

BEHAVIOR OF THE RECYCLED NUTRIENT SOLUTION IN A CARNATION CULTIVATION SYSTEM WITHOUT SOIL

COMPORTAMIENTO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA RECICLADA EN UN SISTEMA DE CULTIVO DE CLAVEL SIN SUELO

William J, Cuervo-Bejarano, Ximena del Pilar Palomar-Rodríguez

Programa de Ingeniería agroecológica, UNIMINUTO Centro Regional Zipaquirá (Colombia).

ORCID Cuervo-Bejarano, W.J.: 0000-0003-4097-8890

Programa de Ingeniería agroecológica, UNIMINUTO Centro Regional Zipaquirá (Colombia).

¹ Programa de Ingeniería agroecológica, UNIMINUTO Centro Regional Zipaquirá (Colombia).

ORCID Cuervo-Bejarano, W.J.: 0000-0003-4097-8890

¹ Programa de Ingeniería agroecológica, UNIMINUTO Centro Regional Zipaquirá (Colombia).

Abstract

Agricultural production demands considerable amounts of fertilizer that can be lost by drift, leaching or volatilization, which affects the efficiency of the system and production costs. Alternatives such as soilless cultivation systems (CSS) with recycling of drains allow to save between 30 and 50% of fertilizers and water, however, in Colombia, these systems have not yet been developed enough to ensure their viability in terms of knowledge of the dynamics of the recycled solution. An assay with standard carnation cv. Delphi under greenhouse conditions in the Bogotá savanna under a completely random block design in divided plots with nine treatments corresponding to the combination of three substrates based on burned rice husk and coconut fiber and three levels of recycling of drainages. The concentrations of HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} and B in the solution drained and recycled in five stages of growth were measured. and subsequently their correlations were analyzed through a principal components analysis (PCA). According to the ACP, temporal trends were determined in the concentrations of elements in the drained recycled solution, events related to the nutritional requirements of the crop and whose behavior can be simplified in the components or variables CE and pH based on the associations and contributions of the elements to these master variables. The accumulation of NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ at the end of the production cycle indicates a low demand for these elements, which is why a differential application of concentration of elements is suggested in order to reduce antagonisms between elements and their loss by leaching. These accumulations and depletions of elements in the solution may be related to the chemical characteristics of the substrates and their degradation process.

Key words: *Livixiados, crops without soil, ornamentals, recycling of drainages, carnation.*

Resumen

La producción agrícola demanda cantidades considerables de fertilizantes que pueden perderse por deriva, lixiviación o volatilización, lo que afecta la eficiencia del sistema y los costos de producción. Alternativas como los sistemas de cultivo sin suelo (CSS) con reciclaje de drenajes permiten ahorrar entre el 30 y el 50% de fertilizantes y agua, sin embargo, en Colombia, este tipo de sistemas aún no se han desarrollado lo suficiente para asegurar su viabilidad en términos del conocimiento de la dinámica de la solución reciclada. Se estableció un ensayo con clavel estándar cv. Delphi en condiciones de invernadero en la sabana de

Bogotá bajo un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con nueve tratamientos correspondientes a la combinación entre tres sustratos a base de cascarilla de arroz quemada y fibra de coco y tres niveles de reciclaje de drenajes. Se midieron las concentraciones de HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y B en la solución drenada y reciclada en cinco estadios de crecimiento y posteriormente se analizaron sus correlaciones a través de un análisis de componentes principales (ACP). De acuerdo con el ACP se determinaron tendencias temporales en las concentraciones de elementos en la solución drenada reciclada, eventos relacionados con las exigencias nutricionales del cultivo y cuyo comportamiento puede simplificarse en los componentes o variables CE y pH con base en las asociaciones y aportes de los elementos a estas variables maestras. La acumulación de NO_3^- , Ca^{+2} y K^+ al final del ciclo de producción indica una baja demanda de estos elementos, por lo que se sugiere una aplicación diferencial de concentración de elementos con el objetivo de reducir antagonismos entre elementos y su pérdida por lixiviación. Estas acumulaciones y agotamientos de elementos en la solución pueden estar relacionados con las características químicas de los sustratos y su proceso de degradación.

