

EFFECTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUSTRATO SOBRE EL DESARROLLO DE PLANTINES FLORALES EN MACETA

LORENA ALEJANDRA BARBARO^{1*}; MÓNICA ALEJANDRA KARLANIÁN¹

Recibido: 16/01/2019

Recibido con revisiones: 29/10/2019

Aceptado: 29/10/2019

RESUMEN

El sustrato es un insumo importante en la producción de plantas ornamentales en maceta, éste requiere de determinadas propiedades, entre ellas físicas, las cuales deben permitir un equilibrio apropiado de aire y agua. Estas propiedades poseen una estrecha relación con el desarrollo de la planta y la distribución de sus raíces dentro del recipiente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de sustratos con distintas propiedades físicas en el desarrollo de los plantines de petunia (*Petunia grandiflora*) y copete (*Tagetes erecta*). Para este fin se evaluaron cuatro tratamientos, los cuales fueron sustratos formulados con compost de corteza de pino (CC) y turba de *Sphagnum* (T): 1) 100% CC, 2) 70% CC + 30% T, 3) 50% CC + 50% T y 4) 100% T. A cada uno se analizó: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de retención de agua (CRA), porosidad de aireación (PA), espacio poroso total (EPT), densidad aparente y granulometría. A cada plantín obtenido se midió la masa seca aérea (MSA), radical (MSR) y porcentaje de MSR de la sección superior central y periférica e inferior central y periférica del interior de la maceta (cepellón). Los sustratos evaluados tuvieron un pH adecuado, CE baja y un EPT óptimo, solo los sustratos 3 y 4 se encontraron dentro de los rangos recomendables de PA y CRA. La MSA de los plantines de petunia fue mayor en los sustratos 3, 2 y 1, sin diferencias en la MSR. Los plantines de copete tuvieron mayor MSA en el sustrato 3, y la MSR fue mayor para los sustratos 3 y 4. En ambas especies hubo mayor porcentaje de MSR en la sección superior y en casi todos los sustratos hubo mayor porcentaje de MSR en la periferia de la sección inferior del cepellón. En síntesis, ambas especies en el sistema de cultivo evaluado tuvieron mayor desarrollo aéreo en el sustrato 3, con relación PA/CRA: 0,57. La metodología empleada permitió evaluar la distribución radical confirmando que el cultivo de ambas especies en maceta no modifica el tipo de raíz.

Palabras clave: Petunia, Tagete, porosidad de aire, capacidad de retención de agua, desarrollo radical.

OF THE PHYSICAL PROPERTIES SUBSTRATE EFFECT ON THE DEVELOPMENT OF FLOWERING POTTED PLANTS

ABSTRACT

The substrate is an important input for the production of ornamental plants in a pot. It requires certain properties, among them physical, which should allow an appropriate balance of air and water. These properties have a close relation with plant development and root distribution inside the container. The aim of this work was to evaluate the effect of substrates with different physical properties on the development of petunia (*Petunia grandiflora*) and marigold (*Tagetes erecta*) seedlings. For this purpose, four treatments were evaluated, which consisted of substrates formulated with pine bark compost (CC) and *Sphagnum* peat (T): 1) 100% CC, 2) 70% CC + 30% T, 3) 50% CC + 50% T and 4) 100% T. Per treatment, pH, electrical conductivity (CE), water retention capacity (CRA), aeration porosity (PA), total porous space (EPT), bulk density and granulometry were measured. In each obtained seedling, the aerial dry mass (MSA), root dry mass (MSR) and percentage of MSR of the central and peripheral upper and lower central, and peripheral section of the interior of the pot (root ball) were measured. The evaluated substrates showed an adequate pH, low CE and an optimal EPT, only substrates 3 and 4 were found within the recommended ranges of PA and CRA. The MSA of petunia seedlings was higher in substrates 3, 2 and 1, without differences in the MSR. Marigold seedlings showed higher MSA in substrate 3, and MSR was higher for substrates 3 and 4. In both species there was a higher percentage of MSR in the upper section and in almost all substrates there was a higher percentage of MSR in the periphery of the lower section of the root ball. In synthesis, both species in the evaluated culture system had greater aerial development in substrate 3, with PA / CRA ratio: 0.57. The methodology used allowed to evaluate the radical distribution confirming that the cultivation of both species in pot does not modify root type.

Key words: Petunia, Tagete, air porosity, water retention capacity, radical development.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

* Autor de contacto: barbaro.lorena@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La floricultura abarca dos grandes actividades productivas de tipo intensivo: la producción de flores para corte y la producción de plantas ornamentales en maceta. Este último tipo de producción incluye diferentes rubros como árboles, arbustos, plantas de interior, plantas florales, plantines de estación, plantines a partir de semillas o esquejes (Villanova & Morisigue, 2016). Estas producciones se caracterizan por el hecho de que se cultivan en un volumen restringido, como macetas, bolsas, bandejas de plástico o bloques de sustratos comprimidos (Sonneveld & Voogt, 2009). Además, entre los insumos utilizados se destaca el sustrato, cuya selección y manejo debería ocupar un lugar decisivo para la obtención de plantas con calidad comercial apropiada (Valenzuela *et al.*, 2014).

El sustrato es un medio compuesto por uno o más materiales que se encuentra dentro de un recipiente y permite el desarrollo de la planta, sirve de soporte y suministra a las raíces aire, agua y nutrientes minerales (Ansorena Miner, 1994). Por otra parte, para que se cumplan estas funciones es necesario que contenga una serie de propiedades que dependerán de diferentes factores como ubicación de la producción (fuera o dentro de un invernáculo), altura, volumen y forma del recipiente, tipo de sistema de riego y características del agua, requerimientos nutricionales de la especie, época del año y duración del ciclo (V Abad *et al.*, 2004; Vence, 2008).

Entre los componentes utilizados para formular un sustrato, la turba de *Sphagnum* es el material tradicional más empleado en la producción de plantas ornamentales en maceta (Abad *et al.*, 2001). Otro componente es el compost de corteza de pino, el cual es el producto final del compostado de materiales provenientes de aserraderos y descortezadoras de madera, que se utiliza en forma pura o como parte de la mezcla por su aporte de porosidad al sustrato (Bures, 1997; Villa Castillo, 2004; Kaderabek, 2017).

