

CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS DE SUSTRATOS ORGÁNICOS Y SU RELACIÓN CON RETENCIÓN DE AGUA Y CRECIMIENTO RADICAL

MICROMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ORGANIC SUBSTRATES AND THEIR RELATIONSHIP WITH WATER RETENTION AND ROOT GROWTH

Salomé **Gayosso-Rodríguez**¹, María del Carmen **Gutiérrez Castorena**², Maximiano Antonio **Estrada Botello**¹,
Rufo **Sánchez Hernández**^{1*}

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Ra. La Huasteca 2ª Sección. Centro, Tabasco, México C.P. 86280 (rusaher@hotmail.com). ²Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, México.

RESUMEN

El estudio de la micromorfología permite comprender el funcionamiento hídrico y la respuesta fisiológica de los cultivos en un sustrato. En la investigación se evaluó el efecto de la micromorfología de mezclas de materiales orgánicos, sobre el contenido de agua y el crecimiento radical de crisantemo. La hipótesis fue que la descripción de la micromorfología de nuevas propuestas de sustratos permitiría inferir la contención, el movimiento del agua y en consecuencia el crecimiento radical. Materiales orgánicos se utilizaron como: aserrín (AP) y viruta de pino (VP), bagazo de henequén (BH), polvo de coco (PC) y un sustrato testigo (turba:Agrolita®). Siete mezclas se evaluaron plantando esquejes enraizados en contenedores con capacidad de 1250 mL. En las mezclas se determinó potencial hídrico (ψ), volumen radical (VR) y peso seco de raíces (PSR); en las hojas, el contenido relativo de agua (CRA) y el uso eficiente del agua (UEA). La micromorfología y la porosidad se caracterizaron a través de la descripción de secciones delgadas. Los resultados indicaron que la forma y distribución del tamaño de partículas, el grado de descomposición de la materia orgánica y el tipo y tamaño de poro, influyeron en la retención y el movimiento del agua en un sustrato. La mezcla de bagazo de henequén y aserrín en una relación 20:80, formó poros de empaquetamiento compuesto, de tamaños entre 50 y 500 μm y superó a la mezcla testigo en el uso eficiente del agua, sin diferencias significativas en potencial hídrico, contenido relativo de agua, volumen radical, ni peso seco de raíces. La combinación de polvo de coco y aserrín de pino formó poros de empaquetamiento compuesto y microporos <50 μm que dificultaron el movimiento del agua y afectaron el crecimiento de las

ABSTRACT

The study of micromorphology helps understanding the function of water and the physiological response of plant cultures in a substrate. This research evaluated the effect of micromorphology of mixtures of organic materials on water content and root growth of Chrysanthemum. The hypothesis was that a description of the micromorphology of proposed new substrates would help inferring water storage and movement, and consequently, root growth. Organic materials used were pine sawdust (AP), pine shavings (VP), henequen bagasse (BH), coconut coir dust (PC) and a control (peat:Agrolita™) substrate. Seven mixtures were evaluated, planting cuttings rooted in 1250 mL containers. In the mixtures, water potential (ψ), root volume (VR) and the dry weight of roots was determined (PSR); in the leaves, relative water content (CRA) and water use efficiency (UEA). The micromorphology and porosity were characterized with the description of thin sections. The results indicated that the shape and distribution of particle sizes, degree of decomposition of organic matter, type and size of pores had an influence on the water retention and movement in a substrate. The mixture of henequen bagasse and sawdust, in a ratio of 20:80 formed compound packing pores of 50 to 500 μm size, and surpassed the control mixture in water use efficiency, with no significant differences in water potential, relative water content or dry weight of roots. The combination of coconut coir dust and pine sawdust formed compound packing pores and micropores <50 μm that hindered water movement and affected root growth. In the 20PC:80VP mixture, 80% of the particles were >200 μm , with simple packing pores 80% of them with sizes between 200 and 500 μm that allow water percolation and a reduction in the water potential (ψ).

Key words: *Chrysanthemum morifolium*, organic residues, porosity, particle size, water potential.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4385-4837>

Recibido: mayo, 2020. Aprobado: marzo, 2021.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 55: 195-208. 2021.

raíces. En la mezcla 20PC:80VP el 80% de las partículas fueron $>200\ \mu\text{m}$, con poros de empaquetamiento simples con 80% de tamaños de 200 a $500\ \mu\text{m}$ que ocasionaron la percolación del agua y una disminución del (ψ) potencial hídrico.

Palabras claves: *Chrysanthemum morifolium*, residuos orgánicos, porosidad, tamaño de partículas, potencial hídrico.

INTRODUCCIÓN

Las características físicas del sustrato, influyen en el crecimiento y el desarrollo de la planta, lo que favorece la calidad (Falcón *et al.*, 2019) y el rendimiento de un cultivo (Bernal *et al.*, 2019). El sustrato tiene una parte sólida que confiere la estructura física y el espacio poroso, que contribuye a una aireación adecuada, percolación, retención y disponibilidad del agua necesaria para las plantas (Cruz-Crespo *et al.*, 2019). En general, si las proporciones de aire, agua y sólidos en el sustrato no están en las cantidades apropiadas al cultivo, las plantas pueden presentar problemas de asfixia, deshidratación, exceso o carencia de nutrimentos.

Por lo indicado anteriormente es necesario conocer las características físicas del sustrato; la forma, el tamaño, el acomodo y el empaquetamiento de las partículas en los sustratos, generan diferentes tipos de poros los cuales determinan la percolación y la retención del agua (López-Lambrano *et al.*, 2018). La capacidad de retención de agua es la característica física de mayor relevancia en el cultivo en contenedor, y de importancia vital por la cantidad de agua y nutrimentos que se aplicarán en el cultivo (Quintero *et al.*, 2011; Mascarini *et al.*, 2012).

La retención y la pérdida de agua, y como consecuencia el potencial hídrico (ψ) del sustrato, están determinados por la tortuosidad y la continuidad de los poros (Gutiérrez *et al.*, 2011; Vence *et al.*, 2013). También, tamaños de partículas de 0.25 a 1.00 mm incrementan el empaquetamiento y aumentan la capacidad de retención de agua; mientras que las partículas de tamaños mayores a 3.36 mm y superficies rugosas disminuyen esta propiedad (Anicua *et al.*, 2009; Quintero *et al.*, 2011). En relación con los poros, los de empaquetamiento complejo favorecen la retención humedad y su formación se favorece por la combinación de materiales de partículas de formas irregulares y de tamaños entre 0.25 y 1 mm (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011). A su vez el

INTRODUCTION

The physical characteristics of a substrate have an influence on growth and development of plants, favoring the quality (Falcón *et al.*, 2019) and yield of a crop (Bernal *et al.*, 2019). The substrate has a solid component conferring physical structure and a porous space, which contributes to the adequate aeration, and to the percolation, retention and availability of water required for the plants (Cruz-Crespo *et al.*, 2019). In general terms, if the proportions of air, water and solids in the substrate are not provided in the amounts required by the crop, plants may present problems of asphyxiation, dehydration or a lack or excess of nutrients.

