

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MEZCLAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADOS COMO SUSTRATOS AGRÍCOLAS

Salomé Gayosso-Rodríguez¹, Eduardo Villanueva-Couoh¹, Maximiano A. Estrada-Botello² y René Garruña³

RESUMEN

La utilización de materiales disponibles localmente que cumplan con características físicas y químicas adecuadas representan una alternativa para sustituir sustratos comerciales de alto costo e impacto ambiental negativo. Por ello, el objetivo fue caracterizar mezclas de materiales orgánicos disponibles en Yucatán, México, para conocer su potencial como sustratos. Se utilizó viruta (VP) y aserrín (AP) de pino crudo mezclados con diferentes porcentajes de bagazo de agave henequenero (BH) y polvo de coco (PC) en las siguientes proporciones: 20BH+80AP; 30BH+70VP; 20PC+80AP; 20PC+80VP; 20PC+40AP+40VP; y 20BH+40AP+40VP. Adicionalmente, se empleó un sustrato comercial a base de turba. A las mezclas se les determinó la granulometría, densidad aparente, porosidad total, relaciones aire-agua, pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica, actividad biológica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de N, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺. Todas las mezclas mostraron alta porosidad total. Las que contenían AP+PC tuvieron la granulometría y capacidad de retención de agua similar al sustrato comercial, y las mezclas 20PC +80AP y 20BH+40AP+40VP lo superaron en porcentaje de agua total disponible. La mezcla 30BH+70VP fue superior a todas las mezclas en los contenidos de N, P, K⁺ y Ca²⁺. Todas las mezclas tuvieron un pH ligeramente superior al límite máximo recomendado (6.5), CE con valores menores a 1.5 dS·m⁻¹, niveles medios de CIC (10 a 15 meq·100 g⁻¹) y producción de CO₂ baja (3.5 a 4 µmol·m⁻²·s⁻¹) que aumentó en las mezclas con BH hasta 9.77 µmol·m⁻²·s⁻¹. Por lo tanto, todas las mezclas poseen características físico-químicas adecuadas para considerarlas como alternativas de sustrato agrícola.

Palabras claves adicionales: Actividad biológica, densidad aparente, granulometría, porosidad

ABSTRACT

Physicochemical characterization of mixtures from organic waste for using as agricultural substrates

The use of locally available materials that meet appropriate physicochemical characteristics represents an alternative to replace commercial substrates of high cost and negative environmental impact. The objective was to characterize organic material mixtures that are available in Yucatan, Mexico, to identify their potential as substrates. Pine chips (VP) and raw sawdust (AP) were mixed with different percentages of henequen bagasse (BH) and coir dust (PC), as follows: 20BH+80AP; 30BH+70VP; 20PC+80AP; 20PC+80VP; 20PC+40AP+40VP; and 20BH+40AP+40VP. Additionally, a peat-based commercial substrate was used. Particle size, bulk density, total porosity, air-water relations, pH, electrical conductivity (CE), organic matter content, biological activity, cation exchange capacity (CEC) and the N, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺ content was measured. All the mixtures showed high total porosity. Those containing AP+PC had particle size and water retention capacity similar to the commercial substrate, and the 20PC+80AP and 20BH+40AP+40VP mixtures surpassed it in the percentage of total available water. The 30BH+70VP mixture was superior to all the mixes in the contents of N, P, K⁺, and Ca²⁺. All the mixtures showed pH slightly higher than the recommended maximum limit (6.5), CE with values lower than 1.5 dS·m⁻¹, CEC with mid-levels (10 a 15 meq·100 g⁻¹) and low CO₂ production (3.5 to 4 µmol·m⁻²·s⁻¹) that increased in the mixtures with BH up to 9.77 µmol·m⁻²·s⁻¹. Therefore, all mixtures have appropriate physical and chemical characteristics to consider them as alternatives for agricultural substrate.

Additional key words: Biological activity, bulk density, granulometry, porosity

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas en materiales diferentes al

suelo impulsó la producción en contenedor, esto generó un cambio conceptual de la producción tradicional de cultivo en suelo a la utilización de

Recibido: Diciembre 11, 2017

Aceptado: Julio 20, 2018

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, C.P. 9345. Conkal, Yucatán. e-mail: salome.gayosso@ujat.mx

² División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa. e-mail: maximiano.estrada@ujat.mx; Autor de correspondencia

³ CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, C.P. 9345. Conkal, Yucatán, México. e-mail: renegh10@hotmail.com

los sustratos (Burés, 1997); no obstante, algunos de los sustratos que se utilizan actualmente como las turbas y la tierra de monte, ocasionan la degradación de las áreas naturales de donde se extraen (Acosta et al., 2008). Por ello, en las últimas dos décadas, en Latinoamérica se evaluaron diversos materiales orgánicos que cumplen con ser ecológicos, económicos y de disponibilidad local (Gayosso et al., 2016). Una opción son los residuos y subproductos agroindustriales, materiales subvalorados, que al ser incorporados a los sistemas productivos agrícolas como sustratos, pueden convertirse en una alternativa para la producción intensiva en contenedor (Valenzuela et al., 2014).

Particularmente en Yucatán, México existen residuos orgánicos disponibles como el bagazo de agave henequenero, que se utiliza regionalmente como componente de sustratos para el cultivo de plantas en contenedor (Borges, 1998). Este es un residuo agroindustrial del agave henequenero (*Agave fourcroydes* Lem.) y se ha evaluado como sustrato en mezcla con suelo para el cultivo de *Chrysanthemum morifolium* Ramat. (Villanueva et al., 2010) y en plántulas de *Carica papaya* L. (Borges et al., 2003).

