

Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.)

Evaluation of alternative substrates for growing the mini carnation (*Dianthus caryophyllus* L.)

MARÍA FERNANDA QUINTERO C.^{1, 3}
JOSÉ MIGUEL GUZMÁN P.¹
JUAN LUIS VALENZUELA²

Flor de miniclavel.
Foto: M.F. Quintero C.



RESUMEN

Desde la década de 1990 los cultivos de clavel en la Sabana de Bogotá se realizan en sustratos diferentes al suelo. El sustrato más utilizado es la cascarilla de arroz tostada pero, por la contaminación ambiental que genera su quemado, el riesgo de escasez y el aumento en su costo; se están buscando alternativas. En este artículo se compararon cuatro materiales que podrían servir como sustratos alternativos a la cascarilla de arroz tostada: cascarilla de arroz cruda y esterilizada, fibra de coco y escorias de carbón. Se determinaron, a lo largo de un año de cultivo, las propiedades físicoquímicas de los sustratos, la productividad de las plantas, el peso de ramos, el análisis de tejido vegetal y el porcentaje de plantas muertas por *Fusarium oxysporum*. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados lo que sugiere diferencias en el manejo durante el cultivo. El sustrato que presentó mayor productividad fue la fibra de coco, seguido de la cascarilla de arroz tostada, aunque no se encontraron diferencias en cuanto al peso de los ramos. La incidencia de *Fusarium* originó una mayor mortalidad de las plantas cultivadas sobre cascarilla de arroz cruda, seguido de la cascarilla de arroz tostada, aunque esta sigue constituyendo una alternativa sanitaria y de productividad viable para la producción de miniclavel, los resultados muestran ventajas en algunos materiales estudiados y que se podrían mejorar las características si se realizan mezclas adecuadas de los mismos, pero debe continuarse en la búsqueda de sustratos alternativos para este importante cultivo.

Palabras clave adicionales: cascarilla de arroz, fibra de coco, escoria de carbón, ornamentales.

¹ Departamento de Producción Vegetal, Campus de Excelencia Internacional ceiA3, Universidad de Almería, Almería (España).

² Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Campus de Excelencia Internacional ceiA3, Universidad de Almería, Almería (España).

³ Autor para correspondencia. mfquinteroc@unal.edu.co

ABSTRACT

Since 1990, carnation crops have been carried out on substrates other than soil on Bogotá Plateau. Usually, burnt rice husk is the most widely used substrate but environmental pollution due to burning, availability and raised costs are reasons to seek alternatives. This article compares four substrates that could be used as an alternative to burnt rice husk: raw rice husk, sterilized raw husk, coconut fiber and coal slag. Physico-chemical characteristics of the substrates, productivity of the crops, bunch weight, macro and micronutrient foliar content and percentage of dead plants due to *Fusarium oxysporum* were determined over one year. The data show significant differences between the assessed substrates, which means that management is different. Coconut fiber obtained the highest productivity followed by burnt rice husk. *Fusarium* wilt had a higher incidence in plants grown in raw rice husk, followed by burnt rice husk. Although burnt rice husk is still an alternative for mini carnation crops, the data show advantages in some of the studied materials that could improve results if suitable mixtures of these materials are used, however the search for alternative substrates for this crop should continue.

Additional keywords: rice husk, coconut fiber, coal slag, ornamental.

Fecha de recepción: 16-04-2012

Aprobado para publicación: 29-05-2012

INTRODUCCIÓN

Desde hace 40 años los mayores productores de flor de corte a nivel mundial son Kenia y Colombia. La ubicación de Colombia en la zona ecuatorial, con ausencia de estaciones climáticas marcadas, ofrece condiciones adecuadas para producir flores de corte durante todo el año de forma rentable, ya que no es necesario utilizar sistemas de control climático (calentar o enfriar estructuras de protección). Los rayos del sol caen perpendiculares, lo que se traduce en una intensidad lumínica alta, bajo la cual se producen flores de buen tamaño, colores intensos y alta calidad.

En Colombia hay unas 7.500 ha dedicadas a la producción de flores de corte, de las que 76% se ubican en la Sabana de Bogotá a 2.500-2.650 msnm. Asocolflores (2011) indica que en el año 2010 las exportaciones de flor cortada alcanzaron los US\$120 millones, de estos datos colocan a Colombia en el segundo lugar entre los países exportadores. La floricultura representa el 14%

del PIB de Cundinamarca, el 4% del PIB agrícola nacional, y es el primer renglón de exportación agrícola no tradicional. El cultivo de rosas constituye el 33% de la producción total mientras que el clavel estándar y el miniclavel suponen el 18% (Parrado y Leiva, 2011). En miniclavel se destaca por su importancia económica el cultivar Ronny, al ser prácticamente el único color rojo que se cultiva actualmente.