Due to the aforementioned, it is necessary to know the physical characteristics of the substrate; shape, size, arrangement and the type of packing of particles in substrates produce different types of pores, which determine percolation and retention of water (López-Lambrano *et al.*, 2018). Water retention capacity is the most relevant physical characteristic in cultures grown in containers, and it is a key to the amount of water and nutrients being supplied to the culture (Quintero *et al.*, 2011; Mascarini *et al.*, 2012).

Water retention and loss, and consequently the water potential (ψ) of the substrate, are determined by tortuosity and continuity of the pores (Gutiérrez *et al.*, 2011; Vence *et al.*, 2013). In addition, particle sizes between 0.25 and 1.00 mm increase the packing and increase their capacity for water retention; whereas particle sizes bigger than 3.36 mm and with coarse surfaces reduce this property (Anicua *et al.*, 2009; Quintero *et al.*, 2011). In regard to pores, those with complex packing favor water retention. This type of pores is formed by the combination of materials with irregularly-shaped particles and sizes between 0.25 and 1 mm (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011). In turn, pore type and size along with water content affect the distribution, morphology and functional behavior of the root system (Basu *et al.*, 2016).

The development of plants in containers depends largely on the air-water balance and the physical characterization of substrates helps discovering their qualities and deficiencies, which cannot be modified after establishing the crop (Abad *et al.*, 2005). There are several physical analysis techniques on substrates to determine such characteristics. An analysis of

tamaño, tipo de poro y contenido de agua, afectan la distribución, la morfología y el comportamiento funcional del sistema radical (Basu *et al.*, 2016).

El desarrollo de plantas en contenedor depende en gran parte del equilibrio agua-aire, la caracterización física de los sustratos permite conocer sus cualidades y deficiencias, las cuales no pueden modificarse después del establecimiento del cultivo (Abad *et al.*, 2005). Técnicas diversas de análisis físicos en sustratos existen para determinar dichas características. El análisis de la micromorfología es una técnica para la descripción de los suelos que permite conocer el acomodo y la forma de partículas que lo componen, así como la porosidad (ϕ) resultante; se ha utilizado para caracterizar otros materiales como perlita y zeolita (Anicua *et al.*, 2009), y mezclas de fibra de coco y tezontle (Gutiérrez *et al.*, 2011). Esta técnica consiste en observar imágenes de secciones delgadas de menos de 30 mm de espesor, a través de un microscopio petrográfico, describir y cuantificar los poros y la distribución de las partículas que lo componen (Bullock *et al.*, 1985). Para comprender el movimiento o la retención del agua en un sustrato es necesario cuantificar el tipo, tamaño y continuidad de los poros y correlacionar esta información con las propiedades físicas (Anicua *et al.*, 2009; Stoops, 2018).

La mayoría de las investigaciones en sustratos utilizan variables respuesta de la planta para determinar la calidad de los materiales evaluados. No obstante, el cultivo de plantas en contenedor también requiere que los sustratos conserven la humedad disponible para la planta (Gutiérrez *et al.*, 2011). El interés por caracterizarlos surgió antes de proponerlos como una alternativa (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue caracterizar la micromorfología de mezclas de residuos orgánicos, y su efecto en el contenido de agua y el crecimiento radical de *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura. Bajo la hipótesis de que la descripción de la micromorfología de nuevas propuestas de sustratos permitiría inferir la contención y el movimiento del agua y en consecuencia el crecimiento radical del crisantemo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los sustratos

La evaluación en campo se realizó en el área de viveros del Instituto Tecnológico de Conkal, en el estado de Yucatán, México, en

the micromorphology is used to describe soils and learning about the arrangement and the shape of their particles, as well as the resulting porosity (ϕ); this analysis has been used to characterize other materials such as perlite and zeolite (Anicua *et al.*, 2009), as well as mixtures of coconut coir and tezontle (Gutiérrez *et al.*, 2011). This technique consists in observing images of thin sections, less than 30 mm thick, through a petrographic microscope, describing and quantifying the pores and the distribution of their particles (Bullock *et al.*, 1985). To understand water movement or retention in a substrate, type, size and continuity of its pores have to be quantified, and this information should be correlated with the physical properties (Anicua *et al.*, 2009; Stoops, 2018).

Most researches on substrates use plant response variables to determine the quality of the materials evaluated. Nevertheless, planting in containers also requires that the substrates retain water available for the plant (Gutiérrez *et al.*, 2011). The interest in characterizing them began before proposing them as an alternative (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016). Therefore, the aim of this study was to characterize the morphology of mixtures of organic residues and their effect on water content and root growth of *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura. Under the hypothesis that describing the micromorphology of new proposed substrates would help to infer water movement and retention and consequently, root growth of *Chrysanthemum*.

MATERIALS AND METHODS

Preparation of the substrates

The field evaluation was carried out in the area of nurseries of the Instituto Tecnológico de Conkal, in the state of Yucatán, Mexico, between December 2016 and March 2017. Sample preparation and images descriptions of thin sections were done in the facilities of Edafología postgraduate program under Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México.

For the selection of materials, we chose the ones which were available and easy to access in Yucatán, Mexico, such as pine sawdust (AP), pine shavings (VP) and henequen bagasse (BH). All materials were gathered in their raw state, without composting. Coconut coir dust (PC) was also used, along with a control substrate (peat:Agrolite™ 80:20 v/v). Based on the individual granulometry reported by Gayosso *et al.*, (2018a), a calculation was done using the percentage of particle size in each material to form size combinations where approximately

el período de diciembre 2016 a marzo 2017. La preparación de las muestras y la descripción de imágenes de las secciones delgadas se realizaron en las instalaciones del postgrado de Edafología en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, en Texcoco, México.

En la selección de los materiales se eligieron aquellos disponibles y de fácil acceso en Yucatán, México: aserrín de pino (AP), viruta de pino (VP) y bagazo de henequén (BH). Todos los materiales se colectaron crudos sin proceso de compostaje. También se utilizó polvo de coco (PC) y un sustrato testigo (turba:agrolita 80:20 v/v). Con base en la granulometría individual reportada por Gayosso *et al.*, (2018a), se realizó un cálculo con el porcentaje del tamaño de partículas que contenía cada material para formar combinaciones con tamaños aproximados a 20% de partículas menores a 0.5 mm y el resto de las partículas con tamaños entre 0.5 y 4.76 mm. Las mezclas resultantes fueron seis combinaciones, y la mezcla utilizada por los productores de plantas de ornato en el área local, se usó como testigo (Cuadro 1). Las mezclas se formularon en una relación volumen por volumen (v/v).

