

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE MATERIALES ORGÁNICOS PARA SUSTRATOS AGRÍCOLAS

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF ORGANIC MATERIALS FOR AGRICULTURAL SUBSTRATES

Salomé Gayosso-Rodríguez¹, Lizette Borges-Gómez¹, Eduardo Villanueva-Couoh^{1*}, Maximiano A. Estrada-Botello², René Garruña¹

¹Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n. 9345. Conkal, Yucatán, México. (e_couoh@hotmail.com). ²División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km 25 carretera Villahermosa-Teapa.

RESUMEN

Algunos sustratos usados para producir plantas en contenedor son costosos y se extraen de ecosistemas naturales. Los materiales alternativos deben ser económicos e inocuos. En Yucatán, México, existen materiales orgánicos con potencial como sustratos para contenedor. El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físicas y químicas de aserrín de pino (*Pinus* sp.) (≤ 2), viruta de pino (≤ 5 y ≤ 10 mm), fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) (≤ 5 y ≤ 10 mm), sargazo (*Sargassum* sp.) (≤ 5 y ≤ 10 mm), bagazo de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) (≤ 10 mm) y hoja de 'dzidzilche' (*Gimmopodium floribundum* Rolfe) (≤ 10 mm), que pueden estar disponibles en la región. El diseño experimental fue completamente al azar, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron diámetro medio de partícula, densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de agua, mojabilidad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, concentración de N y contenidos de C, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺. Además, curvas de retención de humedad se elaboraron y la actividad biológica se midió. El aserrín de pino, la fibra de coco y el sargazo, con tamaños de partículas ≤ 5 mm, tuvieron alrededor de 30 % de porosidad para aireación y superaron 50 % la porosidad para retención de agua. El aserrín y la viruta de pino retuvieron entre 24 y 40 % de agua totalmente disponible. Los materiales tuvieron pH cercano a 7 y conductividad eléctrica ≤ 1.5 dS m⁻¹. El contenido de N, P, K⁺ y Ca²⁺ en bagazo de henequén y hoja de dzidzilche estuvieron en el intervalo sugerido para un sustrato ideal. Por lo tanto, el aserrín, el bagazo de henequén, la hoja de dzidzilche, la fibra de coco y la viruta de pino en

ABSTRACT

Some substrates used to grow plants in containers are expensive and are extracted from natural ecosystems. Alternative materials should be inexpensive and innocuous. Some organic materials found in Yucatan, Mexico, could be potentially used as substrate for containers. The objective of this research was to evaluate the physical and chemical properties of pine sawdust (*Pinus* sp.) (≤ 2), pine shavings (≤ 5 and ≤ 10 mm), cocopeat (*Cocos nucifera* L.) (≤ 5 and ≤ 10 mm), gulfweed (*Sargassum* sp.) (≤ 5 and ≤ 10 mm), henequen pulp (*Agave fourcroydes* Lem.) (≤ 10 mm), and dzidzilche leaf (*Gimmopodium floribundum* Rolfe) (≤ 10 mm). All these materials may be available in the region. The experimental design was completely random, with nine treatments and three replications. The following variables were evaluated: average particle diameter, apparent density, absolute porosity, ventilation porosity, water retention porosity, wettability, pH, specific conductance, organic material, cation exchange capacity, N concentration, and C, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺ content. Additionally, water retention curves were developed and biological activity was measured. Pine sawdust, cocopeat, and gulfweed (with ≤ 5 mm particle size) had about 30 % of ventilation porosity and over 50 % of water retention porosity. Pine sawdust and shavings retained 24-40 % of the total available water. The pH of the materials almost reached 7 and their specific conductance was ≤ 1.5 dS m⁻¹. The N, P, K⁺, and Na²⁺ content of henequen pulp and dzidzilche leaf matched the suggested interval for an ideal substrate. Therefore, sawdust, henequen pulp, dzidzilche leaf, cocopeat, and pine shavings with ≤ 5 mm particles have the appropriate characteristics to be used as substrate components.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2017. Aprobado: febrero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 52: 639-652. 2018.

Key words: *Agave fourcroydes* lem., retention curves, *Gimmopodium floribundum* Rolfe., *Sargassum* sp., alternative substrates, particle size.

partículas ≤ 5 mm tienen características para ser componentes de sustratos.

Palabras clave: *Agave fourcroydes* Lem., curvas de retención, *Gimmopodium floribundum* Rolfe., *Sargassum* sp., sustratos alternativos, tamaño de partículas.

INTRODUCCIÓN

En México la tierra de monte y la turba (musgo del género *Sphagnum*) son los sustratos principales para la producción de plantas de ornato. La sobreexplotación de estos recursos provoca problemas de erosión y deterioro de los ecosistemas. Por lo que, sustratos alternativos, que cumplan con las funciones de soporte y nutrición, son necesarios. Estos deberán estar disponibles, ser económicos y su uso no debe afectar el ambiente (Urrestarazu, 2013). Algunos países han promovido la reutilización, reciclaje y valorización de materiales orgánicos disponibles localmente como sustratos en el cultivo de plantas en contenedor (Valenzuela *et al.*, 2014; Gayosso *et al.*, 2016a).

En Yucatán, México, hay variedad de residuos agropecuarios y agroindustriales durante todo el año, que podrían aprovecharse como sustratos para producir plantas en contenedor. Algunos de ellos son: bagazo de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.), hoja de 'dzidzilche' (*Gimmopodium floribundum* Rolfe), fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), sargazo (*Sargassum* sp.) y residuos de madera de pino (*Pinus* sp.) (Borges, 1998). El bagazo de henequén es un desecho en la desfibración de las pencas del agave henequenero. El 'dzidzilche' es una especie vegetal nativa de Mesoamérica, de la familia Polygonaceae, distribuida naturalmente en Yucatán. Ambas especies son componentes de sustratos hortícolas en hortalizas y en semilleros (Borges, 1998; Villanueva *et al.*, 2010). La fibra de coco se utilizó como sustrato en los años ochenta y es uno de los dos sustratos más usados en el norte de Europa (Blok y Urrestarazu, 2010). El sargazo es una alga que arriba cada año a la zona costera de Yucatán y se usa como componente de compost para cultivar hortalizas y ornamentales en otros países (Phool, 1999). El aserrín de madera de pino es residuo del corte de la madera y la fabricación de muebles; en combinación con otros materiales se ha evaluado como sustrato para producir plántulas de especies forestales y los resultados son favorables (Mateo *et al.*, 2011). La caracterización

INTRODUCTION

In Mexico, forest topsoil and peat moss (*Sphagnum* genera) are the main substrates for ornamental plant production. The overexploitation of these resources causes erosion problems and the deterioration of ecosystems. Therefore, alternative substrates—that fulfill supporting and nutritional functions—are required. These substrates must be available, inexpensive, and eco-friendly (Urrestarazu, 2013). Some countries have promoted the reuse, recycling, and valorization of locally-available organic materials as substrates in the cultivation of container plants (Valenzuela *et al.*, 2014; Gayosso *et al.*, 2016a).

In Yucatan, several farming and agro-industrial wastes are available throughout the year and they could be used as substrates for the production of plants in containers. Some of these materials include: henequen pulp (*Agave fourcroydes* Lem.), dzidzilche leaf (*Gimmopodium floribundum* Rolfe), cocopeat (*Coco nucifera* L.), gulfweed (*Sargassum* sp.), and pine timber waste (*Pinus* sp.) (Borges, 1998). The henequen pulp is a waste product from the defibration of the leaves of the henequen agave. Dzidzilche is a Mesoamerican native species (Polygonaceae family), naturally distributed in Yucatan. Both species are horticultural substrate components in vegetable gardens and seedbeds (Borges, 1998; Villanueva *et al.*, 2010). In the 1980s, cocopeat was used as substrate and is currently one of the two most used substrates in Europe (Blok and Urrestarazu, 2010). Gulfweed arrives annually to the coastal zone of Yucatan and is used as a compost component to grow vegetables and ornamental plants in other countries (Phool, 1999). Pine sawdust is timber waste resulting from woodcutting and furniture manufacturing; combined with other materials, sawdust has been evaluated as a substrate for the cultivation of forest seedlings with favorable results (Mateo *et al.*, 2011). The physical, chemical, and biological characterization of the materials for these purposes must be known, before they are used for cultivation (Gayosso, *et al.*, 2016a).