Las propiedades que generalmente se analizan y evalúan a cada componente y al sustrato formulado son químicas, físicas y biológicas. Con respecto a las propiedades físicas, una gran diferencia que poseen en relación a las demás es que

una vez colocado el sustrato en el recipiente y realizado el trasplante o siembra, es difícil modificarlas positivamente (Abad *et al.*, 2004). Las propiedades físicas de un sustrato deben permitir un equilibrio apropiado de aire y agua para que las raíces desarrollen en forma saludable. Además, este balance se debe mantener durante todo el ciclo de producción (Barrett *et al.*, 2016). Algunas de las variables que describen a las propiedades físicas son la densidad aparente, la distribución del tamaño de partícula, el espacio poroso total (EPT), la porosidad de aireación (PA) y la capacidad de retención de agua (CRA).

El valor de la densidad aparente debe permitir un fácil manejo, transporte y anclaje de la planta (Abad *et al.*, 2004). La distribución del tamaño de partícula posee un efecto directo sobre la relación de poros con aire y agua, es decir, aquellos materiales con tamaños de partículas superiores a 1 mm proporcionan mayor aireación, mientras que aquellos con un tamaño de partículas inferior a 1 mm retienen mayor cantidad de agua (Quintero *et al.*, 2011).

La típica curva de liberación de agua de los sustratos está establecida según De Boodt & Verdonck (1972) en un rango de valores de tensión entre 0 a 10 kPa. Los autores se basan en que el agua en un recipiente debe estar disponible para las raíces a bajas tensiones, es decir, a un nivel energético tan bajo como sea posible (Terés, 2001). El punto cero de tensión es el máximo contenido de humedad (saturación) cuyo valor coincide con el EPT. La PA es el volumen de aire del sustrato y la CRA es el agua retenida en el sustrato sometido a una tensión de 1 kPa; el agua fácilmente disponible es el volumen de agua liberada por el sustrato a una succión entre 1 a 5 kPa y el agua de reserva, es el volumen de agua liberada a tensiones entre 5 a 10 kPa (De Boodt & Verdonck, 1972; Martínez Farré, 1992; Vence *et al.*, 2008). Según Abad *et al.* (2001) el sustrato para un contenedor debe poseer un EPT mayor a 85% y el rango aceptable como óptimo de PA debería estar entre 20 a 30% y de CRA entre 55 a 70%. Pero estos valores son orientativos, ya que como se mencionó anteriormente las propiedades adecuadas del sustrato dependerán del sistema de cultivo elegido, e.g., la altura del recipiente. En este sentido, es importante sumar el concepto de capacidad de contenedor, el cual se define como el máximo volumen de agua que

es retenida por un sustrato en un contenedor de altura h , una vez saturado el sustrato y dejando drenar en ausencia de evaporación (Bures, 1997). A medida que la altura del recipiente aumenta, la capacidad de contenedor de un sustrato disminuye (Vence *et al.*, 2013), por lo tanto, la elección del sustrato a utilizar está relacionada a la altura del recipiente. Además, en el mismo recipiente el sustrato a capacidad de contenedor posee un contenido volumétrico de agua menor (más seco) en la superficie y llega próximo a la saturación ("Tabla de agua") en la base cuando el drenaje está a presión atmosférica, cuya altura depende de las propiedades físicas del sustrato que influyen directamente sobre el potencial matricial (Bures 1997; Fotnteno 1999, Owen & Altland, 2008; Vence *et al.*, 2013)

La disponibilidad de aire y agua del sustrato posee una estrecha relación con el crecimiento y la distribución de las raíces dentro del recipiente (Polak & Wallach, 2001; Mathers *et al.*, 2007). Una correcta aireación aportará oxígeno al sistema radical y permitirá la evacuación del CO_2 producido por las raíces y los microorganismos (Lemaire *et al.*, 2005). La adecuada proporción de poros con capacidad para retener agua permitirá a la planta obtener el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo.

Según Kozlowski & Sholtes (1948) se pueden distinguir dos tipos de sistemas radicales según la relación entre la raíz principal y las raíces laterales, los cuales son: tipo fasciculado (mayor proporción de raíces laterales) y tipo pivotante (mayor proporción de raíz principal). Además, la arquitectura del sistema radical posee una determinada plasticidad que está controlada por factores genéticos, la cual se manifiesta ante cambios dados por factores bióticos y/o abióticos (Osmont *et al.*, 2007). Como falta de aireación y en consecuencia deficiencia de oxígeno (Morard & Silvestre, 1996; Cannavo & Michel, 2013), altas temperaturas (Markham *et al.*, 2011), altas concentraciones de sales solubles (Mathers *et al.*, 2007) o tamaño y forma del recipiente empleado (Poorter *et al.*, 2012).

En Argentina la producción florícola se desarrolla en diversas regiones y gran parte de los productores cultivan plantas ornamentales en maceta, en especial, plantines de estación y florales

(Villanova & Morisigue, 2016). Entre las especies de mayor producción se encuentran: alegría del hogar (*Impatiens walleriana* Hook. f.), petunia (*Petunia x hybrida* y *P. glandiflora* Juss.), pensamiento (*Viola x wittrockiana*), copete (*Tagetes erecta* L. y *T. patula* L.), alegría Nueva Guinea (*Impatiens x hawkeri* Bull.), conejito (*Antirrhinum majus* L.), coral (*Salvia splendens* F. Sello ex Roem & Schult.) y zinnia (*Zinnia elegans* Jacq.) (Fernandez, 2008; Buyatti, 2012). Entre las especies mencionadas, la petunia posee un sistema radical conformado por una raíz principal y numerosas raíces laterales, es decir, es de tipo fasciculada (Gutierrez Trejo, 2008) y el copete posee un sistema radical del tipo pivotante, con una raíz principal cilíndrica y raíces laterales superficiales (Sánchez Ocampo, 2008). Ambas especies en general se producen en maceta de entre 10 y 13 cm de diámetro; sustratos con pH entre 5,2 a 6,8, baja conductividad eléctrica y condiciones físicas que permitan el buen drenaje (Blanchette & La Scola, 1999; Sanchez, 2004).