Establecimiento y manejo del cultivo

Las mezclas se envasaron en contenedores con capacidad de 1250 mL (6" diámetro) y se establecieron cuatro esquejes de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura) de 45 d enraizados previamente en Agrolita® y material vegetativo proveniente del vivero "Lolpakal" de Mérida, Yucatán. El pinchado de los esquejes se realizó a los ocho días después del trasplante (DDT). Durante los primeros 15 d del cultivo se fertilizó con 1 g L⁻¹ de NPK (19-19-19) y luego se aumentó a 2 g L⁻¹. A partir de los 70 DDT se aplicaron 25 mg L⁻¹ de NPK (11-52-00) y 100 mg L⁻¹ de NPK (13-0-46). La solución se ajustó a un pH de 6.3. Las plantas se cultivaron en un invernadero tipo túnel con ventana cenital y plástico blanco con 25% de sombra. La luz natural dentro del invernadero fue de 12 h, a los 30 DDT se colocaron focos

20% of particles were smaller than 0.5 mm and the remaining particles of 0.5 to 4.76 mm size. The resulting mixtures were six combinations; the mixture used by local producers of ornamental plants in the area was used as a control (Table 1). The mixtures were formulated in a volume to volume ratio (v/v).

Crop establishment and management

The mixtures filled in 1250 mL (6" diameter) containers, and four 45 days-old *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura cuttings were established, previously rooted in Agrolita™ and vegetative material from the "Lolpakal" nursery in Mérida, Yucatan. The cuttings were pierced eight days after transplanting (DAT). During the first 15 d, the crop was fertilized with 1 g L⁻¹ of NPK (19-19-19), this dose was then increased to 2 g L⁻¹. Starting at 70 DAT, 25 mg L⁻¹ of NPK (11-52-00) began to be applied, along with 100 mg L⁻¹ of NPK (13-0-46). The solution was adjusted to a pH of 6.3. The plants were grown in a greenhouse made with a white tunnel Poly cover with roof window and 25% shade. Natural light inside the greenhouse lasted 12 h, and at 30 DAT, incandescent lights (100 W) were placed inside for 4 h in order to complete a photoperiod of 16 h of light and 8 h of darkness, until plants reached 40 cm height. After that point, a shade mesh 70% was placed to induce flowering. During the first 40 DAT, the plants were irrigated with 220 mL of water every third day, and afterwards they were irrigated twice a day.

Variables evaluated in the substrate

Micromorphological description

After 105 d of plant growth, three samples of substrate-roots were taken per plant with the use of metal cylinders, each one 8 cm height and 7 cm in diameter. Branches and leaves of

Cuadro 1. Proporción de materiales orgánicos utilizados en la preparación de mezclas para su evaluación como sustratos agrícolas.

Table 1. Proportion of materials used in the preparation of mixtures for their evaluation as agricultural substrates.

Mezclas	Proporción de materiales orgánicos (v/v)	Nomenclatura
M1	20 bagazo de henequén:80 aserrín de pino	20BH:80AP
M2	30 bagazo de henequén:70 viruta de pino	30BH:70VP
M3	20 polvo de coco:80 aserrín de pino	20PC:80AP
M4	20 polvo de coco:80 viruta de pino	20PC:80VP
M5	20 polvo de coco:40 aserrín de pino:40 viruta de pino	20PC:40AP:40VP
M6	20 bagazo de henequén:40 aserrín de pino:40 viruta de pino	20BH:40AP:40VP
M7	80 turba:20 agrolita	80T:20A

de luz incandescente (100 W) durante 4 h para completar un fotoperiodo de 16 h luz y ocho de oscuridad, hasta que las plantas alcanzaron 40 cm de altura. Después, se colocó una malla de 70% de sombra para inducir la floración. Durante los primeros 40 DDT las plantas se regaron con 220 mL de agua cada tercer día y posteriormente se suministraron dos riegos al día.

Variables evaluadas en el sustrato

Descripción micromorfológica

A los 105 d de crecimiento de las plantas se colectaron tres muestras por tratamiento de sustrato-raíces con el uso de cilindros metálicos de 8 cm de alto por 7 cm de diámetro. La parte área de la planta se eliminó y se introdujeron los cilindros en forma vertical al contenedor con cuidado para no alterar la muestra; se secaron al aire (intemperie) y luego, se impregnaron con resina poliéster insaturada y monómero de estireno en una relación 7:3 (Anicua *et al.*, 2009). Las secciones delgadas (5 × 7.5 cm) se elaboraron con el método de Murphy (1986) el cual consiste en cortar los cilindros impregnados con un disco de punta de diamante y pulir hasta 30 μm de espesor con abrasivos de carburo de silicio (carborondum) y óxido de aluminio (aloxita) de granulometría diferente.

En cada sección delgada se capturaron seis imágenes de manera aleatoria con una cámara Canon® EOS Rebel T3 montada en un microscopio petrográfico marca Olympus® BX51. Las imágenes se capturaron con el objetivo 2x y dos fuentes de luz: polarizada plana (LPP) y polarizada cruzada (LPC). Después, las imágenes se procesaron con el programa Image-Pro Plus v. 5.0 y se cuantificó el espacio poroso y el tamaño de las partículas; se describieron forma, distribución y poros entre partículas, de acuerdo con la terminología propuesta por Bullock *et al.* (1985).

Potencial hídrico (ψ)

Esta variable se determinó cada 15 d durante el período de cultivo. Las lecturas se tomaron en los sustratos con un medidor de potencia de punto de rocío Modelo WP4-T v.5, en una profundidad de 0.5 cm desde la superficie a las 07:00 h. Las lecturas se expresan en Megapascals (MPa).

Variables evaluadas en las plantas

Contenido relativo de agua (CRA)

Este contenido se calculó por diferencia de peso del agua contenida en hojas a los 105 DDT. Tres hojas por contenedor se tomaron, hojas maduras de la parte media de la planta y se pesaron en fresco (P_{Fr}). Después, se saturaron en agua destilada por

plants was removed and cylinders were introduced vertically into containers carefully in order to avoid altering the sample. They were dried out in the open air and impregnated with unsaturated polyester resin and styrene monomer in a 7:3 ratio (Anicua *et al.*, 2009). Thin sections (5 × 7.5 cm) were created using Murphy's method (1986), which consists in cutting the impregnated cylinders with a diamond tip disc cutting machine and polishing un to 30 μm in thickness with silicon carbide (carborondum) and aluminium oxide (aloxite) abrasives with different grain size.

In each thin section, six images were taken at random using a Canon® EOS Rebel T3 camera mounted on an Olympus® BX51 petrographic microscope. The images were captured using a 2x lens and two light sources: flat polarized (LPP) and crossed polarized (LPC). The images were then processed using the program Image-Pro Plus v. 5.0 and the porous space and particle size were quantified; shape, distribution and pores between particles were described following the terminology proposed by Bullock *et al.* (1985).

Water potential (ψ)

This variable was determined every 15 d during growing period. Readings were taken in the substrates with a Model WP4-T v.5 dew point potentiometer, at a depth of 0.5 cm from the surface at 07:00 h. Readings are expressed in Megapascal units (MPa).