The physical characteristics of the substrate are more relevant than its chemical characteristics: once the crop is established, physical characteristics cannot be modified (Abad *et al.*, 2005). Additionally, these characteristics determine the water, air, and nutrients content that the roots have available. Therefore, the physical characteristics have a direct relationship

física, química y biológica de los materiales para esos fines deben conocerse, antes de usarlos para cultivo (Gayosso *et al.*, 2016a).

Las características físicas del sustrato suelen ser más relevantes que las químicas ya que, una vez establecido el cultivo aquellas no podrán modificarse (Abad *et al.*, 2005); además, esas características determinan el contenido de agua, aire y nutrientes accesibles para las raíces. Por lo tanto, las características físicas tienen relación directa con la cantidad de agua y nutrientes (fertilización) aplicados después del establecimiento de la planta (Quintero *et al.*, 2011). La característica física relevante del sustrato para contenedor es la capacidad de retención de agua y la capacidad de aireación. Ambas están relacionadas directamente con la porosidad y dependen de la distribución, composición, estructura interna, forma y tamaño de partícula, que, a la vez, determinan la relación agua-aire en el sustrato (Anicua *et al.*, 2009). Al respecto, Cabrera (1999) señaló que un sustrato debe contener menos de 20 % de sus partículas de tamaños menores a 0.5 mm. Vargas *et al.* (2008a) y Anicua *et al.* (2009) indicaron que las partículas de 0.25 a 1.00 mm son esenciales para el equilibrio agua-aire. Morales y Casanova (2015) sugirieron que la relación aire-agua es adecuada con 10 a 30 % del volumen del sustrato con aire y Abad *et al.* (2004) indicó que 20 a 30 % del volumen con agua es mejor, aunque puede variar con la especie a cultivar.

Los sustratos orgánicos varían en el contenido de nutrientes asimilables respecto a los sustratos inertes, dependiendo de su origen y grado de descomposición. Por esto, es conveniente conocer el contenido de elementos disponibles, como NO_3^- , NH_4^+ , P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mo, Zn^{2+} , Cu^{2+} y B (Abad *et al.*, 2005), y los factores que afectan su adsorción, como capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica (CE), relación C/N y contenido de elementos fitotóxicos (Burés, 1997). El intervalo de pH entre 5.5 y 6.8 y $\text{CE} \leq 2 \text{ dS m}^{-1}$ y CIC mayor a $20 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ son adecuados para el cultivo de hortalizas, pero pueden variar con la especie (Abad *et al.*, 2004; Quintero *et al.*, 2011).

Los estudios sobre el uso de sustratos, generalmente se basan en los resultados de rendimiento o desarrollo de los cultivos. Solo algunos incluyen los parámetros de calidad de los sustratos. Entre las características y materiales estudiados están tamaño de partícula

with the quantity of water and nutrients (fertilization) applied after the plant is established (Quintero *et al.*, 2011). The relevant physical characteristic of the container substrate is its water retention and ventilation capacity. Both are directly related with porosity and depend on the distribution, composition, internal structure, shape, and size of the particle, which in turn determine the water-air ratio in the substrate (Anicua *et al.*, 2009). On this matter, Cabrera (1999) pointed out that at least 20 % of substrate particles must be smaller than 0.5 mm. Vargas *et al.*, (2008a) and Anicua *et al.* (2009) indicated that 0.25-1.00 mm particles are essential for the water-air balance. Morales and Casanova (2015) suggested that an appropriate water-air ratio is 10-30 % of air in the substrate and Abad *et al.* (2004) indicated that 20-30 % of water content is better, although it can change according to the species and the cultivar.

The assimilable nutrients content of organic substrates changes regarding its inert substrates, depending on their origin and degree of decomposition. Therefore, knowing the following information is important: the available elements content —such as NO_3^- , NH_4^+ , P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mo, Zn^{2+} , Cu^{2+} and B (Abad *et al.*, 2005) —and the factors that affect their adsorption— such as their cation exchange capacity (CIC), pH, specific conductance (CE), C/N ratio, and phytotoxic element content (Burés, 1997). The 5.5-6.8 pH interval, $\leq 2 \text{ dS m}^{-1}$ CE, and $20 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ CIC are appropriate for vegetable cultivation; although this also can change according to the species (Abad *et al.*, 2004; Quintero *et al.*, 2011).

Usually, the study of substrates use is based on crops yielding or development results. Only a few include quality of substrate parameters. The following characteristics and materials were studied: the size of particles of tezontle (Vargas *et al.*, 2008a); the physical, chemical, and biological characteristics of cocopeat particles (Vargas *et al.*, 2008b); the physical and micromorphological characteristics of perlite and zeolite (Anicua *et al.*, 2009); and the physical characteristics of pine bark and rice husks (Valenzuela *et al.*, 2014). All these studies highlighted the importance of the physical and chemical characteristics of substrate in the establishment of crops. In Yucatan, several organic materials could fulfill the physical and chemical parameters needed for the cultivation of plants in containers, but they are not yet

de tezontle (Vargas *et al.*, 2008a), físicas, químicas y biológicas de coco en polvo (Vargas *et al.*, 2008b), físicas y micromorfológicas de perlita y zeolita (Anicua *et al.*, 2009) y físicas de corteza de pino y cáscara de arroz (Valenzuela *et al.*, 2014). Todos estos estudios resaltaron la importancia de las características físicas y químicas de los sustratos para el establecimiento de los cultivos. En Yucatán, existen materiales orgánicos que podrían cumplir con los parámetros físicos y químicos necesarios para el cultivo de plantas en contenedor y que no se han caracterizado. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar las propiedades físicas y químicas de seis materiales orgánicos disponibles en la región para usarlos como componentes de sustratos para el cultivo de plantas en contenedor.

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización de los materiales se realizó en el laboratorio de agua-suelo-planta del Instituto Tecnológico de Conkal, en Yucatán, México. Los materiales recolectados directamente en las áreas donde se generan no habían iniciado su descomposición (no compostados). Esos materiales fueron: 1) viruta de pino (VP) residuo del cepillado de madera; 2) aserrín de pino (AP) residuo del corte de madera con sierra de calar (ambos, residuos de la fabricación de muebles); 3) bagazo de henequén (BH) desecho de la desfibración de las pencas de agave; 4) fibra de coco (FC) o mesocarpio del fruto seco de coco; 5) hoja de 'dzidzilche' (HD) producto de la defoliación natural del árbol; 6) sargazo (SA) o algas depositadas por la marea en las costas de Progreso, Yucatán. VP, FC y SA se trituraron en un molino de martillo (modelo TRG 300G) y tamizaron con cribas de 10 mm y 5 mm de diámetro; BH y HD se tamizaron con la criba de 10 mm, AP no se trituró (el tamaño original del corte de la madera, ≤ 2 mm aproximadamente). Los nueve materiales evaluados fueron: VP10 (≤ 10 mm), VP5 (≤ 5 mm), AP (≤ 2 mm), BH (≤ 10 mm), FC10 (≤ 10 mm), FC5 (≤ 5 mm), HD (≤ 10 mm), SA10 (≤ 10 mm) y SA5 (≤ 5 mm).

La conductividad eléctrica de FC y SA (alta por el contacto con el agua de mar) (Burés, 1997) se disminuyó después de sumergir 15 min el material en agua común, en una relación 1:2 v/v sustrato-agua y drenar. FC se lavó cinco veces y SA cuatro (Gayosso *et al.*, 2016b), y se secaron al aire libre bajo sombra.

