

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS CELULÓSICOS PARA LA PROPAGACIÓN DE FLORES ORNAMENTALES Y HORTALIZAS

John Sánchez-Cardozo¹ y Luis E. Díaz-Barrera¹

RESUMEN

La propagación de plantas por medio de sustratos se ha convertido en una de las prácticas más recurrentes de la industria floricultora y horticultora porque aumenta la calidad de los productos, disminuye los costos de producción y las pérdidas por muertes de las plántulas. En este estudio se caracterizaron 12 sustratos elaborados con mezclas de residuos celulósicos y de frutos, cascarilla de arroz quemada, escoria de carbón o turba por medio de pruebas de porosidad, retención de agua, composición química y fitotoxicidad. Posteriormente, se evaluó con un diseño de bloques completos al azar el efecto de los sustratos sobre el enraizamiento de clavel (*Dianthus caryophyllus*) y gipsofila (*Gypsophila paniculata*) mediante la viabilidad, longitud y peso de raíces. Así mismo, se evaluó el efecto sobre el crecimiento y viabilidad de la lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) evaluando las variables de germinación, producción de biomasa, longitud y peso de las raíces. Se encontró que todos los sustratos presentan una porosidad de 75-83 %, capacidad de retención de agua de 6,9-11,28 %, así como bajos niveles de fitotoxicidad y características fisicoquímicas adecuadas para su utilización. No obstante, los resultados para las pruebas de enraizamiento y viabilidad demostraron que solo los sustratos con cascarilla de arroz pueden utilizarse en todas las especies con una valoración de supervivencia mayor al 80 % para la lechuga y el tomate, y entre 60-90 % para la gipsofila y el clavel. Uno de los sustratos compuestos de residuos celulósicos y de frutas con cascarilla de arroz y los compuestos solo por cascarilla de arroz fueron adecuados para el enraizamiento de clavel y por lo tanto pueden ser una mezcla adecuada para la propagación de esta especie.

Palabras clave adicionales: Cascarilla de arroz, clavel, escoria, gipsofila, lechuga, tomate, turba

ABSTRACT

Evaluation of substrates produced from cellulose residues for propagation of ornamentals and vegetables

The propagation of plants by means of substrates has become one of the most recurrent practices of the floricultural and horticultural industry because it increases the quality of the products, decreases the production costs and the losses by deaths of the seedlings. In this study, 12 treatments elaborated with mixtures of cellulose and fruit residues, burned rice husk, coal slag, or peat were characterized by porosity tests, water activity, chemical composition, phytotoxicity, and physicochemical tests. Subsequently, it was assessed in a randomized complete block design the effect of the treatments on the growth and viability of lettuce (*Lactuca sativa*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) evaluating their germination, biomass production, and length of the roots; and the effect of the treatments in the rooting of carnation (*Dianthus caryophyllus*) and gypsophila (*Gypsophila paniculata*) evaluating the viability and length and weight of roots. It was found that all treatments have a porosity (75-83 %), water retention capacity (6.90-11.28), phytotoxicity and physicochemical properties suitable for their application as substrates. However, the results for rooting and germination tests showed that only rice husk treatments can be used in all species with a viability level higher than 80 % for lettuce and tomato, and between 60-90 % for the gypsophila and the carnation. One of the substrates composed of cellulose residues and fruit with rice husk and the compounds only for rice husk were suitable for the rooting of carnation and therefore can be a suitable mixture for the propagation of this species.

Additional key words: Carnation, gypsophila, lettuce, peat, rice husk, tomato, slag,

INTRODUCCIÓN

Por definición, los sustratos son medios inertes que cumplen con funciones como anclar las raíces

de la planta y retener agua y nutrientes así como proteger el sistema radicular de la luz y permitir la respiración (Tsukagoshi y Shinohara, 2016). El uso de sustratos, como medio de cultivo para la

Recibido: Mayo 8, 2018

Aceptado: Noviembre 5, 2018

¹ Universidad de La Sabana, Facultad de Ingeniería, Campus Universitario del Puente del Común. Chía, Cundinamarca, Colombia. e-mail: luis.diaz1@unisabana.edu.co

siembra y crecimiento de plantas sin suelo es de mucha utilidad para la industria hortícola. Los productores lo utilizan por sus efectos en la calidad del producto final (Baracaldo et al., 2010; Quintero et al., 2012) y porque permite minimizar los costos de producción (Cruz et al., 2016; Nazir et al., 2017).

A nivel mundial los sectores agronómicos que más promueven la utilización de sustratos son los horticultores. Sin embargo, algunos de los sustratos que se utilizan actualmente como las turbas y la tierra de monte, ocasionan la degradación de las áreas naturales de donde se extraen (Acosta et al., 2008). En Colombia su demanda ha crecido, provocando que el 70 % de los cultivos de flores utilicen sustratos para su propagación (Baracaldo et al., 2010; Quintero et al., 2012).