Palabras clave: *Livixiados, cultivos sin suelo, ornamentales, reciclaje de drenajes, clavel.*

Introducción

La producción agrícola demanda cantidades considerables de fertilizantes y productos para la fitoprotección con el propósito de incrementar los rendimientos. A nivel mundial, entre 2017 y 2018 el consumo de fertilizantes alcanzó un estimado de 187 millones de toneladas, donde la mayor tasa de crecimiento en la demanda se presenta en África, Europa del este y Asia central y Latinoamérica (IFA, 2018). La fertilización de cultivos se realiza con un nivel de exceso para compensar las pérdidas de fertilizantes por deriva, lixiviación o volatilización y permitir que las plantas absorban lo requerido (Good y Beatty, 2011). Sin embargo, estas pérdidas reducen la eficiencia económica e incrementan la contaminación de suelos, cuerpos de agua y atmósfera (Khan *et al.*, 2017; Savci, 2012). Por ello, varios países han impuesto leyes que controlan las emisiones de iones contaminantes, en particular al nitrato (European Commission, 2018; Marfá *et al.*, 2004; Marfá *et al.*, 2000). Alternativas como los sistemas de cultivo sin suelo (CSS) con reciclaje de drenajes permiten ahorrar entre el 30 y el 50% de fertilizantes y agua, reduciendo los costos y la contaminación (Chabite *et al.*, 2017; Putra y Yuliando, 2015; Carrillo *et al.*, 2012), y, aunque son más eficientes, si la solución reciclada no es monitoreada y corregida, generará problemas nutricionales en los cultivos.

En Colombia el sistema de cultivo de flores de corte es uno de los principales contribuyentes al Producto Interno Bruto Agropecuario, participando con el 19% del volumen total del mercado mundial y siendo el mayor exportador de flores a América del norte y Japón, con un área productiva de cerca de 7500 ha (ICA, 2018) donde se destacan productos como los pompones, los claveles y las rosas (Asocolflores, 2017). En el país el clavel se ha cultivado en sustratos orgánicos desde la década de los 1980s, a razón de la incidencia de patógenos limitantes (Patiño, 2000); pero al utilizar un CSS con drenaje libre puede afectar negativamente el ecosistema a causa de las cantidades de solución fertilizante lixiviada. A pesar del estímulo a adoptar buenas prácticas agrícolas (Florverde[®], 2017) en el país existen pocos estudios sobre el establecimiento de un CSS con reciclaje de drenajes y sobre el comportamiento de la solución reciclada.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar los cambios en el tiempo y las relaciones entre las concentraciones de HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y B en la solución drenada y reciclada, con la finalidad proveer herramientas para tomar decisiones de manejo, proponer medidas y prácticas de producción más limpia para reducir los consumos en agua y fertilizantes.

Materiales y métodos

El proyecto se realizó en el Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, ubicado en el municipio de Mosquera ($4^\circ 40' 9,34''$ N, $74^\circ 15' 5,07''$ O, 2516 msnm), con promedios anuales de temperatura y precipitación de $12,6^\circ\text{C}$ y 670 mm, respectivamente. Se utilizaron cuatro naves de invernadero tradicional en madera cubierto con plástico. En estas naves se construyeron 27 camas suspendidas e inclinadas, compuestas de dos contenedores plásticos paralelos (15 x 0,8 m), en madera y guaya de 1/8". Los contenedores se sembraron con clavel estándar var. Delphi a una densidad de 24,3 plantas m^{-2} invernadero. La fertilización para todos los tratamientos se realizó conforme con las fórmulas comerciales utilizadas en los cultivos de clavel en la sabana de Bogotá. Los tratamientos se configuraron por un arreglo factorial 3x3 en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales, donde cada unidad experimental era una cama. Las parcelas principales correspondieron a tres porcentajes de recirculación (0, 50 y 100) y las subparcelas a los tipos de sustratos (100% Cascarilla de Arroz Quemada, 65% Cascarilla de Arroz Quemada:35% Fibra de Coco y 35% Cascarilla de Arroz Quemada:65% Fibra de Coco).