Un material disponible localmente y que aún no se evalúa en el estado y que es recomendado por diversos autores, es el aserrín de pino crudo o compostado, se ha evaluado como componente de sustrato en el cultivo de hortalizas, como *Capsicum annum* L. (Barzegar et al., 2015), *Solanum lycopersicum* L. (Pineda et al., 2012; Vargas et al., 2014); en forestales como *Cedrela odorata* L. (Mateo et al., 2011), *Acacia retinodes* Schltdl. (Mateo et al., 2014) y otros cultivos tradicionales como *Theobroma cacao* L. (Acosta et al., 2008), los resultados indicaron que su utilización como sustrato es una alternativa para el cultivo de plantas en contenedor y representa una oportunidad para integrar este residuo a los sistemas agrícolas por su disponibilidad local.

Por otra parte, el polvo de coco, producto de la molienda del mesocarpio del fruto del cocotero (*Cocus nucifera* L.) es uno de los dos sustratos más utilizados en el norte de Europa y está disponible comercialmente en Yucatán proveniente de las costas de Colima, México.

La propuesta de nuevos materiales como sustratos debe estar sustentada en la caracterización física, química y biológica de los

materiales, que permita el uso eficiente del agua y la reincorporación inocua de residuos al ambiente (Gayosso et al., 2016).

En la última década se trabajó en la caracterización de mezclas de materiales alternativos como sustratos en la producción agrícola (Vargas et al., 2008a; Anicua et al., 2009; Valenzuela et al., 2014) que permitió entender que la estructura, porosidad y retención de humedad son factores determinantes en el éxito del cultivo y que la principal característica física de un sustrato es la retención de humedad y que esta a su vez, depende de la granulometría, porosidad, forma y tamaño de las partículas (Ansorena, 1994). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar física y químicamente mezclas de residuos de madera de pino (aserrín y viruta) sin ningún proceso de compostaje, bagazo de agave henequenero y polvo de coco disponibles en Yucatán, México, para su utilización potencial como sustratos agrícolas para el cultivo de plantas en contenedor. En un trabajo previo (Gayosso et al., 2018) realizamos la caracterización física y química individual de los componentes utilizados en estas mezclas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Laboratorio de agua-suelo-plantas del Instituto Tecnológico de Conkal (enero - junio 2016). Los materiales utilizados para la preparación de las mezclas fueron: 1) viruta de pino (VP: residuo del cepillado de la madera triturada en un molino de martillo con cribas de 5 mm); 2) aserrín de pino (AP: residuo del corte de la madera con sierra de calar), estos materiales fueron colectados en una maderería en Mérida, Yucatán, ambos materiales se utilizaron sin ningún proceso de compostaje por lo que se les denominó “crudo”. 3) bagazo de agave henequenero (BH: desecho de la desfibración de las pencas *Agave fourcroydes* Lem.), se cribó en una malla metálica con perforaciones de 1 cm² y se colectó en la desfibradora ‘San Carlos’ ubicada en Baca, Yucatán; y 4) polvo de coco comercial (PC: mesocarpio del fruto de cocotero pulverizada y comprimida, proveniente del estado de Colima) (Figura 1).

Para el diseño de las mezclas se tomó la granulometría individual reportada por Gayosso et

al. (2018) para cada uno de los materiales orgánicos utilizados; se hicieron diferentes combinaciones entre los materiales y se seleccionaron las mezclas cuyos contenidos de partículas se aproximaron a los porcentajes sugeridos por Cabrera (1999) en el que considera menos del 20 % de partículas de tamaños menores a 0,5 mm y el resto de las partículas de tamaños

entre 0,5 mm y 4,76 mm. Como resultado se utilizaron seis mezclas de materiales orgánicos y una mezcla utilizada localmente por los productores, sustrato comercial “Sunshine” (70-80 % turba canadiense *Sphagnum* spp., vermiculita, piedra caliza) combinado con agrolita (roca volcánica vítrea) en una proporción 80/20 v/v (Cuadro1).

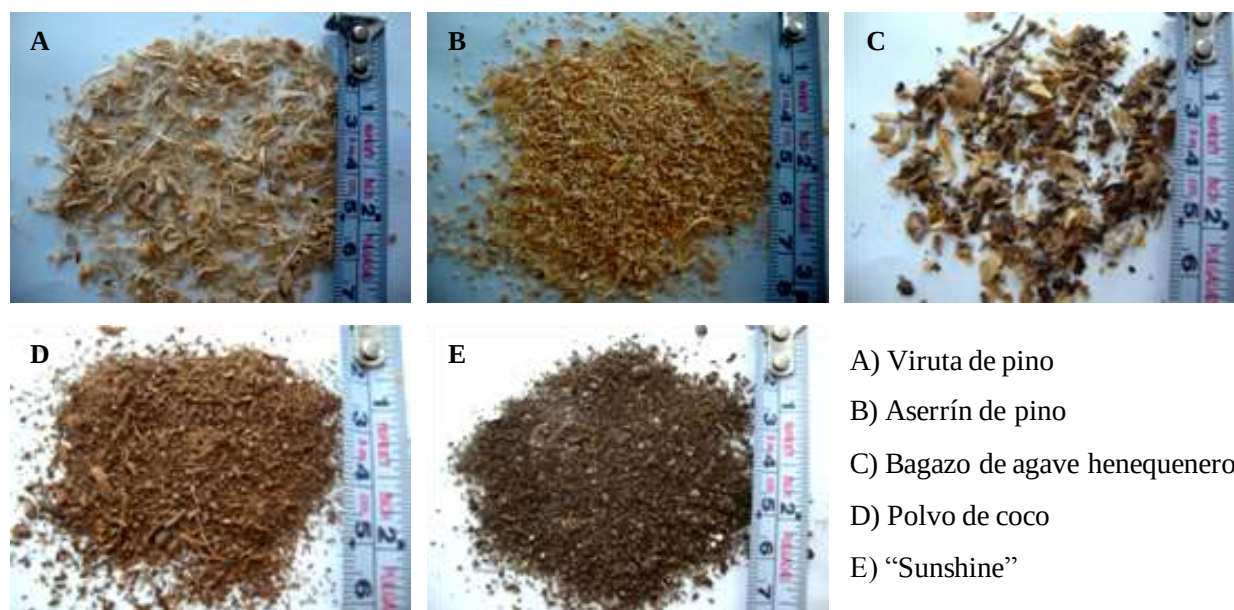


Figura 1. Forma y tamaño de partículas de materiales orgánicos locales disponibles en Yucatán, México, utilizados en la preparación de las mezclas