A pesar de su demanda la cantidad de sustratos viables para el mercado es limitada, esto se debe a que los efectos de los sustratos en las plantas depende de sus características químicas, y en especial fisicoquímicas (Rinaldi et al., 2014). El reto del diseño de sustratos se centra en obtener características fisicoquímicas ajustadas a las plantas, para esto se realiza la búsqueda de materiales viables para la siembra y crecimiento de diferentes especies, que garanticen las condiciones de plantación. En las últimas décadas, en Suramérica se han evaluado diversos materiales orgánicos que cumplen con ser ecológicos, económicos y disponibles como los subproductos agroindustriales (Valenzuela et al., 2014; Gayosso et al., 2018). Nazir et al. (2017) reportaron que el uso de sustratos en plantaciones de flores ornamentales puede representar entre el 6-8 % de los costos de su producción, por esta razón se han diseñado sustratos a partir de desechos de cáscaras de oliva (Altieri et al., 2010), turba, corteza de pino, perlita, vermiculita, cascarilla de arroz (Burnett et al., 2016), fibra de coco (Quintero et al., 2012), residuos de levadura y malta (Bernal y Roig, 2002).

En Colombia, el sustrato más utilizado es la cascarilla de arroz, ésta se utiliza en cultivos de flores ornamentales con resultados positivos y una amplia aceptación comercial (Quintero et al., 2012). Baracaldo et al. (2010) realizaron experimentos con mezclas de cascarilla de arroz y fibra de coco para la plantación de clavel, donde indicaron que la cascarilla de arroz produjo un

mayor número de pétalos en el clavel por flor. No obstante, el control sembrado en suelo presentó una mayor productividad evaluada por número de tallos, aunque tenían un menor diámetro de tallo y una menor longitud. Otros estudios, se han enfocado en la determinación de las condiciones de riego y fertilización que promueven el crecimiento de las plantas evitando deficiencias por ausencia de micro o macronutrientes, los cuales son problemas frecuentes asociados al uso de sustratos (Silber y Bar, 2008; Cheimona et al., 2016; Nazir et al., 2017).

Investigaciones relacionadas con el uso de sustratos en flores ornamentales y hortalizas han presentado resultados favorables en etapas de crecimiento que aseguran la calidad del producto final y disminuyen las pérdidas asociadas a la muerte o deterioro de los esquejes (Silber y Bar, 2008). Por estas razones en esta investigación se evaluó el efecto en el enraizamiento, viabilidad y crecimiento del clavel (*Dianthus caryophyllus*), gipsofila (*Gypsophila paniculata*), lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) con mezclas de sustratos a base de residuos de fruta y de empaque celulósico bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos de empaque utilizados (restos de cartón corrugado) fueron donados por las empresas Agroidea Colombia y los residuos de fruta (cáscaras de piña) por Pulpafruit Colombia. Las proporciones utilizadas fueron residuos de empaque/residuos de fruta 60/40 y 50/50, denominados S1 y S2, respectivamente. Los detalles de las formulaciones y los materiales utilizados se especifican en el Cuadro 1.

Evaluaciones en los sustratos.

Se determinaron las siguientes características físico-químicas:

-Capacidad de retención de agua (CRA), fue determinada saturando los sustratos con agua. Posteriormente, la mezcla saturada se dejó drenar en embudos de vidrio con papel Whatman #42 durante 24 h y se tomaron los pesos húmedo y seco. La CRA se calculó según Blažka y Fischer (2014).

-Densidad aparente y compactada. Se determinó mediante el método de peso constante-volumen variable establecido por Baena (2011) utilizando

una medida constante de 20 g de cada sustrato y una probeta para la medición del volumen. Para la densidad aparente se tomó el volumen del sustrato sin compactar y para la densidad compactada el volumen se determinó después de agitar en un tamizador Retsch durante 15 minutos a 200 rpm.

-Porosidad. Para calcular la porosidad se utilizó la siguiente ecuación (Sahin y Sumnu, 2009):

$$\text{Porosidad} = 1 - \rho_{\text{aparente}} / \rho_{\text{compactada}}$$

Previo al inicio de las pruebas se realizó una caracterización química de los sustratos 1 y 2 y de los sustratos 6 al 12 evaluando N (método de Kjeldahl), P (método espectrofotométrico de fósforo-molibdo-vanadato), K (método fotométrico de llama); Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn (absorción atómica) y carbono orgánico (método de Walkley-Black). Así mismo, en una dilución 1:2 v/v (sustrato/agua) (Torres et al., 2001) se midieron, la conductividad eléctrica (CE) y el pH.

Evaluaciones en las plantas. Las pruebas de enraizamiento, viabilidad y crecimiento se

llevaron a cabo en el municipio de Funza Colombia, vereda El Cocli (4°44' N, 74°13' W, 2548 msnm), en invernadero, con reporte de temperatura media de 25,9 °C y mínima de 9 °C.