Son varios los trabajos que demuestran el mayor o menor desarrollo del sistema radical y aéreo en distintas especies florales según determinadas propiedades físicas del sustrato, e.g., se han evaluado plantas de *Begonia x hiemalis* Fotsch, *Viola x wittrockiana*, *Petunia x hybrida* y *Celosia cristata* L. en sustratos con diferente relación de poros con aire y agua (Awang *et al.*, 2009; Londra *et al.*, 2012; Barbaro *et al.*, 2017) pero no hay mucha información en cuanto a la arquitectura del sistema radical en la maceta frente a estas variantes.

En base a lo mencionado, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de sustratos con distintas propiedades físicas formulados con turba de *Sphagnum* y compost de corteza de pino en el desarrollo de plantines de petunia y copete, con énfasis en la distribución radical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de los sustratos a evaluar

Se prepararon 11 sustratos con compost de corteza de pino (CC) proveniente de la Empresa Terrafertil S.A. y turba de *Sphagnum* (T) proveniente de la Empresa Turbas de la Isla. Los sustratos formulados fueron: 100% de tur-

ba de *Sphagnum*, 100 % de compost de corteza de pino y mezclas de 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% y 10% de compost de corteza de pino con turba de *Sphagnum*. Luego a cada sustrato se analizó por triplicado en el Laboratorio de Sustratos y Aguas del Instituto de Floricultura (IF) del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria): capacidad de retención de agua (CRA) y porosidad de aireación (PA) con el método de De Boodt (De Boodt *et al.*, 1974). El criterio de selección de los sustratos se basó en que tengan amplias diferencias entre los valores de cada variable mencionada.

Análisis de los sustratos seleccionados

Las propiedades de los sustratos seleccionados fueron analizadas en el Laboratorio de Sustratos y Aguas del IF. Las variables analizadas fueron: pH y conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (Dap), espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de agua (CRA), porosidad de aireación (PA) y granulometría. Para pH y CE, en una relación 1 + 5 v/v: en un frasco de 250 mL se colocaron 150 mL de agua destilada y se llevó a 180 mL con el agregado de sustrato. Se agitó durante 10 minutos y se dejó reposar 15 minutos, luego se realizaron las mediciones en la solución con un peachímetro (Horiba, modelo M-12) y un conductímetro (Thermo Orion, modelo 145), (Barbaro *et al.*, 2011). La Dap, EPT, CRA y PA se estudiaron con el método de De Boodt mediante una mesa de tensión a 1 kPa utilizando el sistema de "lechos de arena" (De Boodt *et al.*, 1974). La granulometría se determinó mediante una tamizadora de laboratorio con una serie de tamices de 5,56; 4,75; 3,35; 2; 1,4; 1 y 0,5 mm, los resultados se expresaron en porcentaje y se agruparon según el tamaño de partículas > 3,35 mm, entre 3,35 a 1 mm y < 1 mm (Ansoarena Miner, 1994).

Corrección del pH de los sustratos seleccionados

Como los valores de pH de cada sustrato seleccionado fueron menores a 5,5, se corrigió el pH de todos los sustratos incorporando 2 g de carbonato de Ca y Mg (dolomita) por litro de sustrato. Se mezcló semanalmente para su homogenei-

zación y a los 30 días los valores de pH fueron constantes y se encontraron en el rango adecuado (5,5-6,3 (Abad *et al.*, 2001)).

Desarrollo de los plantines florales en maceta

En instalaciones del Instituto de Floricultura del INTA, Buenos Aires, Argentina (34° 36' latitud sur, 58° 40' longitud oeste) se realizaron dos ensayos, uno con petunia (*Petunia grandiflora* Juss. F1) y otro con copete (*Tagetes patula* L. F1). Ambos conformados por cuatro tratamientos (sustratos seleccionados) con 20 repeticiones siguiendo un diseño en parcelas completamente aleatorizadas. Para cada ensayo se prepararon 20 macetas por tratamiento, siendo cada maceta una unidad experimental. Se utilizaron macetas termoformadas troncocónicas N° 10 de 377 cm³, de 7,5 cm de altura, 10 cm de diámetro superior y de 7,5 cm diámetro inferior. Una vez rellenas con el sustrato y con los plantines trasplantados las macetas se colocaron sobre una mesada de 1 m de altura en un invernáculo.

El riego se realizó con agua de pozo, con un pH de 7,2 y CE de 0,65 dS m⁻¹, mediante un sistema por goteo, con un espaguete por contenedor con un caudal de 25-30 ml/min. Se regó una o dos veces por día según demanda, durante 5 a 8 minutos dejando drenar suficiente agua para evitar acumulación de sales. Para la fertilización de los dos ensayos se incorporó 1g por maceta de fertilizante de liberación lenta Basacote Plus 3M (16% N, 8% P₂O₅, 12% K₂O, 2% MgO, 5% SO₂, 0,004% Fe, 0,05% Cu, 0,06% Mn, 0,02% Zn, 0,02% B, 0,015% Mo). Las temperaturas promedio mínimas y máximas en el invernáculo durante el ensayo con petunia fueron 13,81 °C y 33,69 °C y con copete fueron 13,89 °C y 31,59 °C, respectivamente.

Los ensayos finalizaron cuando el 50% de los plantines abrieron su primera flor. El ensayo con petunia se instaló el 08/08/17 y finalizó el 18/09/17, y el ensayo con copete se instaló el 18/08/17 y finalizó el 23/09/17. Cuando finalizaron los ensayos, se tomaron los plantines de cada tratamiento y se separó la parte aérea de la radical, se lavaron las raíces y luego se lle-

varon ambas partes a una estufa a 65 °C hasta peso constante, finalmente se midió la masa seca aérea y radical. A seis plantines de cada tratamiento se retiró la parte aérea y la maceta con el sustrato más el sistema radical se colocó en un congelador a -18 °C. Después de 24 horas se separó el sustrato con las raíces (cepellón) de la maceta y se cortó con una sierra por la mitad, obteniendo un disco superior y otro inferior. Luego cada disco se perforó en el centro con un cilindro cortante de 4 cm de diámetro con ayuda de un martillo, obteniendo una sección superior central y periférica, y una sección inferior central y periférica (**Figura 1**). A continuación, las raíces de cada sección fueron extraídas, lavadas y se llevaron a una estufa a 65 °C hasta peso constante, finalmente se midió la masa seca radical de cada sección y se expresó en porcentaje.