La caracterización física incluyó:

Granulometría. En tamizadora eléctrica, con tamices de 3.36, 2.0, 1.0, 0.5 y 0.25 mm, se tamizó por 3 min una muestra compuesta de 1000 cm³; con la proporción de partículas retenidas se determinó el diámetro medio de partícula predominante (Dm).

characterized. Therefore, the objective of this study was to characterize the physical and chemical properties of six organic materials available in the region to use them as substrate components for the cultivation of plants in containers.

MATERIALS AND METHODS

The materials were characterized in the water-soil-plant lab of Instituto Tecnológico de Conkal, in Yucatan, Mexico. The materials were directly collected in the areas where they are generated. Their decomposition process had not started yet (non-composted). These materials were: 1) pine shavings (VP), wood brushing waste; 2) pine sawdust (AP), waste of wood cut with a compass saw (both 1 and 2 were collected from furniture manufacturing); 3) henequen pulp (BH), waste from the defibration of agave leaves; 4) cocopeat (FC) or dry coconut mesocarp; 5) dzidzilche leaf (HD), a product of the tree's natural defoliation process; 6) gulfweed (SA) or seaweed deposited by the tide in the coast of Progreso, Yucatan. VP, FC, and SA were ground in a hammer mill (TRG 300G model) and sifted using a 10 mm and 5 mm diameter sieve; BH and HD were sifted using a 10 mm sieve; AP was not ground (the original size of the wood cut was ≤ 2 mm approximately). The nine materials evaluated were: VP10 (≤ 10 mm), VP5 (≤ 5 mm), AP (≤ 2 mm), BH (≤ 10 mm), FC10 (≤ 10 mm), FC5 (≤ 5 mm), HD (≤ 10 mm), SA10 (≤ 10 mm), and SA5 (≤ 5 mm).

FC's and SA's high specific conductance—resulting from its contact with sea water—(Burés, 1997) diminished after those materials were immersed in common water for 15 minutes, in a 1:2 v/v substrate-water and drain ratio. After FC and SA were washed five and four times, respectively (Gayosso *et al.*, 2016b), they were dried outdoors in the shade.

The physical characterization included:

Granulometry: A 1000-cm³ sample was sifted for 3 minutes, using an electric sifter, with 3.36, 2.0, 1.0, 0.5, and 0.25 mm sieves; based on the retained particles proportion, the average diameter of the predominant particle was determined (Dm), using the following formula:

$$Dm = \frac{\sum_{i=1}^n v_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

where: Dm: average diameter (mm), v_i : average value of particle range (mm), and f_i : frequency (%).

Apparent density (Da). The material was dried 24 h using an air convection oven, at 100 °C. The following formula was

$$Dm = \frac{\sum_{i=1}^n v_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

donde: Dm : diámetro medio (mm), v_i : valor medio del rango de partícula (mm) y f_i : frecuencia (%).

Densidad aparente (Da). El material se secó 24 h en un horno con convección de aire, a 100 °C, y se calculó con la fórmula $Da = \text{peso del sustrato seco (g)} / \text{volumen total (cm}^3\text{)}$.

Porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pai) y porosidad de retención de agua (Pra) se determinaron con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990).

Curvas de retención de humedad. Estas se obtuvieron con un equipo de succión con embudos de placa filtrante, succiones de 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua, según el método De Boodt *et al.* (1974). El equipo tenía embudos Büchner, de porcelana, conectados a una manguera con agua; esta se movió a distintas alturas, de tal manera que la diferencia de altura de la columna de agua generaba las tensiones necesarias. El material se saturó en agua corriente por 24 h, se drenó, se colocó en los embudos y se dejó drenar hasta que el nivel de agua de la manguera estuviera al nivel de la base del embudo (0 cm de tensión), luego se bajó 10 cm y se monitoreó el nivel del agua hasta que se estabilizó (36 a 48 h aproximadamente). Una muestra se extrajo, se pesó, se secó en estufa a 70 °C por 24 h y se pesó; este procedimiento se repitió con 50 y 100 cm de tensión. Con los valores se determinó: material sólido (MS), por diferencia del volumen total menos la porosidad total, capacidad de aireación (CA), por diferencia de porosidad total y contenido de agua a 10 cm de tensión, agua fácilmente disponible (AFD), por diferencia del agua retenida a 10 y 50 cm de tensión, agua de reserva (AR) entre 50 y 100 cm de tensión y agua difícilmente disponible (ADD), el agua retenida a tensiones superiores a 100 cm de tensión y agua total disponible (ATD), igual a la suma de AFD y AR.

Mojabilidad. Este es el tiempo (min) necesario para que una muestra de sustrato seco absorba agua (Abad *et al.*, 2004). A 10 g de material orgánico, secado a 40 °C, se añadieron 5 mL de agua destilada y se midió el tiempo de adsorción.

La caracterización química incluyó:

pH y conductividad eléctrica (CE). Ambos se midieron con un potenciómetro/conductímetro (CONSORT C931) en el medio acuoso del sustrato (1:2 v/v para pH y 1:5 v/v para CE).

Humedad y materia orgánica (MO). Las muestras (2 g) se desecaron a 100 °C, hasta peso constante en el primer caso y se calcinaron, a 600 °C en una mufla, en el segundo caso.

Nitrógeno total (N). Este se determinó con el método Kjeldahl (Cottenie, 1994).

used to calculate it: $Da = \text{dry substrate weight (g)} / \text{total volume (cm}^3\text{)}$.

Absolute porosity (Pt), ventilation porosity (Pai), and water retention porosity (Pra) were determined using the procedure described by Landis *et al.* (1990).

Water retention curves. These curves were obtained using a suction equipment with filtering funnels—with 0, 10, 50, and 100 cm, water column suction—, according the method of De Boodt *et al.* (1974). The equipment included Büchner porcelain funnels connected to a hosepipe with water; the hosepipe was moved to different heights. This method was used to generate the required pressures at different heights. The material was saturated with running water for 24 h; then, it was drained, placed in the funnels, and left to drain until the water level in the hosepipe was the same as the funnel base level (0 cm pressure). Then, it was lowered 10 cm and the water level was monitored until it stabilized (36–48 hours approximately). A sample was extracted, weighted, and dried in a stove at 70 °C for 24 h. After that, it was weighted again. This process was repeated with a 50 and 100 cm pressures. Using these values, the following data was determined: solid matter (MS), difference between total volume and absolute porosity; ventilation capacity (CA), difference between absolute porosity and water content at 10-cm pressure; easily available water (AFD), difference between retained water at 10- and 50-cm pressure; water reserve (AR), 50–100 cm pressure; scarce water (ADD), water retained at 100+ cm pressure; and total available water (ATD), equal to the addition of AFD and AR.

Wettability. This is the time (min) that a dry substrate sample requires to absorb water (Abad, *et al.*, 2004). Five mL of distilled water were added to 10 g of organic material (dried at 40 °C) and the adsorption time was measured.

The chemical characterization included:

pH and specific conductance (CE). Both were measured using a potentiometer/conductivity meter (CONSORT C931) in the substrate's aqueous medium (1:2 v/v for pH and 1:5 v/v for CE).

Humidity and organic material (MO). Two g of sample were dried at 100 °C, until a constant weight was achieved (in the first case) and then they were reduced to ashes, at 600 °C using a muffle (in the second case).

Total nitrogen (N). Total nitrogen was determined using the Kjeldahl method (Cottonie, 1994).

Total phosphorus (P). Total phosphorus was determined using the sodium molybdate method, with p-methylaminophenol sulfate, in an ultraviolet-visible spectrophotometer (UV2800 PC).

Total K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ content. These elements were quantified through calcination, acid digestion (Cottenie, 1994), and atomic absorption spectrophotometry (GBC 932 plus).

Cation exchange capacity (CIC). For this variable, 1 N, pH 7 ammonium acetate was used (Cottenie, 1994).

Fósforo total (P). Este se determinó con el método de molibdato de sodio, con p-metilaminofenol sulfato en espectrofotómetro ultravioleta visible (UV2800 PC).

Contenidos totales de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ . Estos elementos se cuantificaron con calcinación, digestión ácida (Cottenie, 1994) y espectrofotometría de absorción atómica (GBC 932 plus).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Para esta variable se usó acetato de amonio 1 N, pH 7 (Cottenie, 1994).