Cuadro 1. Diseño de mezclas (M), con base en la granulometría, a partir de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales (las cifras indican el porcentaje de cada componente en la mezcla)

Tratamientos	BH	AP	VP	PC	Sun/agro
M1	20	80	-	-	-
M2	30	-	70	-	-
M3	-	80	-	20	-
M4	-	-	80	20	-
M5	-	40	40	20	-
M6	20	40	40	-	-
M7	-	-	-	-	100

BH: bagazo de agave henequenero; AP: aserrín de pino; VP: viruta de pino; PC: polvo de coco; Sun/agro: Sunshine/agrolita (80/20)

Se determinaron las variables físicas de granulometría, densidad aparente, porosidad y retención de humedad con tres repeticiones. Para la granulometría se utilizó una muestra compuesta de 1000 cm³, se pasó por una tamizadora eléctrica con tamices de 3,36, 2,0, 1,0, 0,5 y 0,25 mm con un

tiempo de agitación de tres minutos, se pesó el contenido de la mezcla en cada tamiz y se calculó el porcentaje por tamaño de partícula y el diámetro medio de partícula (D_m) con la siguiente fórmula:

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

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

Para la determinación de la densidad aparente (D_a), se utilizaron permeámetros de plástico con capacidad de 500 mL; las mezclas fueron saturadas con agua corriente por 24 horas, se colocaron en los permeámetros y se secaron en un horno de convección a 100 °C por 24 horas. La densidad aparente se calculó con la fórmula:

$D_a = \text{peso del sustrato seco (g)} / \text{volumen total (cm}^3\text{)}$

La porosidad total (P_t) se determinó con el procedimiento descrito por Landis et al. (1990), el cual consistió en saturar la mezcla con agua corriente por 24 horas; el peso del sustrato saturado menos el peso del sustrato seco en estufa (g) con relación al volumen del recipiente (mL) expresado como porcentaje representó la porosidad total.

Las relaciones aire-agua se determinaron por el método de batería de embudos de placa filtrante a succiones de 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua (De Boodt et al., 1974), los valores determinados fueron la capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD). El agua total correspondió a la suma de AFD, AR y ADD. El agua total disponible se consideró como la suma de AFD y AR.

En la caracterización química se determinó el pH, en agua en una relación 1:2 v/v (sustrato/agua) y conductividad eléctrica (CE) en una relación 1:5 v/v (sustrato/agua), con un potenciómetro-conductímetro Consort C931.

Para el contenido mineral en las mezclas se utilizaron los resultados de la caracterización de los materiales individuales reportados para aserrín y virutas de pino, y bagazo de agave henequenero por Gayosso et al. (2018), se realizó un cálculo de acuerdo a la proporción de cada material en la mezcla. Para el polvo de coco y el “Sunshine” se determinaron el porcentaje de ceniza y materia orgánica por calcinación, el nitrógeno total por el método Kjeldahl, el fósforo total por el método de Molibdato de sodio con p-metilaminofenol sulfato en un espectrofotómetro ultravioleta/visible modelo UV2800 PC; los contenidos totales de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ por calcinación y digestión ácida (Cottenie, 1994) y espectrofotometría de absorción atómica con un equipo modelo GBC 932 plus, la capacidad de intercambio catiónico

(CIC) por acetato de amonio 1 N, pH 7 (Cottenie, 1994).

La actividad biológica se midió por la producción de CO_2 con un sistema automatizado de flujo de gases en suelo IRGA LI-8100, se utilizaron macetas de 20 cm de diámetro con las mezclas húmedas a capacidad de campo.

Se usó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y donde hubo diferencias estadísticas significativas se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey, excepto para la granulometría y la caracterización química. Se utilizó el programa Statistica Six Sigma, versión 7. Los datos en porcentajes se transformaron por la raíz cuadrada del arcoseno de x.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Granulometría. Las mezclas M2 y M4 tuvieron entre 30 y 40 % de partículas menores a 0,5 mm y alrededor del 36 % de partículas entre 0,5 y 2,0 mm, mientras que el resto de las mezclas con residuos orgánicos tuvieron más del 50 % de partículas menores a 0,5 mm (Cuadro 2). Por otra parte, las mezclas M5 y M6, que contenían 40 % de AP tuvieron 65,22 y 61,6 %, respectivamente, de partículas menores a 1 mm, contenido similar al de la mezcla testigo Sunshine/agrolita (63,02 %). Las mezclas que contenían 80 % de AP en su composición mostraron la mayor distribución de partículas menor a 1 mm (M3 79,5 % y M1 70,7 %), donde el D_m de partícula del AP (0,84 mm) (Gayosso et al., 2018) y el “Sunshine” (0,80 mm) fueron determinantes en esta similitud.

Respecto a la granulometría, Cabrera (1999) sugiere una distribución de tamaños de partículas para un equilibrio en la relación aire-agua del 60 % o más de partículas con tamaños entre 0,50 y 2,00 mm y no más del 20 % de partículas menores a 0,5 mm; sin embargo, Vargas et al. (2008b) reportaron en polvo de coco y Anicua et al. (2009) en roca volcánica (perlita), que fracciones de partículas entre 0,25 y 0,50 mm fueron las de mayor influencia en la retención de agua fácilmente disponible; por lo tanto los mayores porcentaje de partículas de este tamaño en las mezclas evaluadas pueden originar una alta retención de agua, característica favorable para su utilización como sustrato en contenedor si se

considera que la pérdida de humedad por evapotranspiración es mayor en el cultivo en contenedor que en el cultivo tradicional en suelo (Cabrera, 1999) y que la retención de humedad es la característica física más importante para el cultivo en contenedor. Sin embargo, la retención de agua no sólo está determinada por el tamaño de las partículas, sino también por el acomodo, forma y compactación, que generan diferentes tipos de poros que influyen en el movimiento del agua (Ansorena, 1994; Anicua et al., 2009; Gutiérrez et al., 2011) por lo que es necesario considerar otras

características físicas además de la granulometría para sugerir una mezcla como alternativa de sustrato agrícola.

