

Uso de material lignocelulósico como sustituto de tierra de monte en la producción de Cempasúchil (*Tagetes patula* L. cv Flame)

Mónica Ivonne Jaimes Yescas¹, Antonio Flores Macías², Miguel Ángel Ramos López³, Irving Hernández González^{4*}

Resumen. Un material lignocelulósico (Mlc) proveniente de residuos de poda y jardinería de la alcaldía de Xochimilco, Ciudad de México, fue evaluado como sustrato orgánico sustituto del uso de tierra de monte en la producción de cempasúchil (*Tagetes patula* L. cv Flame), cultivo de importancia económica en la zona de producción de plantas ornamentales en Xochimilco. La elección de los sustratos se definió con base en la información obtenida a partir de entrevistas semiestructuradas aplicadas a productores de la zona de estudio mediante la técnica de muestreo Snow Ball. De acuerdo con lo anterior, se emplearon tierra de monte (Tm), tierra negra (Tn) y tezontle (Tz) como materiales de origen orgánico e inorgánico para la elaboración de la mezcla de sustratos, agregando el Mlc en diferentes proporciones (% v/v) a las mezclas de sustratos, lo que resultó en ocho tratamientos: (1) Control 70 Tm - 15 Tn - 15 Tz, (2) 70 Mlc - 15 Tn - 15 Tz, (3) 85 Tm - 15 Tz, (4) 85 Mlc - 15 Tz, (5) 100 Tm, (6) 100 Mlc, (7) 100 Tn y (8) 100 Tz. Se determinaron las características físicas y químicas de los sustratos como porosidad total, porosidad de aireación, retención de humedad, N total, C total, C/N, pH, y C.E., así como las medidas de crecimiento del cultivo como área foliar, altura, diámetro de tallo, número de hojas y flores, ramas primarias y secundarias, así como el peso fresco y seco de raíces, flores, tallos y hojas. Se usó el diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones por cada tratamiento, donde cada unidad experimental incluyó cuatro macetas con plantas de *T. patula*. Los datos de las variables cuantificadas fueron sometidos a pruebas de homocedasticidad y normalidad. En caso de no cumplirse estos criterios, se recurrió a pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente pruebas de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) (JMP 11 ® Software). De acuerdo con los resultados obtenidos,

¹ Maestría en Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, CDMX, México.

² Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, CDMX, México.

³ Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

⁴ Proyecto Académico “Las Ánimas-Tulyehualco”, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, CDMX, México.

* Autor de correspondencia. e-mail: ihernandezg@correo.xoc.uam.mx

no se observan diferencias estadísticas significativas en las medidas de crecimiento de *T. patula* L. cv Flame entre el tratamiento control (Tm70 - Tn15 - Tz15) y el Mlc (Mlc70 - Tn15 - Tz15), por lo que este último resulta un sustrato alternativo al que utiliza tierra de monte, aunque los valores de pH ligeramente alcalino y C.E. de 2.0 dS m⁻¹, fueron relativamente altos en comparación con los demás sustratos. Para el cultivo de cempasúchil, los sustratos con un contenido mayor de Mlc (85% y 100% v/v) causaron un efecto adverso en las mediciones de crecimiento de *T. patula* L. cv Flame.

Palabras clave: Cultivos en contenedor, Sustratos alternativos, Propiedades físico y químicas de sustratos.