La actividad biológica se midió con el flujo de CO_2 de los sustratos con un analizador de gases, en infrarrojo, automatizado para suelo (IRGA, LI-8100, LICOR, Nebraska, Estados Unidos). El sustrato se midió a capacidad de campo en macetas de 20.32 cm de diámetro, las lecturas en el analizador de gases se realizaron cada dos min por maceta (tiempo calculado en ensayos previos para el tamaño de maceta utilizada).

El diseño experimental fue completamente al azar, con nueve tratamientos (cinco materiales y tamaños diferentes de partículas) y tres repeticiones, para todas las variables la unidad experimental fue de tres macetas. En los datos se evaluó la normalidad, los de porcentaje se normalizaron con la raíz cuadrada del arcoseno, se realizó un análisis de varianza y cuando hubo diferencias estadísticas se realizó una prueba de rango múltiple de Fisher (DMS; $p \leq 0.05$). Los datos se analizaron con Infostat/F.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

La HD y el AP presentaron alrededor de 20 % de partículas de tamaño ≤ 0.5 mm. Este porcentaje se sugiere para el equilibrio de la relación aire-agua (Cabrera, 1999). El resto de sus partículas tuvieron tamaños entre 0.5 y 3.36 mm, granulometría favorable para retener agua fácilmente disponible (Anicua *et al.*, 2009) (Cuadro 1).

AP, BH y FC (≤ 5 mm) tuvieron más de 25 % de partículas menores a 0.5 mm y porcentaje acumulado de 27.9, 36.1 y 33.8 %, respectivamente. Esto puede afectar la aireación, ya que la capacidad de aireación disminuye con el tamaño de la partícula (Prasad y Ni Chualáin, 2004). Partículas con tamaños entre 0.25 y 0.50 mm son responsables de la disminución de hasta 50 % de la capacidad de aireación (Vargas *et al.*, 2008a). Al contrario, FC10 presentó 70.6 % de partículas > 3.36 mm. Al respecto, Anicua *et al.* (2009) y Vargas *et al.* (2008a) señalaron que tamaños de partícula > 3.36 mm disminuyen la capacidad de retención de humedad.

Biological activity was measured based on the flux of CO_2 in the substrates, using an automated soil gas flux system (IRGA, LI-8100, LICOR, Nebraska, United States). The substrate was measured according to field capacity in 20.32-cm wide pots. The readings in the gas flux system were carried out every 2 minutes per pot (time estimated during previous essays for the size of the pot).

The experiment had a fully-randomized design, with nine treatments (five materials and particles of various sizes) and three replications for all variables. The experimental unit was made of three pots. The values were evaluated to determine their normality. The values that were included in percentage were normalized using the square root of the arcsine. Afterwards, they were subject to a variance analysis and any statistical differences were subject to Fisher's multiple range test (DMS; $p \leq 0.05$). The data were analyzed using Infostat/F.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical properties

HD and AP had approximately 20 % of ≤ 0.5 mm particles. Cabrera (1999) suggest this percentage to achieve a balanced air-water ratio. The size of the remaining particles ranged from 0.5 to 3.36 mm; their granulometry favored the retention of easily available water (Anicua *et al.*, 2009) (Table 1).

AP, BH, and FC (≤ 5 mm) had over 25 % of ≤ 5 mm particles and a cumulative percentage of 27.9, 36.1, and 33.8 %, respectively. This can affect ventilation, since the ventilation capacity diminishes depending on the size of the particle (Prasad and Ni Chualáin, 2004). The decrease of up to 50 % of the ventilation capacity is the responsibility of 0.25-0.50 mm particles (Vargas *et al.*, 2008a). On the contrary, FC10 had 70.6 % of > 3.36 mm particles. On this matter, Anicua *et al.* (2009) and Vargas *et al.* (2008a) pointed out that > 3.36 mm particles diminish humidity retention capacity.

The size of particles and the water retention porosity in pine waste had an inverse ratio, while the size of the particles and ventilation porosity had a positive ratio. These results match the findings for other organic materials (Prasad and Ni Chualáin, 2004), tezontle (Vargas *et al.*, 2008a), perlite and zeolite (Anicua *et al.*, 2009), and various mixtures of cocopeat and volcanic matter (Jiménez *et al.*, 2014) (Table 2). This ratio varied in other materials studied for this research, because water retention depends on

Cuadro 1. Distribución granulométrica (porcentaje con base en el peso) del tamaño de partícula de cinco materiales orgánicos disponibles en Yucatán, México.**Table 1. Granulometric distribution (percentage based on weight) of the size of particles from five organic materials found in Yucatan, Mexico.**

Tratamientos	Tamaño de partícula (mm)						Dm
	<0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.36	>3.36	
Viruta de pino ≤10 mm	0.7	0.1	4.5	29.8	37.2	27.4	2.67
Viruta de pino ≤5 mm	6.6	1.8	34.6	55.7	0.7	0.2	1.14
Aserrín de pino	24.1	3.8	41.7	26.9	2.7	0.15	0.84
Bagazo de henequén	33.7	2.4	31.6	24.8	5.0	1.30	0.87
Fibra de coco ≤10 mm	4.8	2.2	10.4	9.0	2.0	70.6	6.17
Fibra de coco ≤5 mm	22.0	11.8	50.1	12.0	0.7	3.7	0.91
Hoja de dzidzilche	18.7	2.5	36.5	31.7	7.6	2.45	1.10
Sargazo ≤10 mm	4.1	1.0	15.9	50.3	22.9	5.7	1.76
Sargazo ≤5 mm	7.8	2.0	49.8	39	0.7	0.6	1.03

Dm: diámetro medio de partícula (mm). ❖ Dm: average diameter of the particle (mm).

Los residuos de pino mostraron relación inversa entre el tamaño de partícula y la porosidad de retención de agua, y una relación positiva entre el tamaño de partícula y la porosidad de aireación. Estos resultados coinciden con los de otros materiales orgánicos (Prasad y Ni Chualáin, 2004), tezontle (Vargas *et al.*, 2008a), perlita y zeolita (Anicua *et al.*, 2009) y mezclas de fibra de coco con material volcánico (Jiménez *et al.*, 2014) (Cuadro 2). Esta relación fue variable en los otros materiales del estudio porque la retención de agua depende del tamaño de partículas,

the size of the particles, tortuosity, and pore continuity (Burés, 1997; Gutiérrez *et al.*, 2011).

Absolute porosity (Pt) of organic material must make up over 85 % of the substrate's drained volume (Quintero *et al.*, 2011), after it has been irrigated up to saturation point. This enables the ventilation of at least 10 % of the substrate's volume, although it can reach 20 to 50 %, depending on the species that will be cultivated (Sánchez *et al.*, 2008; Valenzuela *et al.*, 2014). The treatments that approach these intervals were AP, FC (≤5 mm), and SA (≤5 mm), perhaps

Cuadro 2. Porcentajes de porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de agua y densidad aparente (g cm⁻³) de materiales orgánicos con diferentes tamaños de partículas.**Table 2. Percentages of: total porosity, ventilation porosity, water retention porosity, and apparent density (g cm⁻³) of organic materials with particles of different sizes.**

Tratamiento	Porosidad total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de agua	Densidad aparente
Viruta de pino ≤10 mm	91.21 a	74.08 a	17.13 e	0.08 d
Viruta de pino ≤5 mm	87.35 b	50.73 b	36.63 c	0.13 b
Aserrín de pino	86.83 b	29.74 d	57.09 a	0.14 b
Bagazo de henequén	44.86 g	10.37 f	34.49 cd	0.10 c
Fibra de coco ≤10 mm	52.45 f	46.06 c	6.39 f	0.02 e
Fibra de coco ≤5 mm	84.97 c	26.07 de	58.89 a	0.09 cd
Hoja de dzidzilche	72.11 e	22.27 e	49.84 b	0.15 a
Sargazo ≤10 mm	82.70 d	50.15 b	32.55 d	0.09 cd
Sargazo ≤5 mm	81.29 d	23.92 e	57.38 a	0.13 b
DMS	1.60	3.95	3.88	0.01

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. ❖ Different letters in a column indicate significant differences ($p \leq 0.05$). DMS: minimum significant difference.

la tortuosidad y la continuidad de los poros (Burés, 1997; Gutiérrez *et al.*, 2011).

