

Comportamiento de Variables Químicas en un Sistema de Cultivo sin Suelo para Clavel en la Sabana de Bogotá

Behavior of Chemical Variables in a Soilless Crop System for Carnation in the Bogota Plateau

Nohora Astrid Vélez Carvajal¹; Víctor Julio Flórez Roncancio² y Andrés Felipe Flórez Rivera³

Resumen. Para optimizar el manejo del fertirriego en los cultivos en sustrato es indispensable conocer la actividad de las variables químicas de la solución y de los sustratos. El objetivo del presente estudio fue determinar el comportamiento de pH, CE, CIC y relación C:N de tres sustratos a base de cascarilla de arroz y fibra de coco; y pH y CE en los drenajes, en un sistema de cultivo con tres porcentajes de recirculación en diferentes estadios de desarrollo de plantas de clavel estándar cv. Delphi. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones, en parcelas divididas. Se observó que el pH del lixiviado tiende a disminuir hacia el final y en los sustratos el valor de esta variable se mantuvo constante durante el periodo estudiado, aunque aumenta en la medida que se incrementa el porcentaje de cascarilla de arroz quemada (CAQ). La CE fue significativamente mayor cuando se recircula el 100% de los lixiviados y en los tratamientos con menor contenido de CAQ; mientras que en los sustratos, fue significativamente menor donde había mayor contenido de fibra de coco (FC). La CIC fue significativamente mayor en los sustratos con mayores porcentajes de FC; sin embargo, la relación C:N tendió a presentar valores mayores en el sustrato con mayor contenido de CAQ.

Palabras clave: Sustratos orgánicos, variables de fertirriego, sistemas de recirculación, flor de corte.

Summary. To optimize the management of fertigation in the soilless crops is essential to know the activity of chemical variables of the solution, and of the substrates. The aim of this study was to determine the behavior of pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC) and carbon nitrogen ratio (C:N) in three substrates base on burned rice husk and coconut fiber; and pH and CE in the drainage, in a soilless system to carnation crop cv. Delphi, with three recycling percentages and in different phenological developmental stages. The trial was carried out with three different substrates base on burned rice husk (BRH) and coconut fiber (CF). A randomized complete block experimental design in a split plot with nine treatments and three replications was used. The pH leachate tends to decrease towards the end of the crop, and in substrates this variable was kept constant over the period, although increases along with BRH percentages. The EC was significantly higher with 100% of recirculated leachate and in treatments with lower BRH content; unexpected, EC in substrates was significantly lower in treatments with more CF. On the other hand, CEC was significantly higher in substrates with higher CF percentages. However, contrary to literature, the C:N tended to show higher values in the substrate with higher BRH content.

Key words: Organic substrates, variables of fertigation, recycling systems, cut flowers.

Desde un punto de vista práctico, para Abad *et al.* (2005), los cultivos sin suelo (CSS) pueden clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con CIC).

El CSS puede ser un sistema abierto a solución perdida (no recirculante), como el que comúnmente se usa en la sabana de Bogotá para el cultivo de clavel; o un sistema cerrado, con recirculación de la solución nutritiva, como lo describen Marfà *et al.* (2000).

Arreaza (2000) y Meneses (2004) resaltan que en un cultivo de clavel en sustratos es adecuado obtener lixiviados en un rango entre el 5% y el 20% de

volumen aplicado; sin embargo, para las condiciones mediterráneas descritas por Lorenzo *et al.* (1993) es necesario utilizar una fracción de lavado entre 20 y 50%, para mantener un nivel aceptable de CE en la solución del sustrato.

La adopción de técnicas de CSS con recirculación admite la supresión total o parcial del vertimiento de lixiviados al medio; por lo tanto, permiten un ahorro de fertilizantes y de agua respecto a las técnicas de CSS sin recirculación (Marfà *et al.*, 2006). La FAO (2003) considera el uso de sistemas cerrados una Buena Práctica Agrícola (BPA), debido a que la solución de nutrientes es almacenada, tratada y reutilizada; reduciendo la contaminación del suelo y de fuentes de agua.

¹ Ingeniera Agrícola. Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá - Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera 30 No. 45-03, Bogotá, Colombia. <navelezc@unal.edu.co>

² Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá - Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera 30 No. 45-03, Bogotá, Colombia. <vjflorezr@unal.edu.co>.

³ Estadístico. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <afflorezr@unal.edu.co>

Recibido: Abril 05 de 2013; aceptado: Enero 08 de 2014.

La operatividad de un sistema de CSS con recirculación en buena parte está condicionada por la calidad del agua de riego (salinidad y composición iónica) (Bar-Yosef, 2008); así, cuando la CE es menor de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ la recirculación total no suele presentar ningún problema, empieza a ser limitante cuando la CE es superior a 1 dS m^{-1} . Sin embargo, Bar-Yosef *et al.* (2001) establecieron que aun utilizando aguas con un contenido de sales (incluyendo sodio y cloruro) relativamente elevado, un CSS con recirculación permite disminuir significativamente el consumo de fertilizantes y la contaminación ambiental.