Se realizaron análisis químicos de la solución nutritiva drenada en las 29, 37, 42, 48 y 54 semanas después de siembra, correspondientes a los estadios fenológicos, en orden ascendente, primera cosecha (C1), valle (V), transición (T), desbotone (D) y segunda cosecha (C2), respectivamente. Las variables medidas fueron pH, CE (dS m^{-1}) y la concentración (mg L^{-1}) de HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y B. El análisis estadístico de los datos se realizó a través de análisis de componentes principales (ACP) con el objetivo de determinar correlaciones entre los elementos en la solución drenada. El análisis se ejecutó con el programa estadístico R versión (R Core Team, 2018) a través de la función FactoMineR (Le *et al.*, 2008).

Resultados

De acuerdo con el diagrama de sedimentación los componentes principales extraídos fueron Dim1 y Dim2, los cuales explican respectivamente el 37,8 y el 27,2% de la varianza de los datos. Los autovectores (Figura 1A) indican que las variables que más contribuyen al Dim1 son: pH, HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Cu^{2+} y Zn^{2+} ; mientras que para el Dim2 son K^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , CE, NO_3^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , PO_4^{2-} . La alcalinidad de la solución presentó una alta correlación con el Cl^- , y este último una correlación negativa con las concentraciones de NO_3^- , Ca, K. La CE presentó una correlación positiva alta con SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Mg^{2+} y Na^+ , así mismo, la correlación entre estas variables fue positiva alta (Figura 2).

Con respecto a las puntuaciones (Figuras 1B y 1C) se observa una tendencia en el tiempo con relación a las variables evaluadas. De esta manera, para C1 las concentraciones de PO_4^{2-} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} y la CE fueron bajas, indicando una posible alta absorción de los iones mencionados. En el estadio V la tendencia fue a la reducción de concentraciones de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ y el incremento del pH y los iones asociados. Para el estadio T, se identifica una

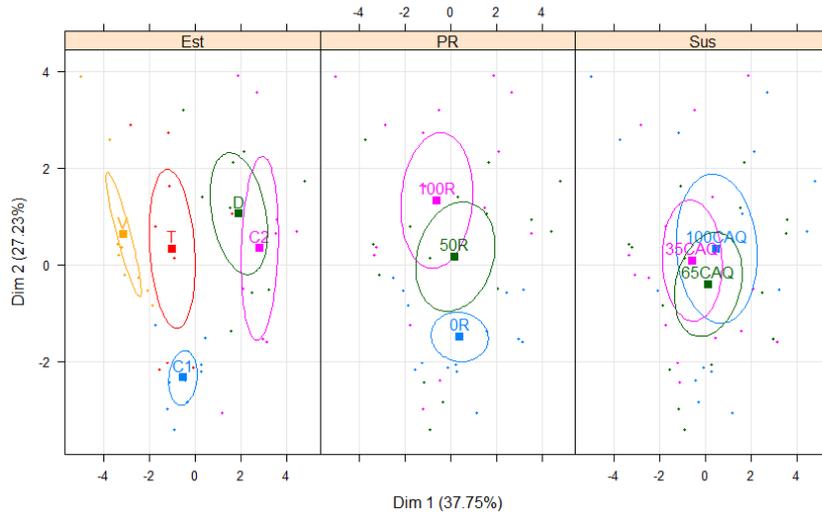


Figura 1. Análisis de componentes principales para las variables de los drenajes del cultivo de clavel establecido en sustratos. A. Patrones de las variables con relación a los componentes principales 1 y 2; B. Tendencia de las puntuaciones en términos de los estadios fenológicos y su relación con las variables estudiadas; C. Elipses de confianza alrededor de las categorías estadio (Est), porcentaje de reciclaje (PR) y tipo de sustrato (Sus).

Estadios: C1: Cosecha 1, V: Valle, T: Transición, D: Desbotone y C2: Cosecha 2.

