

# CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS LOCALES CON USO POTENCIAL COMO COMPONENTES DE SUSTRATOS HORTÍCOLAS

Maximiano A. Estrada-Botello<sup>1</sup>, Salomé Gayosso-Rodríguez<sup>1†</sup>,  
Carlos A. Pérez-Cabrera<sup>2</sup> y Eduardo Villanueva-Couoh<sup>3</sup>

## RESUMEN

En las últimas décadas se ha generado el interés por integrar los residuos agroindustriales y de cosecha en la producción agrícola en sistemas de producción intensivos, para disminuir el impacto ambiental y los costos de producción. Por ello, el objetivo de esta investigación fue caracterizar química y físicamente algunos residuos agroindustriales y de vegetales disponibles localmente en el estado de Tabasco México, para conocer su uso potencial como componentes de sustratos agrícolas. Se caracterizaron propiedades químicas y físicas de materiales orgánicos: pH y CE, granulometría, diámetro medio de partícula ( $D_m$ ), densidad aparente ( $D_a$ ), porosidad total (Pt), capacidad de aireación (CA) y porosidad de retención de agua (Pra), y se determinaron las curvas de retención de humedad. El pH de los materiales analizados osciló desde 5.1 hasta 10.44, la CE fue menor a  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  excepto para el lirio acuático y la fibra del raquis de plátano. La granulometría de los materiales analizados tuvo más del 25 % de partículas menores a 0,85 mm; no obstante, la viruta de teca y la cascarilla del fruto de palma de aceite tuvieron un  $D_m$  de 5,67 mm y 3,21 mm, respectivamente, lo que incrementó su capacidad de aireación. El aserrín de pino y la cascarilla de fruto de cacao tuvieron valores superiores al testigo en  $D_a$ , Pt, Pra, CA y agua disponible total. En conclusión, los materiales tienen diferentes características de aireación y retención de humedad, y se pueden combinar en distintas proporciones de acuerdo a las características físicas e hidrofísicas particulares y generar un equilibrio en la relación agua-aire.

**Palabras-clave adicionales:** Aserrín, cascarilla de cacao, lirio acuático, raquis de plátano, residuos de palma

## ABSTRACT

### Physical and chemical characterization of organic wastes with potential use as components of horticultural substrates

In recent decades, interest has been generated in integrating agro-industrial and harvest residues into agricultural production in intensive production systems, to reduce environmental impact and production costs. Therefore, the objective of this research was to chemically and physically characterize some locally available agro-industrial and vegetable residues to know their potential use as components of agricultural substrates. Chemical and physical properties of organic materials were characterized: pH and EC, granulometry, average particle diameter, bulk density (Bd), total porosity (Tp), aeration porosity (Ap), water retention porosity (Wp), and moisture retention curves were determined. The pH of the analyzed materials ranged from 5.1 to 10.44, the CE was lower than  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  except for the water lily and banana rachis fiber. The granulometry of the materials had more than 25 % of particles smaller than 0,85 mm; however, the teak shavings and the husk of the oil palm fruit had a Pd with 5.67 mm and 3.21 mm, respectively, which increased their aeration capacity. Pine sawdust and cocoa fruit husk had values higher than the control in Bd, Tp, Ap, Wp and total available water. In conclusion, the materials have different aeration and moisture retention characteristics, and they can be combined in different proportions according to their physical and hydrophysical characteristics and generate a balance in the water-air relationship.

**Additional keywords:** Agro-industrial oil palm residues, banana rachis, cocoa husk, water lily, wood sawdust

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola intensiva exige el uso de sustratos como sustitutos del suelo debido a los altos costos y el impacto ambiental de transportar materiales orgánicos cada ciclo de cultivo, y el incremento de la demanda de agua y nutrientes; no obstante, éstos deben ser económicos, de

disponibilidad local y amigables con el medio ambiente (Soto y Betancourt, 2022). En relación con esto, la reutilización e incorporación de materiales orgánicos disponibles localmente representan una alternativa como medios de cultivo (Castro et al., 2019) para la producción de plantas en sistemas intensivos (Monsalve et al., 2021).

Recibido: Septiembre 17, 2023

Aceptado: Abril 8, 2024

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACA-UJAT), Tabasco, México. e-mail: maximiano.estrada@ujat.mx

<sup>2</sup> Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. e-mail: carlos.perez@csaegro.edu.mx (autor de correspondencia)

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México. e-mail: eduardo.villanueva@itconkal.edu.mx

En el cultivo intensivo de plantas en contenedores se han utilizado materiales como la turba (importada), además de otros materiales que sí están disponibles en el país, como fibra de coco, arena, piedra pómez, rocas volcánicas, carbón vegetal, cascarilla de arroz, aserrines y virutas; sin embargo, la diversidad de la naturaleza, origen y granulometría de éstos, genera inestabilidad en las propiedades físicas e hídricas de los sustratos en contenedor (Soto y Betancourt, 2022).