Abstract. A lignocellulosic material (Mlc) obtained from pruning and green wastes coming from Xochimilco borough in Mexico City, was evaluated as a substitute organic substrate for the use of forest mulch in potted cultivation of marigolds (*Tagetes patula* L. cv Flame), an ornamental crop of economic importance in the agricultural production area of Xochimilco. Using the Snow Ball sampling technique, the choice of substrates was defined based on the information obtained from semi-structured interviews applied to farmers in the study area. According to the above, forest mulch (Tm), black ground (Tn) and tezontle (red volcanic rock, Tz), were used as materials of organic and inorganic origin for the preparation of the mixture of substrates, adding the Mlc in different proportions (% v/v) to the mixtures of substrates, resulting in the following eight treatments: (1) Control 70 Tm – 15 Tn – 15 Tz, (2) 70 Mlc – 15 Tn – 15 Tz, (3) 85 Tm – 15 Tz, (4) 85 Mlc – 15 Tz, (5) 100 Tm, (6) 100 Mlc, (7) 100 Tn and (8) 100 Tz. The physical and chemical properties of the substrates were determined, such as total porosity, aeration porosity, water-holding capacity, total N, total C, C/N, pH, and electrical conductivity, as well as the measurements of the crop growth like leaf area, height, stem diameter, number of leaves and flowers, primary and secondary branches, as well as the fresh and dry weight of roots, flowers, stems and leaves. The randomized block experimental design was used with four repetitions for each treatment, where each experimental unit had four pots with *T. patula* plants. The data of the quantified variables were subjected to homoscedasticity and normality tests. If these criteria were not met, nonparametric tests (Kruskall Wallis) were used. Analysis of variance (ANOVA) and later tests of means (Tukey, $p \leq 0.05$) (JMP 11 ® Software) were performed. According to the results obtained, no statistically significant differences were observed in the growth measures of *T. patula* L. cv Flame between the control treatment (70 Tm – 15 Tn – 15 Tz) and the Mlc (70 Mlc – 15 Tn – 15 Tz) treatment, thus the latter is an alternative substrate to the one that uses forest mulch, despite of the slightly alkaline pH values and electrical conductivity of 2.0 dS m⁻¹, which were relatively high compared to the other substrates. For the cultivation of marigolds, the substrates with a higher Mlc content (85% and 100% v/v) caused an adverse effect on the growth measurements of *T. patula* L. cv Flame.

Keywords: Container crops, Alternative substrates, Physical and chemical properties of substrates.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas mediante el uso de sustratos en contenedores se ha extendido en los últimos 50 años debido a un mayor costo-beneficio observado en los altos rendimientos, facilidad de cosecha, elevada eficiencia en el control del balance agua/aire y suministro de nutrientes, así como una menor incidencia de patógenos que están asociados al suelo (Nejad y Ismaili, 2014; Schmilewski, 2009). Los factores que se tomaban en consideración para la selección de sustratos a emplear se centraban en su eficiencia y costos asequibles. Actualmente, el impacto ambiental derivado de la extracción de diversos materiales para la elaboración de sustratos conlleva a una mayor consciencia en la búsqueda de sustratos sustitutos que provengan de fuentes que no perjudiquen al ambiente (Barrett *et al.*, 2016; Burnett *et al.*, 2016). Ejemplo de lo anterior es la extracción de peatmoss, que afecta las zonas sumideros de C, liberándolo a la atmósfera y favoreciendo el cambio climático (Dunn y Freeman, 2011; Cleary *et al.*, 2005) y la tierra de monte, que es un recurso forestal no maderable (RFNM) obtenida del horizonte O de los suelos forestales y su extracción impacta negativamente al ecosistema debido a procesos de erosión, pérdida de nutrientes y retención de humedad, así como el aumento de la temperatura en los suelos que se encuentran expuestos, afectando a la microbiota edáfica y al desarrollo de la vegetación en los ecosistemas forestales (Bin *et al.*, 2013; Pote *et al.*, 2012).

Las propiedades físicas de los sustratos son las características que influyen en su estructura, como son el tamaño, forma, textura y distribución de las partículas que lo conforman; estas propiedades son determinantes, pues una vez establecida la estructura física, difícilmente puede ser mejorada iniciado el cultivo. La porosidad total, porosidad de aireación, la densidad aparente, agua fácilmente disponible, agua de reserva, agua no disponible, agua difícilmente disponible (%), son variables que nos ayudan a analizar las propiedades físicas de los sustratos. Por otro lado, para que un sustrato pueda proveer a la planta de los nutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento, es importante determinar su pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), relación C/N y disponibilidad de nutrientes entre otros. A éstas, a diferencia de las propiedades físicas, pueden ser reguladas a lo largo del ciclo del cultivo (Barrett *et al.*, 2016; Carlile *et al.*, 2015; Acosta-Durán, 2008). Los procesos de descomposición de la materia orgánica pueden alterar las propiedades físicas iniciales de los sustratos -reducción de la capacidad de retención de aire y exceso en la retención de agua-, afectando la estabilidad a lo largo del ciclo productivo (Barrett *et al.*, 2016).