Discusión

En términos de la evolución en el tiempo se apreció una reducción en el pH, resultados congruentes con lo hallado por Vélez *et al.* (2014) para esta misma especie y cultivar. Para el estadio C1 las bajas concentraciones de los iones PO_4^{2-} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} y la reducción en la CE indican que estos iones fueron absorbidos para satisfacer las demandas de nutrientes relacionados con la traslocación (PO_4^{2-}) y partición (Mn^{2+}) de carbohidratos desde las hojas fotosintéticamente activas hacia los vertederos (botones florales), así como alta actividad fotosintética (Fe^{2+} y Mg^{2+}) (Marschner, 2012 y Roosta, 2011). Además, el Mn^{2+} se relaciona con los contenidos de carbohidratos estructurales, claves para el mantenimiento de la integridad celular y la tolerancia a estreses bióticos y abióticos, más aún cuando en este estadio se presenta una alta tasa de crecimiento celular (Pedas *et al.*, 2005). La reducción de la CE se explica por la disminución de estos iones en la solución, los cuales aportan significativamente a la concentración de iones (Bugbee, 2004).

La reducción de concentraciones de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ para el estadio V se relaciona con que para este estadio las plantas se encuentran en una fase de recuperación luego de la cosecha y remoción de órganos florales, por lo que los requerimientos de los elementos mencionados son fundamentales para la generación de biomasa, como en el caso de rosas de corte (Cabrera *et al.*, 1996; Silberbush y Lieth, 2004). El incremento en pH se explica por el proceso de absorción activa de NO_3^- (Bugbee, 2004, Chapagain *et al.*, 2003 y Sonneveld, 2002). Bar-Yosef (2008) reporta la relación positiva entre el pH y el zinc en solución, resultados que concuerdan con los hallazgos de la presente investigación. Durante el estadio T las altas concentraciones de los iones HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Cu^{2+} y Zn^{2+} indican un

incremento en la absorción de NO_3^- vital para el proceso de diferenciación de botones florales, la fotosíntesis (Horchani, 2010) y la tolerancia a infecciones por patógenos (Zhou, 2017); además, la tasa de absorción del NO_3^- es afectada negativamente por las concentraciones de Cl^- , tal como lo reportado por Massa *et al.* (2009). Para el estadio D las bajas concentraciones de Cu y Zn en la solución y los altos contenidos de Cu en el tejido (datos no mostrados) pueden estar relacionadas con la síntesis de superóxido dismutasas Cu-Zn (Cu-Zn SOD) (Alscher *et al.*, 2002) como respuesta al estrés oxidativo inducido por la remoción de los botones laterales, además, pueden vincularse con incrementos en la absorción de NH_4^+ tal como lo han reportado Yao *et al.* (2011) y Gerendás *et al.* (1997). El botón apical se convierte en el principal vertedero de fotoasimilados, proceso en el cual influyen hormonas como las citoquininas, auxinas y giberelinas encargadas del desarrollo reproductivo (Florez, 2007 y Bennet *et al.*, 2011). Por último, para C2, se incrementan las concentraciones de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ y se disminuye el pH, lo que indica la baja demanda de estos elementos durante este ciclo, una vez los órganos florales han sido formados.

De acuerdo con el ACP, la alta correlación positiva del pH con las variables HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Cu^{2+} y Zn^{2+} y una correlación alta negativa con NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ (Dim1) sugiere que estas variables se pueden agrupar en una nueva variable denominada pH, así mismo, para el caso del Dim2, la correlación positiva alta con K^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , CE, NO_3^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , PO_4^{2-} , y teniendo en cuenta el aporte de estos iones a la CE, las variables se pueden agrupar en una nueva variable denominada CE.