Porosidad. Las mezclas elaboradas con residuos orgánicos locales alcanzaron valores entre 87,63 y 90,01 % de porosidad total (Pt), y donde la mezcla testigo (M7) obtuvo el valor más bajo (84,17 %) (Cuadro 3). Con relación a esto, Morales y Casanova (2015) mencionan que la Pt en sustratos orgánicos debe ser mayor al 85 % del volumen, por lo que todas las mezclas a base de residuos orgánicos locales cumplieron con esta característica.

Cuadro 2. Distribución porcentual del tamaño de partícula y diámetro medio (Dm) en mezclas de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales

Tratamientos	Tamaño de partículas (mm)						Dm (mm)
	<0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,36	>3,36	
M1 (20BH/80AP)	11,65	48,55	10,50	16,18	7,87	5,25	0,95
M2 (30BH/70VP)	8,95	24,63	9,69	27,67	19,21	9,86	1,51
M3 (20 PC /80AP)	18,49	52,25	8,76	13,50	5,06	1,93	0,71
M4 (20 PC /80VP)	10,73	27,35	6,74	30,48	20,61	4,08	1,35
M5 (20 PC /40AP/40VP)	14,74	41,37	9,11	21,51	10,23	3,04	0,98
M6 (20BH/40AP/40VP)	9,46	41,43	10,71	21,64	11,95	4,81	1,09
M7 (80Sun/20Agro)	23,18	33,38	6,46	15,42	4,82	16,74	0,95

BH: bagazo de agave henequenero; AP: aserrín de pino; VP: viruta de pino; PC: polvo de coco; Sun: Sunshine; Agro: agrolita

Cuadro 3. Relación aire-agua (porosidad total-Pt, capacidad de aireación-CA, agua fácilmente disponible-AFD, agua de reserva-AR y agua difícilmente disponible-ADD), y densidad aparente (DA) en mezclas de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales

Tratamientos	Pt	CA	AFD	AR	ADD	DA
			(%)			(g·cm ⁻³)
M1 (20BH/80AP)	87,63 c	51,56 a	5,43 b	5,63 abc	25,00 c	0,12 a
M2 (30BH/70VP)	87,98 bc	40,48 bc	7,10 b	0,38 c	40,00 a	0,11 ab
M3 (20 PC /80AP)	89,33 ab	36,83 cd	13,05 ab	6,47 ab	32,96 b	0,11 ab
M4 (20 PC /80VP)	90,01 a	45,28 b	8,56 b	4,61 abc	31,54 bc	0,09 b
M5 (20 PC /40AP/40VP)	89,68 a	33,55 d	6,19 b	8,40 a	41,52 a	0,10 ab
M6 (20BH/40AP/40VP)	87,87 bc	39,79 bc	17,01 a	6,05 ab	25,00 c	0,12 a
M7 (80Sun/20Agro)	84,17 d	26,79 e	17,57 a	1,46 bc	42,95 a	0,10 b
C.V.	2,0	19,9	27,5	33,2	21,7	11,9

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) Tukey. BH: bagazo de agave henequenero; AP: aserrín de pino; VP: viruta de pino; PC: polvo de coco; Sun: Sunshine; Agro: agrolita

Específicamente, la mezcla M4 (20 PC/80VP) tuvo la mayor Pt, lo cual podría atribuirse al alto valor del Dm de partícula de la viruta de pino (1,14 mm según Gayosso et al., 2018), la cual constituye el 80 % de esta mezcla. Sin embargo, la adición de bagazo de agave henequenero independientemente del porcentaje de viruta en

otras mezclas, ocasionó una disminución de la Pt como se observa en las mezclas M1, M2 y M6 (Cuadro 3), efecto posiblemente debido a la forma y consistencia del bagazo que está formado principalmente por cutículas de hojas, las cuales se adhieren fácilmente con la humedad funcionando como un aglutinante de la viruta de

pino y ocasionando un empaquetamiento de las partículas. Por otra parte, las mezclas que contenían 80 % de aserrín de pino mezclado con 20 % de otros materiales como BH y PC (M1 y M3), fueron diferentes estadísticamente ($P \leq 0,05$) entre sí en porosidad total, al igual que las mezclas M1 y M7 a pesar de tener el mismo Dm de partícula (Cuadro 3).

Las variaciones en la porosidad pueden deberse a factores como la forma, tamaño y tipo de poros, prácticas de molido y cernido (Ansorena, 1994; Burés, 1997; Anicua et al., 2009); el aserrín y el polvo de coco tienen una forma irregular, porosa con un diámetro medio de partícula menor a 1 mm, mientras que la viruta de pino y el bagazo de agave henequenero tienen formas laminares o de hojuela y Dm mayor a 1 mm (Figura 1), por lo que la combinación entre ellas y las proporciones de cada uno, generan diferentes formas y tamaños de poros que afectan la relación aire-agua. Por ello, Gutiérrez et al. (2011) sugiere utilizar la micromorfología para determinar tipo, tamaño y continuidad de poros que permitan entender ampliamente el movimiento del agua y la relación aire-agua en un sustrato.