Aunado a la diversidad de métodos analíticos para el estudio de las propiedades físico-químicas de los sustratos, existe una vasta literatura que reporta determinados valores óptimos de éstas, por lo que es importante resaltar que pueden variar en relación al método que se ocupe para su determinación (Handreck, 2011), lo que representa un reto al querer comparar datos de diferentes estudios haciendo necesario el entendimiento detallado de los procedimientos empleados para su interpretación (Schmilewski, 2012). Partiendo de lo anterior, Yeager *et al.* (2007) sugieren algunos de los rangos de

parámetros físicos en los cuales las plantas pueden tener un buen desarrollo: porosidad del 50-85%, espacio de aireación de 10-30%, agua disponible de 25-30%, densidad aparente de 0.2 a 0.7 g cm⁻³.

Los residuos verdes provenientes de desperdicios municipales son ampliamente utilizados como componente principal en las mezclas de sustratos para los cultivos en contenedor (Carlile *et al.*, 2015). Los residuos verdes lignocelulósicos son básicamente materia orgánica donde el C es el elemento dominante (48-58%), por lo que tienen una elevada relación C/N y son materiales poco susceptibles a la descomposición biológica y, por lo tanto, estables debido a que la lignocelulosa es el principal componente en la pared celular de las plantas cuya proporción y porcentajes de los polímeros que la conforman varía entre especies de plantas (38 a 50% de celulosa, 23 a 32% de hemicelulosa y 15 a 25% de lignina, Chander-Kuhad *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2002).

Las propiedades físicas y químicas de los residuos verdes y su impacto en el desarrollo de la planta han sido revisados; éstas pueden variar ampliamente dependiendo del origen de la materia prima y el método de compostaje (Carlile, 2008). Algunos de los retos que se han reportado para el uso de los residuos verdes como sustratos alternativos son su elevada densidad aparente > 0.7 g cm⁻³ - afectando el manejo postcosecha de transporte -, estabilidad biológica, fitotoxicidad, elevada salinidad (pH > 6.5 y CE > 2.0 dS m⁻¹), presencia de herbicidas y patógenos (Raviv, 2013; Rainbow, 2009;). Es por ello, que un sustrato funcional puede estar constituido por la mezcla de diferentes materiales en determinadas proporciones, maximizando las propiedades favorables y minimizando los riesgos para el desarrollo del cultivo (Schmilewski, 2012).

El uso de un material lignocelulósico (Mlc), proveniente de la Planta de Producción de Composta de la Alcaldía de Xochimilco, que asemeje las características físicas y químicas de la tierra de hoja, puede funcionar como un sustrato sustituto en la producción de plantas ornamentales en contenedor (Xiaoqiang Gong *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2015; Ondoño *et al.*, 2015). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar un Mlc como sustrato sustituto de la tierra de monte en la producción de *T. patula* L. cv Flame, para reducir el impacto ambiental que ocasiona su extracción en los suelos forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el módulo experimental localizado en el paraje Puente de Urrutia, Barrio de Caltongo, Alcaldía de Xochimilco, a 19° 15' 36.4" latitud N y 99° 04' 32.8" longitud O a una altitud 2,240 msnm (Figura 1). El clima es Cw templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 16°C y precipitación de 700.1 mm (INEGI, 2008). El cultivo se realizó bajo condiciones controladas de invernadero con cubierta plástica blanca calibre 700 con tratamiento UV 50%, en el periodo comprendido entre junio a octubre del 2019.

Figura 1. Ubicación de módulo experimental, Paraje Puente de Urrutia, Barrio de Caltongo, Alcaldía de Xochimilco, Ciudad de México



Google Maps, 2024.

La selección de los sustratos se realizó con base en la información obtenida a partir de entrevistas aplicadas a productores de Xochimilco mediante la técnica de muestreo Snow Ball (Goodman, 1961). Se emplearon tierra de monte (Tm) adquirida con distribuidores que la obtienen de la zona forestal ubicada en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México, así como tierra negra (Tn) y tezontle (Tz) que se obtiene de los comercializadores locales. Estos materiales de origen orgánico e inorgánico se emplearon junto con el Mlc para la elaboración de la mezcla de los tratamientos (Cuadro 1); los porcentajes de Mlc fueron definidos con base en un ensayo previo y un artículo de investigación sobre el tema (Jaimes *et al.*, 2024). La principal diferencia entre la tierra de monte y la tierra negra, es que la primera es obtenida de capas superficiales de los bosques, tiene una alta proporción de materia orgánica, compuesta principalmente por hojas descompuestas y restos vegetales, mientras que la segunda es obtenida de capas más profundas del suelo, contiene menos materia orgánica y una mayor concentración de minerales (Brady y Weil, 2016).

