carga se debe a la capacidad de peso de cada eje del vehículo.

En muchos estudios, parece que el uso de materiales de composición orgánica, como el estiércol de ganado, mezclado con suelo mineral, proporciona resultados superiores en el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Braga Júnior *et al.*, 2010, Araújo y Sobrinho, 2011, Macedo *et al.*, 2011, Silva *et al.*, 2014, Cruz *et al.*, 2016, Alves *et al.*, 2018). Según Araújo y Sobrinho (2011), el uso de materia orgánica mezclada con el suelo es una práctica común, porque además de proporcionar nutrientes a las plantas, también proporciona una mayor retención de agua y mejora la aireación del suelo para el desarrollo de las raíces de las

plantas. El hecho de que la materia orgánica mejore estas características lleva a la recomendación de utilizar el suelo en contenedores de manera inadecuada, porque, a menudo, la adición de un componente que favorece químicamente el desarrollo de las plantas hace que los resultados se malinterpreten.

La formulación de sustratos con componentes fáciles de adquirir, como el suelo mineral, puede reducir el costo final de las plántulas. Sin embargo, el uso de este material, además de generar condiciones físicas desfavorables, puede convertirse en un inoculador potencial de patógenos y propágulos vegetales indeseables en los cultivos, como se observó en el presente estudio. Con base en el análisis biológico del suelo mineral utilizado en este estudio, fue posible observar la presencia de hongos del género *Fusarium*, *Penicillium* y *Rhizopus*, además de *Meloidogyne* y nematodos de vida libre. En este sentido, para evitar problemas fitosanitarios, y con base en la Instrucción Normativa nº 48, del 24 de septiembre de 2013, se prohibió el uso de suelo mineral como componente del sustrato para la producción de plántulas de cítricos (MAPA, 2013).

Una alternativa a este problema es el uso de residuos como sustrato, reemplazando el uso del suelo. Entre los materiales que se pueden utilizar para la producción de plántulas en contenedores, se destacan la vermiculita, el compost orgánico, el estiércol de ganado, el aserrín, el bagazo de caña de azúcar, las acículas de *Pinus*, el vermicompost, el compuesto de desechos sólidos, entre otros (Kämpf, 2005, Fonseca *et al.*, 2019, Watthier *et al.*, 2019). El uso de residuos permite la obtención de materiales alternativos, de fácil y constante disponibilidad a bajo costo, además de ayudar a minimizar la contaminación resultante de la acumulación de estos residuos en el medio ambiente.

Sin embargo, incluso con tantas opciones de residuos, el uso del suelo en la formulación de sustratos en viveros pequeños y grandes, especialmente aquellos para la producción de plántulas de especies forestales nativas, sigue siendo significativo, con la formulación realizada sin una base técnica, mezclando materiales orgánicos, de buena calidad física, con grandes proporciones de suelo mineral.

Hay muchos trabajos publicados en revistas científicas que recomiendan el uso del suelo en la formulación de sustratos para la producción de plantas en pequeños contenedores. Se observa, en estos casos, la composición de mezclas con materiales utilizados al azar, sin criterios técnicos relacionados con el uso del sustrato, el recipiente y el régimen hídrico. Como resultado, las propiedades físicas importantes, como la densidad, la porosidad total y la capacidad del contenedor se ven afectadas. Además, la formulación de sustratos al mezclar componentes orgánicos de características físicas adecuadas, con grandes proporciones de suelo mineral, hace que las características del producto final, en la mayoría de los casos, sean inferiores a las de los componentes orgánicos originales, utilizados de forma aislada. Sin embargo, además de generar sustratos con características de cultivo deficientes, que pueden influir negativamente en el crecimiento y el desarrollo de las plantas, el uso sin restricciones del suelo mineral, incluso en pequeñas proporciones, puede causar daños ambientales debido a su extracción, además de conducir a la producción de plantas a una condición insostenible a largo plazo. En vista del hecho de que todas las características físicas se vieron negativamente afectadas con la adición de suelo mineral como componente del sustrato, no se recomienda agregarlo a la producción de plantas en contenedores.

4. CONCLUSIONES

El uso del suelo mineral como componente del sustrato para las plantas cambió las características químicas y físicas de la mezcla. Hubo una disminución en la conductividad eléctrica, pero el pH se mantuvo estable a valores dentro del rango considerado adecuado por la literatura.

Las densidades húmedas y secas se vieron afectadas por la presencia del suelo, mientras que los valores de porosidad total, espacio de aireación, disponibilidad y capacidad de retención de agua disminuyeron.

No se recomienda el uso de suelo mineral como componente del sustrato.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos y escritura borrador original. **Segundo autor:** metodología, investigación y escritura borrador original. **Tercer autor:** investigación y escritura borrador original. **Cuarto autor:** revisión y edición. **Quinto autor:** metodología y escritura - revisión y edición. **Sexto autor:** metodología y escritura - revisión y edición. **Séptimo autor:** metodología, adquisición de recursos, supervisión, conceptualización y escritura - revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Coordinación para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Educação Superior (CAPES), el Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), la Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) y el técnico de laboratorio, Idenir José de Conto.