Densidad aparente. La densidad aparente (D_a) de las mezclas a base de residuos de madera de pino fueron superiores al sustrato comercial, excepto la mezcla M4 (Cuadro 3), los valores oscilaron entre 0,09 y 0,12 g cm⁻³ lo que indica que son mezclas ligeras, característica favorable para disminuir los costos de transporte (Hernández et al., 2014). Las mezclas que contenían AP y BH (M1 y M6), tuvieron una D_a de 0,12 g·cm⁻³, resultados similares a los reportados por Gariglio et al. (2004) que obtuvieron en aserrín de *Salix* sp. (0,13 g cm⁻³) con el 70 % de sus partículas entre 0,25 y 0,50 mm, estos resultados pueden ser consecuencia del contenido de partículas en AP y BH menores 1,0 mm (69,6 y 67,7 %) (Gayosso et al., 2018) porque las variaciones en las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de una distribución, amplia o reducida en el intervalo de tamaños de partícula (Ansorena, 1994), además, al disminuir el tamaño de partícula la densidad aparente aumenta (Anicua et al., 2009; Jiménez et al., 2014; Morales y Casanova, 2015).

Relación aire-agua. Con respecto a la capacidad de aireación (CA), todas las mezclas estuvieron dentro del rango de 20-50 % sugerido por Sánchez et al. (2008) y Valenzuela et al. (2014), con

excepción de la M1 cuyo valor fue ligeramente superior (51,64 %). Sin embargo, los valores estuvieron por encima del rango de 10-30 % reportado por Abad et al. (2004) y Morales y Casanova (2015).

Las mezclas M2 y M4 presentaron los mayores valores de Dm (1,51 y 1,35 mm) y más de 55 % de partículas mayores a 1 mm (Cuadro 2), distribución y tamaño que habría influido en la formación de poros de mayor tamaño y como consecuencia una capacidad de aireación superior al 40 % (Cuadro 3). Vargas et al. (2008b) reportaron que en sustratos con polvo de coco la capacidad de aireación aumentó cuando era mayor el contenido de partículas mayores a 1 mm. No obstante, la mezcla M1, con menor Dm (0,95 mm) y menos de 30 % de partículas mayores a 1 mm, presentó la mayor CA.

En la retención total de agua (AFD+AR+ADD) las mezclas M3, M5 y M7 fueron las únicas que superaron el valor de 50 % (Cuadro 3) y excedieron el rango de 24 a 40 % recomendado por Abad et al. (2004); sin embargo, fueron porcentajes cercanos a los reportados por Quesada y Méndez (2005) en mezclas con aserrín de melina (*Gmelina arborea*) y otros residuos orgánicos (entre 55,3 y 66,6 %). La retención de agua es afectada por el tamaño de partícula predominante (Vargas et al., 2008a) y Anicua et al. (2009) señalan que tamaños entre 0,25 y 1 mm son esenciales en la relación agua-aire y que partículas menores a 0,5 mm generan microporos que favorecen la retención de humedad de la mezcla. Por su parte, Hernández et al. (2014) reportaron valores de retención de agua mayores a 42 % en mezclas de aserrín que contenían de 40 a 50 % de partículas de tamaños entre 0,50 y 0,71 mm. Los autores reportan que mezclas que contenían más del 63 % de sus partículas en tamaños menores a 1 mm mostraron más del 50 % de capacidad de retención de agua.

Las mezclas M3 y M6 superaron el contenido de agua total disponible (AFD + AR) a la mezcla comercial M7 (Cuadro 3), aun así, son porcentajes por debajo del rango recomendado por Abad et al. (2004) y Cruz (2013) (20 a 30 %). Esta retención de agua puede ser por el contenido de partículas menores a 1 mm de la mezcla M3 (79,5 %); al respecto, Pineda et al. (2012) reportan que partículas menores a 3 mm tienen los mayores valores de retención de humedad en mezclas de aserrín/tezontle; respuesta que está relacionada

con mayor cantidad de microporos (Ansorena, 1994; Morales y Casanova, 2015); las partículas de 0,1 a 0,25 mm en mezclas basadas en corteza de pino tienen la máxima influencia en la retención de agua (Handreck, 1983) y las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran parte a la distribución de tamaños de partícula, donde a mayor número de microporos mayor cantidad de agua retenida (Ansorena, 1994).

En la mezcla M6, la combinación de materiales (bagazo de agave henequenero, aserrín de pino y viruta de pino) con diferentes formas y tamaños de partículas (0,87, 0,84 y 1,14 mm) es posible hayan favorecido la formación de poros heterogéneos, que contribuyeron a la retención de humedad, cuando las partículas pequeñas se hallan en mayor proporción dominan el empaquetamiento y al mezclar distintos tamaños de partículas la porosidad se reduce (Burés, 1997). El aserrín, como mencionan Mateo et al. (2011), es el complemento ideal para llenar los espacios que forman las partículas de mayor tamaño, donde las pequeñas se alojan en los espacios vacíos y reducen el tamaño de los poros, formando microporos que hacen que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida (Ansorena, 1994).

En lo que respecta al agua total disponible, la mezcla M6 superó a todas las mezclas caracterizadas (23 %), incluso alcanzó el valor de AFD reportado por Sánchez et al. (2008) para la mezcla turba 60 % + Agrolita 30 % + vermiculita 10 % (17,7 %); es posible que el porcentaje de partículas de tamaño menores a 1 mm en la mezcla M6 (61,6 %) ocasionara la retención de agua disponible, al respecto, Vargas et al. (2008b) mencionan que partículas menores a 0,5 mm son las de mayor influencia en el AFD, Anicua et al. (2009) reportan que son las partículas de tamaños entre 0,25 a 5,0 mm y Gutiérrez et al. (2011) y Jiménez et al. (2014) en granulometrías entre 1 y 2 mm.