La incidencia cada vez mayor de *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* (FOD) en los cultivos ha originado que más del 70% de la producción de clavel y miniclavel se obtenga mediante cultivo sin suelo, como alternativa económicamente viable para el control de este patógeno que es el más importante en los cultivos de flores de todo el mundo (Pizano, 2001; Prados-Ligero *et al.*, 2007). Como sustrato de cultivo se utiliza la cascarilla de arroz, directamente, o tras sufrir un proceso de descomposición o quemado. La cascarilla de arroz tostada es considerada un buen material

en su uso como sustrato (Papafotiou *et al.*, 2001), ya sea sola o mezclada con otros subproductos o compost (Guerrini y Trigueiro, 2004; Yahya *et al.*, 2009). Este material da como resultado un sustrato económico, comparado con turba, lana de roca o perlita y disponible, por ser un subproducto de la industria arrocera (Quintero *et al.*, 2006a). A pesar de estas ventajas, y de ser el sustrato más comúnmente utilizado en Colombia, su manejo resulta complicado ya que no se conoce lo suficiente sobre como varían sus propiedades a lo largo del ciclo de cultivo de clavel, en las condiciones de la Sabana de Bogotá. No obstante ya se están realizando investigaciones enfocadas a la mejora del manejo de este sustrato (Quintero *et al.*, 2006b; Quintero *et al.*, 2012).

En Colombia se utiliza la cascarilla de diferentes maneras: cruda, semitostada, con diferentes porcentajes de tostado. También se puede reutilizar la cascarilla tostada que ya ha salido de las camas de cultivo, tras un proceso de esterilización. Adicionalmente existen métodos que buscan mejorar las propiedades de este material, en Corea del Sur se obtiene cascarilla expandida al someter a la misma a alta temperatura y presión para hacer que explote o se expanda (Quintero *et al.*, 2012).

La fibra de coco (FC) comenzó en 2003 a abrirse paso entre los sustratos comerciales para el cultivo de plantas hortícolas y ornamentales en Colombia (Arias, 2003). Es un sustrato que presenta una buena capacidad de amortiguamiento térmico, superior a otros sustratos como perlita o lana de roca. Esta propiedad resulta útil para sustratos que se utilizan en ambientes con temperaturas extremas, además, presenta una alta capacidad de retención hídrica, lo que es útil para reducir la frecuencia de riego, tiene una densidad aparente baja, lo que favorece la instalación y manejo, sobre todo si se compara con escoria de carbón (Quintero *et al.*, 2011b). La FC tiene una durabilidad, que puede alcanzar hasta ocho años, sin embargo, en Colombia resulta costosa porque hay que importarla o transportarla desde las zonas costeras donde existen plantaciones de coco.

La utilización de cascarilla de arroz tostada como sustrato para el cultivo de clavel se ve amenazada debido a los requerimientos ambientales y sociales exigidos por los estándares de certificación para la exportación de flores. Además, el proceso de quemado de la cascarilla está muy cuestionado debido a la contaminación que genera (Flórez *et al.*, 2006). Si a todo esto se le añaden eventos fortuitos, como las copiosas lluvias ocurridas durante el primer semestre de 2011, que provocaron problemas de comunicación entre la zona productora de arroz y la Sabana de Bogotá, o dificultades durante el tostado de la cascarilla demasiado húmeda, se pueden producir carencias en la oferta de cascarilla de arroz. Por último, la producción de arroz puede verse amenazada, en Colombia, por la baja competitividad de este cereal. Ante este panorama los productores están siempre a la búsqueda de sustratos sustitutos de la cascarilla de arroz tostada que sean económicos, ambientalmente respetuosos y que presenten una baja incidencia de plagas y enfermedades.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento físicoquímico de diferentes sustratos de cultivo que puedan resultar alternativos a la cascarilla de arroz quemada para un cultivo de miniclavel cv. Ronny.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas de miniclavel var. Ronny (*Dianthus caryophyllus* L.) fueron cultivadas sobre cinco sustratos diferentes: cascarilla de arroz tostada al 80% (CAT), cascarilla de arroz cruda (CAC), cascarilla de arroz expandida (CAE), fibra de coco (FC) y escoria de carbón (EC). Para cada sustrato se realizaron seis repeticiones compuestas por una cama de 30,0 × 0,9 m y 888 plantas/cama, cada cama contó con dos líneas de goteros de 1 L h⁻¹ situados a 20 cm. Se dispuso de una válvula y una unidad de inyección de fertilizante independiente con el objeto de poder adecuar las dotaciones y frecuencias de riego a cada sustrato. El cultivo se

llevó a cabo en un invernadero convencional de madera-plástico tipo capilla en la Sabana de Bogotá a 5°6'02,23" N, 73°54'35,68" W.

La fertirrigación se realizó siguiendo los criterios convencionales en un cultivo comercial, aplicándose una fórmula de fertilización productiva, todos los días, desde la siembra hasta el final del cultivo (N: 150, P: 30, K: 130 Ca: 120, Mg: 40, Fe: 3, Cu: 0,5, Zn: 0,5, B: 2 Mo: 0,1 mg L⁻¹). Con riegos de entre 100 a 120 L d⁻¹ por cama y entre 3 y 4 pulsos, dependiendo de las condiciones climáticas. Adicionalmente durante las primeras 16 semanas se aplicó tres veces por semana un riego adicional con una fórmula para la fase vegetativa.

Análisis físicos de los sustratos. Desde el inicio del cultivo cada 10 semanas se determinaron los siguientes parámetros: pH determinado con extracto saturado de agua mediante un potenciómetro (Metrohm 691), conductividad eléctrica (CE) determinada mediante un conductímetro (Metrohm 660) en el extracto saturado, capacidad de intercambio catiónico (CIC) se analizó en un extracto de acetato de amonio 1 N a pH 7 y determinada mediante espectrofotometría de absorción atómica (Silver, 2009). La porosidad total (PT) y densidad aparente (DA) fueron determinadas aplicando la metodología propuesta por Atiyeh *et al.* (2001) y modificada por Chávez *et al.* (2008) y aplicando las ecuaciones propuestas por Inbar *et al.* (1993).