Parte de los problemas agronómicos en los CSS cerrados se derivan de la progresiva alteración de la composición de la solución nutritiva original, principalmente por la acumulación de ciertos iones como cloruro, sodio y sulfatos (Marfà *et al.*, 2006) lo cual modifica el pH afectando la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales en las plantas (Ehret *et al.*, 2005).

Cuando no se dispone de agua de suficiente calidad sólo es posible realizar una recirculación parcial, desechándose el lixiviado almacenado una vez se supera una determinada concentración de iones no deseables (CIW y CUWVO, 1996) o cuando se excede un determinado nivel de sales disueltas. En CSS donde se utilizan sustratos de naturaleza orgánica, química y biológicamente activos, la solución nutritiva interacciona fuertemente con el sustrato y no es tan sencilla la incorporación de la recirculación al sistema de cultivo (Marfà *et al.*, 2006).

La cascarilla de arroz como sustrato se caracteriza por una baja tasa de descomposición debido a su alto contenido de sílice (12 a 16%); baja densidad aparente ($0,09$ a $0,22 \text{ g m}^{-3}$ de masa seca); buen drenaje y, en consecuencia, buena aireación y permeabilidad elevada; pH neutro, CE y CIC bajas; es un material rico en potasio, fósforo y pobre en nitrógeno. Sus principales limitantes son la baja retención de humedad inicial y dificultad de conservación de la humectabilidad (Calderón, 2002; Burés, 1997).

La fibra de coco tiene una relación C:N de 80, pH entre 4 y 7, y CE entre 1 y 6 dS m^{-1} . El contenido de materia orgánica es de 92%, la CIC entre 50 y 90 meq/100 g, porosidad total de 92%, densidad aparente de $0,06 \text{ g cm}^{-3}$ (Alarcón y Urrestarazu, 2006) y conductividad hidráulica elevada (Burés, 1997).

La relación entre el pH y el nivel de alcalinidad del agua presentará un efecto más significativo sobre el control

del pH en la solución del suelo o sustrato. La alcalinidad se expresa típicamente en unidades de concentración de equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3) en mg L^{-1} ó meq L^{-1} ($1 \text{ meq L}^{-1} = 50,04 \text{ mg L}^{-1}$). La alcalinidad también se puede reportar como la concentración (en mg L^{-1}) del ion bicarbonato HCO_3^- , lo cual es aceptable para aguas de riego con pH menor a 8,5. El rango de concentraciones de 1 a $2,5 \text{ meq L}^{-1}$ sería el nivel de alcalinidad más adecuado para plantas ornamentales (Cabrera, 2011).

Cuando la absorción de amonio excede la absorción de nitrato, disminuye el pH de la solución del suelo; y, viceversa (Fageira, 2009), de tal forma que la absorción de los iones nitrato y amonio puede cambiar el pH de la rizosfera hasta en dos unidades de mayor o menor, comparada con la de un suelo a granel (Mengel *et al.*, 2001).

Los materiales orgánicos poseen mayor capacidad tampón (en un amplio intervalo de pH) que los sustratos minerales (Abad *et al.*, 2005). La capacidad de amortiguación de las soluciones nutritivas utilizadas es muy pequeña (Sonneveld, 2002, citado por Sonneveld y Voogt, 2009). La concentración de sales totales disueltas en agua o salinidad también afecta directamente el crecimiento y la calidad de las plantas debido a toxicidades específicas de iones o al causar desequilibrios nutricionales. Estos efectos están en función de la concentración y del tipo de sales, así como de la sensibilidad de los cultivos. En particular las plantas ornamentales leñosas tienden a ser afectadas por la salinidad, aun a niveles considerados bajos o moderados para otras especies (Cabrera, 2011).

Se considera que valores de CE, medidos en el extracto de saturación, superiores a $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ son excesivos para la mayor parte de las especies cultivadas; también se resalta que la acumulación salina de un sustrato guarda relación con su CIC y con el manejo de fertirrigación (Martínez y Roca, 2011). La CE de las soluciones nutritivas que se usan en fertirriego de rosas típicamente se aproxima a 2 dS m^{-1} (Cabrera, 2006) y el proceso de absorción selectiva de nutrientes por la raíz contribuye aún más a la concentración de sales solubles en la zona radical (Cabrera *et al.*, 1993; Marschner, 1995). Esta condición se agrava cuando se usan aguas de mala calidad, prácticas de lixiviado mínimas y cuando se recirculan soluciones lixiviadas o drenadas (Raviv *et al.*, 1998).

En el cultivo hidropónico es deseable una CIC nula o muy reducida, dado que por la escasa retención

de agua, el riego se aplica con mucha frecuencia y los nutrientes siempre se encuentran disponibles; razón por la cual no es conveniente alterar los equilibrios iónicos de la solución nutriente y tampoco es necesario utilizar las reservas de nutrientes en el sustrato, que dificultarían las posibilidades de control de la nutrición, e incluso podrían producir acumulaciones peligrosas de cationes no absorbidos por la planta pero presentes en el agua, por ejemplo el sodio (Martínez y Roca, 2011).