Variables evaluated in the plants

Relative water content (CRA)

This was calculated with the difference of the weight of water contained in the leaves at 105 DAT. Three mature leaves per container were taken from the middle section of the plant and weighed while fresh (P_{Fr}). They were later saturated in distilled water for 24 h, weighed again (P_{sa}) and finally dried at 60 °C for 72 h (P_{se}). Calculations were carried out using the following formula:

$$CRA (\%) = \left(\frac{P_{Fr} - P_{Se}}{P_{sa} - P_{Se}} \right) \times 100$$

Water use efficiency (UEA)

The UEA was measured with a LICOR brand infrared gas analyzer (IRGA), model 6400xt on flowering plants 105 DAT.

Volume of roots (VR) and dry weight of roots (PSR)

These variables were determined in 105 d old plants in the greenhouse. For this purpose, a destructive sampling was

24 h se pesaron nuevamente (Psa) y al final, se secaron a 60 °C por 72 h (Pse). El cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$CRA(\%) = \left(\frac{P_{Fr} - P_{Se}}{P_{Sa} - P_{Se}} \right) \times 100$$

Uso eficiente del agua (UEA)

El UEA se midió con un analizador infrarrojo de gases (IRGA) marca LICOR modelo 6400xt en plantas en floración a los 105 DDT.

Volumen de raíces (VR) y peso seco de raíces (PSR)

Estas variables se determinaron en plantas con 105 d de cultivo en invernadero. Para ello, se realizó un muestreo destructivo con las plantas de tres contenedores. Para determinar el VR se eliminó la parte aérea de la planta, se lavaron las raíces con agua corriente y el volumen se aproximó por el principio de desplazamiento de Arquímedes. El PSR se determinó después de secar las raíces lavadas en el paso previo, en una estufa de aire forzado marca FELISA por 72 h a 70 °C hasta alcanzar peso constante.

Análisis estadístico

El experimento se estableció en un diseño experimental de bloques completos al azar. Cada tratamiento con 10 repeticiones, un contenedor con cuatro esquejes como unidad experimental. Con los datos obtenidos se realizó un ANDEVA y una prueba de comparación de medias (Tukey; $p \leq 0.05$). Los datos en porcentajes se normalizaron con la raíz cuadrada del arcoseno. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico Statistics Six Sigma, v.7 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las microfotografías se observó a las partículas de AP y VP en colores de perla a gris y el BH y el PC en coloraciones pardo oscuras. Los materiales sin descomponer presentaron una birrefringencia alta, con colores de interferencia blancos de primer orden. Mientras que los amorfos se observaron en coloración pardo-oscura, característica de la materia orgánica con diferentes grados de descomposición (Bullock *et al.*, 1985; Markoska *et al.*, 2018) (Figura 1).

Los poros formados en las mezclas evaluadas, fueron poros de empaquetamiento compuesto a excepción de M4 con poros de empaquetamiento simple (Figura 2). Los poros de empaquetamiento compuesto,

carried out with the plants from three containers. As it was said, to determine the VR, branches and leaves of the plant were eliminated, the roots were washed with tap water and the volume was estimated using the Archimedes displacement principle. The PSR was determined after drying the roots that had been washed in the previous step, using a FELISA brand forced air oven for 72 h at 70 °C until a constant weight was reached.

Statistical analyses

The experiment was established as an experimental design of completely random blocks, and each treatment had 10 replications; a container with four cuttings as an experimental unit. An ANOVA was carried out with the data obtained and a test of multiple means comparison (Tukey; $p \leq 0.05$). The data in percentages were normalized with the square root of the arcsine. The statistical analysis was carried out with the statistical package Statistics Six Sigma, v.7 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

The AP and VP particles were shown in the microphotographs in pearl to grey colours, and the BH and PC, in dark brown colours. The undecomposed materials displayed a high birefringence, with white interference colours of first order. Meanwhile, the amorphous particles were dark-brown colours, characteristic of organic matter with different degrees of decomposition (Bullock *et al.*, 1985; Markoska *et al.*, 2018) (Figure 1).

The pores formed in the evaluated mixtures were compound packing pores, with the exception of M4, with simple packing pores (Figure 2). Compound packing pores have a greater water retention (Gutiérrez *et al.*, 2011) and simple ones occur among single grains, without aggregates, where water moves with greater ease (Bullock *et al.*, 1985). The combination of particles with different shapes and sizes favoured the formation of heterogeneous pores, which contributed to the retention of water in the substrate (Gutiérrez *et al.*, 2011). Intra- and inter- particle pores are related to capillarity and have an influence on the retention forces of water (Vence *et al.*, 2013). Water containment and movement are determined by factors such as size, tortuosity and continuity of substrate pores (Quintero *et al.*, 2011; López-Lambraño *et al.*, 2018).

Regarding particle shape, they were irregular, sub-angled and coarse. In addition, the acute-planar