Análisis morfológicos. Desde el inicio de la producción de flores, diariamente se contabilizó el número de flores. En las semanas pico de producción (semanas 24 a 28) se pesaron los ramos obtenidos de cada tratamiento (ramos de 10 tallos florales). Además se analizó la incidencia de *Fusarium oxysporum* (FOD) por conteo del número de plantas muertas en cada sustrato.

Análisis de material vegetal. Plantas completamente desarrolladas y con los botones florales en estado "garbanzo o más pequeño que rayan-

do color" fueron analizadas en las semanas 18, 24 y 41 de cultivo. Las muestras foliares se recolectaron del tercer o cuarto par de hojas hacia abajo del botón floral, para las determinaciones analíticas se utilizaron los métodos descritos por Franco (2011). Estos métodos son comúnmente utilizados en Colombia: espectrometría de absorción atómica para Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, y Zn, colorimetría para P, turbidimetría para S y método micro Kjeldahl para N.

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño en bloques, con seis repeticiones, para el tratamiento de los datos se hizo un análisis de varianza que determinó diferencias significativas para los factores y tratamientos; se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey ($P \leq 0,05$). Todos los análisis estadísticos y las correlaciones se llevaron a cabo utilizando el paquete de *software* Statgraphics Centurión™ XVI (StatPoint Technologies, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físicos de los sustratos

La tabla 1 muestra las propiedades físicas de los diferentes sustratos utilizados, tanto al inicio, como tras 50 semanas de cultivo. Al inicio del cultivo la densidad aparente (DA) presentó diferencias significativas entre los distintos sustratos. Todos los sustratos presentaron una DA menor que 0,2 a excepción de la EC que presentó un valor alto (0,5 g mL⁻¹). Estas diferencias en DA son muy importantes para el diseño del contenedor, pues las diferencias en DA requerirá diferentes condiciones de resistencia mecánica en las estructuras de las camas de cultivo. Si bien se produce un incremento de DA al final del cultivo en todos los sustratos, este solo es estadísticamente significativo para CAT (aumentando 0,05 g mL⁻¹). Este incremento es usual para este tipo de sustrato y ha sido observado en otros trabajos (Quintero *et al.*, 2009; Yahya *et al.*, 2009) y sugiere la compactación del sustrato a medida

que transcurre el cultivo, este fenómeno de compactación debería tenerse en cuenta en el diseño de los contenedores o camas de cultivo. Los cambios en DA además pueden afectar negativamente a otras propiedades físicas del sustrato y por tanto condicionar la gestión de la fertirrigación (Chávez *et al.*, 2008; Quintero *et al.*, 2012).

La porosidad total (PT) inicial de todos los sustratos empleados fue superior al 85%, a excepción de la EC que presentó un valor del 82% (tabla 1). Abad *et al.* (2002) establecieron que esta propiedad debería estar por encima del 85% por lo que son cuatro los sustratos que cumplen con esta condición y pueden ser considerados como de alta porosidad. La PT disminuyó a medida que el cultivo se desarrolló, aunque solo se presentaron diferencias significativas entre el inicio y final del cultivo en CAT y EC, la PT disminuye de forma notoria en la EC, del 82% al 74% tras 50 semanas. Estos datos indican que las partículas de los materiales ensayados sufren una acomodación inherente a su naturaleza y, posiblemente, debido a que en los primeros estados de desarrollo se aplicó una mayor cantidad de agua, se favoreció un lavado de las partículas finas y, por ende, su acomodación en los espacios de los meso y los macroporos (Papafotiou y Vagena, 2012). Los valores de la porosidad total obtenida se ubicaron dentro de

los valores adecuados para cultivos de flores de corte (Quintero *et al.*, 2011b), aunque hay que indicar que se observa una influencia entre el tiempo de cultivo y la naturaleza del sustrato, así Domeño *et al.* (2009, 2010), indicaron que la PT en la FC disminuyó después de 6 meses de soportar un cultivo de tomate, en cambio en esta experiencia no se encontraron diferencias significativas en la FC, posiblemente debido al manejo del cultivo. Del mismo modo, Quintero *et al.* (2012) indican que la PT disminuyó un 13% para la CAT tras 100 semanas de un cultivo de clavel cv. Nelson y miniclavel cv. Ronny. En esta experiencia la disminución de la PT en el sustrato CAT fue menor debido a que la duración del experimento fue la mitad.

Para la capacidad de intercambio catiónico se encontraron tres grupos homogéneos: una baja CIC para la EC (3,3 cmol⁺ kg⁻¹) una elevada CIC para la FC (41 cmol⁺ kg⁻¹), y una intermedia entre ambos materiales donde se ubican las cascarillas, cruda, expandida y tostada con una CIC entre 20-25 cmol⁺ kg⁻¹ (tabla 1). Estos datos reflejan diferencias que deben condicionar el manejo de los sustratos. La EC se comporta como un material inerte y sin actividad química que no presenta una fertilidad potencial para el cultivo. Este material se debe fertilizar frecuentemente y no permite fallos en la programación o en el sistema

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de sustratos evaluados para miniclavel.