-Pruebas de enraizamiento. Estas pruebas se realizaron para las especies clavel y gipsofila, utilizando esquejes de 10-12 cm para clavel y de 2-3 cm para gipsofila, mediante un diseño de bloques completos al azar durante cuatro semanas (marzo-abril 2017) según la formulación descrita en el Cuadro 1. Los sustratos 1 al 5 se mezclaron con cascarilla de arroz quemada en las formulaciones para clavel y con turba rubia con humectante (Klasmann), y 160, 180, 100 y 140 mg·L⁻¹ de P, K, Mg y N, para las formulaciones en gipsofila. Los testigos para las pruebas fueron el sustrato 5 para el clavel y el sustrato 12 para la gipsofila. A cada esqueje se adicionó ácido indolbutírico al 98 % y fungicida Progro (Proficol) a una concentración de 3 g·L⁻¹.

Cuadro 1. Composición de los sustratos (% en volumen) para enraizamiento en clavel (*Dianthus caryophyllus*) y gipsofila (*Gypsophila paniculata*), y para viabilidad y crecimiento en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*)

Sustrato	Cultivo	S1	S2	Cascarilla de arroz ^a	Escoria de carbón	Turba ^b
1	Clavel,	60		40		
2	Gipsofila	50		50		
3			60	40		
4			50	50		
5	Testigo para clavel			75	25	
6	Lechuga,		20			80
7	Tomate		30			70
8			40			60
9				20		80
10				30		70
11				40		60
12	Testigo para gipsofila, Lechuga, Tomate					100

S1 y S2: residuos de empaque/residuos de fruta en proporción 60/40 y 50/50, respectivamente

^a Componente utilizado para el enraizamiento del clavel; ^b Componente utilizado en lugar de la cascarilla para el enraizamiento de gipsofila, en las mismas proporciones usadas para el clavel

El experimento se realizó en tres bandejas cada una de 128 cavidades con una profundidad de 4 cm. El montaje se realizó con una repetición por semana durante tres semanas (bloques). Al final de la prueba se tomaron diez esquejes al azar de cada bandeja y se contabilizó el número de ellos con formación de *plugs* (cepellón)

estables a la agitación mecánica, en un tamizador Retsch, durante 10 minutos a 200 rpm. El porcentaje de cepellones estables definió su viabilidad. Posteriormente, los esquejes fueron lavados, retirando todos los remanentes de sustrato y se midió la longitud de la raíz principal. Se secaron en un horno a 60 °C por 48 h y se

obtuvo su peso.

-Pruebas de viabilidad y crecimiento. Se realizaron mediante un diseño de bloques completos al azar para las especies lechuga (cuatro semanas) y tomate (cinco semanas) en tres bandejas de 128 cavidades y 5 cm de profundidad. Se realizó la siembra de las semillas con una repetición del experimento cada semana durante 3 semanas (bloques). Se probaron las formulaciones descritas en el Cuadro 1 para los sustratos 6 al 12, ya que según pruebas preliminares fueron los que mejor permitieron la germinación de la lechuga y el tomate (resultados no mostrados).

Cada semilla se inoculó con una solución comercial de *Trichoderma* spp. como fungistático, y fue regado a discreción con una fórmula de fertirriego en mg·L⁻¹ de N: 41, P: 74, K: 197, Ca: 29, Mg: 31, S: 52, Fe: 1,20, Mn: 2,52, Zn: 0,98, Cu: 0,40, B: 1,03 y Mo: 0,1. Durante todo el experimento la CE promedio de los sustratos se mantuvo en 1,07 dS·m⁻¹ para la lechuga y 1,09 dS·m⁻¹ para el tomate. Al final de la prueba se calculó el porcentaje de viabilidad en función del número de plántulas con desarrollo foliar visualmente igual o superior al respectivo testigo, y se midió la longitud y peso seco de la raíz así como de la biomasa seca total.

-Prueba de fitotoxicidad. Dado que en la evaluación química de varios sustratos se detectaron niveles moderadamente altos de Cu y Zn que podrían ocasionar problemas en la germinación de las semillas, se realizaron pruebas de fitotoxicidad. El procedimiento se efectuó mediante centrifugado de los sustratos 6 al 12 en agua destilada (65 % p/p) para obtener el sobrenadante. Los sobrenadantes de cada sustrato se inocularon en 10 semillas de las especies lechuga y tomate por triplicado en cajas de Petri con papel filtro en la base (Altieri et al., 2010). Como testigo de la prueba se utilizó agua desionizada. Los resultados se reportaron como porcentaje de germinación.