Análisis estadístico

Los resultados de las variables evaluadas en los sustratos y la masa seca medidas en los ensayos se sometieron a análisis de varianza y Test de Tukey para comparación de medias ($p < 0,05$). El software estadístico utilizado fue el programa InfoStat versión 2009 (Di Rienzo *et al.*, 2009).

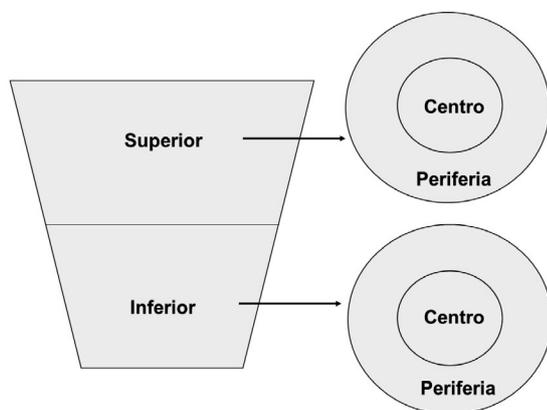


Figura 1. Partes en que se fraccionó el interior de la maceta (Sustrato + raíz) de cada planta para medir la masa seca radical de cada sección.

Figure 1. Parts in which the interior of the pot were divided (Substrate + root) of each plant to measure the radical dry mass of each section

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de los sustratos a evaluar

Los sustratos seleccionados para su posterior evaluación fueron: 100% CC; 70% CC + 30% T;

50% CC + 50% T y 100% T (**Tabla 1**). Estos sustratos presentaron diferencias significativas ($P < 0,0001$) tanto para la variable PA como para CRA.

Tabla 1. Porosidad de aireación (PA) y capacidad de retención de agua (CRA) de los sustratos formulados con compost de corteza de pino (CC) y turba de Sphagnum (T) para la selección de los sustratos a evaluar. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) mediante el test de Tukey.

Table 1. Aeration porosity (PA) and water retention capacity (CRA) of the substrates formulated with pine bark compost (CC) and Sphagnum peat (T) for the selection of the substrates to be evaluated. Different letters between rows of the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$) tested with the Tukey test.

Sustratos	PA (%)	CRA (%)
100% CC	47,26 a	39,11 g
90% CC + 10% T	46,24 ab	41,09 g
80% CC + 20% T	44,31 abc	43,74 fg
70% CC + 30% T	39,57 bcd	48,83 ef
60% CC + 40% T	37,65 cde	51,32 de
50% CC + 50% T	32,96 def	57,05 cd
40% CC + 60% T	32,68 ef	57,95 bc
30% CC + 70% T	30,58 f	60,67 abc
20% CC + 80% T	28,82 f	63,76 ab
10% CC + 90% T	30,21 f	63,48 ab
100% T	28,00 f	66,50 a

Análisis de los sustratos seleccionados

El pH inicial de los sustratos seleccionados estaba fuera del rango (**Tabla 2**), pero la corrección realizada logró elevar el pH y los valores obtenidos fueron adecuados, sin diferencias significativas entre los sustratos ($P 0,2656$). Al finalizar los ensayos con plantas, debido al agua utilizada para el riego el valor de pH de cada sustrato se incrementó levemente pero se mantuvo dentro del rango apropiado (datos no mostrados). El pH tiene gran influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes y si bien los valores apropiados en los sustratos dependerán de los requerimientos del cultivo, en general se recomienda que se encuentren entre 5,3 y 6,2 (Abad *et al.*, 2001). Por debajo de este rango, pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca y Mg; mientras que por encima, puede disminuir la solubilidad del Fe, P, Mn, Zn y Cu (Bunt, 1988; Ansorena Miner, 1994; Burés, 1997). En adición, tanto la petunia como el copete

son especies que requieren de un medio con valores de pH dentro del rango mencionado (Shoemaker & Carlson, 1990; Smith *et al.*, 2004). En relación con la CE (**Tabla 2**), si bien hubo diferencias significativas ($P < 0,0001$), fue baja en todos los sustratos. Esta característica es positiva ya que permite que se puedan manejar las concentraciones de nutrientes minerales según los requerimientos del cultivo mediante la fertilización (Landis *et al.*, 2000).

Con respecto a la densidad aparente (**Tabla 2**), el valor aceptable debe ser aquel que facilite el manejo del sustrato, es decir, el mezclado, traslado y cargado en las macetas o recipientes. Pero también debe ser tal que evite el volteo de la maceta y sea un buen sostén para la planta (Quintero *et al.*, 2011; Michael & Heinrich, 2008). Según

Abad *et al.*, (2001) debería ser menor a $< 400 \text{ kg m}^{-3}$, por lo tanto, todos los sustratos se encuentran por debajo de este límite pero con diferencias significativas ($P < 0,0001$). El valor aumentó a medida que se incrementó el porcentaje de CC en el sustrato. En coincidencia, Sánchez Córdova *et al.* (2008) obtuvieron resultados similares, al mezclar 20%, 60%, 80% y 100% de CC con aserrín, cuya densidad se incrementó de 310 a 510 kg m^{-3} respectivamente.

El porcentaje de tamaño de partículas (**Tabla 2**) presentó diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre los sustratos, esta variable afecta la distribución del tamaño de los poros y el balance aire-agua en el mismo (Noguera *et al.*, 2003). Por lo tanto, el porcentaje de PA y CRA también fue

Tabla 2. pH inicial y final (luego de la corrección), conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (Dap) y porcentaje del tamaño de partículas ($> 3,35\text{mm}$; $3,35\text{-}1\text{mm}$ y $< 1\text{mm}$) de los sustratos evaluados. CC: compost de corteza de pino; T: Turba de Sphagnum. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) mediante el test de Tukey.