En las últimas décadas se ha incrementado el interés por integrar a los residuos orgánicos como sustratos para la producción de hortalizas, ornamentales y forestales (Bárbaro et al., 2019), por contribuir al incremento de la productividad, al ahorro de agua y fertilizantes (Ortega et al., 2020). Estos materiales se utilizan de forma individual o en mezclas, con otros materiales orgánicos e inorgánicos, para generar las características físicas necesarias para el cultivo de plantas en contenedor (Monsalve et al., 2021). Al respecto, Schafer y Lerner (2022) mencionan que la caracterización de los materiales regionales es un requisito fundamental para su valoración como sustrato para entender los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas; sin embargo, algunos materiales orgánicos deben ser sometidos a un proceso de compostaje para estabilizar el material (Fascella et al., 2020), disminuir la relación C/N y reducir organismos patógenos y plagas. La caracterización física de los materiales es de mayor relevancia que la caracterización química; debido a que un sustrato en contenedor está sometido a mayores fluctuaciones de temperatura en comparación con suelo *in situ*. Entre las características físicas que se deben analizar en un sustrato se encuentra la porosidad, capacidad de aireación, agua fácilmente asimilable, retención de humedad, distribución de partículas y densidad aparente, además, propiedades químicas como pH, CE y algunos elementos de importancia.

En México, el estado de Tabasco es el mayor productor y exportador nacional de cacao (*Theobroma cacao*) en grano, con una producción de 17.319,29 toneladas (SIAP, 2022) y al momento de la cosecha, se desecha 10 veces más del peso del fruto respecto al peso de la producción de semillas secas (Plasencia et al., 2021). El fruto descompuesto es utilizado tradicionalmente de forma local como abono para plantas de vivero; sin embargo, es difícil hallar

reportes de la caracterización física y química de este material que permita calcular la proporción de uso como sustrato.

Por su parte, el plátano (*Musa* sp.) es otro cultivo importante para el estado, aportando 25 % de la producción nacional (SIAP, 2022); de este cultivo sólo se aprovecha del 20 al 30 % de su biomasa y durante la cosecha se generan grandes cantidades de residuos orgánicos de los que destaca el raquis del racimo (Sánchez et al., 2020).

Con respecto al cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), éste se impulsó también a nivel nacional en los últimos años, lo que incrementó la superficie sembrada en Tabasco, y el proceso de industrialización del fruto genera residuos orgánicos que podrían ser reutilizados para disminuir el impacto que genera el cultivo al suelo. Además, Tabasco cuenta con otros cultivos tradicionales, como el achiote (*Bixa orellana*), especies forestales como eucalipto (*Eucalyptus globulus*), melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*), que generan residuos orgánicos con potencial uso como sustratos agrícolas. Por ejemplo, en algunos casos el aserrín de madera se ha caracterizado como sustrato agrícola con características morfológicas de calidad, retención de agua, pH y conductividad eléctrica, dentro de los rangos recomendados para la producción de plantas (Castro et al., 2021).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se disponen localmente de residuos orgánicos con un uso potencial como sustratos para el cultivo de plantas, pero estos deben cubrir las demandas requeridas para el cultivo de cada especie en particular, y deben ser caracterizados física, química y biológicamente (Schafer y Lerner, 2022). Por ello, el objetivo de esta investigación fue caracterizar física y químicamente algunos residuos agroindustriales y de vegetales disponibles localmente en Tabasco, México, para conocer su uso potencial como componente de sustratos agrícolas en la producción de plantas en contenedor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Suelos y Plantas de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Se caracterizaron nueve materiales orgánicos disponibles en áreas de

producción o residuos de la industrialización de productos agrícolas: T1 Aserrín de madera de pino (AP) (*Pinus* sp.), T2 Cascarilla de fruto del cacao (CC) (*Theobroma cacao*), T3 Cascarilla del fruto de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) (CFPA), T4 Fibra del fruto de palma de aceite (FPA), T5 Fibra del raquis del plátano (*Musa paradisiaca*) (FRP), T6 Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (LA), T7 Cascarilla del fruto del achiote (*Bixa orellana*) (CFA), T8 Viruta de madera de teca (*Tectona grandis* L.) (VT) y T9 Turba (*Sphagnum*) (PM) de origen canadiense. Los materiales fueron colectados directamente, sin ningún tratamiento previo de compostaje y fueron secados a temperatura ambiente.

Los materiales que contenían fibras tales como CC, FPA, FRP, LA y CFA fueron molidos previamente con un molino de martillo, sin ser pasados por un tamiz, para disminuir hasta un tamaño de partícula adecuado para realizar las mezclas. Cada material fue mezclado y se obtuvo una muestra de un volumen de 20 litros de la cual se tomaron las muestras para la caracterización.

Para la caracterización química de los materiales se determinó el pH y la conductividad eléctrica (CE) de forma individual, utilizando una relación 1:2 v/v y 1:5 v/v respectivamente, con un potenciómetro-conductímetro Consort C931. Se tomaron muestras al azar de un volumen de 10 cm<sup>3</sup>, las cuales fueron compactadas dando ligeros golpes al recipiente con la mesa y aplicando ligeras fuerzas al material. Se agregó agua destilada, se agitaron por cinco minutos y posteriormente se midió el pH y CE. La calidad del agua destilada fue de CE=0 dS m<sup>-1</sup> y un pH de 6,8.