El cultivo en sustrato orgánico puede verse limitado en la disponibilidad de nitrógeno y oxígeno debido a la competencia de las bacterias, por lo que la relación C: N permite apreciar el estado de degradación en el que se encuentra el material a emplear como sustrato y su estabilidad a lo largo del cultivo. Martínez y Roca (2011) consideran para el cultivo en sustrato orgánico como óptima una relación C:N inferior a 20 que indica que el material es estable; mientras que para Foth (1990), la relación C: N óptima varía entre 20 y 30.

Conocer el comportamiento de las variables químicas relevantes en el manejo de los sustratos de uso común en la floricultura colombiana permitirá ajustar las fórmulas de fertirriego y proponer la adopción de técnicas de recirculación de lixiviados, que mitiguen el impacto ambiental nocivo generado por el vertimiento de soluciones salinas al medio ambiente. En este contexto, este estudio evalúa el comportamiento de pH, CE, CIC y relación C:N de tres sustratos a base de cascarilla de arroz y fibra de coco, pH y CE en los drenajes, en un sistema de cultivo con tres porcentajes de recirculación en diferentes estadios de desarrollo de plantas de clavel estándar cv. Delphi.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro de Biotecnología Aplicada del SENA, ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, a 2.516 msnm, 74,2° W y 4,7° N, 13,1 °C de temperatura, 80,75 % de humedad relativa, 1.100 mm de precipitación anual, 4,6 h de brillo solar diario y 1,7 m s⁻¹ de velocidad del viento.

Se acondicionó un covertizo tradicional en madera con cuatro naves de 6,8 x 65 m cada una, con ventilación lateral y cenital pasiva. Se utilizó clavel estándar cv. Delphi sembrado en sustrato a una densidad de 24,3 plantas m², en camas suspendidas de 15 x 0,8 m. El sistema de fertirriego presurizado contó con goteros de 1,2 L h⁻¹ cada 20 cm. Se fertirrigó a través de un

sistema automático de recirculación de drenajes (SARD), según la metodología descrita en Cuervo *et al.* (2011). La dosificación utilizada en la fertilización durante la fase vegetativa incluyó: Ca y K (150 mg L⁻¹), N (200 mg L⁻¹), P (30 mg L⁻¹), Mg (60 mg L⁻¹), S (72 mg L⁻¹), Zn (0,5 mg L⁻¹), Fe (4 mg L⁻¹), Cu y B (1 mg L⁻¹), Mo (0,5 mg L⁻¹). La fase productiva utiliza la dosificación de fertilización usada en la fase vegetativa, únicamente incrementando la cantidad de: S (120 mg L⁻¹) y disminuyendo el N (150 mg L⁻¹).

Análisis de laboratorio. Los muestreos de sustratos de los tratamientos se realizaron tomando tres sub muestras de la cama, con el fin de obtener muestras homogéneas y representativas de 1 kg aproximadamente para los respectivos análisis. Las muestras para el análisis de lixiviados fueron recogidas en los canales de las camas de cada uno de los tratamientos; en recipientes plásticos. De estos drenajes, se tomó 1 L de cada tratamiento. Las muestras para los respectivos análisis de sustratos y lixiviados se hicieron en cada uno de los estadios fenológicos, considerando tres repeticiones.

En la Tabla 1 se presentan los análisis del agua del reservorio muestreada en cada uno de los estadios de desarrollo fenológico del estudio. Con esta agua de riego se prepararon las soluciones fertilizantes utilizadas durante el periodo de cultivo.

Los métodos empleados para la determinación de las variables en los sustratos, fueron: N, nitrógeno total por Micro-kjeldahl; pH, determinación en extracto de saturación (relación peso:volumen 1:5); CE, lectura a 25°C en extracto de saturación; carbono orgánico (CO) por Walkley-Black; CIC, por desplazamiento del NH₄ intercambiado con NaCl 1M, valoración volumétrica; C:N, estimación a partir del carbono orgánico oxidable total y el nitrógeno total. La lectura de pH y CE en los lixiviados se hizo a 25°C.

Tallos florales en estadios de desarrollo fenológico previamente definidos fueron seleccionados al azar, expresados en semanas después de siembra (SDS), para los muestreos respectivos: primer pico (27 SDS), valle (34 SDS), transición vegetativo - reproductivo (44 SDS), desbotone (48 SDS) y segundo pico (54 SDS).

Diseño experimental y muestreo. Los tratamientos evaluados fueron 35CAQ (35% cascarilla de arroz quemada - 65% fibra de coco), 65CAQ (65% cascarilla de arroz quemada - 35% fibra de coco) y 100CAQ

(100% cascarilla de arroz quemada). Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, en donde las parcelas principales fueron los porcentajes de recirculación (0, 50 y 100%) y las sub-parcelas los sustratos (100CAQ, 65CAQ y 35CAQ). La asignación a cada unidad experimental se realizó completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones,

para un total de 27 camas; la unidad experimental fue la cama de 15 m.

Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico SAS conforme al diseño experimental descrito, donde se analizó el efecto de la parcela completa (recirculación), la sub-parcela (sustratos) y la

Tabla 1. Análisis del agua de reservorio en cada estadio fenológico en el cultivo de clavel estándar cv. Delphi.

Variable	Unidades	Estadio				
		1er. pico	Valle	Transición	Desbotone	2do. pico
pH		6,44	6,66	6,62	6,59	6,39
OH		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₃	mg L ⁻¹ como CaCO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃		93,70	108,78	79,18	83,26	60,03
Cl		60,60	57,44	264,69	3,89	24,77
SO ₄		74,60	107,14	92,03	9,44	7,46
PO ₄		12,70	0,00	3,32	0,34	0,08
NO ₃		203,00	0,31	0,59	0,54	0,79
Ca	mg L ⁻¹	60,70	24,22	18,90	18,25	13,71
K		42,20	0,21	0,22	1,73	0,09
Mg		23,90	9,12	12,92	4,46	4,33
Na		52,10	62,73	44,10	49,25	42,29
NH ₄		0,34	1,37	0,22	0,50	0,07
CE	dS m ⁻¹	0,90	0,49	0,36	0,34	0,24
RAS	(meq L ⁻¹) ^{-1/2}	1,43	2,76	1,91	2,68	2,55

interacción entre los dos factores. En la presentación de promedios en las figuras se incluyó el valor del error estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pH del lixiviado. En los estadios "primer pico" de cosecha y "valle" entre picos los factores recirculación y sustratos presentaron efecto estadísticamente significativo sobre la variable. En función del factor porcentajes de recirculación (0, 50 y 100%), se observó en los estadios "primer pico" de cosecha y "valle" un valor de pH para 100R significativamente mayor a 0R (Tabla 2A). En función del factor sustratos, en los estadios "primer pico" y "valle" el valor del pH fue significativamente mayor en 100CAQ; y en los estadios "desbotone" y "segundo pico" la variable fue estadísticamente mayor en 35CAQ. Al observar el comportamiento de esta variable a lo largo del desarrollo del cultivo de manera independiente de

la recirculación y de los sustratos se constató que hacia el final del periodo estudiado se registra una disminución. En particular, el valor del pH del lixiviado tendió a disminuir en la medida que aumentó el porcentaje de CAQ en el sustrato (Tabla 2A). Según Arreaza (2000), para mantener el medio radicular dentro de un rango ligeramente ácido, situación que favorece la asimilación de los nutrientes, es recomendable que la solución fertilizante tenga un pH ácido (4,0 - 5,5), para así obtener una solución de lixiviados con pH mayor (6,5 a 7,2) y un pH del sustrato cascarilla entre 6,0 y 6,6. Los valores obtenidos en los lixiviados de este ensayo están alrededor de lo planteado por este autor.

Si en la solución fertilizante se tiene un pH por encima de 6,5 se forman precipitados, por ejemplo con pH superior a 7 se precipitan calcio y magnesio en forma de carbonatos y también decrece la disponibilidad de fósforo y de calcio (Bar-Yosef, 2008); también la

concentración de amonio disminuye mientras que la concentración de nitrato aumenta (De Rijck y Schrevens, 1999). En tanto que con un pH por debajo de cinco se puede deteriorar el sistema radical y presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio,

calcio y magnesio, entre otros (Abad *et al.*, 2005). Pese a que se obtuvo un pH de 7,1 en 100CAQ en el estadio "valle" entre picos y valores de pH inferiores a 5,0 en 100CAQ en el estadio "desbotone" y en 65CAQ y 100CAQ en el estadio "segundo pico", no

Tabla 2. Comportamiento del pH en función del factor recirculación y del factor sustrato, en diferentes estadios fenológicos de desarrollo en clavel estándar cv. Delphi: (A) en el lixiviado y (B) en el sustrato.

A - pH Lixiviado

		Estadios Fenológicos				
		1er. pico	Valle	Transición	Desbotone	2do. pico
Recirculación	0%	6,25 a	6,73 a	6,39 a	5,16 a	5,16 a
	50%	6,55 ab	6,86 ab	6,23 a	5,33 a	4,91 a
	100%	6,77 b	6,97 b	6,46 a	5,55 a	5,18 a
Sustrato	35CAQ	6,53 ab	6,67 a	6,41 a	5,84 a	5,52 a
	65CAQ	6,42 a	6,81 b	6,39 a	5,38 b	4,91 b
	100CAQ	6,63 b	7,09 c	6,29 a	4,83 c	4,81 b

B - pH Sustrato

		Estadios Fenológicos				
		1er. pico	Valle	Transición	Desbotone	2do. pico
Recirculación	0%	4,97 a	5,28 a	5,18 a	4,97 a	5,12 a
	50%	5,16 a	5,41 a	5,32 b	5,10 a	5,18 a
	100%	5,19 a	5,40 a	5,37 b	5,04 a	5,27a
Sustrato	35CAQ	5,01 a	5,30 a	5,21 a	4,92 a	5,00 a
	65CAQ	5,00 a	5,23 a	5,13 a	4,93 a	5,15 ab
	100CAQ	5,31 b	5,56 b	5,54 b	5,25 b	5,43 b

Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

se constataron en este ensayo los efectos descritos por estos autores.