Table 2. Initial and final pH (after correction), electrical conductivity, bulk density and particle size percentage ($> 3.35\text{mm}$, $3.35\text{-}1\text{mm}$ and $< 1\text{mm}$) of the substrates evaluated. CC: pine bark compost; T: Sphagnum peat. Different letters between rows of the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$) tested with the Tukey test.

Sustratos	pH		CE (dS m^{-1})	Dap (Kg m^{-3})	% del tamaño de partículas									
	inicial	final			$>3,35\text{mm}$	$3,35\text{-}1\text{mm}$	$<1\text{mm}$							
100% CC	3,86	b	5,39	a	0,32	b	232	a	16,20	a	32,27	a	51,47	c
70% CC + 30% T	4,31	a	5,38	a	0,34	b	194	b	17,53	a	29,47	b	52,93	bc
50% CC + 50% T	4,01	b	5,47	a	0,37	a	170	c	15,33	a	27,93	c	56,73	b
100% T	3,94	b	5,51	a	0,38	a	85	d	2,80	b	14,27	d	82,90	a

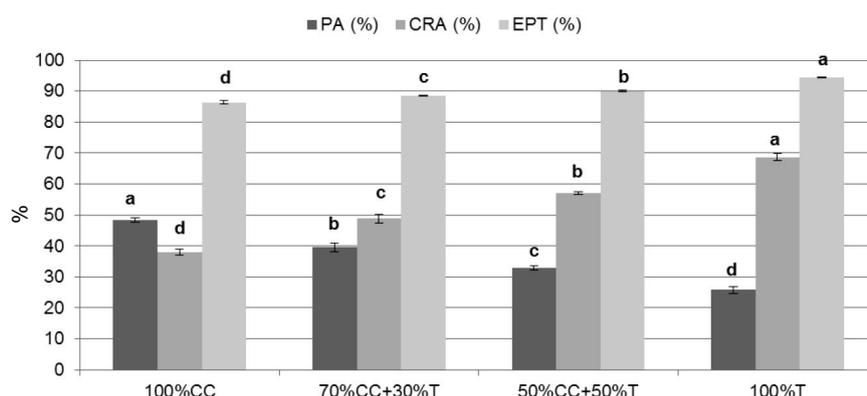


Figura 2. Porosidad de aireación (PA), capacidad de retención de agua (CRA) y espacio poroso total (EPT) de los sustratos evaluados. CC: compost de corteza de pino; T: Turba de Sphagnum. Letras distintas entre columnas de un mismo color indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Barras verticales en cada punto indican intervalo de confianza de 95 %.

Figure 2. Aeration porosity (PA), water retention capacity (CRA) and total porosity space (EPT) of the substrates evaluated. CC: pine bark compost; T: Sphagnum peat. Different letters between columns of the same color indicate significant differences ($p \leq 0.05$) tested with the Tukey test. Vertical bars at each point indicate a 95% confidence interval.

diferente ($P < 0,0001$) (**Figura 2**). El CC es un material muy utilizado en la formulación de los sustratos debido, entre otros factores, a la contribución de poros con aire (Kaderabek, 2017). Motivo por el cual se observó que a mayor porcentaje de éste la PA se incrementó (**Figura 2**). Por otro lado, la T se destaca por su alto porcentaje de CRA (Raviv & Lieth, 2008), cuyos valores oscilan según su origen y distribución de partículas entre 50 a 96% (Kipp *et al.*, 2000). En este caso, en la T evaluada se determinó una CRA mayor a los obtenidos por Abad *et al.* (2005) y Sambo *et al.* (2008) cuya CRA eran de 62% y 61,4% respectivamente, pero similar a otra analizada por Evans (2011) cuya CRA era de 69,5%.

Teniendo en cuenta que un sustrato para un contenedor debería poseer un EPT mayor a 85% con un rango aceptable de PA entre 20 a 30% y de CRA entre 55 a 70% (Abad *et al.*, 2001), todos los sustratos resultaron tener un EPT óptimo pero solo aquellos con 50% de CC + 50% de T y con 100% de T se encontraron dentro de los rangos recomendables de PA y CRA.

Los materiales utilizados para formular los sustratos se complementaron eficientemente y se lograron sustratos con propiedades químicas similares pero con propiedades físicas diferentes,

lo cual permitió poder evaluar el efecto de éstas propiedades sobre el desarrollo de los plantines de petunia y copete.

Desarrollo de los plantines florales en maceta

La masa seca aérea de los plantines de petunia (**Figura 3**) desarrollados en el sustrato con 50% de CC + 50% de T tuvo mayor valor y se diferenció del sustrato con 100% CC ($P 0,0051$), pero no de los sustratos con 70% de CC + 30% de T y 100% de T. Con respecto a la masa seca radical, no hubo diferencias significativas ($P 0,8292$) entre los sustratos. Es decir que ésta especie logró un desarrollo similar en sustratos con PA entre 26 a 40% y CRA entre 49 a 69%. En cuanto a los plantines de copete (**Figura 3**), la masa seca aérea obtenida también fue mayor en el sustrato con 50% de CC + 50% de T, pero en este caso, se diferenció ($P < 0,0001$) de los restantes sustratos. La masa seca radical fue mayor en el sustrato con 50% de CC + 50% de T y con 100% T, sin diferencias entre sí, pero ambos se diferenciaron ($P < 0,0001$) del sustrato con 100% CC y 70% de CC + 30% T. Por lo tanto, esta especie obtuvo un mayor desarrollo en sustratos con PA entre 26 a 33% y CRA entre 57 a 69%. Resultados simila-