La porosidad total (Pt) en sustratos orgánicos debe ser mayor a 85 % del volumen del sustrato (Quintero *et al.*, 2011), con drenaje, después de un riego a saturación, que permita aireación de al menos 10 % respecto al volumen del sustrato, aunque puede ser 20 a 50 %, en dependencia de la especie a cultivar (Sánchez *et al.*, 2008; Valenzuela *et al.*, 2014). Los tratamientos cercanos a estos intervalos fueron AP, FC (≤ 5 mm) y SA (≤ 5 mm), probablemente porque 40 a 50 % de las partículas de estos tratamientos estuvieron en el intervalo de 0.5 y 1 mm. Al respecto, Vargas *et al.* (2008a) señalaron que partículas de 0.25 a 1.00 mm son determinantes para el equilibrio en la relación humedad-aire del sustrato.

La porosidad total y de aireación de BH fue 44.86 y 10.37 %, debido a que 36 % de sus partículas fueron menores a 0.5 mm; esto ocasionó que la porosidad de aireación disminuyera. Jiménez *et al.* (2014) reportaron que partículas ≤ 0.6 mm disminuyeron el espacio poroso total en mezclas de fibra de coco y piedra volcánica. Los tratamientos con mayor porosidad de aireación y menor porosidad de retención de agua fueron VP, FC y SA con tamaños de partícula ≤ 10 mm, los que mostraron Dm mayores (2.67, 6.17 y 1.76 mm). Este fue determinante para la formación de macroporos que facilitaron el drenado de agua por percolación.

La Da aumentó inversamente con el tamaño de partícula. Estos resultados fueron similares a los reportados por Anicua *et al.* (2009) en perlita y por Jiménez *et al.* (2014) en mezclas de residuos de coco y piedra volcánica. Lo anterior podría deberse a que los materiales que no son sólidos contienen poros internos (Ansorena, 1994) y conservan un tamaño de partícula, aunque, con la molienda para disminuir el tamaño de partícula, los poros se rompen, las partículas modifican su organización, reduce el espacio poroso y el material sólido y Da aumentan. Además, las partículas no son esféricas, algunas son láminas con formas y tamaños heterogéneos; las partículas con tamaño menor pueden ocupar menos espacio y tener Da mayor. La Da de VP (≤ 5 mm), AP y SA (≤ 5 mm) fue cercana a 0.15 g cm^{-3} . Esta Da se recomienda para sustratos en contenedor (Abad *et al.*, 2004); Da de FC (≤ 5 mm) fue similar a la reportada por Vargas *et al.* (2008b) en polvo de coco comercial (entre 0.7 y 0.11). La Da de VP, FC y SA ≤ 10 mm fue baja y tiene relación con

because 40 to 50 % of the particles involved in these treatments ranged from 0.5 to 1 mm. On this matter, Vargas *et al.* (2008a) pointed out that 0.25-1.00 mm particles determine the balance in the humidity-air ratio of the substrate.

Absolute porosity and ventilation of BH were 44.86 and 10.37 %, respectively, because 36 % of their particles were smaller than 0.5 mm; consequently, their ventilation porosity diminished. Jiménez *et al.* (2014) reported that—in a mixture of cocopeat and volcanic rock— ≤ 0.6 mm particles diminished the total porous space. The treatments with greater ventilation porosity and less water retention porosity were VP, FC, and SA, which had ≤ 10 mm particles and greater Dm (2.67, 6.17, and 1.76 mm). This determined the formation of macropores that facilitated draining water through percolation.

Da increased in inverse proportion to the size of the particles. These results were similar to the findings of Anicua *et al.* (2009) for perlite and Jiménez *et al.* (2014) for mixtures of cocopeat and volcanic rock. Non-solid materials have internal pores (Ansorena, 1994) and their particles remain of the same size. However, when the size of particles diminishes after the materials have been milled, their pores are broken, the organization of the particles is modified, the porous space is reduced, and solid matter and Da increase. Additionally, particles are not spherical; some are organized in slices with heterogeneous forms and sizes; smaller particles can occupy less space and have a greater Da. The Da of VP (≤ 5 mm), AP, and SA (≤ 5 mm) were close to 0.15 g cm^{-3} . This is the recommended Da for substrates in containers (Abad *et al.*, 2004); the Da for FC (≤ 5 mm) was similar to the one reported by Vargas *et al.* (2008b) for commercially-available cocopeat (0.7 to 0.11). The Da of VP, FC, and ≤ 10 mm SA was low; this is related with the distribution of over 70 % of > 1.0 mm particles. Adding these materials does not provide the mechanical support that roots need to strengthen their hold on the ground and using them as substrates may overturn plants.

Owing to their biological activity, organic substrates require a greater content of oxygen and ventilation capacity. Abad *et al.* (2004) reported an optimum 20-30 % level of air in the substrate volume. In water retention curves, VP (≤ 5 mm), AP, FC (≤ 5 mm), HD, ≤ 5 and ≤ 10 mm SA had 28 to 44 % CA. This percentage is slightly higher than

la distribución de más de 70 % de partículas mayores a 1.0 mm. Los agregados de estos materiales no proporcionan el soporte mecánico, para el anclaje de las raíces, y como sustratos podrían causar volcamiento de las plantas.

Los sustratos orgánicos requieren contenido mayor de oxígeno y capacidad de aireación por su actividad biológica. Abad *et al.* (2004) reportaron que el nivel óptimo de aire es de 20 a 30 % del volumen del sustrato. En las curvas de retención de humedad, VP (≤ 5 mm), AP, FC (≤ 5 mm), HD, SA ≤ 5 mm y ≤ 10 mm tuvieron CA de 28 a 44 %, porcentaje ligeramente superior al sugerido por Abad *et al.* (2004). Lo anterior podría deberse a la granulometría de los materiales, pues más de 60 % de sus partículas tuvieron distribuidas de tamaños entre 0.50 y 2.00 mm. Esto coincide con la distribución recomendada por Cabrera (1999) para la preparación de sustratos para contenedor.

La retención de agua fácilmente disponible (AFD) AP, VP ≤ 5 mm y ≤ 10 mm, BH, FC ≤ 5 mm y HD fue de 10 a 16 % (Cuadro 3). El tamaño de partícula influyó en los valores AFD, pues de 20 a 36 % de sus partículas fueron ≤ 0.5 mm. Vargas *et al.* (2008b) señalaron que con polvo de coco este tamaño es el de influencia mayor en AFD. Además, Anicua *et al.* (2009) reportaron los porcentajes mayores de AFD en partículas de tamaños entre 0.25 a 5.0 mm en perlita y zeolita. Sin embargo, Gutiérrez *et al.* (2011) y Jiménez

the one suggested by Abad *et al.* (2004). This could be the result of material granulometry, since the size of over 60 % of their particles ranged from 0.50 to 2.00 mm. This information matches the distribution recommended by Cabrera (1999) for the preparation of substrates for containers.

AP, ≤ 5 mm and ≤ 10 mm VP, BH, ≤ 5 mm FC, and HD had a 10-16 % retention of easily available water (AFD) (Table 3). The size of the particles influenced AFD values: 20 to 36 % of its particles were ≤ 0.5 mm. Vargas *et al.* (2008b) pointed out that cocopeat of this size has the greatest influence in AFD. Additionally, Anicua *et al.* (2009) reported the highest AFD percentages for 0.25-5.0 mm perlite and zeolite particles. However, Gutiérrez *et al.* (2011) and Jiménez *et al.* (2014) agreed that the highest AFD retention occurs in 1 and 2 mm granulometries, because water retention is determined by the size of the particles, the different kinds of pores that appear between particles, which influence water movement (Ansorena, 1994; Gutiérrez *et al.*, 2011).