Sustrato	Densidad aparente (g mL ⁻¹)		Porosidad total (% v/v)		CIC (cmol ⁺ kg ⁻¹)		pH		CE (mS cm ⁻¹)	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
CAT	0,13 ab	0,19 ab	94 b	89 b	23 b	21 c	6,7 b	6,4 a	1,2 ab	1,1 b
CAC	0,14 ab	0,15 ab	91 ab	91 bc	21 b	18 b	6,3 b	6,4 a	0,3 a	0,9 ab
CAE	0,19 b	0,19 ab	88 b	89 b	22 b	21 c	6,6 b	6,3 a	1,3 ab	1,1 b
FC	0,09 a	0,11 a	95 b	93 c	41 c	58 d	5,8 ab	6,5 a	0,3 a	0,8 ab
EC	0,50 c	0,54 c	82 a	74 a	3,3 a	4,6 a	5,5 a	6,7 a	2,5 b	0,7

CAT: cascarilla de arroz tostada, CAC: cascarilla de arroz cruda, CAE: cascarilla de arroz expandida, FC: fibra de coco, EC: escoria de carbón.

Promedios con negrilla indican diferencias significativas entre inicio y fin del parámetro según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

de fertirriego. Las cascarillas (cruda, expandida y tostada) son materiales de origen orgánico, con interacción química intermedia. Las cascarillas presentan contenidos de K elevados debido a que el cultivo de arroz es exigente en este elemento. Los contenidos de K junto al valor medio de CIC hace que este material requiera una enmienda para equilibrar el contenido de Ca y Mg (Quintero *et al.*, 2011a). Por último la FC presentó una CIC que podría considerarse tan elevada como la de un suelo arcilloso. La evolución temporal de la CIC (tabla 1), mostró un incremento significativo para FC (41 a 58 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) y EC ($3,3$ a $4,6$ $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) y un descenso para las cascarillas (entre 2 y 3 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) que solo es significativo en la CAC (de 21 a 18 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$). El incremento en la EC puede deberse a la presencia de raíces en el sustrato y a la aplicación de fertirriego, mientras que la FC, es debido a la naturaleza orgánica y a la dinámica de descomposición de este tipo de material.

El pH inicial puede considerarse bajo para la EC ($5,5$), y FC ($5,8$) y adecuado para las cascarillas ($6,3$ a $6,7$). No se detectaron diferencias significativas en el pH final de los materiales estudiados, lo que significa que el manejo del fertirriego fue adecuado y que estos tipos de materiales presentaron una buena capacidad tampón. El pH bajo de la EC y de la FC está lejos del que debe tener un sustrato ideal. Este pH bajo favorece la aparición de *Fusarium* (Borrero *et al.*, 2009), por lo que se aplicó una enmienda para corregirlo y a las 50 semanas de cultivo el pH fue diferente del inicial y se situó en $6,7$ para la EC y $6,4$ para la FC. A las cascarillas de arroz también se les aplicó enmienda con el objetivo de balancear las bases, al cabo de las 50 semanas se encontró el pH $6,3$ y $6,4$ y solo es diferente del inicial para CAT. A pesar del adecuado pH presentado al final y de las enmiendas realizadas para corregir el pH, el porcentaje de plantas muertas fue muy diferente entre los sustratos (tabla 2) por lo que debió influir algún otro factor en la mortalidad de plantas, además de este parámetro físico químico.

La conductividad eléctrica inicial de los sustratos depende de los procesos de acondicionamiento sufridos por cada material. Tanto CAC como FC son sometidos a un proceso de lavado, por lo que es lógico que presentaran una conductividad eléctrica inicial más baja que el resto ($0,3$ mS cm^{-1}). También varía con la naturaleza de los materiales, las cascarillas de arroz no lavadas (CAT y CAE) presentaron valores iniciales entre $1,2$ y $1,3$ mS cm^{-1} mientras que la EC presentó valores iniciales que pueden considerarse elevados ($2,5$ mS cm^{-1}). En cualquier caso son valores que según Abad *et al.* (2002) pueden considerarse adecuados, teniendo en cuenta que además el clavel es un cultivo tolerante a la salinidad y hasta CE de $4,8$ mS cm^{-1} la productividad no se ve merma (Baas *et al.*, 1995).

Análisis morfológicos

La tabla 2 muestra la productividad del cultivo en los diferentes materiales utilizados como sustrato. La CAC fue el sustrato que produjo el menor número de flores por planta y la FC fue el más productivo pues llegó a alcanzar hasta 16 flores/planta. Entre ambos se sitúan las producciones de CAE (13 flores/planta), EC (13,5 flores/planta) y CAT (14,6 flores/planta). La productividad obtenida en el ensayo fue un poco superior a la media de la Sabana de Bogotá (10 a 13 flores/planta), debido posiblemente a las buenas condiciones en las que se desarrolló el experimento.

El peso de los ramos (10 flores) de miniclavel es un indicativo de la calidad de las flores. No se encontraron diferencias significativas con respecto a este parámetro y los pesos medios obtenidos variaron entre 260 g para la EC y 287 g para la CAT. El peso de los ramos está dentro de la media de la zona y con los parámetros en los que se desarrolló el cultivo y la comparación con otros trabajos es difícil, pues en el peso del ramo influye notablemente la longitud del tallo de la flor que está condicionada por el mercado de destino. Así Baas *et al.* (1995) obtuvieron valores más al-

Tabla 2. Productividad, muerte por *Fusarium* y costo de sustratos evaluados en miniclavel.