Análisis estadístico. Los resultados de las evaluaciones en las plantas fueron procesados mediante un análisis de varianza y pruebas de rango múltiple basado en la diferencia mínima significativa (DMS) luego de comprobar los supuestos de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilk.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los sustratos. Las propiedades físicas de los sustratos se presentan en el Cuadro 2.

La porosidad se encontró dentro del rango 70-80 %, el cual puede permitir una adecuada aireación de las raíces (Raviv et al., 2008), así como una moderada retención de humedad la cual varió de 6,9 a 11,28 % después de 48 h de drenaje. La densidad aparente varió de 0,17 a 0,24 g·cm⁻³, valores que están dentro del rango reportado por otros autores para sustratos comerciales (Zamora, et al., 2005; Bracho, et al., 2009; Rodríguez et al., 2010).

Cuadro 2. Propiedades físicas de los sustratos utilizados en los ensayos ($\bar{x} \pm SD$; n=3)

Sustrato ^Z	Capacidad de retención de agua (%)	Densidad aparente (g·mL ⁻¹)	Porosidad (%)
1	6,99±0,27	0,19±0,01	82±0
2	6,96±0,35	0,20±0,02	82±1,25
3	6,98±0,85	0,21±0,01	80±2,21
4	6,90±0,55	0,22±0,01	81±1,4
5	6,99±0,56	0,24±0,02	82±1,8
6	9,68±0,4	0,18±0,01	80±0,0
7	11,03±1,1	0,18±0,02	78±1,54
8	11,28±0,46	0,17±0,02	78±1,73
9	8,99±0,28	0,18±0,02	81±0,0
10	8,68±0,1	0,20±0,01	82±1,15
11	7,71±0,25	0,21±0,01	83±1,18
12	9,69±1,15	0,19±0,01	75±2,8

^Z Identificados en el Cuadro 1

Los sustratos S1 y S2 presentaron una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 107 y 83, respectivamente (Cuadro 3), valores que se consideran muy altos, pues las relaciones más apropiadas están entre 25 y 60 (Moreno (2002)). Los niveles altos de C/N, se asocian con una baja disponibilidad del nitrógeno. Adicionalmente, se ha reportado, que niveles altos de carbono pueden interferir con el mecanismo de captación del nitrógeno en las raíces de las plantas (Agehara y Warncke, 2005; Businelli, et al., 2015; Hernández, et al., 2016). Al realizar las mezclas con turba, la relación C/N de los sustratos disminuyó (Cuadro 3), ajustándose a los valores apropiados para el crecimiento de plantas y hortalizas. Igualmente, el contenido de N en S1 y S2 fue notoriamente menor al de los sustratos del

6 al 12 los cuales contenían turba en su composición.

Los sustratos presentaron concentraciones elevadas de micronutrientes como Mn, Cu y Zn. Los sustratos 9 al 11 mostraron entre 191 y 265 mg·L⁻¹ de Mn; esta concentración se atribuye al alto contenido de este elemento en la cascarilla pues la máxima concentración en la turba es 68

mg·L⁻¹ como se observa en el Cuadro 3. Los niveles de Mn de los sustratos 6 al 8 variaron entre 53 y 60 mg·L⁻¹, valores que son aproximadamente un 10 % menores que los niveles encontrados en la turba por lo que no se esperaría que estas concentraciones generen problemas en los cultivos por exceso del elemento (Tsukagoshi y Shinohara, 2016).

Cuadro 3. Caracterización química de los sustratos empleados en los ensayos de viabilidad y crecimiento en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) ($\bar{X} \pm SD$; n=3)

	Sustrato ²									
	S1	S2	6	7	8	9	10	11	12	
N (%)	0,09±0,02	0,12±0,01	0,95±0,03	0,99±0,02	1,05±0,02	0,9±0,03	0,89±0,03	0,8±0,02	1,16±0,02	
P (%)	0,01±0,002	0,01±0,002	0,13±0,003	0,14±0,004	0,12±0,002	0,21±0,004	0,21±0,003	0,23±0,002	0,16±0,003	
K (%)	0,05±0,01	0,09±0,02	0,29±0,04	0,35±0,04	0,36±0,04	0,37±0,04	0,39±0,03	0,45±0,03	0,3±0,02	
Ca (%)	0,29±0,03	0,23±0,02	2,28±0,03	2,35±0,03	2,18±0,04	2,2±0,04	1,85±0,04	1,74±0,04	2,96±0,04	
Mg (%)	0,03±0,01	0,03±0,01	0,20±0,02	0,22±0,01	0,20±0,01	0,22±0,02	0,22±0,02	0,20±0,01	0,29±0,01	
Fe (%)	0,02±0,001	0,01±0,002	0,09±0,004	0,10±0,001	0,08±0,002	0,10±0,002	0,08±0,004	0,07±0,003	0,12±0,002	
Zn (mg·L ⁻¹)	7,7±0,1	5,7±0,1	26,0±0,3	27,0±0,5	16,0±0,1	28,0±0,4	29,0±0,5	35,0±0,5	29,0±0,4	
Cu (mg·L ⁻¹)	6,7±0,1	4,2±0,2	25,0±0,4	27,0±0,3	17,0±0,5	17,0±0,5	15,0±0,5	14,0±0,3	23,0±0,5	
Mn (mg·L ⁻¹)	8,8±0,1	8,4±0,2	53,0±0,5	60,0±0,5	56,0±0,6	191,0±0,7	210,0±0,7	265,0±0,7	68,0±0,5	
CE (dS·m ⁻¹)	0,92±0,01	0,91±0,03	2,47±0,02	2,37±0,03	2,43±0,04	2,10±0,04	2,54±0,03	1,72±0,02	5,3±0,05	
C/N	107±2	83±1	39±3	37±1	33±2	38±1	40±1	44±2	35±1	
pH	7,7±0,1	6,5±0,2	5,7±0,2	5,6±0,2	5,6±0,3	5,6±0,4	5,7±0,4	5,7±0,3	5,6±0,2	