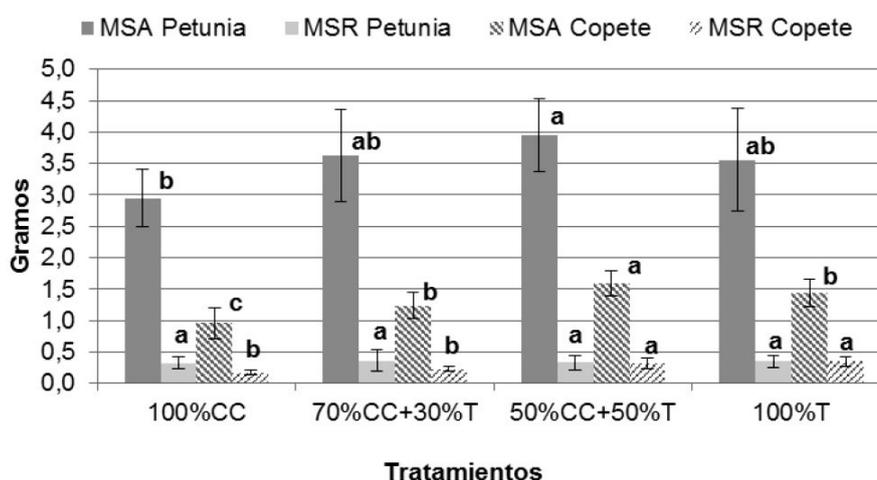


Figura 3. Masa seca de la parte aérea (MSA) y radical (MSR) de los plantines de petunia y copete desarrollados en los sustratos evaluados. CC: compost de corteza de pino; T: Turba de Sphagnum. Letras distintas entre columnas de un mismo color o trama indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Barras verticales en cada punto indican intervalo de confianza de 95%.

Figure 3. Dry mass of the aerial part (MSA) and root (MSR) of the plants petunia and marigold developed in the substrates evaluated. CC: pine bark compost; T: Sphagnum peat. Different letters between columns of the same color or plot indicate significant differences ($p \leq 0,05$) according to the Tukey test. Vertical bars at each point indicate a 95% confidence interval.

res obtuvieron Barbaro *et al.* (2017) con plantas de *Viola x wittrockiana*, *Viola* var. *Matrix Rose*, *Petunia x hybrida* desarrolladas en un sistema de cultivo similar, donde el mejor desarrollo se obtuvo en aquellos sustratos formulados con CC y T, cuyos porcentajes de PA eran menores a 50% y de CRA mayores a 50%, todos con un EPT superior a 85%. En coincidencia, se observa que los plantines de petunia en el sistema evaluado también desarrollan adecuadamente en sustratos con porcentajes de PA mayores al rango establecido por Abad *et al.* (2001). Por otro lado, Dominguez Salvador (2009) evaluó el efecto de plantas de *Tagetes patula* en diferentes sustratos formulados con arroz carbonizado y arena en diferentes proporciones y concluyó que los sustratos cuyas plantas tuvieron mayor altura, masa seca y volumen de raíces tenían valores de EPT, PA y CRA dentro de los rangos adecuados (Abad *et al.*, 2001), también estos resultados coinciden con los obtenidos en el ensayo con copete.

En el ensayo con petunia (**Tabla 3**) hubo mayor porcentaje de raíces en la sección superior del cepellón, diferenciándose de la sección inferior para los sustratos con 100% de CC (P 0,0051), 50% de CC + 50% de T (P <0,0001) y 100% de T (P 0,0019) pero no hubo diferencias en el sustrato con 70% de CC y 30% de T. En el sustrato con 100% de CC la mayor concentración de raíces del cepellón fue en el centro superior (P 0,0003), en el sustrato con 70% de CC y 30% de T fue

en la periferia superior e inferior (P 0,0006), en el sustrato con 50% de CC + 50% de T fue en el centro superior (P < 0,0001) y en el sustrato con 100% de T fue en el centro y periferia superior e inferior (P 0,0054). En el ensayo con copete (**Tabla 4**), también hubo mayor desarrollo de raíces en la sección superior diferenciándose de la inferior en el sustrato con 100% de CC (P 0,0105) y 70% de CC y 30% de T (P 0,0304), pero no hubo diferencias entre la sección superior e inferior en los restantes sustratos. En el sustrato con 100% de CC (P <0,0001), con 70% de CC y 30% de T (P <0,0001) y con 50% de CC + 50% de T (P <0,0001) fue mayor el porcentaje de raíces en el centro superior diferenciándose de las restantes secciones, también el sustrato con 100 % de T logró mayor concentración de raíces en esta sección pero sin diferencias con la sección inferior periférica (P 0,0002).

En ambas especies se observó un mayor porcentaje de masa seca radical en la sección superior del cepellón en la mayoría de los sustratos, las plantas de copete tuvieron una distribución radical más pareja ya que hubo solo entre 3 a 13% de diferencia entre la sección superior e inferior. Mientras que el sistema radical de la petunia obtuvo entre 30 a 47% más masa seca radical en la sección superior con respecto a la inferior, excepto en el sustrato con 70% de CC y 30% de T. Esta diferencia en la distribución radical tiene relación con el tipo de raíz de cada especie, la petunia

Tabla 3. Masa seca radical (%) de las plantas de petunia desarrolladas en la sección superior, inferior, superior centro y periferia e inferior centro y periferia de la maceta. CC: compost de corteza de pino; T: Turba de Sphagnum. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Se analizó por una lado: entre sección superior e Inferior, y por el otro: entre superior centro, superior periferia, inferior centro e inferior periferia.

Table 3. Dry root mass (%) of petunia plants developed in the upper section, lower section, upper center and periphery section and lower center and periphery section of the pot. CC: pine bark compost; T: Sphagnum peat. Different letters between rows of the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$) tested with the Tukey test. It was analyzed on the one hand: between upper and lower section, and on the other: between upper center, upper periphery, lower center and lower periphery.

Masa seca radical por secciones (%)	Sustratos							
	100% CC		70% CC + 30% T		50% CC + 50% T		100% T	
Superior	62	a	53	a	73	a	65	a
Inferior	31	b	47	a	27	b	35	b
Superior centro	49	a	23	b	46	a	30	a
Superior periferia	20	b	30	ab	27	b	35	a
Inferior centro	13	b	10	c	10	c	10	b
Inferior periferia	18	b	37	a	16	bc	25	ab

Tabla 4. Masa seca radical (%) de las plantas de copete desarrolladas en la sección superior, inferior, superior centro y periferia e inferior centro y periferia de la maceta. CC: compost de corteza de pino; T: Turba de sphagnum. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según el test de Tukey. Se analizó por una lado: entre sección superior e inferior, y por el otro: entre superior centro, superior periferia, inferior centro e inferior periferia.