Sustrato	Producción (flores/planta)	Peso ramo (g)	Mortalidad (%)	Costo sustrato (US\$/m ³)
CAT	14,6 c	287	9,2 c	12,8 ab
CAC	12 a	276	11,4 d	11,1 a
CAE	13 b	275	6,5 b	15,6 b
FC	16 d	283	4,6 a	110,0 c
EC	13,5 b	260	5,7 ab	16,7 b

CAT: cascarilla de arroz tostada, CAC: cascarilla de arroz cruda, CAE: cascarilla de arroz expandida, FC: fibra de coco, EC: escoria de carbón. Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

tos, incluso con plantas sometidas a CE elevada, y se debió fundamentalmente al tamaño del tallo floral.

El principal problema del cultivo de clavel y miniclavel es la muerte de plantas, que generalmente se presenta por la marchitez vascular originada por FOD, por este motivo, el conteo porcentual de plantas muertas es una rutina en la producción comercial. Se encontraron diferencias significativas para los diferentes sustratos utilizados en esta experiencia, siendo la CAC donde murieron el mayor número de plantas, mientras que FC y EC presentaron un menor porcentaje de plantas muertas (4,6% y 5,7%, respectivamente). Los resultados de FC difieren de los obtenidos por otros autores en ciclamen (O'Neill y Finlay, 1996), tomate (Borrero *et al.*, 2006) o clavel (Borrero *et al.*, 2009). En este experimento, el pH fue corregido mediante enmienda, por lo que las diferencias en la incidencia de la fusariosis entre los diferentes sustratos pudieron deberse a otros factores. Entre las posibles causas de las diferencias encontradas podemos señalar por un lado, y asociada con el pH del sustrato, la disponibilidad de Cu, Fe, P o Mg que son importantes para el crecimiento, la esporulación y la virulencia de *F. oxysporum* (Jones *et al.*, 1993). Y por otro lado, las poblaciones de actinomicetes y otra microbiota, que se ven favorecidas con pH altos y otros factores abióticos como el origen y naturaleza del sustrato (Jones *et al.*, 1993; Alabouvette *et al.*,

1996), sin olvidar factores bióticos como el tipo de flora microbiana que pueda establecerse en un sustrato determinado (Weller *et al.*, 2002).

La infraestructura de las camas de cultivo fue la misma para todos los tratamientos para evitar introducir una variable adicional. El parámetro que se determinó como diferencial entre los sustratos fue el precio del mismo. Es en este factor donde nuevamente se encuentran diferencias importantes y así, mientras la CAC y la CAT costaron entre US\$11 y 13/m³, la CAE y la EC costaron US\$15,6 y 16,7, respectivamente. La FC, de origen nacional, costó casi 10 veces más que la cascarilla tostada (US\$110). Aunque este tratamiento presentó mayor productividad y menor porcentaje de plantas muertas, su costo puede afectar a la rentabilidad del cultivo, por lo que actualmente no puede considerarse como una alternativa económicamente viable para este cultivo.

Análisis de material vegetal

Se encontraron diferencias significativas en el contenido foliar de todos los elementos, tanto para los diferentes materiales utilizados como sustrato, como para los diferentes estados de crecimiento considerados. Para la mayoría de los elementos analizados las diferencias encontradas responden en mayor medida al material original que al tratamiento sufrido por este.

Así encontramos que los sustratos compuestos por cascarilla de arroz se comportan como un grupo homogéneo para los contenidos foliares de N, P, Zn, Cu, B y Na. Los contenidos foliares en N, Zn, Cu y Mg eran menores, mientras que se encontraron mayores contenidos en P, B y Mg e intermedios para Na, cuando se utilizó como sustrato materiales procedentes de cascarilla de arroz que con FC o EC. Posiblemente los tratamientos de tostado o expandido facilitan la descomposición de la cascarilla y aumentan la disponibilidad de los nutrientes N y P. Los procesos a los que se somete la cascarilla de arroz, influyen en la absorción de Mg por parte de las plantas, así su tostado incrementa la absorción, mientras que los procesos de expansión la disminuyen. El hecho de que las cascarillas de arroz tengan un alto contenido en Mn, hace que no sea necesaria la fertilización con este elemento. Los datos obtenidos nos indicarían que el proceso de tostado disminuye la disponibilidad y la asimilación de Mn, mientras

que el de expansión parece aumentarla. Pero no solo influyen los procesos a los que son sometidas la cascarilla; Quintero *et al.* (2011a) encontraron que el comportamiento de los sustratos varía en función del tiempo de cultivo, encontrándose variaciones en la disponibilidad de los nutrientes durante el ciclo de cultivo. La tabla 3 muestra el contenido foliar de macronutrientes y la tabla 4 la de los micronutrientes para los diferentes materiales usados como sustratos.

Nitrógeno: el contenido foliar de N varió entre 2,84 para CAC y 2,93 para EC, encontrándose estas cifras dentro de las consideradas como óptimas (Winsor y Adams, 1987; Ortega, 1997). Hasta la semana 50 del cultivo el contenido foliar de N disminuyó, pero fue en el sustrato FC donde la disminución fue mayor, por lo que es recomendable el monitoreo del contenido en N de manera más exhaustiva para este sustrato o de las mezclas en las que participe.