²Sustratos identificados en el Cuadro 1

La mayor diferencia en la composición química después de la presentada por el Mn, es el contenido de P y de Ca los cuales son muy importantes para un desarrollo foliar y radicular sano (Tsukagoshi y Shinohara, 2016).

Estudios llevados a cabo en Colombia, establecen un rango de salinidad adecuada para plantación de hortalizas entre 1 y 1,25 dS·m⁻¹ (Quesada y Méndez, 2005; Arcos et al., 2011). Por otra parte, la FAO (2002) presenta un cuadro de tolerancia de los medios indicando que la lechuga y el tomate soportan conductividades de hasta 3,1 y 5,0 dS·m⁻¹ respectivamente, con un 75 % de supervivencia, por lo que los sustratos evaluados se encuentran dentro de estos rangos de supervivencia.

Enraizamiento del clavel y gipsofila. Los sustratos presentaron efecto significativo en la viabilidad del clavel, y solo el sustrato 3 presentó un porcentaje de viabilidad inferior al 80 % (Cuadro 4).

Los sustratos 2 y 5 no tuvieron una diferencia estadísticamente significativa por lo que el sustrato 2 producido a partir de S1 y cascarilla de arroz en proporciones 1:1 es un potencial sustituto del material utilizado comercialmente en la actualidad (sustrato 5). También se observa en el cuadro que el sustrato 2 fue igualmente comparativo al 5 en la longitud de la raíz y en cada uno hubo un abundante crecimiento en espiral dentro y alrededor del cepellón. Por otra parte, no se encontraron diferencias en el peso de raíz entre los diferentes sustratos.

En cuanto a la viabilidad de las plantas, se deduce que la tasa de pérdida en el sustrato 2 fue de sólo 6 % (Cuadro 4) por lo que se puede afirmar que sería atractivo en la industria y comparable con sustratos como el 5 o los reportados por Quintero et al. (2012) quienes encontraron un rango de mortalidad de 5,7 a 11,4 % en sustratos comparativos.

Cuadro 4. Pruebas de enraizamiento y estabilidad del cepellón (viabilidad) en clavel (*Dianthus caryophyllus*) y gipsofila (*Gypsophila paniculata*) (n=90)

Cultivo	Sustrato ^z	Longitud raíz (cm)	Peso raíz (mg)	Viabilidad (%)
Clavel	1	26,05 b	26,12 a	84 a
	2	30,46 ab	26,90 a	94 bc
	3	21,11 b	18,04 a	78 a
	4	26,61 b	17,71 a	86 ab
	5	43,81 a	33,65a	97 c
Gipsofila	1	19,41 b	8,13 ab	27 ab
	2	32,40 ab	8,24 ab	35 b
	3	17,16 b	4,64 b	16 a
	4	23,91 b	7,27 ab	25 ab
	5	45,39 a	11,90 a	63 c

^zSustratos identificados en el Cuadro 1

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba DMS ($P \leq 0,05$)

Con relación a gipsofila, la

Figura 1b muestra el efecto que causó en esta especie el enraizamiento a partir de los sustratos 1 al 4, donde se destaca que el sustrato afectó la flor ocasionando una coloración amarillo-verdosa en las hojas. Así mismo, el Cuadro 4 muestra que hubo un porcentaje de viabilidad muy bajo (16-35 %) para los sustratos 1 al 4 en comparación en sustrato testigo (

Figura 1a) el cual presentó una viabilidad de 69 %. Esta diferencia se podría asociar a la baja disponibilidad de Ca en S1 y S2 (Cuadro 3), los cuales son un componente importante de los sustratos 1 al 4 (Cuadro 1). Las concentraciones bajas de Ca pueden ocasionar clorosis en las hojas, ausencia de florecimiento y descomposición de la raíz (Gribble, et al., 2002; Tsukagoshi y Shinohara, 2016). Por lo anterior, se concluye que los referidos sustratos no permitieron un desarrollo saludable de la gipsofila, y por tal razón no se recomienda su uso para propagar esta especie.