Table 4. Dry root mass (%) of marigold plants developed in the upper section, lower section, upper center and periphery section and lower center and periphery section of the pot. CC: pine bark compost; T: Sphagnum peat. Different letters between rows of the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$) tested with the Tukey test. It was analyzed on the one hand: between upper and lower section, and on the other: between upper center, upper periphery, lower center and lower periphery.

Masa seca radical por secciones (%)	Sustratos							
	100% CC		70% CC + 30% T		50% CC + 50% T		100% T	
Superior	55	a	56	a	52	a	49	a
Inferior	45	b	44	b	48	a	51	a
Superior centro	46	a	53	a	41	a	41	a
Superior periferia	9	c	3	d	11	c	8	c
Inferior centro	22	b	12	c	16	c	23	b
Inferior periferia	22	b	31	b	32	b	29	ab

posee un tipo de raíz fasciculado y el copete pivotante. En coincidencia, Biran & Eliassaf (1980) observaron que en un contenedor las plantas de *Erythrina corralodendrum* cuya raíz es fasciculada, tuvo un mayor desarrollo radical en la parte media y superior (79%) mientras que en la parte inferior fue menor (20%). Por otro lado, en el mismo ensayo las plantas de *Quercus ithaburensis* de raíz pivotante, presentaron un desarrollo más parejo entre la parte superior y media (55%) e inferior (44,5%). Por lo cual, los resultados observados confirman lo mencionado por Lemaire *et al.* (2005), quienes concluyeron que el cultivo en contenedor no modifica el tipo de raíz.

No se encontró un efecto notorio de las propiedades físicas, en especial por las variables PA y CRA, sobre la distribución de la raíz, es decir a mayor PA y menor CRA o viceversa, la distribución fue similar en ambas especies. Sin embargo, sí se pudo observar que en ambas especies y en todos los sustratos, excepto las plantas de petunia desarrolladas en el sustrato con 100% de CC, en la sección inferior del cepellón hubo un mayor porcentaje de raíces en la periferia. Este resultado podría deberse a que si se mide la PA y la CRA del sustrato en un contenedor desde la parte superior hacia la parte inferior se produce un aumento de CRA y una disminución de la PA por efecto del potencial agua (Bilderback & Fonteno, 1987; Owen & Altland, 2008). Por lo tanto, en la

parte inferior del cepellón en especial en el centro, la aireación es menor, por lo cual las raíces tienden a desarrollar más en la periferia. Además según Furuta (1974), el crecimiento horizontal de las raíces se ven impedidas por las paredes del contenedor y esto causa un crecimiento compacto de raíces cercanas a las paredes.

En síntesis, los plantines de petunia y copete en una maceta de 7,5 cm de alto y 10 cm de diámetro regadas mediante sistema de riego por goteo (espaguetis) tuvieron mayor desarrollo aéreo en los sustratos con 100%, 50% y 30% de T mezclada con CC. Principalmente las plantas desarrolladas en el sustrato con 50% de T, cuya PA era de 33% y CRA de 57%, es decir una relación PA/CRA: 0,57. Sin embargo, no se observaron amplias diferencias en la masa seca radical, aunque sí la metodología utilizada permitió confirmar que el cultivo de ambas especies en maceta no modifica el tipo de raíz de cada una. Además, se encontró que en la sección inferior del cepellón hubo mayor porcentaje de masa seca radical en la periferia posiblemente debido a condiciones más aireadas que en la parte central.

Los sustrato evaluados en este trabajo tenían un EPT adecuado, mayor a 85%, en próximas investigaciones se recomienda evaluar si el desarrollo radical de estas especies es afectado en condiciones no adecuadas de EPT.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M; P Noguera & C Carrion. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu Gavilan M. (eds). Tratado de cultivo sin suelo. Capítulo 4. Pp. 113-158Ed. Mundi prensa. España. 914 pp.
- Abad, M; P Noguera & S Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Biore-source Technol.* 77: 197-200.
- Abad, M; F Fornes; C Carrión; V Noguera; P Noguera; Á Maquieira & R Puchades. 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience* 40(7): 2138-2144.
- Ansorena Miner, J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 172 pp.
- Awang, Y; AS Shaharom; RB Mohamad & A Selamat. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *Am J Agric Biol Sci* 4(1): 63-71.
- Barbaro, LA; MA Karlanian & ME Papone. 2017. Sustratos: relación de poros con aire y agua adecuada para producir plantas florales en contenedor N° 10. *Cienc. suelo* 35(2): 205-213.
- Barbaro, LA; MA Karlanian; S Imhoff & DE Morisigue. 2011. Caracterización de la turba subtropical del departamento Islas del Ibicuy (Entre Ríos, Argentina). *Agriscientia* 28(2): 137-145.
- Barrett, GE; PD Alexander; JS Robinson & NC Bragg. 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems: A review. *Sci Hort*: 220-234.
- Bilderback TE & WC Fonteno. 1987. Effects of Container Geometry and Media Physical Properties on Air and Water Volumes in Containers. *J Environ Hortic* 5 (4): 180-182.
- Biran, I & A Eliassaf. 1980. The effect of container shape on the development of roots and canopy of woody plants. *Sci Hort* 12(2): 183-193.
- Blanchette, R & JLA Scola. 1999. *Grower talks on crop culture 2*. Ed. Ball Publishing. USA. 206 pp.
- Bunt, AC (ed). 1988. *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin Hyman. London. 309 pp.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Agrotecnias. Madrid. 342 pp.
- Buyatti, MA. 2012. *Técnicas para regular el crecimiento de plantines florales*. Tesis Doctoral. UNL. Esperanza, Santa Fe, Argentina.
- Cannavo, P & JC Michel. 2013. Peat particle size effects on spatial root distribution, and changes on hydraulic and aeration properties. *Sci Hort* 151: 11-21.
- De Boodt, M; O Verdonck & J Cappaert. 1974. Methods for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- De Boodt, M & O Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26: 37-44
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> 10/12/2018
- Domingues Salvador, E. 2009. *Tagetes Patula* seedling production. *Acta Hort.* 843, 343-348.
- Evans, MR. 2011. Physical properties of and plant growth in peat-based root substrates containing glass-based aggregate, perlite, and parboiled fresh rice hulls. *HortTechnology* 21(1): 30-34.
- Fernández, R. 2008. Caracterización de la producción florícola argentina. Su vinculación con la generación y transferencia de tecnología. I Simposio Iberoamericano- IV Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental. Pontevedra, España. *Actas de Horticultura* 52: 42-47.
- Fonteno, W. 1999. Sustratos: Tipos y propiedades físicas y químicas. En: Reed, DW (ed.). *Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero*. Capítulo 5. Pp. 93-124. Ball Publishing. E. Unidos. Hortitecnia Ltda. Colombia.
- Furuta, T. 1974. *Environmental Plant Production and Marketing*. Cox Publishing Co., Arcadia, California. 99 pp.
- Gutierrez Trejo, MJ; S Bernal & ING Francisca Asesor. 2008. Efecto de la fertilización al sustrato en la calidad de petunias (*Petunia x hibrida*) producidas en maceta. Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria. Torreón, Coahuila, México. 70 pp.
- Kaderabek, LEB. 2017. *Effects of Aging on the Physical, Chemical, and Hydrological Properties of Pine Bark Substrates*. Thesis of Master of Science, Faculty of North Carolina State University. 146 pp.
- Kipp, JA; G Wever & C de Kreij. 2000. *International substrate manual*. Elsevier. The Netherlands. 94pp.
- Kozlowski, TT & WH Scholtes. 1948. Growth of roots and root hairs of pine and hardwood seedlings in the Piedmont. *J. For. Res.* 46(10): 750-754.
- Landis, TD; RW Tinus; SE McDonald & JP Barnett. 2000. *Manual de viveros para Producción de especies forestales en contenedor*. Manual agrícola. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 674 pp.
- Lemaire, F; A Dartigues; L Riviere; S Charpentier & P Morel (Eds). 2005. *Cultivos en macetas y contenedores: Principios agronómicos y aplicaciones*. Mundi-Prensa. Madrid. 110 pp.