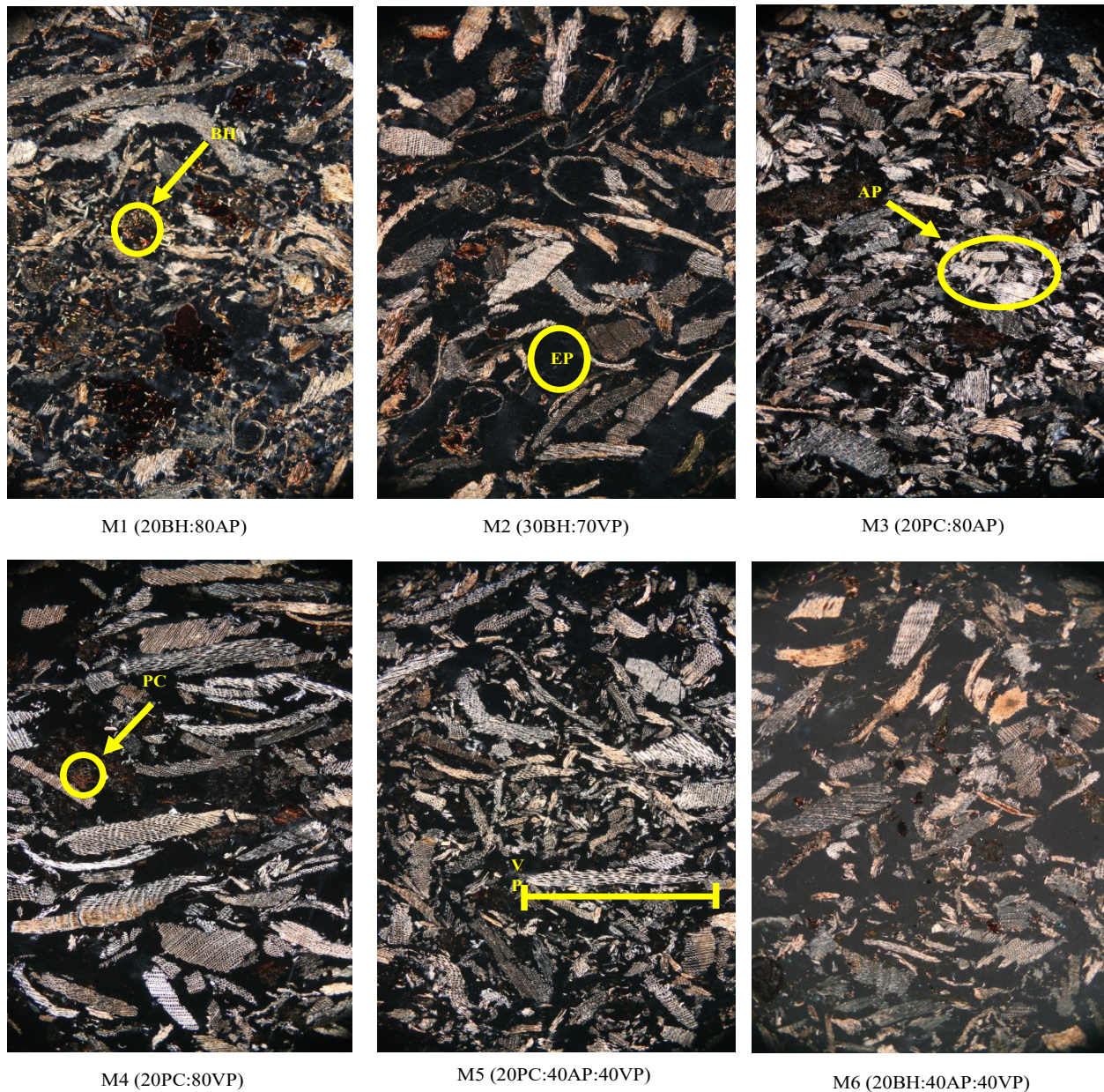


Figura 1. Microfotografías con luz polarizada cruzada de mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC), con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) en proporciones diferentes. El espacio poroso de color negro (EP) y los residuos de tejidos mostraron una brillantez alta.

Figure 1. Microphotographs with crossed polarized light of mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC), with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) in different proportions. The black porous space (EP) and tissue residues showed high brilliance.

tiene mayor capacidad de retención de agua (Gutiérrez *et al.*, 2011), y los de empaquetamiento simple ocurren entre granos simples sin agregados donde el agua se mueve con facilidad mayor (Bullock *et al.*, 1985). La combinación de partículas con formas y tamaños diferentes favorecieron la formación de

shape predominated, corresponding to pine shavings (Figure 3). The AP particle was laminar angular-rugged and the particles of the PC were wavy sub-round, whereas the BH particles were lenticular-vermiform and rugged. The complex shapes of the BH indicated a greater water retention capacity,

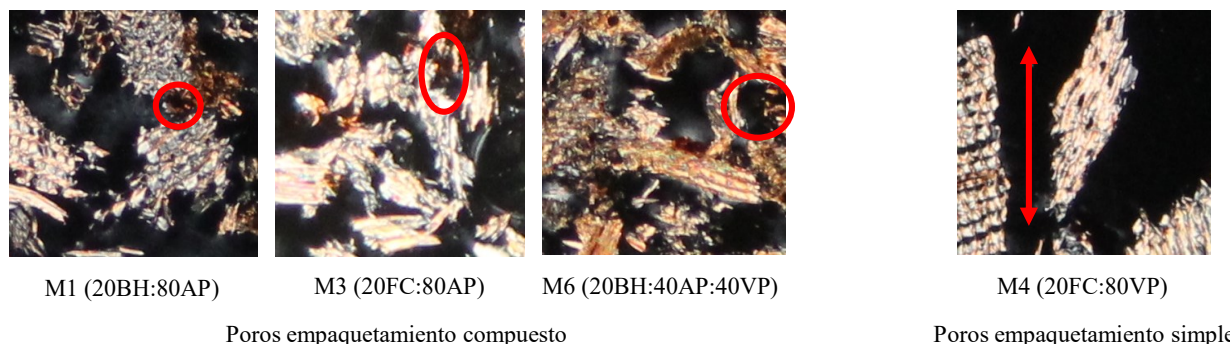


Figura 2. Poros de empaquetamiento compuesto y poros de empaquetamiento simple en mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC), con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) en proporciones diferentes.

Figure 2. Compound and simple packing pores in mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC), with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) in different proportions.

poros heterogéneos, que contribuyeron a la retención del agua en el sustrato (Gutiérrez *et al.*, 2011). Los poros intra e inter partículas se asocian con la capilaridad e influyen en las fuerzas de retención del agua (Vence *et al.*, 2013). La contención y el movimiento del agua están determinados por factores como el tamaño, la tortuosidad y la continuidad de los poros del sustrato (Quintero *et al.*, 2011; López-Lambrano *et al.*, 2018).

Respecto a la forma de las partículas, estas fueron irregulares, subangulares y rugosas, predominó la forma acicular-planar correspondiente a la viruta de pino (Figura 3). La partícula del AP fue laminar angular-rugosa y las partículas del PC de forma ondulada sub-redonda; mientras que la forma de las partículas del BH fueron lenticular vermiforme y rugosa. Las formas complejas del BH señalan mayor capacidad para retener agua, al combinarse con partículas de otras formas y tamaños favoreció la formación de poros heterogéneos. Además, el grado de descomposición del material facilitó la adhesión del agua a la partícula (Schindler *et al.*, 2016).

En la mezcla M4 se observó un arrastre de partículas de PC hacia el fondo del contenedor como resultado de la forma y el tamaño de las partículas predominantes en la mezcla ($>200\ \mu\text{m}$) (Cuadro 2); la formación de poros mayores a $200\ \mu\text{m}$ (80%) favorece la percolación del agua. Por otra parte, no se formaron microporos ($<50\ \mu\text{m}$) que favorecen la adhesión del agua a las partículas y el movimiento del agua en el sustrato por capilaridad (Vence *et al.*, 2013). Al respecto, Martínez y Roca (2011)

that combined with particles of other shapes and sizes, and favoured the formation of heterogeneous pores. Additionally, the degree of decomposition of materials promoted the adhesion of water to the particle (Schindler *et al.*, 2016).

Mixture M4 displayed a dragging of PC particles to the bottom of the container as a result of the shape and size of those predominant particles in the mixture ($>200\ \mu\text{m}$) (Table 2); the formation of pores larger than $200\ \mu\text{m}$ (80%) favours water percolation. On the other hand, there was no formation of micropores ($<50\ \mu\text{m}$) that favour the adhesion of water to the particles and the movement of water in the substrate due to capillarity (Vence *et al.*, 2013). In this regard, Martínez and Roca (2011) mentioned that pores larger than $400\ \mu\text{m}$ favour the drainage, infiltration and aeration, whereas pores between 30 and $300\ \mu\text{m}$ provide a balance to the air-water ratio (Abad *et al.*, 2005). This was the size interval in which pores of mixtures M1 and M6 ranged.