LITERATURA CITADA

- Alfenas, A.C., Ferreira, F.A., Mafia, R.G., Gonçalves, R.C. (2016). Isolamento de fungos patogênicos. In Alfenas, A.C., Mafia, R.G. (Eds.), *Métodos de fitopatologia* (p. 55-93). Viçosa: UFV.
- Alves, J.D.N., Moreira, W.K.O., Bezerra, L.A., Oliveira, S.S., Franco, T.M., Okumura, R.S., Silva, R.T.L., Oliveira, I.A., Leão, F.A.N. (2018). Substrates and irrigation frequencies in the development of seedlings of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. *Journal of Agricultural Science*, 10(11), 249-258. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p249>
- Araújo A.P., Sobrinho, S.P. (2011). Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. *Revista Árvore*, 35(3), 581-588. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000400001>
- Braga Júnior J.M., Bruno, R.L.A., Alves, E.U. (2010). Emergência de plântulas de *Zizyphus joazeiro* Mart (Rhamnaceae) em função de substratos. *Revista Árvore*, 34(4), 609-616. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000400005>
- Caldeira, M.V.W., Rosa, G.N., Fenilli, T.A.B., Harbs, R.M.P. (2008). Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria*, 9(1), 27-33. <https://doi.org/10.5380/rsa.v9i1.9898>
- Ceccagno, H, Souza, P.V.D., Schafer, G., Avrella, E.D., Fior, C.S. (2019b). Potential of *Pinus elliottii* Engelm. needles as substrate conditioner for the production of "Fepagro C37 Reck" Citrus rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(3), e-039. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019039>
- Ceccagno, H., Souza, P.V.D., Schafer, G., Avrella, E.D., Fior, C.S., Schwarz, S.F. (2019a). Potential of *Pinus* sp. needles for use as substrate conditioners in the production of 'Trifoliata' rootstock in greenhouses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.003>
- Cruz, F.R.S., Andrade, L.A., Feitosa, R.C. (2016). Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. *Ciência Florestal*, 26(1), 69-80. <https://doi.org/10.5902/1980509821092>
- De Boot, M., Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta horticultrae*, 26, 37-44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1972.26.5>

- Fermino, M.H. (2014). *Substratos: composição, caracterização e métodos de análise*. Guaíba: Agrolivros.
- Fernandes, L.F., Gomes, W.A., Mendonça, R.M.N. (2012). Substratos na produção de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido. *Revista Verde*, 7(3), 01-06.
- Fonseca, W.L., Oliveira, A.M., Sousa, T.O., Zuffo, A.M., Santos, R.F., Carvalho, R.M., Almeida, F.A., Oliveira Neto, N.M., Guerra, L.O., Gomes, T.S. (2019). Decomposed buriti stem and nitrogen application rates on the growth of *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 11(16), 187-194. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n16p187>
- Hoffmann, G. (1970). Verbindliche methoden zur untersuchung von TKS und gärtnerischen erden. *Mitteilungen der VSLUFA*, 6, 129-153.
- Kämpf, A.N. (2005). *Produção comercial de plantas ornamentais*. Guaíba:Agrolivros.
- Ludwig, F., Guerrero, A.C., Fernandes, D.M., Villas Boas, R.L. (2010). Análise de crescimento de gérbera de vaso conduzida em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*, 28(1), 70-74. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000100013>
- Macedo, M.C., Rosa, Y.B.C.J., Rosa Júnior, E.J., Scalón, S.P., Tatara, M.B. (2011). Produção de mudas de Ipê-Branco em diferentes substratos. *Cerne*, 17(1), 95-102. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000100011>
- Maggioni, M.S., Rosa, C.B.C.J., Silva, E.F., Rosa, Y.B.C.J., Scalón, S.P.Q., Vasconcelos, A.A. (2014). Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(1), 10-17. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100002>
- Mesquita, E.F., Chaves, L.H.G., Freitas, B.V., Silva, G.A., Sousa, M.V.R., Andrade, R. (2012). Produção de mudas de mamoeiro em função de substratos contendo esterco bovino e volumes de recipientes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(1), 58-65. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a1448>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. (2007). Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. (2013). Instrução Normativa nº 48, de 24 de setembro de 2013.
- Saidelles, F.L.F., Caldeira, M.V.W., Schirmer, W.N., Sperandio, H.V. (2009). Carbonized rice hull as substratum to produce tamboril-da-mata and garapeira seedlings. *Semina*, 30(1), 1173-1186. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4Sup1p1173>
- Schafer, G., Souza, P.V.D., Fior, C.S. (2015). Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. *Ornamental Horticulture*, 21(3), 299-306. <https://doi.org/10.14295/oh.v21i3.735>
- Silva, R.F., Eitelwein, M.T., Cherubin, M.R., Fabbris, C., Weirich, S., Pinheiro, R.R. (2014). Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. *Ciência Florestal*, 24(3), 609-616. <https://doi.org/10.1590/1980-509820142403009>
- Vence, L.B. (2008). Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del Suelo*, 26(2), 105-114.
- Waththier, M., Schwengber, J.E., Fonseca, F.D., Silva, M.A.S. (2019). Húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. *Brazilian Applied Science Review*, 3(5), 2065-2071. <https://doi.org/10.34115/basrv3n5-011>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.