Pruebas de fitotoxicidad en lechuga y tomate. Los resultados de la prueba de fitotoxicidad en lechuga indican que entre los sustratos no existió una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de germinación (Cuadro 5). Por otra parte, los sustratos del tomate tuvieron efectos significativos y diferenciadores entre los grupos ($P \leq 0,05$).

En el mismo cuadro se observa que solo los sustratos 10 y 12 presentaron efectos en el porcentaje de germinación de la lechuga en comparación con los demás sustratos. No hubo diferencias entre el resto de los tratamientos. Este resultado permite afirmar que, en las condiciones estudiadas, la germinación no es una función proporcional a la concentración del sustrato, sino que probablemente se promueve por las propiedades fisicoquímicas de la mezcla.

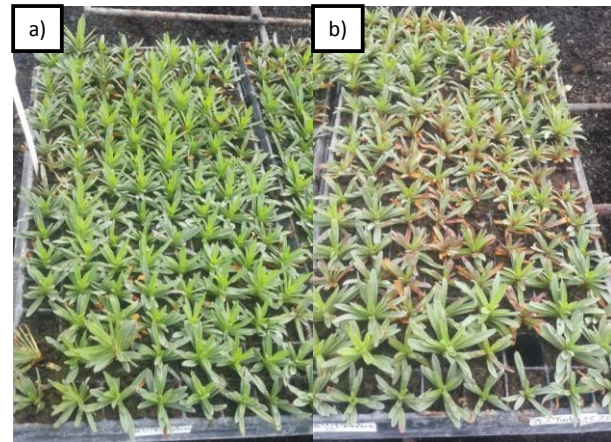


Figura 1. Efecto foliar de los sustratos en el enraizamiento de gipsofila (*Gypsophila paniculata*). a) Sustrato testigo b) Sustratos 1 al 4.

Prueba de viabilidad y crecimiento en lechuga y tomate. Los resultados del ensayo de viabilidad y crecimiento de lechuga indicaron que los sustratos compuestos por S2 producen una menor peso de biomasa en el mismo periodo de tiempo. Este desarrollo foliar prematuro (plántulas de menor biomasa), comparado con el peso alcanzado por las especies plantadas en sustratos testigo dio como resultado un bajo porcentaje de viabilidad (Cuadro 5), lo cual pudiera esperarse en función de la composición química del sustrato (Cuadro 3).

Se encontró menor peso de la biomasa total y de la raíz ($P \leq 0,05$) en los sustratos 6 al 8 (que contenían S2) con respecto a los sustratos 9 al 11 (que contenían cascarilla) y el testigo. Sin embargo, no se observaron cambios en la coloración de las hojas o de las raíces por lo que no se asoció a ningún efecto tóxico en la planta sino a un retraso en el desarrollo foliar y un menor

desarrollo de las raíces.

Cuadro 5. Pruebas de fitotoxicidad (n=30) así como viabilidad y crecimiento (n=90) en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*)

Especie	Sustrato ^Z	Germinación (fitotoxicidad)	Enraizamiento		Viabilidad	
		(%)	Longitud raíz (cm)	Peso raíz (mg)	Peso biomasa (mg)	(%)
Lechuga	6	60 a	60,98 a	12,64 ab	58,68 a	44 a
	7	67 a	67,37 a	10,73 a	36,26 ab	0 b
	8	63 a	65,42 a	7,01 d	23,90 b	0 b
	9	53 a	54,49 a	15,05 ab	97,87 c	76 c
	10*	80 b	53,70 a	16,83 be	96,57 c	81 c
	11	63 a	53,70 a	19,40 e	106,94 c	83 c
	12	83 b	58,82 a	18,76 e	111,08 c	89 c
	Agua	57 a	-	-	-	-
Tomate	6	96 a	36,3 a	<1 a	5,09 a	0 ± 0 a
	7	90 a	35,76 a	<1 a	3,86 a	0 ± 0a
	8	93 a	30,34 a	<1 a	3,71 a	0 ± 0a
	9	87 a	70,11 b	16,46 b	43,01 b	89 ± 9b
	10	93 a	75,68 bc	12,46 b	39,92 b	86 ± 14b
	11	93a	89,3 b	12,78 b	31,50 b	84 ± 9b
	12	83 a	71,81 bc	15,97 b	65,97 c	94 ± 3b
	Agua	93 a	-	-	-	-

^ZSustratos identificados en el Cuadro 1

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba DMS ($P \leq 0,05$)

Los resultados de los análisis químicos (Cuadro 3) indican que, en promedio, los sustratos 6 al 8 presentaron menos fósforo que el testigo (turba), mientras que los sustratos 9 al 11 presentaron mayor concentración de este nutriente. Esta diferencia probablemente ocasionó que los sustratos 6 al 8 retrasaran el crecimiento de la lechuga y produjeran menos biomasa total (Cuadro 5) dada la importancia del fósforo en la fotosíntesis, la respiración y el desarrollo de las raíces (Kano, et al., 2012).