La granulometría se determinó luego de tamizar los materiales durante 5 minutos en forma intermitente, usando tamices de 4,75 mm, 2,36 mm, 2,0 mm, 1,7 mm, 1,18 mm y 0,85 mm. Los resultados se expresaron en porcentaje de tamaño de partículas y se determinó el diámetro medio de partícula predominante ( $D_m$ ) utilizando la siguiente ecuación:

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

donde:

$D_m$ : diámetro medio (mm)

$V_{ifi}$ : valor medio del rango de partícula (mm)

$f_i$ : frecuencia (%)

La densidad aparente ( $D_a$ ), se determinó secando el material orgánico por 24 h en un horno con convección de aire, a 75 °C, y se utilizó la siguiente fórmula.  $D_a$ =peso del sustrato seco (g) / volumen total (cm<sup>3</sup>). Se determinó porosidad total (Pt), capacidad de aireación (CA) y porosidad de retención de agua (Pra) con el procedimiento descrito por Landis (1990). Para Pt el sustrato se colocó en un volumen de recipiente (mL), se saturó con agua por 24 h para obtener el peso de sustrato saturado (g), se secó en una estufa para determinar el peso seco (g). Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$Pt = \frac{V_{t_{poros}}}{Volumen} * 100$$

$$CA = \frac{V_{ai}}{Volumen} * 100$$

$$Prh = (\%Pt - \%Pai)$$

donde:  $V_{t_{poros}}$  = Peso saturado del sustrato – Peso seco del sustrato

$V_{ai}$  = Peso saturado del sustrato – Peso drenado del sustrato

Las curvas de retención de humedad (De Boedt et al., 1974), se determinaron con un equipo de succión utilizando embudos de placa filtrante de PVC, aplicando succiones de 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua; con los valores obtenidos 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.

Se aplicó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones. Previo al análisis de varianza, se realizó la prueba de normalidad y homogeneidad; para los datos normales se usó Shaphiro-Wilk y la prueba de Level, con el programa R-Studio 4.3.2. Con los resultados se efectuó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) utilizando el programa estadístico Statgraphics (2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la caracterización química, el valor de pH de los materiales osciló entre 5,09 y 7,55 (Cuadro 1); la literatura indica que el pH de los materiales orgánicos debe ser entre 5,5 y 6,3 (Bárbaro et al., 2019). Las plantas requieren un pH de 5,5 a 6,0 en la zona de la raíz para aprovechar los nutrientes (Savvas y Gruda, 2018), por lo que el pH de algunos materiales evaluados se encuentra dentro del rango recomendado para

su utilización como sustratos. El valor alto del pH en algunos de los materiales analizados es posible que se deba a la descomposición de proteínas que genera amoníaco y a la formación de carbonatos de calcio (Crespo et al., 2018), que está relacionado con la mineralización de la materia orgánica que produce iones  $\text{OH}^-$  y cationes como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$  (Shafer y Lerner, 2022).

**Cuadro 1.** Propiedades químicas (pH y CE) de materiales orgánicos disponibles localmente en Tabasco, México.

Sustrato	pH	CE $\text{dS m}^{-1}$
Aserrín de madera de pino (AP)	5,17 f	0,10 e
Cascarilla de fruto del cacao (CC)	7,48 b	1,23 c
Cascarilla del fruto de palma de aceite (CFPA)	6,63 e	0,07 e
Fibra del fruto de palma de aceite (FPA),	7,15 c	0,27 de
Fibra del raquis del plátano (FRP)	10,44 a	6,86 a
Lirio acuático (LA)	6,95 d	4,00 b
Cascarilla del fruto del achiote (CFA)	7,22 c	0,63 d
Viruta de madera de teca (VT)	7,55 b	0,23 de
Turba (PM)	5,09 f	0,63 d

Las medias en columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

La turba (T9) presentó un pH menor a todos los tratamientos (5,09) aunque Acevedo et al. (2020) reportan un pH de 6,43 para este material y señalan que las turbas pueden variar el pH dependiendo del grado de descomposición. Los valores de pH de viruta de madera de teca (VT) (7,5) fueron similares a los valores reportados para aserrín de pino, 7,1 en aserrín puro sin compostar (Gayosso et al., 2018) y 7,3 en mezclas 1:2 de tezontle:aserrín de pino (Montoya et al., 2021). No obstante, Aguilera et al. (2021) mencionan que en una mezcla de VT con corteza de pino compostada (60 y 20 %, respectivamente) encontraron un pH inferior (5,4), diferencia que fue atribuida a la descomposición y la combinación del aserrín con otros materiales.

Por su parte, la fibra del raquis de plátano (FRP) registró CE de  $6,90 \text{ dS cm}^{-1}$ , valor por encima de lo recomendado por Abad et al. (2004) para el cultivo de plantas sin suelo ( $\leq 2 \text{ dS m}^{-1}$ ); al respecto, Sánchez et al. (2020) reportan que el raquis de banano tiene un 89,6 % de agua y altos contenidos de  $\text{K}_2\text{O}$  (49 %) y  $\text{P}_2\text{O}_5$  (4,50 %) por lo que pueden influir en los valores de CE. Por lo tanto, este material puede ocasionar problemas

fisiológicos si se utiliza como componente de sustrato sin antes determinar el pH y la CE, debido a que el tipo de sustrato influye en el crecimiento de la planta y la absorción de nutrientes (He et al., 2022). Considerando, además, que valores de pH superiores a 6,5 pueden generar problemas en la disponibilidad de P y micronutrientes, como: Fe, Mn, Zn, y Cu (Shafer y Lerner, 2022) y que una concentración alta de iones en la solución (CE) genera un potencial hídrico bajo, lo que puede ocasionar menor absorción de agua por la planta.