Conclusiones

A medida que incrementa la edad del cultivo se incrementa la concentración de iones como K^+ , Fe^{2+} y Mn^{2+} en la solución drenada y en el sustrato, sin afectar los rangos de suficiencia a nivel de tejido; lo que puede significar un exceso de fertilización con los elementos mencionados. La dinámica de los elementos en la solución drenada en un sistema con reciclaje de drenajes presenta patrones temporales asociados a las demandas de los nutrientes en cada fase fenológica que pueden ser resumidos en dos componentes o variables, aquellos iones asociados a la CE y al pH, ambas variables maestras en este tipo de sistemas. Como lo mencionan Benbi y Khosa (2014) se deben considerar los aspectos de variabilidad de temperatura y radiación dentro del invernadero, ya que regulan la absorción de agua y elementos y de esta forma la acumulación o agotamiento de elementos en la solución. Al final del ciclo productivo se evidenció la acumulación de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ , evento relacionado con la baja demanda para este estadio. Es importante que los programas de fertirriego contemplen la capacidad de los sustratos de liberar y retener elementos durante su proceso de maduración y degradación, procesos dependientes de factores como la temperatura, la humedad del sustrato (Becker *et al.*, 2008 y Heinen *et al.*, 2001) al final del ciclo de producción indica una baja demanda de estos elementos, por lo que se sugiere una aplicación diferencial de concentración de elementos con el objetivo de reducir antagonismos entre elementos y su pérdida por lixiviación. Estas acumulaciones y agotamientos de elementos en la solución pueden estar relacionados con las características químicas de los sustratos y su proceso de degradación (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2015; Urrestarazu *et al.*, 2008 y Cárdenas *et al.*, 2005).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asocolflores (2017) Boletín estadístico 2017. Recuperado de <http://www.asocolflores.org/>
- Alscher, R.G., Erturk, N. y Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants, *Journal of Experimental Botany*, 53 (372) 1331–1341, <https://doi.org/10.1093/jxb/53.372.1331>
- Benbi D. K. & Khosa M. K. (2014). Effects of Temperature, Moisture, and Chemical Composition of Organic Substrates on C Mineralization in Soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45:21, 2734-2753, DOI: 10.1080/00103624.2014.950423
- Bugbee, B. 2004. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Hort.* 648, 99-112.
- Buqing Yao, Jing Cao, Changming Zhao, Zed Rengel (2011). Influence of ammonium and nitrate supply on growth, nitrate reductase activity and N-use efficiency in a natural hybrid pine and its parents, *Journal of Plant Ecology*, Volume 4, Issue 4, 1. 2011, pp. 275–282, <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq033>
- Carrillo-López, L. M., Trejo-Téllez, L. I., Alcántar-González, G., Arévalo-Galarza, L., Gaytán-Acuña, E. A., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions and traditional production system of Chrysanthemum on growth and nutrient concentration in leaves. *Acta Horticulturae*, (947), 283–290.
- Cabrera, R.I., Evans, R.Y. & Paul, J.L. (1996). The uptake of nitrate and ammonium by greenhouse roses. *Acta Hort.* 424:53-57.
- Chabite, I. T.; Lei, Z.; Ningning, Y.; Qiang, F. & Haiye, Y. (2017). Mode of Managing Nutrient Solution Based on N Use Efficiency for Lettuce (*Lactuca sativa L.*). *J Food Sci Eng.* 7: 29–37. doi:10.17265/2159-5828/2017.01.003.
- Chapagain, B.P., Z. Wiesman, M. Zaccai, P. Imas & H. Magen. (2003). Potassium chloride enhances fruit appearance and improves quality of fertigated greenhouse tomato as compared to potassium nitrate. *J. Plant. Nutr.* 26 (3), 243–658.
- Decker, M., Asch, F., Chiem, N.H., Ni, D.V., Saleh, E., Tanh, K.V. y Tinh, T.K. (2008). Decomposition of Organic Substrates and their Effect on Mungbean Growth in Two Soils of the Mekong Delta. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.* 109(1): 95–108.
- European Commission. (2010). The EU Nitrates Directive. Recuperado de ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates.pdf
- Sebastien Le, Julie Josse, Francois Husson (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18. 10.18637/jss.v025.i01
- Gerendás, J.; Zhu, Z.; Bendixen, R.; Ratcliffe, R. G. & Sattelmacher, B. (1997). Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants, 160:239 -251
- Good AG, Beatty PH (2011) Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons. *PLoS Biol* 9(8): e1001124. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001124>