Los valores obtenidos en los lixiviados mostraron un descenso en los últimos estadios fenológicos debido posiblemente a la relación de absorción de aniones y cationes; en razón a que un menor pH es debido

a una mayor absorción de cationes que de aniones (Gregory, 19992).

pH del sustrato. En ninguno de los estadios estudiados la interacción entre los factores fue significativa y el factor recirculación sólo presentó diferencia significativa en el estadio "transición" (Tabla 2B); mientras que, para

el factor sustratos, en todos los estadios se observó que a medida que aumenta el porcentaje de CAQ el valor del pH es significativamente mayor (Tabla 2B). Arreaza (2000) afirma que la CAQ posee una alta reactividad, con tendencia al rango básico, al menos durante el primer año de uso. Los rangos de pH obtenidos son óptimos para la absorción de nutrientes, ya que bajo un pH adecuado (inferior a 7,5) se asegura una mejor asimilación de nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes.

En el análisis del pH en los lixiviados y en el sustrato, el factor sustrato ejerció mayor efecto en la variación de esta variable (Tabla 2A y 2B). Durante el periodo estudiado se observó que el valor del pH en los sustratos fue constante (Tabla 2B), lo cual se podría atribuir a que los materiales orgánicos presentan

mayor capacidad tampón que los inorgánicos (Baixauli y Aguilar, 2002).

CE en el lixiviado. Cuando la CE se analizó en función de los porcentajes de recirculación se encontraron diferencias significativas para todos los estadios, excepto para "valle"; en los tres últimos estadios se observó que la CE fue significativamente mayor en 100R en comparación con los tratamientos sin recirculación (Figura 1A). En cultivos de rosas, Ehret *et al.* (2005) encontraron resultados similares; debido probablemente a una mayor demanda de agua que de los principales nutrientes; la concentración de los macronutrientes aumentó con la recirculación, lo que explicaría una CE más alta, mientras que la mayoría de los micronutrientes (B, Mn, Mo y Zn) disminuyeron. Cuando se analizó en función de los sustratos se observó una tendencia al incremento de

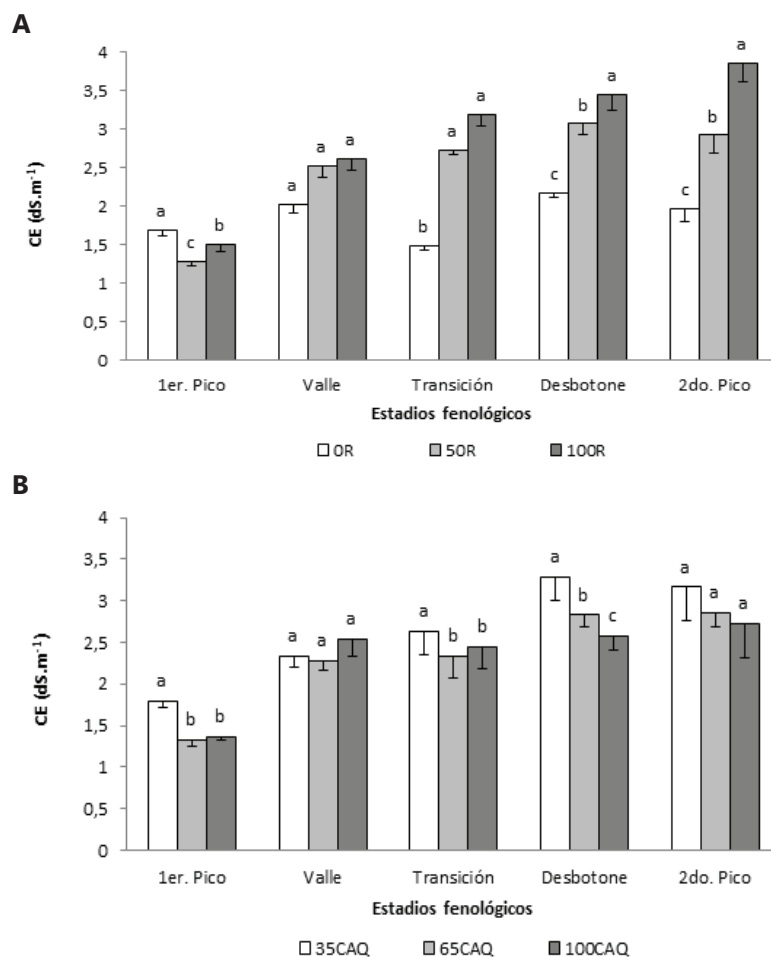


Figura 1. Comportamiento de la CE en el lixiviado: **(A)** en función del factor recirculación de forma independiente del sustrato, y en **(B)** del factor sustrato, en clavel estándar cv. Delphi. Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

la CE en la medida que avanzó el cultivo; en general, se encontró que la CE fue significativamente mayor en el tratamiento con mayor contenido de FC (Figura 1B).