Con relación al tamaño de partículas, la mayoría de los materiales evaluados tuvieron más del 33 % de partículas menores a 0,85 mm, a excepción de CFPA y VT (Cuadro 2), los cuales mostraron valores de sólo 4,2 y 16,2 %, respectivamente. Los porcentajes encontrados en la mayoría de los materiales son superiores a los reportados por López et al. (2017) para sustratos orgánicos alternativos. Por lo tanto, si estos materiales son empleados para la preparación de sustratos, deberían ser utilizados en baja proporción para asegurar un buen equilibrio aire-agua (Ortega et al., 2020). Partículas menores a 1 mm generan poros pequeños que aumentan la

## Estrada et al. Caracterización de residuos orgánicos para uso en sustratos hortícolas

capacidad de retención de agua (Gutiérrez et al., 2011) y partículas finas pueden obstruir los poros, formar microporos, y en consecuencia, disminuir la capacidad de aireación (Jayasinghe, 2012). El tamaño de las partículas influye en el desarrollo del cultivo como lo indica Ahmadi et al. (2021), por lo que se recomienda la combinación de

diferentes sustratos para mejorar la aireación. Un buen sustrato debe permitir anclar las plantas firmemente, drenar fácilmente el exceso de agua y contener suficiente aire, y al mismo tiempo, mejorar la retención de humedad que permitiría reducir los riegos y su frecuencia (Bita et al., 2017).

**Cuadro 2.** Granulometría de sustratos orgánicos disponibles localmente en Tabasco, México

Material orgánico	Diámetro de las partículas (d) en mm							D <sub>m</sub> (mm)
	< 0,85	1,18>d>0,85	1,7>d>1,18	2,0>d>1,7	2,3>d>2,0	4,7>d>2,3	> 4,7	
AP	72,9 b	10,10 bc	12,98 b	3,52 e	0,53 g	0	0	1,04 f
CC	77,7 a	7,26 d	8,62 d	3,43 e	1,35 f	1,61 g	0	1,07 f
CFPA	4,2 i	1,07 f	2,90 e	4,20 e	6,58 c	49,95 a	31,0	5,67 a
FPA	62,0 c	9,60 c	12,94 b	7,76 c	4,02 e	3,67 g	0	1,28 e
FRP	55,6 d	11,29 a	11,87 b	7,59 c	3,63 e	9,95 e	0	1,51 d
LA	33,9 g	5,26 e	9,61 cd	7,55 c	9,38 b	34,21 c	0	2,51 c
CFA	39,2 f	11,02 ab	19,61 a	14,12 a	9,26 b	6,76 f	0	1,62 d
VT	16,2 h	4,85 e	10,26 c	9,52 b	14,87 a	40,25 b	4,0	3,21 b
PM	50,0 e	6,58 d	8,42 d	5,24 d	5,03d	14,10 d	10,5	2,55 c

Aserrín de madera de pino (AP), Cascarilla de fruto del cacao (CC), Cascarilla del fruto de palma de aceite (CFPA), Fibra del fruto de palma de aceite (FPA), Fibra del raquis del plátano (FRP), Lirio acuático (LA), Cascarilla del fruto del achiote (CFA), Viruta de madera de teca (VT) y Turba (PM). Las medias en columnas con letras diferentes son significativamente distintas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

Por el contrario, CFPA y VT tuvieron partículas de tamaños entre 2,46 mm y 4,75 mm en porcentajes de 49,53 y 40,25, respectivamente. Al respecto, Anicua et al. (2009) mencionan que partículas mayores a 3,36 mm favorecen la capacidad de aireación; este tamaño de partículas forma poros grandes que facilitan la percolación del agua dejando espacio libre para el aire. El diámetro medio de partícula (D<sub>m</sub>), fue de 5,67 mm y 3,21 mm, respectivamente, tamaños que aportarían aireación a la mezcla; el resto de los materiales analizados estuvieron dentro de un rango de 1,04 mm y 2,55 mm, tamaños adecuados para un equilibrio en la relación agua-aire (López et al., 2017); eso se debe a que tamaños mayores de partículas disminuyen la capacidad de retención de agua y aumentan el contenido de aire (Mixquititla et al., 2022). Por su parte, para considerar un único material como sustrato, Bita et al. (2017) mencionan que para tener un sustrato idóneo es necesario mezclar dos o más materiales porque las características ideales no se logran con un solo sustrato, por lo que, para obtener un medio de cultivo ideal, se pueden calcular proporciones de acuerdo a la granulometría de cada material.

Respecto a la Da de los materiales, la misma estuvo en un rango de 0,08 a 0,41 g·cm<sup>3</sup>, mientras que los valores ideales reportados en la literatura oscilan entre 0,15 y 0,75 g·cm<sup>3</sup> (Abad et al., 2004; Quintero et al., 2011). De acuerdo con los resultados, el material de lirio acuático (LA) mostró el menor valor de Da, lo que se traduce en un material ligero, el cual se puede mezclar con otros materiales de mayor densidad para asegurar el anclaje de las raíces y evitar el volcamiento de la planta. Los valores obtenidos en este estudio, fueron cercanos a los reportados por Monsalve et al. (2021); sin embargo, la cascarilla del fruto de palma de aceite (CFPA) obtuvo el valor más alto de Da (0,41 g·cm<sup>3</sup>, Cuadro 3) por lo que se puede considerar que ningún material por sí sólo cumple con todas características físico químicas de un sustrato. Por tanto, deberá mezclarse con materiales ligeros que le permitan cumplir principalmente con la característica de retención de humedad. En cuanto al valor de Da del testigo (PM), ésta fue similar a la reportada por Crespo et al. (2018); sin embargo, fue diferente a la reportada por Gabriel et al. (2009) con resultados superiores, mientras que Fonteno y Harden (2003)

reportaron para una turba *Sphagnum* una Da de  $0,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; y Yang et al. (2023), reportaron datos

inferiores a los encontrados a esta investigación para PM y AP.