En el caso del tomate, al finalizar el ensayo, planta de tomate fue viable cuando la semilla se sembró en los sustratos 6-8 (Cuadro 5), indicando que el sustrato inhibió el crecimiento de la planta y solo permitió el desarrollo de los cotiledones pues las hojas verdaderas solo se desarrollaron parcialmente en el sustrato 6. Por otra parte, en los sustratos 9 al 11, las plantas presentaron una viabilidad superior al 80 % y en el sustrato 12 superior al 90 %. La comparación de los resultados del ensayo de viabilidad demostró que para ambos cultivos los sustratos 9 al 12 presentaron un porcentaje de supervivencia de plantas mayor que en los sustratos 6 al 8.

El Cuadro 5 muestra una clara distinción en el crecimiento de la planta de tomate en los sustratos con o sin presencia de la cascarilla. Uno de los efectos más significativos se produjo en los sustratos sin cascarilla, donde la raíz mostró un peso muy pequeño (menor a 1 mg por planta); este efecto se podría atribuir a la falta de fósforo y/o calcio como ha sido demostrado en otros estudios (Kano et al., 2012; Tsukagoshi y Shinohara, 2016).

CONCLUSIONES

El sustrato 2, una mezcla de residuos de empaque, residuos de fruta y cascarilla de arroz es un potencial sustituto para la escoria de carbón utilizada actualmente en Colombia para el enraizamiento de clavel, por lo que cuenta con un alto potencial en el mercado colombiano. Por otra parte, los demás sustratos elaborados a partir de residuos de empaques y fruta (sustratos 2 al 4 y 6 al 8) inhiben el desarrollo adecuado de las especies lechuga, tomate, gipsofila y clavel, por lo que, a pesar de tener propiedades hidráulicas ajustadas para su aplicación como sustratos, no

son apropiados para la propagación de las especies evaluadas. Los sustratos 5 (75 % de cascarilla de arroz/25 % de escoria) y 12 (turba rubia) usados como testigos en las pruebas podrían utilizarse como sustratos de comparación para futuros ensayos de validación, pues se encuentran ampliamente documentados y presentaron resultados positivos en todos los ensayos.

LITERATURA CITADA

1. Agehara, S. y D. Warncke. 2005. Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1844-1855.
2. Altieri, R., A. Esposito y G. Baruzzi. 2010. Use of olive mill waste mix as peat surrogate in substrate for strawberry soilless cultivation. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64(7): 670-675.
3. Arcos, B., O. Benavides y M. Rodríguez. 2011. Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca sativa* L.) *Revista de Ciencias Agrícolas* (2): 95-108.
4. Baena Aristizábal, Y. 2011. Estudio fisico-químico de la liberación del diclofenac a partir de complejos polielectrolitofármaco. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/4363/1/192818.2011.pdf> (consulta del 10/10/2018)
5. Baracaldo Argüello, A., A. Ibagué Ovalle, V. Flórez Roncancio y B. Chaves Cordoba. 2010. Crecimiento en clavel estándar en suelo y en sustratos. *Bragantia* 69(1): 1-8.
6. Bernal, M.P. y A. Roig. 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology* 83(2): 81-87.
7. Blažka, P. y Z. Fischer. 2014. Moisture, Water Holding, Drying and Wetting in Forest Soils. *Open Journal of Soil Science* 4(5): 174-184.
8. Bracho, J., F. Pierre y A. Quiroz. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 21(2): 117-124.
9. Burnett, S., N. Mattson y K. Williams. 2016. Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. *Scientia Horticulturae* 208: 111-119.
10. Businelli, D., R. D'Amato, A. Onofri, E. Tedeschini y F. Tei. 2015. Se-enrichment of cucumber (*Cucumis sativus* L.), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L. Karst) through fortification in pre-transplanting. *Scientia Horticulturae* 197: 697-704.
11. Cheimona, N., C. Angeli, E. Panagiotou, A. Tzanidaki, C. Drontza, I. Travlos, y D. Bilalis. 2016. Effect of different types of fertilization on weed flora in processed tomato crop. *Agriculture and Agricultural Science Procedia Journal* 10: 26-31.
12. Cruz C., J. M., J. M. Álvarez S., M. D. J. Soria F. y C. Martínez B. 2016. Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. *Rev. Cien. Téc. Agropec.* 25: 44-49.
13. Cui, Z., F. Zhang, X. Chen, Y. Miao, J. Li, L. Shi, et al. 2008. On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil Nmin test. *Field Crops Research* 105(1-2): 48-55.
14. FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO, Producción y Protección Vegetal 90: 344.
15. Gayosso-Rodríguez, S., E. Villanueva-Couoh, M. Estrada-Botello y R. Garruña. 2018. Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro* 30(3): 179-190.
16. Gribble, K., J. Conroy, P. Holford y P. Milham. 2002. In vitro uptake of minerals by *Gypsophila paniculata* and hybrid eucalypts, and relevance to media mineral formulation. *Australian Journal of Botany* 50(6): 713-723.
17. Handreck, K. y N. Black. 2002. Growing Media for Ornamental Plants and Turf. UNSW Press. Sydney, Australia. 551 p.
18. Hernández, T., C. Chocano, J. Moreno y C. García. 2016. Use of compost as an alternative