CE en el sustrato. Aunque el valor de la CE en el sustrato en función de los porcentajes de recirculación no presentó diferencias significativas en ninguno de los estadios fenológicos estudiados, se observó una tendencia de menor CE en los tratamientos sin recirculación. Cuando la CE se analizó en función

de los sustratos se encontró que en 35CAQ era significativamente menor a 100CAQ, en todos los estadios en estudio (Figura 2). Este comportamiento difiere de lo reportado por la literatura, en sustratos con baja CIC se esperaría una CE baja (Martínez y Roca, 2011); es decir, que para sustratos con mayores porcentajes de FC, con valores típicamente más altos de CIC y CE (Burés, 1997), se esperaría que la CE fuese mayor que en sustratos a base de CAQ, los cuales tendrían menor CIC y CE (Calderón, 2002 y Burés, 1997).

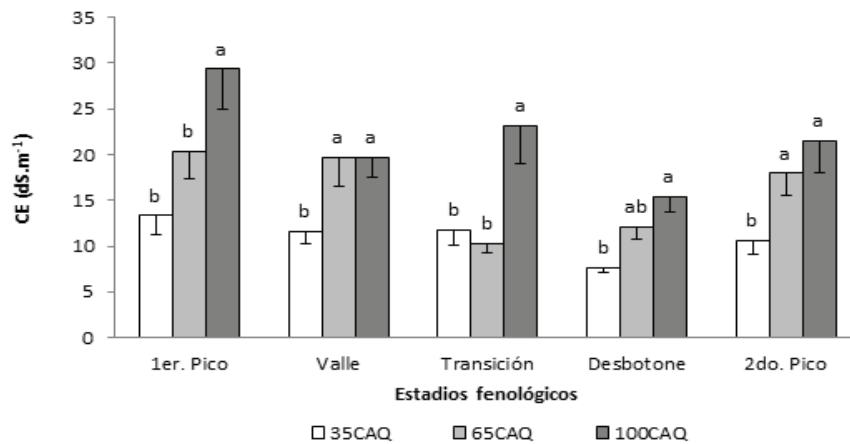


Figura 2. Comportamiento de la CE en el sustrato en función del factor sustrato, en clavel estándar cv. Delphi. Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Cuando la variable se analizó en función de los porcentajes de recirculación no se encontraron diferencias significativas, mientras que en función de los sustratos se observaron durante el periodo estudiado valores de CIC significativamente mayores en el tratamiento con mayor contenido de FC, intermedios para 65CAQ y valores menores en 100CAQ (Figura 3). La mayor CIC encontrada en el tratamiento con mayor contenido de FC coincide con Alvarado *et al.* (2010) para rosa cultivada en las mismas mezclas de sustratos, en sistema abierto. Para Kämpf (2005), el tamaño de las partículas afecta la CIC, cuanto menor la partícula mayor será la superficie efectiva, con más puntos de intercambio. Los valores obtenidos se encuentran en el rango reportado por Alarcón y Urrestarazu (2006) y bajos, menores a 75 meq 100 g⁻¹ (Martínez y Roca, 2011); cuanto mayor sea la CIC, con menor frecuencia será necesario aportar fertilizantes en el riego. Para los tratamientos con mayor contenido de CAQ los valores de CIC están de acuerdo con Calderón (2002) y Burés

(1997), quienes establecen que la CIC en este sustrato es baja. Ansorena (1994) recomienda que cuando se aplique de manera continua solución nutritiva se utilice sustratos con baja CIC.

Relación carbono / nitrógeno (C:N). El valor de la relación C:N en el sustrato sólo presentó diferencias significativas en función de los sustratos en el primero y último de los cinco estadios fenológicos estudiados (Figura 4); la variable fue significativamente mayor en el tratamiento con mayor contenido de CAQ; contradiciendo lo planteado por Burés (1997), quien afirma que materiales que tienen carbono formando parte de compuestos resistentes como la lignina, permiten relaciones C:N más elevadas; en este caso la CAQ tiene 22,8% de lignina y 39% de celulosa (Valverde *et al.*, 2007), mientras que la FC tiene entre 37,2 a 43,9% de lignina y 31,5 a 37% de celulosa (Corradini *et al.*, 2009). Los valores obtenidos en este ensayo fueron inferiores a los reportados en la literatura para FC sin usar: C:N entre 80 (Burés, 1997) y 100 (Alarcón y