Cuadro 1. Composición de material lignocelulósico de los tratamientos

No.	Tratamientos	Sustratos (% V/V)			
		Mlc	Tm	Tn	Tz
Control	70 Tm – 15 Tn – Tz 15	0	70	15	15
2	70 Mlc - 15 Tn - 15 Tz	70	0	15	15
3	85 Tm - 15 Tz	0	85	0	15
4	85 Mlc - 15 Tz	85	0	0	15
5	100 Tm	0	100	0	0
6	100 Mlc	100	0	0	0
7	100 Tn	0	0	100	0
8	100 Tz	0	0	0	100

*Mlc= Material lignocelulósico; Tm= Tierra de monte; Tn= Tierra negra; Tz= Tezontle.

El Mlc propuesto como sustrato sustituto a la Tm, tiene como materia prima para su elaboración los residuos verdes y de poda de jardinería recolectados en la Alcaldía Xochimilco, los cuales se trituran y se acomodan en pilas que son humedecidas y volteadas de manera regular durante cuatro semanas. Las especies de plantas que fueron utilizadas como materia prima para la elaboración del Mlc se identificaron taxonómicamente (Rzedowski, 2005; Figura 2).

Figura 2. Proceso de elaboración del Mlc



(1) Materia prima restos de jardinería y poda de áreas verdes; (2) separación y clasificación; (3) trituración y (4) pilas de almacenamiento Mlc.

La semilla de la planta se adquirió de la empresa Ballseed® a través de la distribuidora en México Semplants S.A. de C.V. La germinación se realizó en charolas de polietileno de 200 cavidades, usando *peatmoss* como sustrato de germinación; permanecieron en las charolas durante 35 días, para posteriormente ser trasplantadas. Las plantas se establecieron en macetas de 5", acomodadas en filas, con 25 cm de separación, a una densidad de 16 plantas por m². La frecuencia de los riegos se estableció con base en la demanda hídrica del cultivo, teniendo uno a dos riegos por día. El suministro de fertilizantes por medio de soluciones nutritivas, estuvo determinadas por la etapa fenológica del cultivo. Cada riego o fertirriego equivalía a 300 mL de agua o solución nutritiva por maceta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Manejo agronómico implementado acorde a lo propuesto por los productores para el cultivo de *T. patula*

Etapa Fenológica	Aplicación	Compuesto	g·L ⁻¹	Esquema de aplicación	
Trasplante	Fertirriego	Ultrasol® 12-44-12	1.5	1 aplicación de Ultrasol® x 2 riegos de agua, durante 15 días.	
Crecimiento y Desarrollo		KNO ₃	0.350	1 aplicación x 2 riegos de agua a lo largo del cultivo.	
		NH ₄ NO ₃	0.700		
		NH ₄ H ₂ PO ₄	0.400		
		MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.100		
		H ₃ PO ₄	0.100		
		Multiquel-Com®	0.100		
		Ca(NO ₃) ₂	1.0	1 vez por semana a lo largo del cultivo.	
		Foliar	Megafol ®	0.001	2 veces x semana.
			Agromil ®	0.001	3 veces seguidas después de pinchar.
Poliquel Fierro ®	0.001		2 aplicaciones por mes.		
Poliquel Calcio ®	0.001		1 vez por semana a lo largo del cultivo.		

Fuente: Obs. pers. Productores Puente de Urrutia, San Gregorio, Atlapulco, 2018.

Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Se tomaron 1.5 kg de muestra de cada tratamiento al final (Tf) del cultivo y se procesaron en el Laboratorio de Física de Suelos y el Laboratorio de Fertilidad - Química de Suelos, del Colegio de Postgraduados (COLPOS) para la caracterización de sus propiedades físicas y químicas. Se determinó el C total por digestión seca a 900°C en el autodeterminador automático de C, TOC SSM 5050A Shimadzu; N total (estimado del C total), P disponible por el método de Bray, K determinado por emisión atómica, Ca y Mg por absorción atómica, MO por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación (Inbar *et al.*, 1993), relación C/N, pH, CE y porcentaje de retención de humedad (Wilson, 1983).