Materials that come from pine timber waste were the only ones that showed 20-40 % of totally available water in the substrate (Abad *et al.*, 2004); the other materials were not able to hold water in a column with 50-cm pressure and did not keep enough AFD to provide adequate growth and development for the plant. Therefore, they are inadequate substrates. SA

Cuadro 3. Porcentaje del volumen de sustrato (cm^3) ocupado por la capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible de materiales orgánicos con diferentes tamaños de partículas.

Table 3. Percentage of the substrate volume (cm^3) occupied by the ventilation capacity, easily available water, reservoir water, and scarce water with organic materials with particle of various sizes.

Tratamientos	Capacidad de aireación	Agua fácilmente disponible	Agua de reserva	Agua difícilmente disponible
Viruta de pino ≤ 10 mm	49 a	15 ab	20 b	8 g
Viruta de pino ≤ 5 mm	44 b	14 b	18 c	11 f
Aserrín de pino	40 c	12 c	24 a	11 f
Bagazo de henequén	21 f	10 d	7 d	7 g
Fibra de coco ≤ 10 mm	19 g	1 e	1 gh	33 c
Fibra de coco ≤ 5 mm	44 b	15 ab	3 ef	28 d
Hoja de dzidzilche	38 d	16 a	2 fg	16 e
Sargazo ≤ 10 mm	27 e	1 e	4 e	61 a
Sargazo ≤ 5 mm	28 e	2 e	0 h	51 b
DMS	1.71	1.71	1.61	1.71

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. ✧ Different letters in a column indicate significant differences ($p \leq 0.05$). DMS: minimum significant difference.

et al. (2014) coincidieron en que la mayor retención de AFD se presenta en granulometrías entre 1 y 2 mm, porque la retención de humedad está determinada por el tamaño de las partículas, por los diferentes tipos de poros que se forman entre partículas y que influyen en el movimiento del agua (Ansorena, 1994; Gutiérrez *et al.*, 2011).

Los materiales provenientes de residuos de madera de pino fueron los únicos que mostraron porcentaje de agua total disponible entre 24 y 40 % del volumen del sustrato (Abad *et al.*, 2004). Los otros materiales no conservaron agua en una columna con 50 cm de tensión y no retuvieron AFD para el crecimiento y desarrollo adecuados de la planta. Por lo anterior, son sustratos inadecuados. SA mostró retención alta de ADD a tensión de 100 cm de columna de agua, 61 % en partículas ≤ 10 mm y 51 % en partículas ≤ 5 mm. El contenido mayor de material sólido lo presentó BH (55 % de su volumen), lo que redujo el espacio disponible para agua (14 %) y aire (13 %); de utilizarse como sustrato podría disminuir el suministro de agua y afectar el crecimiento de las raíces, la actividad metabólica y la absorción de agua y nutrientes (Vargas *et al.*, 2008a).

Los materiales mostraron tendencia a retener más agua con la disminución del tamaño de partícula. Esto coincidió con lo señalado Vargas *et al.* (2008a) y Gutiérrez *et al.* (2011). Sin embargo, no siempre es agua disponible para la planta, como se observó en los residuos de madera de pino (aserrín de pino, viruta de pino de partículas ≤ 10 mm y ≤ 5 mm), que al disminuir el tamaño de partícula el ADD aumentó y el AFD disminuyó, además se excede el 10 % de AR que sugieren Abad *et al.* (2005). Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2011) recomiendan un análisis micromorfológico para determinar los tipos, tamaños y frecuencia de poros para entender mejor la complejidad de la retención del agua en un material individual o en mezcla.

La mojabilidad sugerida para un sustrato, es menor o igual a 5 min (Abad *et al.*, 2004), los materiales evaluados adsorbieron agua en menos de cinco minutos, excepto bagazo de henequén y hoja de dzidzilche (20 y 22 min, respectivamente). En hoja de dzidzilche el movimiento de agua fue lenta pero uniforme; sin embargo, en el bagazo de henequén el movimiento del agua fue lento y hacia las paredes del contenedor, el contenido del 33.7 % de sus partículas menores a 0.25 mm

showed high ADD retention at a 100-cm pressure water column, 61 % of ≤ 10 mm and 51 % of ≤ 5 mm particles. BH had the highest content of solid materials (55 % of its volume), which reduced the space available for water (14 %) and air (13 %); if it were used as a substrate, it could diminish water supply and affect root growth, metabolic activity, and water and nutrient absorption (Vargas *et al.*, 2008a).

The materials had a tendency to retain more water as the size of the particle diminished. This matched the conclusions of Vargas *et al.* (2008a) and Gutiérrez *et al.* (2011). However, water is not always available for the plant, such as in the case of pine waste (pine sawdust, pine shavings with ≤ 10 mm and ≤ 5 mm particles); as the size of particles diminished, ADD increased and AFD diminished. Additionally, it surpasses the 10 % AR suggested by Abad *et al.* (2005). On this matter, Gutiérrez *et al.* (2011) recommend performing a micromorphological analysis that determines the kind, size, and frequency of the pores, in order to achieve a better understanding of the complexity of water retention in pure and mixed materials.

The suggested wettability for a substrate is 5 min or less (Abad *et al.*, 2004). The evaluated materials adsorbed water in less than five minutes, except for the henequen pulp and the dzidzilche leaf (20 and 22 min, respectively). Water moved on dzidzilche leaves at a slow, but uniform pace; however, water moved slowly on henequen pulp towards the walls of the container; its 33.7 % content of < 0.25 mm particles likely caused the appearance of small pores than prevented water from entering and encouraged water to drip on henequen pulp.

Chemical properties of the substrates

All treatments had a pH that was slightly higher than the recommendations made by Abad *et al.* (2004) and there were no statistical differences between them. pH can influence the availability of nutrients in the substrate which the plant can use. Therefore, pH must be regulated when these materials are used (Table 4).

For every material, CE was less than 1.5 dS m^{-1} : an acceptable value for the cultivation of plants in containers (Abad *et al.*, 2004). Burés (1997) mentions that FC in CE can vary from 0.1 to 6 dS m^{-1} , as a result of its contact with sea water in its zone of

probablemente ocasionó la formación de poros pequeños que evitaron la entrada del agua y favorecieron el escurrimiento del agua sobre la superficie del bagazo de henequén.

Propiedades químicas de los sustratos

El pH de todos los tratamientos fue ligeramente alto respecto a las recomendaciones de Abad *et al.* (2004), y no hubo diferencias estadísticas entre ellos. El pH puede influir en la disponibilidad de los nutrientes del sustrato hacia la planta, por lo que al utilizar cualquiera de estos materiales se debe regular el pH (Cuadro 4).

La CE de todos los materiales fue menor a 1.5 dS m^{-1} , valor aceptable para el cultivo de plantas en contenedor (Abad *et al.*, 2004). Burés (1997) menciona que en FC la CE puede variar de 0.1 a 6 dS m^{-1} , por su contacto con el agua de mar de las zonas de origen. Sin embargo, el número de enjuagues aplicados a fibra de coco y sargazo disminuyó la CE de 2.71 a 1.49 dS m^{-1} para FC y de 6.13 dS m^{-1} a 1.31 dS m^{-1} para SA. No hubo diferencias estadísticas entre tratamientos.

La relación C/N es un indicador del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica y decrece a medida que ésta se descompone (Burés, 1997). El aserrín de pino y la fibra de coco fueron los materiales con mayor relación C/N, la naturaleza de ambos materiales los hace ricos en lignina y celulosa, con alta concentración de carbono y baja concentración de nitrógeno, esto ocasiona una alta relación C/N (Borges *et al.* 2003; Burés, 1997; Quintero *et al.*, 2011).

origin. However, the number of times that cocopeat and gulfweed were rinsed diminished their CE from 2.71 to 1.49 dS m^{-1} (FC) and from 6.13 dS m^{-1} to 1.31 dS m^{-1} (SA). There were no statistical differences between treatments.