Urrestarazu, 2006). Los sustratos aún serían inestables (Martínez y Roca, 2011), debido a que presentan valores de C:N mayores a 20; sin embargo, para Bunt

(1976), citado por Lemaire (1997), la relación C:N no es suficiente para considerar a un material orgánico como estabilizado y es necesario considerar formas

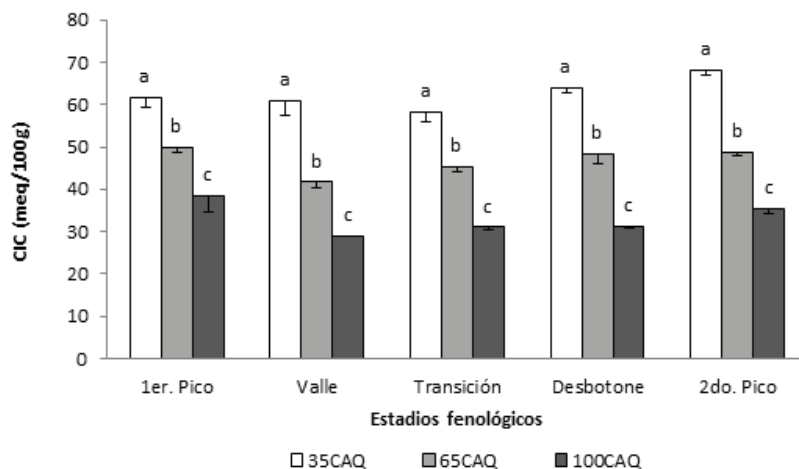


Figura 3. Comportamiento de la CIC en el sustrato en función del factor sustrato, en clavel estándar cv. Delphi. Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

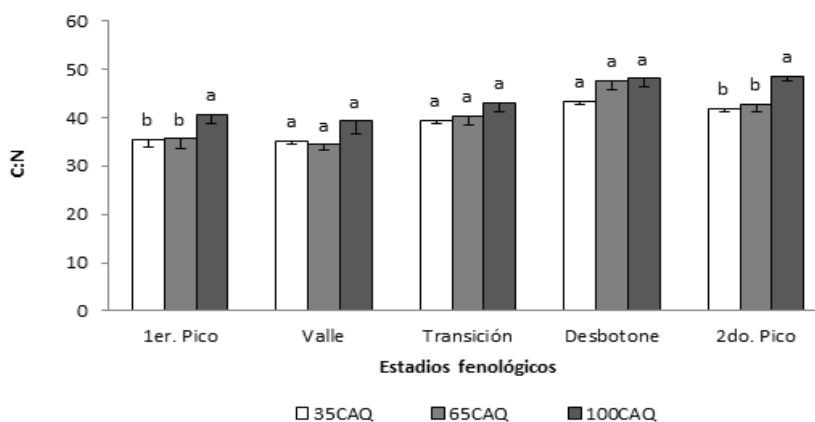


Figura 4. Comportamiento de la C:N en el sustrato en función del factor sustrato, en clavel estándar cv. Delphi. Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

bioquímicas de carbono en los materiales de materia orgánica con alto contenido de lignina que tienen una mayor bioestabilidad que aquellos con hemicelulosa y celulosa.

CONCLUSIONES

En la medida en que aumenta el porcentaje de CAQ en los sustratos también aumenta el valor del pH,

aunque el valor de esta variable se mantiene constante durante el periodo estudiado. La CE del lixiviado es influenciada por la recirculación y por los sustratos; siendo significativamente mayor cuando se recircula el 100% de los lixiviados y en los tratamientos con menor contenido de CAQ; sin embargo, contrario a lo esperado, la CE en los sustratos fue significativamente menor en el que tenía mayor contenido de FC. La CIC y la relación C:N sólo fueron influenciadas por

el factor sustrato, obteniéndose valores de CIC significativamente mayores a medida que aumentó el porcentaje de FC y la C:N tendió a valores mayores en el sustrato con mayor contenido de CAQ. En este estudio, los sustratos a base de FC fueron más ácidos y presentaron mayor CIC.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias y Ceniflores; así como las donaciones en especie por parte de las empresas Suata Plants S.A., Productos Químicos Andinos S.A. y Brenntag Colombia S.A.

BIBLIOGRAFÍA

Abad, M., P. Noguera y C.P. Carrion. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. pp. 299-354. En: Cadahía, C. (ed.). *Fertirrigación Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales*. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 681 p.

Alarcón, A.L. y M. Urrestarazu. 2006. Cultivo en coco. pp. 117-130. En: Alarcón, A.L. (ed.). *Cultivos sin suelo*. Compendios de Horticultura, volumen 17. Ediciones de Horticultura, S.L., Cataluña. 269 p.

Alvarado, F.A. 2010. Factibilidad económico-financiera del sistema de producción de rosa de exportación en diferentes sustratos y de recirculación de drenajes en la Sabana de Bogotá. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 163 p.

Ansorena, M. 1994. *Sustratos Propiedades y Caracterización*. Mundi Prensa, Madrid. 172 p.