The sizes and shapes of the PC particle in mixtures M3 and M5 favoured the formation of 97 and 70% of pores smaller than $200\ \mu\text{m}$, respectively (Table 2). Both mixtures had the lowest total porosity and micropores formation that hindered water movement because, as particles are smaller, pores are smaller and substrate compaction is greater (Anicua *et al.*, 2009). The physical properties of porosity and water retention in a substrate vary with the proportion of the materials and their particle size (Gutiérrez *et al.*, 2011). The combination of coconut coir dust with particles of other sizes decreased total porosity

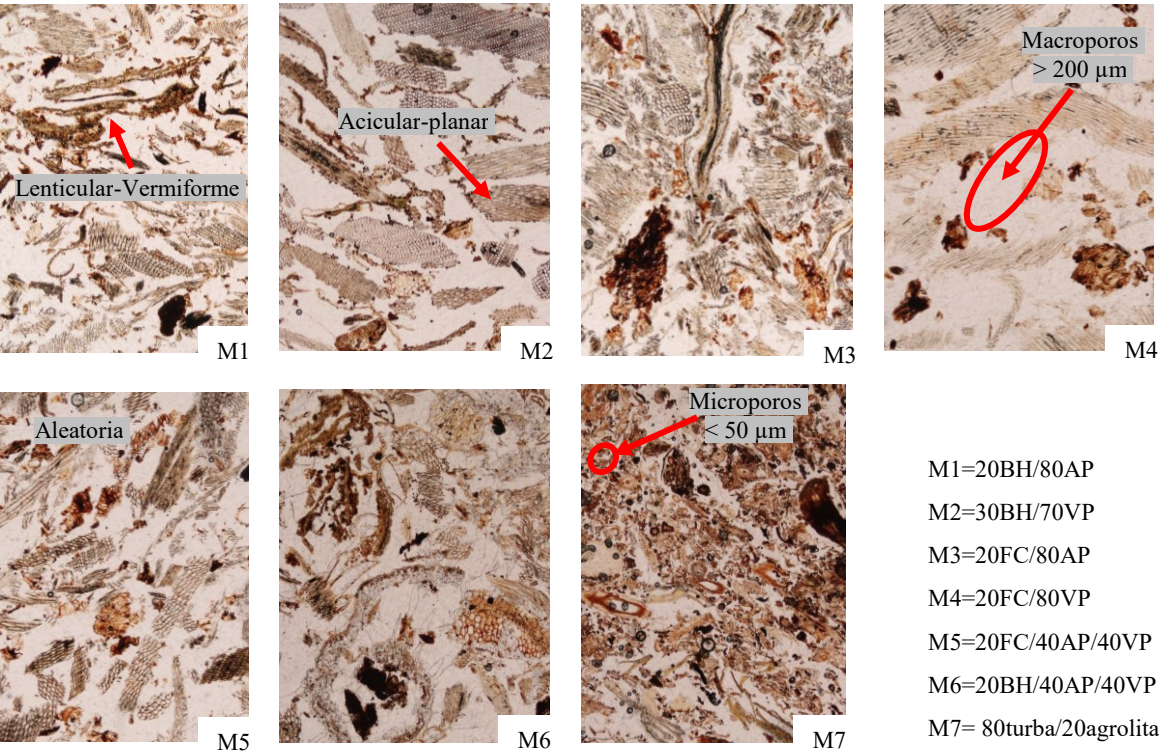


Figura 3. Formas de partículas y tamaños de poros de mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC), con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) en proporciones diferentes. Distribución aleatoria de partículas en todas las imágenes.
Figure 3. Shapes of particles and sizes of pores in mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC), with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) in different proportions. Random distribution of particles in all images.

Cuadro 2. Porcentajes de porosidad total (Φ), tamaños de poros y tamaños de partículas de mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC) con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) en proporciones diferentes.
Table 2. Percentages of total porosity (Φ), sizes of pores and sizes of particles of mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC) with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) in different proportions.

Variable	Unidad	Mezclas						
Φ	(%)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
		54	60	50	59	51	62	66
Porcentaje de distribución de poros								
< 50 μm	(%)	0	0	12	0	20	0	80
50-200 μm		70	10	85	20	50	15	10
200-500 μm		30	40	3	80	25	75	10
500-2000 μm		0	50	0	0	5	10	0
Porcentaje de tamaño de partículas (μm)								
< 50 μm	(%)	5	0	20	5	0	5	60
50-200 μm		10	20	30	10	60	20	40
200-500 μm		85	70	50	75	40	70	0
500-2000 μm		0	10	0	10	0	5	0

M1=20BH:80AP, M2=30BH:70VP, M3=20FC:80AP, M4=20PC:80VP, M5=20PC:40AP:40VP); M6=20BH:40AP:40VP y M7= 80turba:20agrolita.

mencionaron que poros mayores a $400\ \mu\text{m}$ favorecen el drenaje, la infiltración y la aireación; mientras que poros entre 30 y $300\ \mu\text{m}$ confieren un equilibrio a la relación aire-agua (Abad *et al.*, 2005), este fue el intervalo de tamaño en el cual oscilaron los poros de las mezclas M1 y M6.

Los tamaños y la forma de la partícula de PC en las mezclas M3 y M5, favorecieron respectivamente la formación de 97 y 70% de poros de tamaños menores a $200\ \mu\text{m}$ (Cuadro 2). Ambas mezclas con la porosidad total menor y formación de microporos que dificultaron el movimiento del agua; porque mientras menor es el tamaño de partícula, el tamaño de poro es menor y la compactación mayor (Anicua *et al.*, 2009). Las propiedades físicas de porosidad y retención de humedad en un sustrato varían en función de la proporción de los materiales y el tamaño de las partículas (Gutierrez *et al.*, 2011). La combinación de polvo de coco con otros tamaños de partícula, disminuyó la porosidad total (Gayosso *et al.*, 2018b), redujo el espacio ocupado por aire y favoreció la formación de microporos (García y Testezlaf, 2014). Aunque los microporos se relacionan con la retención de agua, es posible que el método de aplicación de riego usado en este estudio no permitió el movimiento del agua y causó escurrimientos hacia las paredes del contenedor, lo cual evitó el movimiento del agua entre partículas.

La porosidad de la mezcla testigo M7 fue superior al resto de las mezclas porque la partícula de agrolita tiene poros de tamaño grande. Al respecto, Anicua *et al.* (2009) registraron que tamaños de partículas de agrolita mayores a 3.36 mm permitieron hasta 40.9% de capacidad de aireación. La combinación de materiales orgánicos con materiales inertes de porosidad interna, aumenta la porosidad para aireación y disminuye la retención de agua (Wisdom *et al.*, 2017).

Las mezclas M1 y M2 fueron superiores ($p \leq 0.05$) en el uso eficiente del agua (UEA), mientras que la mezcla M5 mostró el volumen menor de raíces (Cuadro 3). A mayor retención de agua en el sustrato, mayores son el potencial hídrico y el crecimiento de raíces (Lipiec *et al.*, 2013). El estrés hídrico reflejado en el UEA pudo ocasionar crecimiento menor de las raíces porque de acuerdo con Lopes *et al.* (2013), el cierre de estomas reduce la turgencia de las hojas y limita la entrada del CO_2 para el proceso de fotosíntesis. Por lo tanto, se reduce la producción de

(Gayosso *et al.*, 2018b), reduced the space occupied by air, and favoured the formation of micropores (García and Testezlaf, 2014). Although the micropores relate to water retention, the irrigation method used in this study did not allow water movement and caused leakages towards the walls of containers, which hindered water movement among particles.