- Hamid R. Roosta (2011) Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese, and zinc concentrations in lettuce, *Journal of Plant Nutrition*, 34:5, 717-731, DOI: 10.1080/01904167.2011.540687
- Heinen, M., Marcelis, L.F.M., Elings, A., Figueroa, R. & del Amor, F.M. (2002). Effects of EC and Fertigation Strategy on Water and Nutrient Uptake of Tomato Plants. *Proc. 4th IS on Cropmodels Eds. J.H. Lieth & L.R. Oki Acta Hort.* 593, ISHS 2002.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA (2018). El ICA supervisa la calidad fitosanitaria de cerca 600 millones de tallos de flores enviados a los Estados Unidos para la fiesta de San Valentín. Noticias Recuperado de <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/mercado-de-las-flores-en-colombia-asi-esta-este-sector/38350>
- IFA (International Fertilizer Association) (2018). Databases of consumption. Recuperado de <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>
- Jinyan Zhou, Min Wang, Yuming Sun, Zechen Gu, Ruirui Wang, Asanjan Saydin, Qirong Shen and Shiwei Guo (2017) Nitrate Increased Cucumber Tolerance to Fusarium Wilt by Regulating Fungal Toxin Production and Distribution, *Toxins*, 9, 3, (100).
- Khan, M & Mobin, Mohammad & Zahid, Abbas & Alamri, Saud. (2017). Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2.
- López, R., Cardenas, R., Philipe, L., Martinez, O. y Escalante, O. (2005). Selection of a substrate for the hydroponic growth of strawberry. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28,7.
- Marfà, O. (2000). Chapter 2: La recirculación en los cultivos sin suelo. Elementos básicos. pp. 21-27. In: Marfà, O. (ed.). *Recirculación en cultivos sin suelo. Compendios de horticultura.* 2nd. Ed. Ediciones de Horticultura. Reus. Madrid.
- Martínez-Gutiérrez, A.G., Bautista, A., Escamirosa, S., López, J.Y. y Urrestarazu, M. (2015). Effect of Particle Size and Reused Organic Substrates on Tomato Crop Production, *Journal of Plant Nutrition*, 38:12, 1877-1884, DOI: 10.1080/01904167.2015.1069333
- Massa, D., Mattson, N.S. & Lieth, H.J. (2009). Effect of saline root environment (NaCl) on nitrate and potassium uptake kinetics for rose plants: a Michaelis-Menten modelling approach. *Plant Soil* 318:101-115.
- Patiño, M. (2000). Cultivo de clavel sobre sustrato de cascarilla de arroz. pp. 41-43. In: Pizano de Marquez, M. (ed.). *El clavel.* Ediciones Hortitecnia, Bogotá
- Pedas, P., Hebborn, C. A., Schjoerring, J. K., Holm, P. E., & Husted, S. (2005). Differential capacity for high-affinity manganese uptake contributes to differences between barley genotypes in tolerance to low manganese availability. *Plant physiology*, 139(3), 1411-20.
- Putra, A. & Yuliando, H. (2015). *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 3 (2015) pp. 283– 288.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 1, 2012
- Silberbush, M. & Lieth, J.H. (2004). Nitrate and Potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa hybrida*) along successive flower-cut cycles: a model and its calibration. *Scientia Horticulturae*. 101(1):127-141.
- Sonneveld, C. (2002). Composition of nutrient solutions. pp. 179 - 210. In: Savvas, D. y H. Passam (eds.). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, Athens.
- Urrestarazu, M., P.C. Mazuela, and G.A. Martínez (2008). Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crops. *Journal of Plant Nutrition* 31: 2031–2043.
- Vélez, N.A., Flórez, V.J. & Flórez, A.F. (2014). Comportamiento de variables químicas en un Sistema de cultivo sin suelo para clavel en la Sabana de Bogotá. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2).