Las mezclas con mayor porcentaje de agua difícilmente disponible (ADD) fueron las mezclas M2, M5 y M7; la mezcla M2 tuvo la menor concentración de partículas menores a 0,5 mm (33,58 %) y la mayor concentración de partículas mayores a 3,36 mm (9,8 %), lo que probablemente impidió la retención de agua en los poros entre partículas (inter partícula); al respecto, Anicua et al. (2009) señalan que en tamaños de partículas

mayores a 3,36 mm en perlita presentaron la más alta capacidad de aireación, lo que está relacionado con el tipo de poros inter e intra partículas y con la superficie específica que aumenta o disminuye las fuerzas de adhesión. Para las mezclas M5 y M7 la proporción de partículas menores a 0,5 mm fueron de 56 y 55 % respectivamente, posiblemente provocó una disminución en el espacio poroso (Jiménez et al., 2014) y ocasionó la formación de poros pequeños que dificultaron la extracción del agua (Ansorena, 1994) y como consecuencia el aumento del ADD (Gayosso et al., 2018); situación reportada por Anicua et al. (2009) en perlita, donde tamaños de partículas menores a 0,13 mm retuvieron la mayor cantidad de agua difícilmente disponible (51,4 %).

Caracterización química. En los análisis químicos se observó que el pH aumentó conforme aumentó el contenido de bagazo de agave henequenero en las mezclas, mientras que las mezclas con polvo de coco tuvieron un pH entre 5,8 y 5,9; por lo que las mezclas M3, M4, M5 y M7 estuvieron dentro del rango sugerido por Abad et al. (2004) para el cultivo de plantas ornamentales (entre 5,2 y 6,3), las mezclas M1 y M6 excedieron ligeramente, mientras que la mezcla M2 mostró un pH neutro debido a que contenía la mayor cantidad de bagazo de agave henequenero (30 %) (Cuadro 4). Respecto al aserrín, Barbazán et al. (2011) reportan un valor promedio de pH de 5,6 en diferentes muestras de aserrín, por lo que la combinación con PC incrementó ligeramente este valor (5,8 y 5,9), mientras que las mezclas con BH alcanzaron valores de 6,6 a 7,0.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) para las mezclas de residuos orgánicos locales mostraron valores menores a $15 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, que se consideran un nivel medio de acuerdo a la interpretación de CIC para suelos agrícolas (Quintero et al., 2011) y la mezcla comercial M7 ($48,6 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$) cumplió con lo sugerido por Abad et al. (2004) (CIC mayor a $20 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$). Respecto a la conductividad eléctrica (CE), todas las mezclas estuvieron por debajo del máximo sugerido de $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, Sánchez et al. (2008) reportaron una CE de $2,5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ en mezclas de aserrín y corteza de pino compostada (80/20), por lo que la CE puede aumentar con el tiempo por la descomposición de los materiales de la mezcla al liberar nutrientes (Abad et al., 2004).

Cuadro 4. Caracterización química de seis mezclas de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales

Contenido	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
pH	6,6	7,0	5,9	5,8	5,9	6,9	5,8
CE (dS·m ⁻¹)	0,86	1,02	0,84	0,83	0,83	1,11	1,08
MO (%)	92,92	87,14	92,85	90,99	92,03	92,13	40,26
C (%)	53,87	50,54	53,82	52,74	53,34	53,34	23,35
C/N	154	81	577	471	526	138	64
CIC (meq·100 g ⁻¹)	10,98	12,62	13,35	14,50	14,10	11,20	48,65

CE: conductividad eléctrica. MO: materia orgánica. C/N: relación carbono-nitrógeno. CIC: capacidad de intercambio catiónico. M1= 20 bagazo de agave henequenero/80 aserrín de pino. M2= 30 bagazo de agave henequenero/70 viruta de pino. M3= 20 polvo de coco/80 aserrín de pino. M4= 20 polvo de coco/80 viruta de pino. M5= 20 polvo de coco/40 aserrín de pino/40 viruta de pino. M6= 20 bagazo de agave henequenero/40 aserrín de pino/40 viruta de pino. M7= 80 Sunshine/20 agrolita

El contenido de materia orgánica (MO) de las mezclas de residuos orgánicos fue mayor al 90 %, y la mezcla comercial (M7) 40,26 %, esta diferencia puede ser resultado del grado de descomposición de los materiales que componen las mezclas, porque los residuos de madera utilizados en este estudio fueron crudos (sin ningún proceso de descomposición) por lo que la lignina y los compuestos lignocelulósicos no tuvieron ningún proceso de fermentación, mientras que la composición del “Sunshine” es 70 a 80 % material orgánico descompuesto (turba); además, la descomposición de la materia orgánica disminuye la relación C/N (Burés, 1997; Quintero et al., 2011), la cual también fue relativamente

baja (64) en la mezcla M7; al respecto, Burés (1997) menciona que valores de relación C/N inferiores a 40 son indicador de un material maduro y estable. Las mezclas con residuos de madera de pino crudo tuvieron hasta 577 de relación C/N, resultados semejantes a los reportados por Aguilera et al. (2016) en mezclas con 60 % de aserrín crudo (relación C/N de 587) que fueron probados utilizando fertilizantes de lenta liberación para el cultivo de *Pinus pseudostrobus* en vivero.

El porcentaje de nitrógeno total en todas las mezclas estuvo debajo del intervalo de mencionado por Rodríguez (1982) como aprovechable por las plantas (1,0 a 2,0 %) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido mineral de seis mezclas de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales

Contenido	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
N (%)	0,34	0,61	0,09	0,11	0,10	0,38	0,36
P (mg kg ⁻¹)	900,04	1645,02	25,97	32,84	29,00	1002,09	163,64
K ⁺ (mg kg ⁻¹)	3662,20	5368,73	2029,78	2143,30	2079,91	3895,98	1268,88
Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)	34785,30	62903,11	1208,14	1312,03	1254,02	38637,15	12474,58
Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)	427,85	696,18	547,01	664,24	598,78	464,61	17161,68
Na ⁺ (mg kg ⁻¹)	91,82	109,58	271,07	324,13	294,50	94,26	75,68

M1= 20 bagazo de agave henequenero/80 aserrín de pino. M2= 30 bagazo de agave henequenero/70 viruta de pino. M3= 20 polvo de coco/80 aserrín de pino. M4= 20 polvo de coco/80 viruta de pino. M5= 20 polvo de coco/40 aserrín de pino/40 viruta de pino. M6= 20 bagazo de agave henequenero/40 aserrín de pino/40 viruta de pino. M7= 80 Sunshine/20 agrolita

Las mezclas con BH (M1, M2 y M6) presentaron los mayores valores de N, esto debido a que el bagazo de agave henequenero contenía 1,06 % de N, frente al polvo de coco con sólo 0,42 % y los residuos de madera de pino con 0,023 % (Gayosso et al., 2018).