**Cuadro 3.** Densidad aparente (Da), volumen ocupado por material sólido (S), porosidad total (Pt), porosidad de retención de agua (Pra) y capacidad de aireación (CA) de materiales orgánicos disponibles localmente.

Material orgánico	Da ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	Pt	S	Pra (%)	CA
AP	0,16 d	77,61 c	22,39 e	67,95 b	9,65 f
CC	0,27 b	71,29 e	28,72 c	67,59 b	3,69 g
CFPA	0,41 a	55,07 g	44,93 a	26,54 h	28,54 b
FPA	0,24 c	65,54 f	34,46 b	46,80 f	18,69 d
FRP	0,13 e	77,00 c	23,00 e	74,82 a	2,19 h
LA	0,08 h	75,36 c	24,64 d	61,22 d	14,14 e
CFA	0,16 d	79,88 b	20,12 f	56,51 e	23,37 c
VT	0,11 g	84,17 a	15,83 g	37,77 g	46,39 a
PM	0,12 f	72,04 e	27,96 c	63,28 c	8,75 f

Aserrín de madera de pino (AP), Cascarilla de fruto del cacao (CC), Cascarilla del fruto de palma de aceite (CFPA), Fibra del fruto de palma de aceite (FPA), Fibra del raquis del plátano (FRP), Lirio acuático (LA), Cascarilla del fruto del achiote (CFA), Viruta de madera de teca (VT) y Turba (PM). Las medias en columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

En cuanto a la porosidad total de los materiales, Schafer y Lerner (2022) mencionan que esta debe oscilar en un rango de 75 a 90 %. De los materiales analizados AP, FRP, LA, CFA y VT cumplen por con este porcentaje, no obstante, AP y FRP tienen un bajo porcentaje de aireación (9,65 y 2,19 %, respectivamente (Cuadro 3). Al respecto, Gayosso et al. (2018) mencionan una Pt de 86,8 % en aserrín de pino y de 87 a 91 % para viruta de pino. Estos autores hallaron que al disminuir el tamaño de partícula en estos materiales la CA también disminuyó de 74,0 hasta 29,7 %. Esto puede ser debido a los tamaños, formas y acomodo de las partículas, que definen el tipo y tamaño de poro que, a su vez, determina la capacidad de agua y aire en un sustrato (Abad et al., 2004). Por su parte, Yang et al. (2023) encontraron valores de porosidad total en turba y viruta de madera, inferiores a los reportados en este estudio. Así mismo, en una mezcla de aserrín fresco de teca, corteza de pino, perlita y vermiculita en proporción de 60:20:10:10, respectivamente, se reporta una Pt de 88 % y CA de 24 % (Aguilera et al., 2021), lo que indica que es posible combinar los materiales entre sí considerando los tamaños de partícula, para incrementar la porosidad de aireación.

La viruta de teca (VT) con  $D_m$  (3,21 mm) presentó CA de 46,39 %, mientras que Yang et al. (2023) reportaron datos de CA mayores para PM y menores para AP. Al respecto, Schafer y Lerner (2022) mencionan que el espacio ocupado por aire en un sustrato debe oscilar entre 20 y 40 %, por lo tanto, VT, CFPA, CFA y FPA pueden emplearse para incrementar la porosidad de aireación en un sustrato, porque la granulometría es un factor importante y varía con el tipo de material (Mixquititla et al., 2022), influye en la CA y Pra, y afecta el crecimiento de la raíz de la planta (Bita et al., 2017; Gayosso et al., 2021).

La porosidad de retención de agua (Pra) fue superior a 40 % para la mayoría de los materiales analizados. El material con mayor Pra fue FRP con 74,8%; seguida de AP y CC; esta característica fue afectada por el tamaño de la partícula porque influye en forma y tamaño de poro y, en consecuencia, en la capacidad de retención de agua (Abad et al., 2004). Por su parte, VT y CFPA fueron los materiales con menor Pra con 37,77 % y 26,54 %, respectivamente; esta disminución se atribuye a la distribución del tamaño de las partículas que excedieron 40 % a partículas mayores a 2,36 mm, lo que aumenta la CA y disminuye la Pra.

## Estrada et al. Caracterización de residuos orgánicos para uso en sustratos hortícolas

La CA en los materiales presentó diferencias significativas entre sí ( $P \leq 0,05$ ), el material con mayor valor fue VT seguido de FPA, CFPA y CFA, sin diferencias significativas entre ellos (Cuadro 4). Según Schindler y Muller (2017) un sustrato debería tener un valor de CA mayor a 10

%. Los materiales analizados presentan porcentajes de aireación que oscilan entre 11,83 y 47,02 %, por lo que, considerando la granulometría y la CA, se pueden seleccionar VT, FPA, CFPA y CFA para aportar porosidad a una mezcla de sustratos.