Arreaza, P. 2000. Técnicas básicas del cultivo del clavel. pp. 15-40. En: Pizano de Márquez, M. (ed.). *Clavel (Dianthus Caryophyllus)*. Ediciones Hortitecnia Ltda, Bogotá. 181 p.

Baixauli, S.C. y J.M. Aguilar. 2002. *Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias*. Generalitat Valenciana: Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia. 110 p.

Bar-Yosef, B. 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. pp. 341-424. En: Raviv, M. and J.H. Lieth (ed.). *Soilless Culture Theory and practice*. Elsevier, Amsterdam. 608 p.

Bar-Yosef, B., T. Markovich and I. Levkovich. 2001. Pepper response to leachate recycling in a greenhouse in Israel. *Acta Horticulturae* 548: 357-364.

Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotecnicas S.L., Madrid. 342 p.

Cabrera, R.I. 2006. Consideraciones sobre nutrición mineral y fertilización en rosas, pp.145-161. En: Flórez, V.J., A. Fernández, D. Miranda, B. Chaves y J.M. Guzmán. (eds.). *Avances sobre Fertirriego en la Floricultura Colombiana*. Unibiblos, Bogotá. 502 p.

Cabrera, R.I. 2011. Importancia de la calidad química del agua en el fertirriego en cultivos ornamentales. pp. 17-26. En: Flórez, V.J. (ed.). *Avances sobre Fisiología de la Producción de Flores de Corte en Colombia*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 183 p.

Cabrera, R.I., R.Y. Evans and J.L. Paul. 1993. Leaching losses of N from container-grown roses. *Scientia Horticulturae* 53(4): 333-345.

Calderón S.F. 2002. La cascarilla de arroz "caolinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. En: http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm; consulta: mayo 2010.

Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) and Dutch Commission for the Implementation of the Act on Pollution of Surface Waters (CUWVO). 1996. *Recirculatie drainagewater van grondgebonden glastuinbouwbedrijven*. CIW/CUWVO, The Netherlands. 76 p.

Corradini, E., R. Morsyleide de Freitas, B. Pereira de Macedo, P.D. Paladin e L.H. Capparelli. 2009. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31(3): 837-846.

Cuervo, W.J., V.J. Flórez y C.A. González. 2011. Generalidades de la automatización y control para el reciclaje de drenajes en cultivos bajo cubierta. pp. 247-275. En: Flórez, V.J. (ed.). *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 289 p.

De Rijck, G. and S. Schrevens. 1999. Chemical feasibility region for nutrient solutions in hydroponic plant nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 22(2): 259-268.

- Ehret, D.L., J.G. Menzies, and T. Helmer. 2005. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae* 106(1):103-113.
- Fageria, N.K. 2009. *The use of nutrients in crop plants*. Taylor and Francis Group, Boca Raton. 430 p.
- FAO, 2003. Development of a framework for good agricultural practices. In: <http://www.fao.org/docrep/meeting/006/y8704e.htm>. Consulta: enero 2012.
- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. Eighth edition. John Wiley and Sons Inc., New York. 360 p.
- Gregory, P.J. 1992. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. pp. 121-175. En: Wild, A. (ed.). *Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid. 1.045 p.
- Kämpf, A.N. 2005. Substrato. pp. 45-72. En: Kämpf, A.N. (ed.). *Produção Commercial de Plantas Ornamentais*. Segunda edição. Agrolivros, Guaíba. 254 p.
- Lemaire, F. 1997. The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Horticulturae* 450: 63-69.
- Lorenzo, P., E. Medrano and M. García. 1993. Irrigation management in perlite. *Acta Horticulturae* 335: 429-434.
- Marfà, O. 2000. La recirculación en cultivos sin suelo. Elementos básicos, pp. 21-27. En: Marfà, O. (ed.). *Recirculación en cultivos sin suelo*. Compendios de Horticultura, volumen 14. Ediciones de Horticultura, S.L., Reus. 177 p.
- Marfà, O., J. Casdesús y R. Cáceres. 2006. Recirculación en cultivos sin suelo. pp. 175-190. En: Alarcón, A.L. (ed.). *Cultivos sin suelo*. Compendios de Horticultura, volumen 17. Ediciones de Horticultura, S.L., Cataluña. 269 p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London. 889 p.
- Martínez, P.F y D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo, pp. 37-78. En: Flórez, V.J. (ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 289 p.
- Meneses, V. 2004. Caracterización física, en función del tiempo de uso, del sustrato empleado en cultivos de clavel del grupo América Flor Ltda. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 60 p.
- Mengel, K., E. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Fifth edition. Springer, Dordrech. 851 p.
- Raviv, M., A. Krasnovsky, A. Medina and R. Reuveni. 1998. Assessment of various control strategies for recirculation of greenhouse effluents under semi-arid conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73(4): 485-491.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer, Wageningen, UR. 431 p.
- Valverde, A., B. Sarria y J.P. Monteagudo. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica* 13(37): 255-260.