Barbazán et al. (2011) mencionan que los productos de madera de aserraderos (aserrín) tienen los valores de N más bajos comparados con otros materiales orgánicos, lo que resulta en una alta relación C/N; si estos se utilizan como sustrato se deberá aplicar

nitrógeno porque el N disponible es utilizado también por los micro organismos descomponedores de la materia orgánica ocasionando competencia entre la planta y los microorganismos (Burés, 1997; Mateo et al., 2011). No obstante, la alta relación C/N no representa necesariamente un problema, ya que su alto contenido de lignina y el bajo contenido de polifenoles los hace resistentes a la degradación microbiana (Barbazán et al., 2011), lo que significa mayor estabilidad de las características físicas a mediano y largo plazo.

En otros estudios mezclas con 70 y 80 % de aserrín y tezontle, fueron utilizadas en tomate por dos años sin mostrar efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas por cambios en las características físicas del sustrato (Pineda et al., 2012).

Respecto al contenido total de P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en todas las mezclas fueron valores superiores a los niveles óptimos para los sustratos de cultivo mencionados por Abad et al. (2004). Es notorio el alto contenido de P en las mezclas M1, M2 y M6 lo cual se debe a que uno de sus componentes es el bagazo de agave henequero y este material por sí solo contiene altos valores de P (Gayosso et al., 2018); es por ello que la mezcla M2 refleja el mayor contenido de este elemento dado que es el sustrato con mayor contenido del bagazo (30 %).

No obstante, se observó que el contenido mineral de la mezcla M2 fue la mayor en concentraciones de N y contenido de P, K⁺, y Ca²⁺; mientras que la mezcla testigo (M7) solo fue superior en el contenido de Mg²⁺ (17161,68 mg kg⁻¹) y la mezcla M4 en Na⁺ (324,1 mg·kg⁻¹), lo que puede ocasionar un incremento de la conductividad eléctrica, sin embargo ésta no fue afectada por el contenido de este ion.

Flujo de CO₂. Las mezclas que contenían bagazo de agave henequero mostraron mayor flujo de CO₂ (Cuadro 6), el cual incrementó conforme aumentó el porcentaje de bagazo de agave henequero en la mezcla (M1, M2 y M6). Si se considera que las lecturas de flujo de CO₂ se realizaron con los sustratos húmedos, los datos de las mezclas M1, M6 y M2 superan lo que reportaron Zhou et al. (2013) durante la estación de lluvias en suelos de bosques tropicales ricos en materia orgánica (6,15 µmol CO₂·m⁻²·s⁻¹); además, Gayosso et al. (2018) reportan un flujo de CO₂ de

0,60 µmol·m⁻²·s⁻¹ en el aserrín de pino, y Barbazán et al. (2011) mencionan 319 g·kg⁻¹ de lignina, lo que hace al aserrín resistente a la degradación microbiana, por lo tanto la aportación biológica a estas mezclas la hizo el bagazo de agave henequero que tuvo un flujo de CO₂ de 6,8 µmol·m⁻²·s⁻¹ (Gayosso et al., 2018).

Las mezclas que contenían PC tuvieron el mínimo flujo de CO₂ al igual que la mezcla comercial Sunshine/agrolita. Una actividad biológica intensa genera pérdida del volumen, compactación, disminución de porosidad y alteración de tamaño de partículas y como consecuencia la retención de humedad (Blok et al., 2008), por lo que las mezclas con base a residuos de madera de pino pueden ser estables por más mayor tiempo.

Cuadro 6. Flujo de CO₂ en seis mezclas de residuos orgánicos disponibles en Yucatán, México, y una mezcla de sustratos comerciales

Mezclas	Flujo de CO ₂ (µmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
M1 (20BH/80AP)	7,19 b
M2 (30BH/70VP)	9,77 a
M3 (20 PC /80AP)	3,91 c
M4 (20 PC /80VP)	3,75 c
M5 (20 PC /40AP/40VP)	3,56 c
M6 (20BH/40AP/40VP)	7,59 ab
M7 (80Sun/20Agro)	1,33 d
C.V.	26,9

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). BH: bagazo de agave henequero; AP: aserrín de pino; VP: viruta de pino; PC: polvo de coco; Sun: Sunshine; Agro: agrolita

CONCLUSIONES

Las mezclas con 20 % de polvo de coco y 80 % de aserrín de pino (M3) y 20 % de polvo de coco, 40 % de aserrín de pino y 40 % de viruta de pino (M5) tienen una distribución de partículas, densidad aparente y porosidad de retención de agua, similares a la mezcla comercial Sunshine-agrolita. Adicionalmente, la primera de ellas presentó una mayor retención de agua total disponible, por lo que su uso podría disminuir la frecuencia de la aplicación de los riegos. Las mezclas con bagazo de agave henequero (M1, M2 y M6) pueden aportar un contenido de N

similar al sustrato comercial y mayor contenido de P, K⁺ y Ca²⁺. Todas las mezclas con residuos orgánicos tuvieron pH y CE dentro del rango recomendado para los sustratos agrícolas.