- Londra, PA; AT Paraskevopoulou & M Psychoyou. 2012. Evaluation of Water-Air Balance of Various Substrates on Begonia Growth. *HortScience* 47(8): 1153-1158.
- Markham, JW; DJ Bremer; CR Boyer & KR Schroeder. 2011. Effect of container color on substrate temperatures and growth of red maple and redbud. *HortScience* 46(5): 721-726.
- Martínez Farré, FX. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Acta Hort.* 11: 55-66.
- Mathers, HM; SB Lowe; C Scagel; DK Struve & LT Case. 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology* 17(2): 151-162.
- Michael, R & L Heinrich. 2008. *Soilless Culture: Theory and practice*. Netherlands: Elsevier Science. 608pp.
- Morard, P & J Silvestre. 1996. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant and Soil* 184(2): 243-254.
- Noguera, P; M Abad; R Puchades; A Maquieira & V Noguera. 2003. Influence of Particle Size on Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust as Container Medium. *Commun Soil Sci Plant Anal.* 34(3-4): 593-605.
- Osmont, KS; R Sibout & CS Hardtke. 2007. Hidden branches: developments in root system architecture. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58: 93-113.
- Owen, JS & JE Altland. 2008. Container height and Douglas fir bark texture affect substrate physical properties. *HortScience* 43(2): 505-508.
- Polak, A & R Wallach. 2001. Analysis of soil moisture variations in an irrigated orchard root zone. *Plant and Soil* 233(2): 145-159.
- Poorter, H; J Bühler; D Van Dusschoten; J Climent & JA Postma. 2012. Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Funct Plant Biol* (11): 839-850.
- Quintero, MF; CA González & JM Guzmán. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez R., V.J. (Ed). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. pp. 79 -108. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Raviv, M & JH Lieth. 2008. *Soilless culture: theory and practice*. Ed. Elsevier. 587 pp.
- Sambo, P; F Sannazzaro & MR Evans. 2008. Physical properties of ground fresh rice hulls and sphagnum peat used for greenhouse root substrates. *HortTechnology* 18(3): 384-388.
- Sánchez Córdova, T; A Aldrete; VM Cetina Alcalá & J López Upton. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y bosques* 14(2): 41-49.
- Sánchez Ocampo, PM. 2008. Efecto de la época de transplante sobre la acumulación de luteína en inflorescencias de cempachuil (*Tagetes erecta* L.) Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Biotecnología. Yautepec, Morelos. 71 pp.
- Sanchez, FP. 2004. Cultivo de plantas ornamentales. En: Urrestarazu Gavilan M. (eds). *Tratado de cultivo sin suelo*. Capítulo 22. Pp. 793-847. Ed. Mundi prensa. España. 914 pp.
- Shoemaker, CA. & WH Carlson. 1990. pH affects seed germination of eight bedding plant species. *HortScience* 25(7): 762-764.
- Smith, BR; PR Fisher & WR Argo. 2004. Growth and pigment content of container-grown impatiens and petunia in relation to root substrate pH and applied micronutrient concentration. *HortScience* 39(6): 1421-1425.
- Sonneveld, C & Voogt W. 2009. Fertigation management of potted plants. In *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Pp. 313-344. Springer, Dordrecht.
- Terés, V. 2001. Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización. Tesis doctoral, UP de Madrid. 483p.
- Valenzuela, OR; CS Gallardo; MS Carponi; ME Aranguren; HR Tabares & MC Barrera. 2014. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Cienc., Doc. y Tec.*4(4): 1-19.
- Vence, LB. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del Suelo* 26(2): 105-114.
- Villanova, I & DR Morisigue. 2016. Plan de mejora competitiva. Relevamiento e la producción de flores y plantas ornamentales en el Área Metropolitana de Buenos Aires y el partido de San Pedro, provincia de Buenos Aires. Clúster florícola del AMBA y San Pedro. 85 pp.
- Villa Castillo, J. 2004. Inoculating Composted Pine Bark for Container Production. *Native Plants Journal* 5: 181-18