- to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops- Effects on soil and plant. *Soil and Tillage Research* 160: 14-22.
19. Igathinathane, C., L. Pordesimo y W. Batchelor. 2009. Major orthogonal dimensions measurement of food grains by machine vision using ImageJ. *Food Research International* 42(1): 76-84.
 20. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2012. Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas Medidas para la temporada invernal. Bogotá. 44 p.
 21. Jackson, B., R. Wright y M. Barnes. 2008. Pine tree substrate, nitrogen rate, particle size, and peat amendment affect poinsettia growth and substrate physical properties. *HortScience* 43(7): 2155-2161.
 22. Kano, C., A. Cardoso y R. Boas. 2012. Phosphorus rates on yield and quality of lettuce seeds. *Horticultura Brasileira* 30(4): 695-698.
 23. Llorach-Massana, P., P. Muñoz, M. Riera, X. Gabarrell, J. Rieradevall, J. Montero y G. Villalba. 2017. N₂O emissions from protected soilless crops for more precise food and urban agriculture life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* 149: 1118-1126.
 24. Lourdes Hernandez, A., A. Gasco, J. Gasco y F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* 96(1): 125-131.
 25. Miner, J.A. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Mundiprensa Libros S.A. España. 172 p.
 26. Moreno, J.L. 2002. La materia orgánica en los agrosistemas: aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 293 p.
 27. Nazir, S., A. Younis, A. Riaz, A. Akram, N. Khan, U. Tariq, y M. Nadeem. 2017. Nutritional efficacy of various growing substrates for potted *Ravenea rivularis* palm production. *Pakistan Journal of Nutrition* 16(5): 331-340.
 28. Panwar, J., N. Jain, A. Bhargava, M. Akhtar y Y. Yun. 2012. Positive effect of Zinc Oxide nanoparticles on tomato plants: A step Towards developing. Bits Digital Archive. International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT). Biological Sciences. Penang, Malaysia.
 29. Quesada, G., y C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 171-183.
 30. Quintero, M. F., J. Guzmán, y J. Valenzuela. 2012. Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6(1): 76-87.
 31. Raviv, M., J. Lieth, A. Bar-Tal y A. Silber. 2008. Growing Plants in Soilless Culture: Operational Conclusions. *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science. Amsterdam.
 32. Rinaldi, S., B. De Lucia, L. Salvati, E. Rea, B. De Lucia, L. Salvati y E. Rea. 2014. Understanding complexity in the response of ornamental rosemary to different substrates: A multivariate analysis. *Scientia Horticulturae* 176: 218-224.
 33. Rodríguez Macías, R., E. Alcantar González, I. Covarrubias Gilberto, F. Zamora Natera, P. García López, M. Ruiz López et al. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35(7): 515-520.
 34. Sahin, S. y S. Sumnu. 2009. *Advances in Deep-Fat Frying of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL.
 35. Torres, A.P., D. Camberato, R. Lopez y M. Mickelbart. 2001. Produccion Comercial de Cultivos Bajo Invernadero y Vivero Medición de pH y Conductividad Eléctrica en Sustratos. Leaflet HO-237-SW. Purdue University. West Lafayette, IN, USA. 6 p.
 36. Tsukagoshi, S. y Y. Shinohara. 2016. Nutrition and nutrient uptake in soilless culture systems. *In: T. Kozai et al. (eds.). Plant Factory*. Academic Press. New York. pp. 165-172.
 37. Wei, H., B. Guenet, S. Vicca, N. Nunan, H. Asard, H. Abdelgawad et al. 2014. High clay content accelerates the decomposition of fresh organic matter in artificial soils. *Soil Biology*

and Biochemistry 77: 100-108.

38. Zamora Morales, B.P., P. Sánchez García, V. Volke Haller, D. Espinosa Victoria y A. Galvis Spínola. 2005. Formulación de mezclas de

sustratos mediante programación lineal. Interciencia 30(6): 365-369.