Tabla 3. Niveles foliares de macro elementos (%) evaluados en miniclavel en diferentes sustratos.

Sustrato	N	P	K	Ca	Mg	Na	S
CAT	2,85 a	0,194 b	2,59 e	2,48 c	0,68 c	0,19 b	0,15 a
CAC	2,84 a	0,192 b	2,45 d	2,52 d	0,65 b	0,19 b	0,18 d
CAE	2,86 a	0,193 b	2,21 b	2,39 b	0,62 a	0,19 b	0,19 e
FC	2,92 b	0,175 a	2,34 c	2,26 a	0,73 e	0,17 a	0,17 c
EC	2,93 b	0,198 c	2,09 a	2,49 cd	0,70 d	0,22 d	0,17 b

CAT: cascarilla de arroz tostada, CAC: cascarilla de arroz cruda, CAE: cascarilla de arroz expandida, FC: fibra de coco, EC: escoria de carbón. Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tabla 4. Niveles foliares de microelementos (mg kg⁻¹) evaluados en miniclavel en diferentes sustratos.

Sustrato	Fe	Mn	Zn	Cu	B
CAT	44 b	131 c	71 a	9 a	102 b
CAC	43 a	151 d	74 a	7 a	100 b
CAE	54 e	168 e	73 a	7 a	93 b
FC	49 c	52 b	83 b	12 b	84 a
EC	51 d	44 a	90 c	12 b	109 c

CAT: cascarilla de arroz tostada, CAC: cascarilla de arroz cruda, CAE: cascarilla de arroz expandida, FC: fibra de coco, EC: escoria de carbón. Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fósforo: se ha reportado un contenido adecuado de P en el tejido foliar de entre 0,25% y 0,35% o 0,2% y 0,35% (Winsor y Adams, 1987; Ortega, 1997). Se encontró que este contenido varió entre 0,175 FC a 0,198 EC, nivel un poco más bajo al reportado, sin embargo, cabe aclarar que estos niveles de referencia son para clavel estándar. El comportamiento del contenido foliar de P durante el periodo estudiado indica que el sustrato con mayores posibilidades de presentar deficiencias de P es la fibra de coco, sobre todo en los estados iniciales de desarrollo.

Potasio: su deficiencia se manifiesta por manchas necróticas en el ápice y en los márgenes de las hojas medias y superiores, tallos delgados y cortos, hojas angostas, botones pequeños, pérdida de calidad y color de la flor (Winsor y Adams, 1987). Estos investigadores reportan un contenido adecuado de K entre 2,0% y 6,3% y Ortega (1997) indica como óptimo el 4%. En esta investigación se encontró que el K varió entre 2,09 a 2,60 el cual se ajusta al reportado. El sustrato que se correlaciona con los menores contenidos foliares en K es la escoria de carbón por lo que presenta mayores posibilidades de ser deficitario, sobre todo en el primer pico de producción.

Calcio: un contenido adecuado puede oscilar entre 1,4% y 2,0% o 1,0% y 2,0% (Winsor y Adams, 1987; Ortega, 1997). Se encontró que el contenido de Ca varió entre 2,26 a 2,52, nivel superior al reportado. La forma más común de deficiencia, Winsor y Adams (1987) describen que la punta de la hoja se dobla en un ángulo de 90° “uña de gato” o “aguja crochet”. Los mayores valores en el contenido foliar de Ca se encontraron en el primer pico de cosecha para los sustratos de cascarilla de arroz cruda y tostada, y los menores para la fibra de coco.

Magnesio: un contenido adecuado de Mg está entre 0,40% y 0,60% o 0,2% y 0,5% (Winsor y Adams, 1987; Ortega, 1997, respectivamente), aquí se encontró que varió de 0,62 a 0,73 niveles ligeramente más altos a los reportados. Los sus-

tratos que se correlacionan con mayor concentración foliar son la fibra de coco y la escoria de carbón, presentando las menores concentraciones los cultivos establecidos sobre cascarilla de arroz cruda.

Sodio: se encontró que varió entre 0,17% y 0,22%, no es un nivel alto, esto se puede deber a que en esta finca se reutilizan los drenajes y esto hace que se acumulen iones como Na y Cl. Los mayores valores foliares se encontraron en claveles cultivados sobre escoria de carbón (que son más elevados durante las etapas iniciales del ciclo) y los menores en cultivos sobre fibra de coco, lo que sin duda está reaccionado con el origen de los mismos.

Azufre: se encontró que varió entre 0,15 y 0,19. Los menores valores de S se encuentran en las plantas crecidas sobre cascarilla tostada y los mayores sobre cascarillas cruda y expandida, lo que indica que los tratamientos de tostado y expansión modifican la forma en que la cascarilla pone a disposición de la planta el S.

Hierro: se ha reportado que los síntomas visuales de deficiencia de Fe han sido difíciles de inducir en diferentes ensayos, sin embargo se ha reportado como bandas cloróticas intervenales a lo largo del follaje joven (Winsor y Adams, 1987). Un contenido adecuado de Fe en el tejido foliar es de 50 a 150 mg kg⁻¹. Ortega (1997) indica un nivel óptimo de 100 mg kg⁻¹ y se encontró un rango entre 43 a 54 mg kg⁻¹. Los valores menores se encuentran en cultivos sobre CAC y CAT, mientras que los mayores aparecen en CAE. Esto hace pensar que el proceso de expansión tiene efecto positivo sobre la disponibilidad de Fe en el sustrato. Los mayores valores de concentración de Fe se alcanzan tras el primer pico de producción y sus valores son mayores en cascarilla expandida y fibra de coco.