The porosity of control mixture M7 was greater than in the rest of the mixes, because the Agrolita particle has large pores. In this regard, Anicua *et al.* (2009) recorded that Agrolita particles larger than 3.36 mm allowed a capacity of aeration up to 40.9%. The combination of organic materials with inert porous materials increases porosity for aeration and reduces water retention (Wisdom *et al.*, 2017).

Mixtures M1 and M2 displayed a higher ($p \leq 0.05$) water use efficiency (UEA), whereas mixture M5 attained the lowest root volume (Table 3). The greater the water retention in substrate, the greater the water potential and root growth (Lipiec *et al.*, 2013). The water stress reflected in UEA may have caused a reduced growth in roots because, according to Lopes *et al.* (2013), the closing of stomata reduces leaves turgidity, thus limiting CO_2 intake for the photosynthesis. Therefore, production of important carbohydrates to form new plant structures is reduced.

In water potential (ψ), there was no significant difference among mixtures M1 (-0.67 MPa), M2 (-0.71 MPa), M3 (-1.14) and M6 (-0.77 MPa) (Figure 4). Water movement in a substrate-plant system depends partly on the water potential. Water moves from areas with a higher potential to areas with a lower potential (Vence *et al.*, 2013). In our study, this indicates that these mixtures retained water, which is a fundamental physical characteristic of the substrates used in horticulture (Abad *et al.*, 2005). On the other hand, M4 displayed the lowest ψ (-4.79 MPa), since the size of its particles and pores ($>200\ \mu\text{m}$) caused water percolation and the gravimetric potential caused deficit in water potential (Vence *et al.*, 2013).

Root growth was found towards the container walls in mixtures M3 and M5 (Figure 5); both mixtures had a total porosity of 50 and 51% and a pore size $< 50\ \mu\text{m}$. These characteristics made water movement difficult through these substrates. This occurs because water content and pore size of

Cuadro 3. Contenido relativo de agua (CRA), uso eficiente de agua (UEA), volumen (VR) y peso seco de raíces (PSR) de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura, cultivado en diferentes mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC), con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) o ambos materiales en proporciones distintas.

Table 3. Relative water content (CRA), water use efficiency (UEA), root volume (VR) and dry weight of roots (PSR) in *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura, grown in different mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC), with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) or both materials in different proportions.

Mezclas	CRA (%)	UEA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$)	VR (mL)	PSR (g)
M1 (20BH:80AP)	71 a	2.99 a	131 ab	15.6 ab
M2 (30BH:70VP)	69.1 a	2.88 ab	135 ab	16.8 a
M3 (20PC:80AP)	66.9 a	2.75 b	134 ab	15.4 ab
M4 (20PC:80VP)	61.3 a	2.55 c	110 bc	12.9 ab
M5 (20PC:40AP:40VP)	68.4 a	2.41 cd	99 c	12 b
M6 (20BH:40AP:40VP)	72 a	2.48 c	141 a	17.1 a
M7 (80T:20A)	65.6 a	2.18 e	106 bc	12 b

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$). ♦ Different letters in a column indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

carbohidratos importantes para la formación de nuevas estructuras de la planta.

En el potencial hídrico (ψ), no hubo diferencias significativas entre las mezclas M1 (-0.67 MPa), M2 (-0.71 MPa), M3 (-1.14) y M6 (-0.77 MPa) (Figura 4). El movimiento del agua en un sistema sustrato-planta depende en parte del potencial hídrico y el agua se mueve de áreas con potencial mayor a las de potencial menor (Vence *et al.*, 2013). Esto indica en nuestro estudio que esas mezclas retuvieron el agua, característica física fundamental en los sustratos utilizados en horticultura (Abad *et al.*, 2005). Por el contrario, M4 mostró el ψ menor (-4.79 MPa) debido a que el tamaño de sus partículas y poros ($>200 \mu\text{m}$) causaron la percolación del agua y el potencial gravimétrico generó un déficit en el potencial hídrico (Vence *et al.*, 2013).

El crecimiento de las raíces se observó hacia las paredes del contenedor en las mezclas M3 y M5 (Figura 5); ambas mezclas tuvieron una porosidad total de 50 y 51% y tamaños de poros $<50 \mu\text{m}$. Estas características dificultaron el movimiento del agua en el sustrato porque el contenido de agua y el tamaño de los poros en un sustrato son las principales fuentes de variación en la distribución y el comportamiento de las raíces (Basu *et al.*, 2016).

a substrate are the main sources of variation in the distribution and behaviour of the roots (Basu *et al.*, 2016).

CONCLUSIONS

The combination of particle shapes and sizes, along with type and size of pores, determined water content and consequently, root growth. Particles in the mixture of henequen bagasse with pine sawdust, in a 20:80 ratio, produced compound packing pores and a greater water use efficiency, as well as a greater root volume and dry weight than the mixture 80peat:20Agrolita™.

The combination of coconut coir dust and pine sawdust favoured the formation of micropores, which negatively affected water movement and consequently, root growth. The particle size in the pine shavings and coconut coir dust mixture caused particle rearrangement, formed macropores, and caused a lower water potential in the mixture, along with a lower water use efficiency.

Morphological characterization of substrates helps understanding water containment and movement. Also, it guides the better planning of irrigation volume and the way it is applied in order to favour water availability for roots.

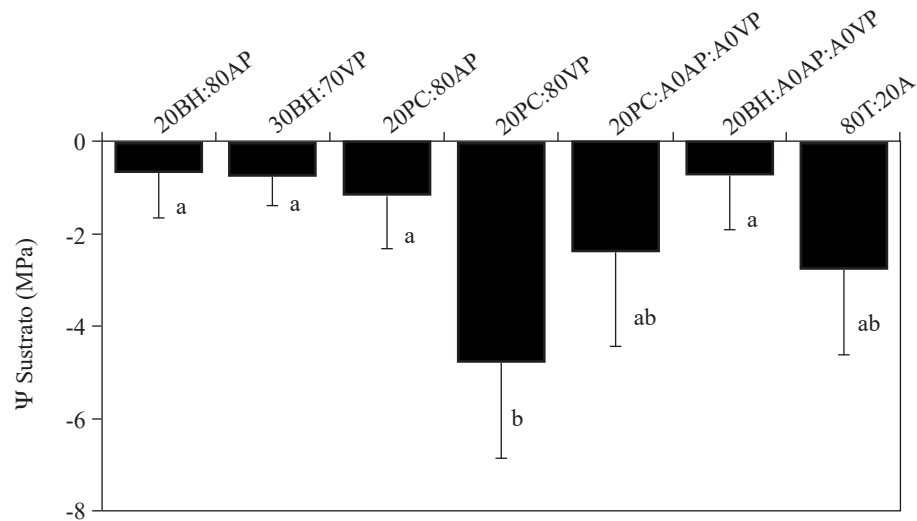


Figura 4. Potencial hídrico de mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC) con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) comparadas con la mezcla turba-agrolita (T:A). Literales diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey; $p \leq 0.05$).