**Cuadro 4.** Capacidad de aireación (CA), Agua fácilmente disponible (AFD), Agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD) de materiales orgánicos disponibles localmente

Material orgánico	CA	AFD	AR	ADD
			(%)*	
AP	15,22 bc	4,05 bc	18,71 a	39,64 c
CC	11,38 cd	8,56 a	9,41 c	41,93 c
CFPA	31,84 b	4,72 b	1,71 f	16,78 e
FPA	33,15 b	2,14 cde	2,71 e	27,53 h
FRP	7,44 d	8,05 a	9,42 c	52,08 a
LA	15,2 bc	3,72 bcd	1,90 f	54,47 a
CFA	30,19 b	1,47 de	1,50 f	46,72 b
VT	47,02 a	0,40 e	3,89 d	32,86 d
PM	15,64 c	3,3 bcd	13,50 b	32,39 d

Aserrín de madera de pino (AP), Cascarilla de fruto del cacao (CC), Cascarilla del fruto de palma de aceite (CFPA), Fibra del fruto de palma de aceite (FPA), Fibra del raquis del plátano (FRP), Lirio acuático (LA), Cascarilla del fruto del achiote (CFA), Viruta de madera de teca (VT) y Turba (PM). Las medias en columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

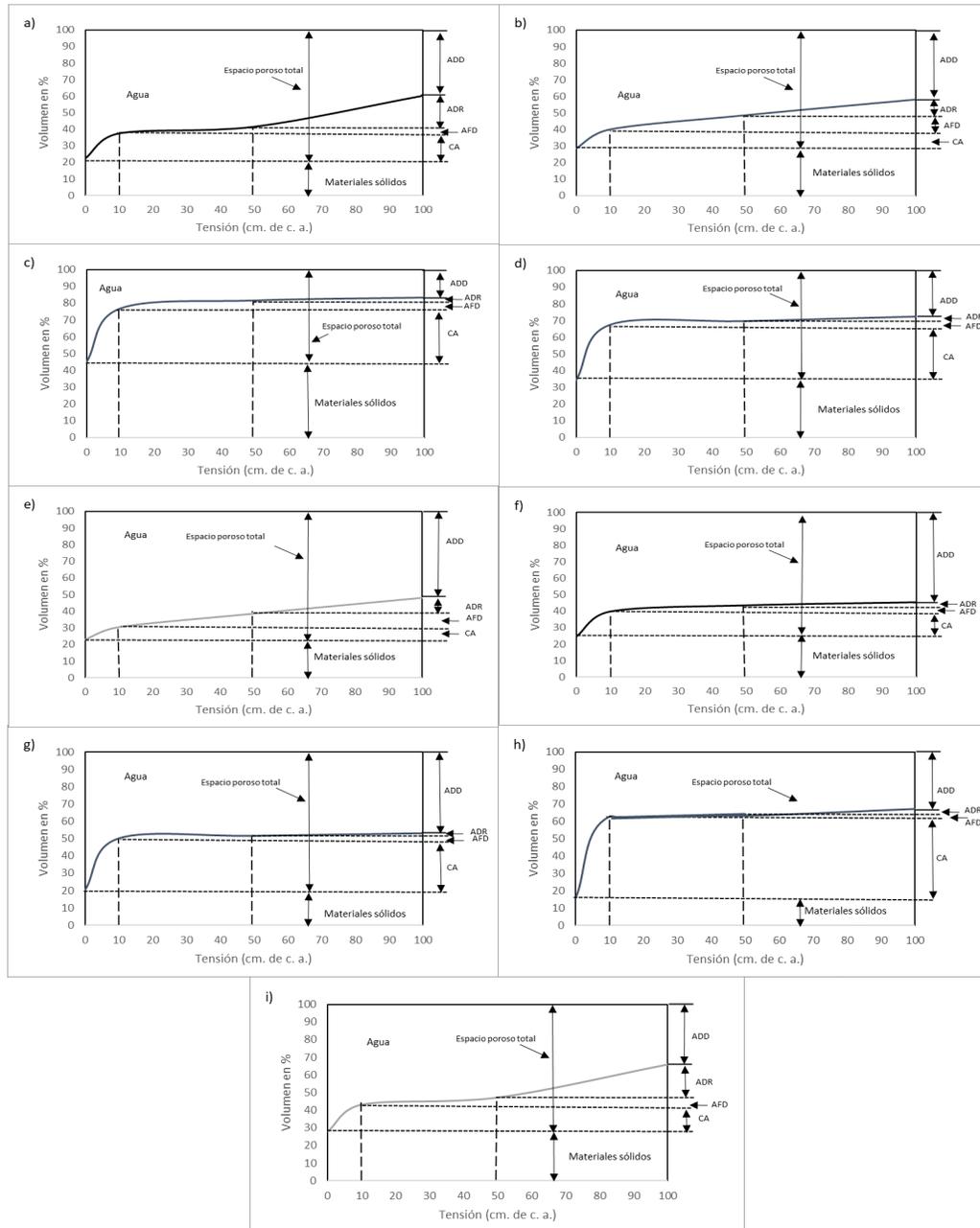
La característica de retención de humedad es la más importante en un sustrato. En relación con esto, CC y FRP fueron los materiales que mostraron mayor cantidad de AFD; es posible que la gran cantidad de partículas de tamaños menores a 0,85 mm haya ocasionado la formación de microporos en los cuales se contuvo el agua interpartículas; no obstante, se observó que el AP tuvo la mayor cantidad de AR (18,71 %) superando al testigo. Este material no presentó tamaños  $> 2,36$  mm por lo que es posible la formación de microporos que favorecieron la capacidad de retención de agua; por tanto, estos materiales deberán combinarse con materiales de mayor tamaño para proporcionar aireación a la mezcla. Por su parte, existe una relación entre el tamaño de partícula, la retención de agua y la porosidad, como lo reporta Agarwal et al. (2021). Mientras que la VT y la CFPA presentaron la menor cantidad de agua retenida debido al tamaños de sus partículas (Cuadro 2 y 4).