Manganeso: la cascarilla de arroz tostada presenta buenos contenidos de este elemento. Las necesidades del clavel son relativamente bajas comparados con otros cultivos. Por el contrario,

el clavel se puede considerar susceptible al exceso de Mn debido a la esterilización con vapor de las mezclas de sustratos, pH bajo, exceso de humedad en suelo/sustrato. El contenido de Mn es de entre 70 y 230 o 100 y 300 mg kg⁻¹ (Winsor y Adams, 1987; Ortega 1997). Se encuentran diferencias significativas para este elemento entre los diferentes materiales utilizados. Los contenidos de Mn variaron entre 44 para EC y 168 mg kg⁻¹ en CAE. Los mayores contenidos foliares se encuentran durante el primer pico y el valle posterior para las plantas crecidas en cascarilla cruda y expandida, respectivamente.

Cobre: los síntomas de deficiencia de Cu se manifiestan porque los tallos se vuelven tan débiles y delgados que no son capaces de soportar el peso de las flores. Un contenido adecuado de Cu es de entre 10 y 20 o 8 y 30 mg kg⁻¹, respectivamente (Winsor y Adams, 1987; Ortega, 1997). Aquí los contenidos variaron entre 7 a 12 mg kg⁻¹. Los menores valores encontrados en los cultivos se obtuvieron en claveles cultivados en CAC y CAE. Los mayores valores se obtienen en los cultivados sobre FC en el primer pico de producción.

Zinc: ensayos en los que se excluye el Zn muestran que ocurre una reducción en el rendimiento y hojas pequeñas y entrenudos cortos (Winsor y Adams, 1987). Un contenido adecuado de Zn en el tejido foliar es de entre 25 y 100 mg kg⁻¹. Se encontró que varió entre 71 para CAT y 90 mg kg⁻¹ para EC. Los menores valores foliares se obtienen en cultivos realizados sobre cascarilla. Esto junto con los mayores valores foliares de Mn encontrados se recomienda un sistema de diag-

nóstico basado en la relación Mn/Zn para estos sustratos. Los mayores valores se encuentran en los estadios iniciales del cultivo para los cultivos basados en EC, y en los finales para los que se realizan sobre FC, por lo que hay que prestar especial atención a los sustratos que incluyan estos materiales en sus mezclas.

Boro: la deficiencia de B fue descrita por Winsor y Adams (1987) como un problema de ocurrencia común en todas las áreas productoras de clavel en el mundo. Un contenido adecuado de B en el tejido foliar es de entre 70 y 120 mg kg⁻¹. En esta investigación se encontró que varió entre 84 y 109 mg kg⁻¹. Valores altos de este elemento durante los picos de producción pueden requerir de acciones correctoras para mejorar la calidad del clavel. Los sustratos que presentan menores valores foliares en los cultivos son la CAE y la FC, por lo que podrían incluirse en mezclas de sustratos para evitar la incidencia de fisiopatías durante la floración.

CONCLUSIONES

El sustrato cascarilla de arroz tostada al 80% sigue constituyendo una alternativa sanitaria, de productividad y económicamente viable para la producción de miniclavel, aunque otros sustratos ofrezcan una mayor productividad, no constituyen actualmente una alternativa debido a su costo, por tanto se debe continuar en la búsqueda de materiales para el cultivo de clavel y en la realización de mezclas de diferentes materiales, de propiedades conocidas, que aporten ventajas en el manejo, la producción y la calidad de las flores de clavel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, M., P. Noguera, R. Puchades, A. Maquieira y V. Noguera. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresour. Technol.* 82(38), 241-245.

Alabouvette, C., H. Hoepfer, P. Lemanceau y C. Steinberg. 1996. Soil suppressiveness to diseases induced by soilborne plant pathogens. pp. 371-413. En: Stotzky, G. y J.M. Bollag (eds.). *Soil biochemistry*. Vol. 9. Marcel Dekker, New York, NY.