The C/N ratio indicates origin, degree of ripeness, and stability of the organic material and it decreases as it decomposes (Burés, 1997). Among the materials studied, pine sawdust and cocopeat had the highest C/N ratio. Their nature makes them rich in lignin and cellulose; they have a high carbon concentration and a low nitrogen concentration, resulting in their high C/N ratio (Borges *et al.*, 2003; Burés, 1997; Quintero *et al.*, 2011).

The C/N ratio in fresh materials is high and the former diminishes as the latter decomposes (Burés, 1997). Some authors mention a 300 C/N ratio in non-composted pine bark (Ansorena, 1994; Quintero *et al.*, 2011) and 361 for pine sawdust that had previously been used as litter in poultry farms (Barbazan *et al.*, 2011); the fact that those researches used sawdust made only from bark and sawdust with traces of poultry manure favored the decomposition of carbon structures and increased nitrogen content, resulting in a lower C/N ratio than the one found in our research. However, non-composted fresh pine sawdust with no added materials was used in our study. A greater C/N ratio can limit the amount of N available and reduce the cation exchange capacity (Landis *et al.*, 1990); however, it provides greater stability, and it reduces the phytotoxicity caused by the formation of new organic compounds, resulting from the degradation process, changes in CIC, or increases in salinity (Domeño *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Características químicas de materiales orgánicos disponibles en Yucatán, México.

Table 4. Chemical characteristics of organic materials available in Yucatan, Mexico.

Contenido	Aserrín de pino	Bagazo de henequén	Fibra de coco	Hoja de dzidzilche	Sargazo	DMS
pH	7.1 a	7.2 a	7.2 a	7.2 a	7.4 a	0.66
CE (dS m^{-1})	1.43 a	1.14 a	1.49 a	1.39 a	1.31 a	0.71
Humedad (%)	9.7 c	6.9 d	13.8 b	14.6 b	17.6 a	0.96
MO (%)	99.9 a	64.7 c	97.8 a	77.2 b	76.5 b	3.15
C (%)	57.9 a	37.6 c	56.7 a	44.8 b	44.3 b	1.83
C/N	2759 a	23 b	253 b	24 b	30 b	972.1
CIC ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$)	9 d	19 c	22 c	77.67 b	82.67 a	3.41

Literales diferentes en una hilera indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). DMS=diferencia mínima significativa. ♦ Different letters in a row indicate significant differences ($p \leq 0.05$). DMS=minimum significant difference.

En materiales frescos la relación C/N es alta y decrece a medida que ésta se descompone (Burés, 1997). Algunos autores mencionan una relación C/N de 300 para corteza de pino no compostada (Ansorena, 1994; Quintero *et al.*, 2011) y de 361 para aserrín que previamente se utilizó como cama para criaderos de pollo (Barbazan *et al.*, 2011); en esos estudios, el hecho de utilizar el aserrín sólo de la corteza y aserrín con residuos de pollinaza permitió la descomposición de las estructuras de carbono y aumentó el contenido de nitrógeno, lo que hizo que la relación C/N fuera menor a la encontrada en nuestro estudio. Sin embargo, a diferencia de esos autores, en nuestro experimento se utilizó aserrín de pino fresco, sin compostar y sin adicionar algo más. Una mayor relación C/N puede limitar la cantidad de N disponible y reducir la capacidad de intercambio catiónico (Landis *et al.*, 1990); sin embargo, representa mayor estabilidad, y la reducción de la fitotoxicidad causada por la formación de nuevos compuestos orgánicos producidos en el proceso de degradación, cambios en la CIC o incrementos de la salinidad (Domeño *et al.*, 2011).

Abad *et al.* (2004) recomendaron CIC superior a 20 meq 100 g⁻¹ como óptima. En nuestro estudio FC, HD y SA presentaron CIC favorable, ya que favorece la capacidad amortiguadora de cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y pH. La CIC de AP (9 meq 100 g⁻¹) se consideró baja y media (19 meq 100 g⁻¹) de BH, de acuerdo con Quintero *et al.* (2011).

La concentración de N en BH, HD y SA fue mayor a 1.4 % (Cuadro 5); en contraste, en AP la concentración de N y P fue la menor de los materiales evaluados. Por esos contenidos bajos y su falta de descomposición, si se usaran como sustratos, a estos materiales tendría

Abad *et al.* (2004) recommended an optimum CIC level of 20 meq 100 g⁻¹ or higher. In our study, FC, HD, and SA showed favorable CIC since it contributes to the capacity to soften quick changes in the availability of nutrients and pH. The CIC of AP (9 meq 100 g⁻¹) was low and average (19 meq 100 g⁻¹) for BH, according to Quintero *et al.* (2011).

The concentration of N in BH, HD, and SA was greater than 1.4% (Table 5); in contrast, the concentration of N and P in AP was lower than in the evaluated materials. As a result of these low contents and their lack of decomposition, it would be necessary to apply N to these materials, before they were used as substrates, in order to prevent competition between the microorganisms and the plants (Burés, 1997). The content of N in BH (1.6 %) was lower than the 0.5 % content reported by Borges *et al.* (2003). Borges (1998) pointed out that the content of N and P diminishes as the degree of decomposition increases. When compared with the other materials, BH had a higher content of P and CA. Gulfweed had the highest contents of K, Mg, and Na; this could be related to its high ADD retention.

FC and AP had low N, P, and K concentrations, perhaps as a result of the tissue origin (fruit mesocarp and lignified stalk, respectively). BH, HD, and SA are leaf tissues with photosynthetic activity and they could contain more simple carbohydrates. Crespo *et al.* (2013) pointed out that blue agave has total non-structural soluble and polysaccharides sugar reservoirs in its heart (*piña*) and stalk; this could explain the high mineral content in the pulp of henequen agave.

The differences in the flux of CO₂ reached statistical levels only between AP (2.2±0.60 μmol m⁻² s⁻¹) and the other substrates (SA: 8.0±0.78; BH: 6.8±0.75;

Cuadro 5. Contenido total de minerales en materiales orgánicos disponibles en Yucatán, México.

Table 5. Total mineral content in organic materials available in Yucatan, Mexico.

Contenido	Aserrín de pino	Bagazo de henequén	Fibra de coco	Hoja de dzidzilche	Sargazo	DMS
N (%)	0.023 e	1.669 b	0.224 d	1.819 a	1.465 c	0.05
P (mg Kg ⁻¹)	0 d	4539.56 a	833.86 c	3789.28 b	3542.21 b	522.91
K (mg Kg ⁻¹)	1600.48 e	11999.21 c	5149.06 d	15478.76 b	20765.03 a	3062.57
Ca (mg Kg ⁻¹)	815.21 c	172150.6 a	4642.45 c	76698.56 b	71925.55 b	14497.03
Mg (mg Kg ⁻¹)	103.66 c	1738.76 b	573.61 c	1822.31b	10474.73 a	1043.75
Na (mg Kg ⁻¹)	70.38 d	178.55 c	363.65 b	209.43 c	2862.60 a	82.54

Literales diferentes en una hilera indican diferencias significativas (p≤0.05). DMS: diferencia mínima significativa. ♦ Different letters in a row indicate significant differences (p≤0.05). DMS=minimum significant difference.

que aplicarse N para evitar la competencia entre los microorganismos y la planta (Burés, 1997). El contenido de N en BH (1.6 %) fue menor al reportado por Borges *et al.* (2003) (0.5 %). Borges (1998) indicaron que los contenidos de N y P disminuyen con el aumento del grado de descomposición. El BH presentó contenidos mayores de P y Ca respecto a los otros materiales. Sargazo tuvo los contenidos mayores de K, Mg y Na; que pudieron estar relacionadas con la retención alta de ADD.

La concentración de N, P y K en FC y AP fue baja, lo que se atribuye al origen del tejido (mesocarpio del fruto y tallo lignificado, respectivamente). El BH, la HD y el SA son tejidos foliares con actividad fotosintética y podrían contener más carbohidratos simples. Crespo *et al.* (2013) señalaron que agave tequilero presenta reserva de azúcares totales no estructurales solubles y polisacáridos en piña y tallo; esto podría relacionarse con el contenido mineral alto en el bagazo de agave henequenero.