Partiendo de que la suma de AFD y AR resulta en el agua total disponible (ATD) para la planta, un sustrato debe tener más de 24 % de AFD (Schindler y Muller, 2017); en ese sentido, considerando la suma de AFD y AR, el aserrín de

pino (AP) tuvo 22,76 % y la cascarilla de cacao (CC) 17,97 %, ambos fueron superiores a la turba (PM) (16,9 %), seguidos de FRP con 15,68 %. Ningún material por sí solo puede cubrir los requerimientos de aireación y retención de agua demandados para el cultivo de plantas en contenedor; sin embargo, con base a los resultados AP, CC y FRP, se pueden mezclar con materiales con alta capacidad de aireación como VT y FPA para incrementar el AFD. Estos resultados muestran que es posible sustituir parcialmente el uso de la turba por residuos orgánicos locales; no obstante, es necesario evaluar la estabilidad de los materiales a través del tiempo, porque sólo se reporta el uso de aserrín de pino como sustrato (Aguilera et al., 2021) y su evaluación durante cinco ciclos de cultivo (Pineda et al., 2012).

Respecto al agua difícilmente disponible (ADD), Schindler y Muller (2017) mencionan que debe oscilar entre 25 y 30 %; los resultados muestran que LA y FRP excedieron el 50 % de ADD, por lo tanto, estos materiales dificultarán la absorción del agua por la planta, generando un mayor gasto de energía. Por el contrario, CFPA tuvo la menor cantidad (16,78 %) y el mayor contenido de material sólido (44,95 %) (Figura 1);

debido al  $D_m$  de partícula (5,67 mm), que ocasiona la disminución de retención de agua y aumenta la CA.



**Figura 1.** Curvas de retención de humedad de los sustratos.

- a) Aserrín de madera de pino, b) Cascarilla de fruto del cacao, c) Cascarilla del fruto de palma de aceite, d) Fibra del fruto de palma de aceite, e) Fibra del raquis del plátano, f) Lirio acuático, g) Cascarilla del fruto del achiote, h) Viruta de madera de teca, i) Turba. Capacidad de aireación (CA), Agua fácilmente disponible (AFD), Agua de reserva (AR) y Agua difícilmente disponible (ADD).

El material proveniente de residuos palma de aceite (cascarilla y fibra) fueron los que mostraron

el mayor porcentaje de material sólido y Da. Una Da alta corresponde a una menor porosidad del

material (Arias, 2021); por el contrario, la VT tuvo menor cantidad de material sólido (15,83 %) y menor Da; este valor refleja un material ligero y fácil de manejar.

### CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que los materiales colectados en el estado de Tabasco, México, presentaron diferentes características físicas y químicas. Si se quiere utilizar la fibra del raquis del plátano y el lirio acuático como sustrato, sería necesario realizar un tratamiento previo para ajustar los valores de pH y CE que se registraron fuera de los rangos recomendados para su uso. El resto de materiales, presentaron características físicas adecuadas para el cultivo de plantas (densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua, porosidad total). Las características físicas y químicas pudieran mejorar si los materiales se mezclan entre sí; para ello, se deben considerar las características individuales de cada uno y determinar el porcentaje a utilizar valorando la aportación de agua-aire, el tamaño de partículas, la capacidad de aireación y la retención de agua. Por lo tanto, se requiere continuar con estudios que permitan caracterizar mezclas de estos materiales, evaluar el crecimiento de plantas en las mezclas, y valorar su estabilidad en el tiempo.

### RECONOCIMIENTO

A la Dra. Salome Gayosso Rodríguez† por su participación fundamental y valioso apoyo en la realización de esta publicación

### LITERATURA CITADA

1. 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. pp. 113-158.
2. Acevedo-Alcalá, P., O.R. Taboada-Gaytán y J. Cruz-Hernández. 2020. Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. Acta Agronómica 69(3): 234-240.
3. Aguilera, R.M., A. Aldrete, L.I.T. Téllez y V.M.O. Chaparro. 2021. Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* schiede ex schldtl. Et cham Agrociencia 55(8): 719-732.
4. Ahmadi, F., A. Samadi, E. Sepehr, A. Rahimi, S. Shabala. 2021. Perlite particle size and  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio affect growth and chemical composition of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in hydroponics. Industrial Crops and Products 162: 113285.
5. Anicua S., R., C.M.C. Gutiérrez, G.P. Sánchez, S.C. Ortiz S., H.V.H. Volke, y P.J.E. Rubiños. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agric. Téc. Méx. 35: 147-156.
6. Arias, A.N.A. 2021. Agua y nutrición: eficiencias necesarias frente al cambio y la variabilidad climática. Palmas 42(1): 81-95.
7. Agarwal, P., S. Saha y P. Hariprasad. 2021. Agro-industrial-residues as potting media: Physicochemical and biological characters and their influence on plant growth. Biomass conversion and biorefinery, Oct 9: 1-24.
8. Bárbaro, L., M. Karlanian, P. Rizzo y N. Riera. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences 35(2): 126-136.
9. Bitá, W., N. Mgocheki y A. Kamota. 2017. Effect of different vermiculite and pine bark media substrates mixtures on physical properties and spiral rooting of radish (*Raphanus sativus* L.) in float tray system. Rizosfera 3(1): 67-74.
10. Castro, G.S.L., A. Aldrete, U.J. López y C.V.M. Ordaz. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. Madera y bosques 25(2): e2521520.
11. Crespo, G.M.R., E.D.R. González, M.R. Rodríguez, C.J.A. Ruiz y P.N. Durán. 2018. Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. Revista internacional de contaminación ambiental 34(3): 373-382.
12. De Bood, M., O. Verdonk e I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Hort 37: 2054-2062.