- Arias, M.D. 2003. Utilización agrícola de los derivados del mesocarpio del coco. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Asocolflores (Asociación Colombiana de Exportadores de Flores) 2011. Hoja de datos de la floricultura colombiana 2010. En: www.asocolflores.org; consulta: abril de 2012.
- Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, S. Subler y J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresour. Technol.* 78, 11-20.
- Baas, R., H.M.C. Nijssen, T.J.M. Van den Berg y M.G. Warmenhoven. 1995. Yield and quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) and gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) in a closed nutrient system as affected by sodium chloride. *Sci. Hort.* 61(3-4), 273-284.
- Borrero, C., J. Ordovas, M.I. Trillas y M. Avilés. 2006. Tomato *Fusarium* wilt suppressiveness: The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog (R). *Soil Biol. Biochem.* 38, 1631-1637.
- Borrero, C., I. Trillas y M. Avilés. 2009. Carnation *Fusarium* wilt suppression in four composts. *Eur. J. Plant Pathol.* 123(4), 425-433.
- Chávez, W., A. Di Benedetto, G. Civeira y R. Lavado. 2008. Alternative soilless media for growing *Petunia x hybrida* and *impatiens wallerana*: physical behavior, effect of fertilization and nitrate losses. *Bioresour. Technol.* 99, 8082-8087.
- Domeño, I., N. Irigoyen y J. Muro. 2009. Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. *Sci. Hortic.* 122, 269-274.
- Domeño, I., I. Irigoyen y J. Muro. 2010. New wood fibre substrates characterization and evaluation in hydroponic tomato culture. *Eur. J. Hortic. Sci.* 75, 89-94.
- Flórez R., V., P.R. Parra, S.M. Rodríguez y C.D. Nieto. 2006. Producción más limpia de rosa y clavel con dos técnicas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá. pp. 3-40. En: Flórez R., V.J., A.C. Fernández M., D. Miranda L., B. Chávez C., J.M. Guzmán P. (eds.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Franco, J.J. 2011. Diagnóstico nutricional con análisis de tejido vegetal. pp. 27-42. En: Flórez R., V.J. (ed.). Avances sobre fisiología de la producción de flores de corte en Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Guerrini, I.A. y R.M. Trigueiro. 2004. Physical and chemical attributes of substrates composed of biosolids and carbonized rice chaff. *R. Bras. Ci. Solo* 28, 1069-1076.
- Inbar, Y., Y. Hadar y Y. Chen. 1993. Recycling of cattle manure - the composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.* 22, 857-863.
- Jones, J.P., A.W. Engelhard y S.S. Woltz. 1993. Management of *Fusarium* wilt of vegetables and ornamentals by macro-and microelement nutrition. pp. 18-32. En: Engelhard, W.A. (ed.). Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro-and microelements. The American Phytopathological Society, St Paul, MN.
- O'Neill, T.M. y A.R. Finlay. 1996. Suppressive effect of some growing medium amendments on cyclamen *Fusarium* wilt. pp. 679-686. En: Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases. Brighton, UK.
- Ortega, D.F. 1997. Fertirrigación en cultivos de flores. pp. 136-147. En: Silva, F. (ed.). Fertirrigación. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- Papafotiou, M., J. Chronopoulos, G. Kargas, M. Voreakou, N. Leodaritis, O. Lagogiani y S. Gazi. 2001. Cotton gin trash compost and rice hulls as growing medium components for ornamentals. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76, 431-435.
- Papafotiou, M. y A. Vagena. 2012. Cotton gin trash compost in the substrate reduce the daminozide spray dose needed to produce compact potted chrysanthemum. *Sci. Hortic.* 143, 102-108.
- Parrado, C.A. y F.R. Leiva. 2011. Huella de carbono (HC) en cadenas de suministro de flores de corte colombianas, rosas y claveles, para mercados internacionales. *Rev. Asocolflores* 77, 26-33.
- Pizano, M. 2001. Floriculture and environment - growing flowers without methyl bromide. European Network of Environmental Professionals (ENEP); Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), Paris.
- Prados-Ligero, A.M., M.J. Basallote-Ureba, C.J. López-Herrera y J.M. Melero-Vara. 2007. Evaluation of susceptibility of carnation cultivars to *Fusarium* wilt and determination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* races in southwest Spain. *HortScience* 42, 596-599.
- Quintero, M.F., C.A. González y V.J. Flórez-Roncancio. 2006a. Evaluación de las características hidro-

- físicas de los sustratos cascarilla de arroz quemada, fibra de coco y sus mezclas. pp. 451-462. En: Flórez R., V.J., A.C. Fernández M., D. Miranda L., B. Chávez C., J.M. Guzmán P. (eds.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Quintero, M.F., C.A. González y V.J. Flórez-Roncancio. 2006b. Physical and hydraulic properties of four substrates used in the cut-flower industry in Colombia. *Acta Hort.* 718, 499-506.
- Quintero, M.F., C.A. González-Murillo, V.J. Flórez y J.M. Guzmán. 2009. Physical evaluation of four substrates for cut-rose crops. *Acta Hort.* 843, 349-358.
- Quintero, M.F., M.R. Melgarejo, D.F. Ortega, J.L. Valenzuela y M. Guzmán. 2011a. Temporal physico-chemical variations in burnt rice husk: improvement of fertigation protocols in carnation crops. *J. Food Agric. Environ.* 9(3/4), 727-732.
- Quintero, M.F., C.A. González y J.M. Guzmán. 2011b. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. pp. 79-108. En: Flórez R., V.J. (ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Quintero, M.F., D. Ortega, J.L. Valenzuela y J.M. Guzmán. 2012. Variation of hydro-physical properties of burnt rice husk used for carnation crops: improvement of fertigation criteria. *Sci. Hortic.* (en imprenta).
- Silver, W. 2009. Cation exchange capacity. pp. 2-5. En: *Edaphology*. ESPM, Berkeley, CA.
- StatPoint Technologies. 2010. Statistical graphics plus for Window 5.1. Warrenton, VA.
- Weller, D.M., J.M. Raaijmakers, B.B. McSpadden Gardner y L.S. Thomashow. 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 309-348.
- Winsor, G. y P. Adams. 1987. Glasshouse crops. En: Robinson, J.B.D. (ed.). *Diagnosis of mineral disorders in plants*. Vol. 3. Her Majesty's Stationery Office, Londres.
- Yahya, A., S. Anieza, B. Rosli y L. Ahmad. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of celosia cristata. *Amer. J. Agric. Biol. Sci.* 4, 63-71.