Las diferencias en el flujo de CO₂ fueron estadísticas sólo entre el AP ($2.2 \pm 0.60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y el resto de los sustratos (SA: 8.0 ± 0.78 , BH: 6.8 ± 0.75 , FC: 6.7 ± 0.84 y HD: $4.9 \pm 0.78 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El flujo de CO₂ es consecuencia de la actividad biológica y su intensidad mayor puede ocasionar pérdida de volumen, compactación, disminución de la capacidad de aireación y alteración del tamaño de partículas (Abad *et al.*, 2004; Burés, 1997). Por lo que, la actividad biológica baja de AP garantiza estabilidad de algunas características físicas en el tiempo. Al respecto, Pineda *et al.* (2012) usaron mezclas con AP para cultivo de jitomate, con el que mantuvieron porosidad total, retención de humedad, densidad aparente y capacidad de aireación adecuada hasta por 24 meses de cultivo. El BH y el SA por sus valores altos de flujo de CO₂ podrían requerir compostaje previo al uso como sustratos, para evitar la actividad biológica alta y la alteración de ciertas características físicas.

CONCLUSIONES

El origen y procesamiento de los materiales orgánicos afectan la forma y el tamaño de las partículas, la porosidad y la capacidad de retención de agua. Los materiales orgánicos que favorecen el equilibrio en la relación aire-agua, de acuerdo a su granulometría, son AP y HD. El tamaño de partícula ≤ 5 mm de AP, FC y SA propicia la aireación y la retención de agua.

FC: 6.7 ± 0.84 ; and HD: $4.9 \pm 0.78 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Consequently, the flux of CO₂ is a result of biological activity and its greater intensity can cause volume loss, compacting, diminishing of the ventilation capacity, and alteration of the size of the particles (Abad *et al.*, 2004; Burés, 1997). Therefore, AP's low biological activity guarantees that some of its physical characteristics will remain stable through time. On this regard, Pineda *et al.* (2012) used AP mixtures to grow tomatoes, keeping total adequate porosity, water retention, apparent density, and ventilation capacity, for up to 24 months of cultivation. As a result of their high CO₂ flux values, BH and SA could require prior composting, before they were used as substrates, in order to prevent a high biological activity and the alteration of certain physical characteristics.

CONCLUSIONS

The origin and processing of organic materials affects the shape and size of particles, as well as their porosity and their water retention capacity. According to their granulometry, AP and HD are the organic materials that contribute to the balance in the air-water ratio. When AP, FC, and SA particles are ≤ 5 mm, their size favors ventilation and water retention. Gulfweed has high K⁺ and Mg²⁺ content, but low Na⁺ content, scarce water, and low biological activity which make it inadequate as a substrate. Pine timber waste had an acceptable percentage of total available water, while its low CO₂ guarantees that its degradation will be slow and that it will keep a stable volume through time. BH and HD have higher N, P, and Ca²⁺ concentrations.

—End of the English version—



Sargazo muestra contenidos altos de K⁺ y Mg²⁺, pero por su contenido alto de Na⁺, de agua difícilmente disponible y de actividad biológica es inadecuado como sustrato. Los residuos de madera de pino presentaron porcentaje aceptable de agua total disponible y por su producción baja de CO₂ garantizan su degradación lenta y estabilidad del volumen en el tiempo. El BH y la HD tienen mayores concentraciones de N, P y Ca²⁺.

LITERATURA CITADA

- Abad B., M., P. Noguera, y B. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In: Tratado de Cultivo Sin Suelo* (Ed. Urrestarazu M). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 113-158.
- Abad B., M., P. Noguera, y B. Carrión. 2005. Sustratos en los cultivos sin suelo y fertirrigación. *In: Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales* (Ed. Cadahía C). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 299-352.
- Anicua S., 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.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundiprensa. Barcelona. España. 172 p.
- Blok C., M., y G. Urrestarazu. 2010. El uso de los sustratos en Europa es cada vez mayor. *Glob. Hort.* 289: 50-55.
- Borges G., L. M. Soria, y N. Ruz. 2003. Contenido de macronutrientes en sustratos de bagazo de henequén y excretas porcina y su efecto en el desarrollo plántulas de papaya. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 9: 291-304.
- Borges G., L. 1998. Usos de sustratos regionales en la agricultura yucateca. *Rev. Acad. Mex. Cienc.* 49: 21-26.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 340 p.
- Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en macetas. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 5: 5-11.
- Cottenie A. 1994. Workshop on Standarization of Analytical Methods for Manure, Soil Plant and Water. Comission European Communities. *FAO Soils Bulletin* 38/2. pp: 28-33.
- Crespo G., M. R., E. González D. R., R. Rodríguez M., L.A. Rendón S., I. Del Real L., y J. P. Torres M. 2013. Evaluación de la composta de bagazo tequilero como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 1161-1173.
- De Bood, M., O. Verdonk, and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hortic.* 37: 2054-2062.
- Domeño I., I. Irigoyen, and J. Muro. 2011. Comparison of traditional and improved methods for estimating the stability of organic growing media. *Sci. Hortic.* 130: 335-340.
- Gayosso R., S., L. Borges G., E. Villanueva C., M. A. Estrada B., and R. Garruña H. 2016a. Sustratos para producción de flores. *Agrociencia* 50: 617-631.
- Gayosso R., S., L. Borges G., E. Villanueva C., M. A. Estrada B., y R. Garruña H. 2016b. Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco y sargazo. *Ciencia Tecnol. Agrop. México* 4: 20-26.
- Gutiérrez C., M., D. Carmen, 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.
- Jiménez M., A. C. González C., M. C. Gutiérrez C., M. E. Lara H., y J. L. García C. 2014. Producción de inóculo micorrízico de *Gigaspora gigantea* en mezclas de sustratos con diferentes tamaños de partícula. *Agrociencia* 48: 239-254.
- Landis D., W. Tinus R., E. Mc Donald S., y P. Barnett J. 1990. Containers and Growing Media, Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. 88 p.
- Mateo J., J. R. Bonifacio, R. Pérez S., L. Mohedano, y J. Capulín. 2011. Producción de *Cedrela odorata* L., en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7: 123-132.
- Morales M., E. R., y F. Casanova L. 2015. Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agron. Mesoam.* 26: 365-372.
- Phool Z. 1999. Preparation of organic fertilizer from seaweed and its effect on the growth of some vegetable and ornamental plants. *Pak. J. Biol. Sci.* 2: 1274-1277.
- Pineda P. J., Sánchez D. C. F., Ramírez A. A., Castillo G. A. M., Valdés A. L. A., y Moreno P. E. D. C. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 18: 95-111.
- Prasad, M., and D. Chualáin. 2004. Relationship between particle size and air space of growing media. *Acta Hort.* 648: 161-166.
- Quintero C., M. F., C. A. González M., y J. M. Guzmán P. 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 Bogotá. Colombia. pp: 79-108.
- Sánchez, T., A. Aldrete, M. Cetina V., y J. López. 2008. Caracterización de medios de crecimientos compuestos por corteza de pino y aserrín. *Mad. Bosques* 14: 41-49.
- Urrestarazu M. 2013. State of the art and new trends of soilless culture in Spain and in emerging countries. *Acta Hort.* 1013: 305-312.
- Valenzuela O. R., C. S. Gallardo, M. S. Carponi, M. E. Aranguren, H. R. Tabares, y M. C. Barrera. 2014. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Cienc. Docencia Tecnol.* 4: 1-19.
- Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R., C. Martínez S., y J. L. Ojodeagua A. 2008a. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 34: 323-331.
- Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez, Tijerina L., M. López R., y J. L. Ojodeagua A. 2008b. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 375-381.
- Villanueva C., E., G. Alcántar, P. Sánchez, M. Soria, y A. Larqué. 2010. Nutrición mineral con nitrógeno, fósforo y potasio para la producción de *Chrysanthemum morifolium* Ramat. con sustratos regionales en Yucatán, México. *Terra Latinoamer.* 28: 43-52.