13. Fascella, G., M.M. Mammano, F. D'Angiolillo, A. Pannico y Y. Rouphael. 2020. Coniferous wood biochar as substrate component of two containerized Lavender species: Effects on morpho-physiological traits and nutrients partitioning. *Scientia Horticulturae* 267: 109356.
14. Fonteno, W.C y C.T. Harden. 2003. Procedures for determining physical properties of horticultural substrates. En NCSU Porometer. Manual (en línea). Horticultural Substrate Laboratory, North Caroline State University. Raleigh, USA.
15. Gabriel, M.Z, J.E. Altland y J.S. Jr. Owen. 2009. The effect of physical and hydraulic properties of peatmoss and pumice on douglas fir bark based soilless substrates. *HortScience* 44(3): 874-878.
16. Gayosso-Rodríguez, S., L. Borges-Gómez, E. Villanueva-Couoh, M.A. Estrada-Botello, y R. Garruña. 2018. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia* 52(4): 639-652.
17. Gayosso-Rodríguez, S., MDC Gutiérrez-Castorena, MA. Estrada-Botello y R. Sánchez-Hernández. 2021. Características micromorfológicas de sustratos orgánicos y su relación con retención de agua y crecimiento radical. *Agrociencia* 55(3): 195-208.
18. Gutiérrez C., M.D.C., E.J. Hernández, S.C.A. Ortiz, S.R. Anicua y L.M. Hernández. 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.
19. Jayasinghe, GY. 2012. Synthetic soil aggregates as a potting medium for ornamental plant production. *Journal of plant nutrition* 35(10): 1441-1456.
20. Landis, T.D. 1990. Containers: Types and Functions. En TD. Landis, RW. Tinus, SE. McDonald, JP. Barnett (Eds.). *The Container Tree Nursery Manual. 2. Agric. Handbook.* Washington, DC: USDA, Forest Service. 40 p.
21. López-Rodríguez, G., J. Pérez-Esteban, J. Ruiz-Fernández y A. Masaguer. 2017. Caracterización física e hidrofísica de sustratos orgánicos sostenibles para sistemas de naturación en espacios urbanos *Revista Ingeniería Agrícola* 7(1): 33-40.
22. Mixquititla-Casbis, G., OG. Villegas-Torres, M. Andrade-Rodríguez y H. Sotelo-Nava. 2022. Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral. *Acta Agrícola y Pecuaria* 8: e0081007.
23. Monsalve, COI., TMC. Henao y DJS. Gutiérrez. 2021. Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 22(1): 1-23.
24. Montoya-Jasso, V.M., V.M. Ordaz-Chaparro, G.S. Benedicto-Valdés., A. Ruiz-Bello, y J.M. Arreola-Tostado. 2021. Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana* 39: e601.
25. Ortega-Torres, A.E., T.L.B. Flores, R.G. Guevara-González, E. Rico-García y G.M. Soto-Zarazúa. 2020. Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(6): 1447-1455.
26. Pineda P., J., C.A.F. Sánchez, A.A. Ramírez, G.A.M. Castillo, A.L.A. Valdés, y P.E.D.C. Moreno P. 2012. Aserín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 18: 95-111.
27. Plasencia-Verde, C.C., K.S. Grabiell-Rios, J.A. Luque y I.K. Best. 2021. Evaluación del potencial energético de residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) por medio de celdas de combustible microbiano (CCM). *Información tecnológica* 32(4): 89-98.
28. Quintero C., M.F., C.A. González M. y J.M. Guzmán P. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: V.J. Flórez (ed.). *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo.* Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. pp. 79-108.
29. Sánchez-Zuñiga, J.V., J. Sánchez-Molina y A.O. Florez-Vargas. 2020. Caracterización de los residuos de la cosecha del plátano Harton para un potencial uso industrial. *Characterization of the residues from the*

- harvest of the harton banana for potential industrial use. *Aibi Revista de investigación, Administración e Ingeniería* 8(3): 13-16.
30. Savvas, D. y N. Gruda. 2018. Aplicación de tecnologías de cultivo sin suelo en la industria moderna de invernaderos. Una revisión. *Eur. J. Hortic. Sci.* 83(5): 280-293.
  31. Schafer, G., y B.L. Lerner. 2022. Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. *Ornamental Horticulture* 28: 181-192.
  32. Schindler, U. y L. Müller. 2017. Hydraulic performance of horticultural substrates: 2. Development of an evaluation framework. *Horticulturae* 3(1): 1-6.
  33. SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/) (consulta de febrero 2024)
  34. Soto-Bravo, F. y A. Betancourt-Flores. 2022. Evaluación de metodologías para determinar las características físicas de un sustrato de fibra de coco. *Agronomía Costarricense* 46(2): 29-45.
  35. Yang, T., J.E. Altland, U.C. Samarakoon. 2023. Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 308: 111578.