Figure 4. Water potential of mixtures of henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC) with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP) compared with the mixture peat-Agrolita™ (T:A). Different letters indicate statistical differences (Tukey; $p \leq 0.05$).



Figura 5. Distribución de raíces de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura) cultivado en mezclas de bagazo de henequén (BH) o polvo de coco (PC) con aserrín de pino (AP) o viruta de pino (VP) y la mezcla turba-agrolita.

Figure 5. Distribution of roots in *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Kitamura grown in henequen bagasse (BH) or coconut coir dust (PC) with pine sawdust (AP) or pine shavings (VP), and the mixture of peat-Agrolita™.

CONCLUSIONES

La combinación de formas y tamaños de partículas, el tipo y tamaño de poro determinaron el contenido de agua y en consecuencia el crecimiento de las raíces. Las partículas de la mezcla bagazo de henequén con aserrín de pino, en una relación 20:80 generaron poros de empaquetamiento compuesto y un uso eficiente del agua mayor; así como volumen y peso seco de raíz mayores que la mezcla 80turba:20agrolita.

La combinación de polvo de coco y aserrín de pino favoreció la formación de microporos que afectaron el movimiento del agua en forma negativa, y en consecuencia el crecimiento de las raíces. Los tamaños de partícula de la mezcla de viruta de pino y polvo de coco ocasionaron el reacomodo de estas, formaron macroporos y originaron en la mezcla potencial hídrico y uso eficiente del agua menores.

La caracterización morfológica del sustrato permite entender la contención y el movimiento del agua, y orientar tanto la cantidad como el modo de aplicación del riego para favorecer la disponibilidad del agua para las raíces.

LITERATURA CITADA

- Abad B., M., N. Murray P., y C. Benedito C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. In: Cadahía, C. (ed.) Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 299-354.
- Anicua S., R., M. C. Gutiérrez C., P. Sánchez G., C. Ortiz S., V. H. Volke H., y J. E. Rubiños P. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agric. Téc. Méx. 35: 147-156.
- Basu S., V. Ramegowda, A. Kumar, and A. Pereira. 2016. Plant adaptation to drought stress. F1000Research 5: F1000 Faculty Rev-1554. DOI: 10.12688/f1000research.7678.1
- Bernal C., Y., C. E. Hernández R., C. Ríos A., and L. Torres C. 2019. Combinations and proportions of substrates in the production of *Acerola* plantlets by cuttings. Centro Agric. 46: 30-37.
- Bullock P., N. Federoff, A. Jongerius, G. Stoops, and T. Tursina. 1985. Handbook for soil thin section description. Wayne Research Publications. England, UK. 152 p.
- Cruz-Crespo, E., Á. Can-Chulim, J. Pineda-Pineda, D. Moreno-Velázquez, G. Aguilar-Benítez, y J. D. García-Paredes. 2019. Relación entre las propiedades físicas de mezclas de lombri-compost con tezontle, piedra pómez y cascarilla de arroz. Agrociencia 53: 1-12.
- Falcón O., E., M. Cobas L., M. Bonilla V., O. Rodríguez L., y C. V. Romero C. 2019. Influencia del sustrato en la calidad de la planta *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq., cultivada en tubetes. Rev. Cubana Cienc. For. 7: 283-296.
- García B, C. V. e R. Testezlaf. 2014. Particle size distribution effects on physical characteristics of coconut and pine bark substrates. Rev. de Ciênc. Agrovet. 13: 327-336.
- Gayosso-Rodríguez, S., L. Borges-Gómez, E. Villanueva-Couoh, M. A. Estrada-Botello, y R. Garruña-Hernández. 2016. Sustratos para producción de flores. Agrociencia 50: 617-631.
- Gayosso R., S., L. Borges, E. Villanueva, M. A. Estrada y R. Garruña. 2018a. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. Agrociencia 52: 639-652.
- Gayosso R., S., E. Villanueva C., M. A. Estrada B., y R. Garruña H. 2018b. Caracterización fisicoquímica de mezclas de residuos orgánicos para su utilización como sustratos agrícolas. BioAgro 30: 177-188.
- Gutiérrez C., M. D. C, J. Hernández E., C. A. Ortiz S., R. Anicua S., y M. Hernández L. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17: 183-196.
- Lipiec J., C. Doussan, A. Nosalewicz, and K. Kondracka. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. Int. Agrophys. 27:463-477.
- Lopes M. S., S. Nogués, y G. Molero. 2013. Intercambio de gases y fluorescencia de la clorofila principios y aplicaciones. In: Reynolds, M. P., A. J. D. Pask, D. M. Mullan y P. N. Chávez-Dulanto (eds) Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. Capítulo 8. CIMMYT. México. pp 81-96.
- López-Lambrano A., C. Fuentes, y A. López-Ramos. 2018. Sobre la relación entre las distribuciones de los tamaños de poros y partículas del suelo. Rev. Mex. Fís. 64: 197-205.
- Markoska V., V. Spalevic, K. Lisichkov, K. Atkovska, and R. Gulaboski. 2018. Determination of water retention characteristics of perlite and peat. Agric. & For. Poljoprivreda i Sumarstvo 64: 113-126.
- Martínez P, F, y D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In: Flórez R., V. J. (ed.) Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. pp. 37-77.
- Mascarini L., G. Lorenzo, H. Svartz, S. Pesenti, y S. Amado. 2012. Tamaño del contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. Rev. Brasil. Hort. Ornamental 18: 71-77.
- Murphy C., P. 1986. Thin section preparation of soil and sediments. AB Academic Publishers. Great Britain. 149 p.
- Quintero M., F, A. González, C., y M. Guzmán, J. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: Flórez R., V. J. (ed.) Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. pp: 79-108.
- Schindler U., G. Lischeid, and L. Müller. 2017. Hydraulic performance of horticultural substrates-3. Impact of substrate composition and ingredients. Horticulturae 3: 1-9.
- StatSoft, Inc. 2004. Statistica ver. 7.0. <https://statistica.software.informer.com/7.0/> (Consulta: noviembre 2019).
- Stoops G. 2018. Micromorphology as a tool in soil and regolith studies. In: Stoops G., M. Vera, F. Mees. (eds) Interpretation

- of micromorphological features of soils and regoliths. 2a ed. Elsevier. United States. 969 p.
- Vence L., B., R. Valenzuela O., A. Svartz H., y E. Conti M. 2013. Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención de agua. *Cienc. Suelo* (Argentina) 31: 153-164.
- Wisdom B., M. Nyembezi, and K. Agathar. 2017. Effect of different vermiculite and pine bark media substrates mixtures on physical properties and spiral rooting of radish (*Raphanus sativus* L.) in float tray system. *Rhizosphere* 3: 67-74.