Todo lo anterior, aunado a la disponibilidad local de todos los materiales y su incorporación a los sistemas agrícolas, indica que estas mezclas representan una opción como sustratos a menor costo e impacto ambiental. Además, la baja actividad biológica de las que contienen aserrín y viruta de pino permitiría su utilización como sustratos por varios ciclos de cultivo, siempre que se realicen las aportaciones de N demandadas por el cultivo. Por lo tanto, podrían seleccionarse las mezclas que, de acuerdo a las características de cada una, cubran las demandas requeridas por cada especie vegetal a cultivar.

LITERATURA CITADA

1. Abad, M., P. Noguera y B. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Urrestarazu, M. (ed.). Tratado de Cultivo sin Suelo Mundi-Prensa. Madrid. pp. 113-158.
2. Acosta, C. M., S. Gallardo, N. Kämpf, y F. Carvallo. 2008. Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. Investigación Agropecuaria 5(2): 93-106.
3. Aguilera, M., A. Aldrete, T. Martínez y V.M. Ordaz. 2016. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 7(34): 7-20.
4. Anicua, R., M. Gutiérrez, P. Sánchez, C. Ortiz, V. Volke y J. Rubiños. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México 35(2): 147-156.
5. Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
6. Barbazán, M., A. Del Pino, C. Moltini, J. Hernández y J. Rodríguez. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. Agrociencia Uruguay 15(1): 82-92.
7. Barzegar, Z., M. Mobli y V. Abdossi. 2015. Comparison of different culture media on growth and yield of bell peppers (*Capsicum annum*). Nov. Appl Sci. 4(8): 900-904.
8. Blok, C., C. De Kreijl, R. Baas y G. Wever. 2008. Chapter 7. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. In: M. Raviv y J.H. Lieth (eds.). Soilless Culture: Theory and Practice. Elsevier. Amsterdam. pp. 245-290.
9. Borges, 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. Revista Chapingo Serie Horticultura 9: 291-304.
10. Borges, L. 1998. Usos de sustratos regionales en la agricultura yucateca. Revista Academia Mexicana de Ciencias. 49: 21-26.
11. Burés, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas S.L. Madrid. 340 p.
12. Cabrera, I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en macetas. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1): 5-11.
13. Cottenie, A. 1994. Workshop on Standardization of Analytical Methods for Manure, Soil Plant and Water. Commission European Communities. FAO Soils Bulletin 38/2. pp. 28-33.
14. Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montoya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López. 2013. Sustratos en la Horticultura. Rev. BioCiencias 2(2): 17-26.
15. De Boodt, M., O. Verdonk y I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Hort. 37: 2054-2062.
16. Gariglio, F., A. Buyatti, A. Bouzo, E. Weber y A. Pilatti. 2004. Use of willow (*Salix* sp.) sawdust as a potting medium for calendula (*Calendula officinalis*) and marigold (*Tagetes erecta*) plant production. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 32(1): 147-151.
17. Gayosso, S., L. Borges, E. Villanueva, M.A. Estrada y R. Garruña. 2016. Sustratos para producción de flores. Agrociencia 50(5): 617-631.

18. Gayosso, S., L. Borges, E. Villanueva, M.A. Estrada y R. Garruña. 2018. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia* 52(4): 639-652.
19. Gutiérrez, M.D., J. Hernández, C.A. Ortiz, R. Anicua y M. Hernández. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 183-196.
20. Handreck, K.A. 1983. Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 14(3): 209-222.
21. Hernández, L., A. Aldrete, V.M. Ordaz, J. López y M.Á. López. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6): 627-637.
22. Jiménez, A., C. González, M.C. Gutiérrez, M.E. Lara y J.L. García. (2014). Producción de inóculo micorrízico de *Gigaspora gigantea* en mezclas de sustratos con diferentes tamaños de partícula. *Agrociencia* 48(3): 239-254.
23. Landis, D., W. Tinus, E. Mc Donald y P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media, Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC. 88 p.
24. Mateo-Sánchez, J.J., J. Bonifacio-Vázquez, R.S. Pérez-Río, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande. 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(1): 123-132.
25. Mateo, J. J., J. Capulín, M.R. Araujo, A. Suárez, B. Mitjans. 2014. Crecimiento de *Acacia retinodes* Schltdl. en sustratos a base de aserrín de pino y envases tratados con cobre. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2(2): 191-202.
26. Morales-Maldonado, E.R. y F. Casanova-Lugo. 2015. Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana* 26(2): 365-372.
27. Pineda-Pineda, C.F. Sánchez-Del Castillo, A. Ramírez-Arias, A.M. Castillo-González, L.A. Valdés-Aguilar y E.D.C. Moreno-Pérez. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 95-111.
28. Quesada, G. y C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 171-183.
29. Quintero, M.F., C.A. González y J.M. Guzmán. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: R. Flórez (ed.). *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. Universidad Nacional de Bogotá, Bogotá. pp. 79-108.
30. Rodríguez, S. 1982. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. AGT Editores. D.F., México. pp 53-67.
31. Sánchez, T., A. Aldrete, V.M. Cetina, J. López. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14(2): 41-49.
32. Valenzuela, 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. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 4(4): 1-19.
33. Vargas, J.M., A.M. Castillo, J. Pineda, J.A. Ramírez, E. Avitia. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(1): 71-88.
34. Vargas, P., J.Z. Castellanos, J.J. Muñoz, P. Sánchez, L. Tijerina, R.M. López, C. Martínez, J.L. Ojodeagua. 2008a. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34: 323-331.
35. Vargas, P., J. Castellanos, P. Sánchez, M. Tijerina, R. López y J. Ojodeagua. 2008b. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 375-381.
36. Villanueva, 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 Latinoamericana* 28(1): 43-52.

37. Zhou, Z., L. Jiang, E. Du, H. Hu, Y. Li, D. Chen y J. Fang (2013). Temperature and

substrate availability regulate soil respiration in the tropical mountain rainforests, Hainan Island, China. *Journal of Plant Ecology* 6: 325-334.