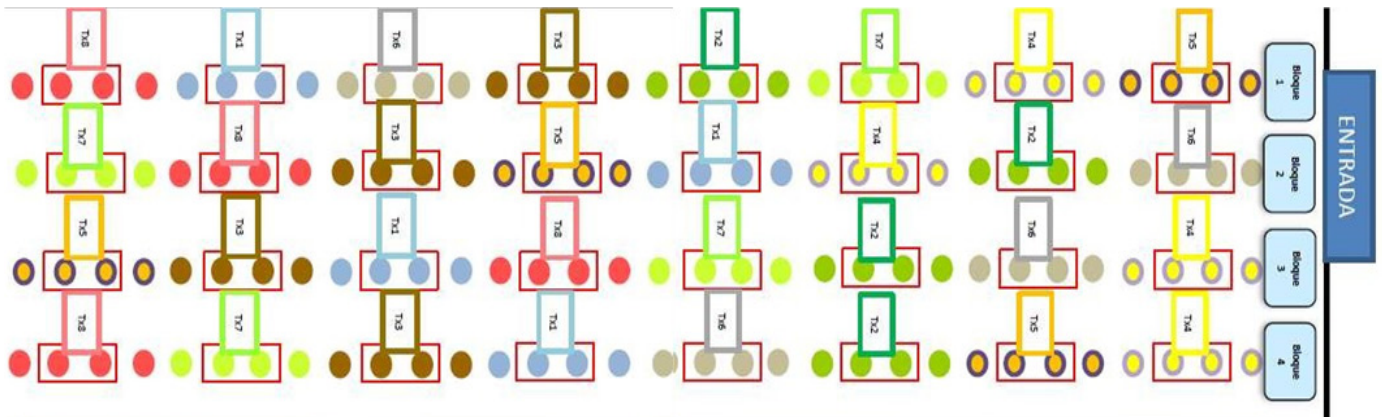
Mediciones de crecimiento en el cultivo de *T. patula*

Las variables que se cuantificaron por única vez cuando las plantas mostraron características de calidad para mercado (90 días después del trasplante) fueron número de flores, hojas y botones por unidad experimental, número de ramas primarias y secundarias contabilizadas a partir del tallo principal. Se tomaron las mediciones de altura de la planta desde el “cuello” del tallo hasta la hoja más alta y, diámetro del “cuello” del tallo (cm) mediante un vernier digital Mitutoyo® CD-6”CX; área foliar determinada mediante medidor automático de área foliar (Li-Cor Li -3100 Area Meter Modelo 3100); biomasa fresca de hojas, flores, botones, ramas y tallos con la balanza analítica Ohaus® Scout PRO SP401 y biomasa seca aérea usando una estufa de secado Felisa® Horno FE-291 con circulación de aire a 70°C por 72 h, para después pesar el material vegetal en una balanza analítica Ohaus® Scout PRO SP401.

Diseño experimental

Se usó el diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones por cada tratamiento, donde cada unidad experimental tuvo cuatro macetas con plantas de *T. patula* y se tomaron las dos macetas centrales para la evaluación de las variables arriba descritas (Figura 3). Los datos de las variables cuantificadas fueron sometidos a pruebas de homocedasticidad y normalidad. En caso de no cumplirse estos criterios, se recurrió a pruebas no paramétricas (Kruscall Wallis). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente pruebas de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) (JMP 11® Software).

Figura 3. Diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento



Se muestrearon las dos plantas centrales de cada unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del Mlc y análisis de las propiedades físico-químicas de las mezclas de sustratos.

Se identificaron 16 especies provenientes de los residuos de poda de la Alcaldía de Xochimilco, siendo las especies *Ficus benjamina* (45.4% V/V) y *Fraxinus uhdei* (20.1% V/V) las que mayor presencia tuvieron (Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies de plantas con mayor presencia en la elaboración del Mlc

Especie		Volumen Total (3.5 m ³) % V/V
Nombre Científico	Nombre Común	
<i>Ficus benjamina</i> L.	Laurel	45.4
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	20.1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto o Alcanfor	6.0
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	4.3
<i>Callistemon citrinus</i>	Escobillón rojo	3.9
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	3.9
<i>Cupressus</i> sp.	Ciprés	3.9
<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno	2.6
<i>Bougainvillea glabra</i>	Buganvilia	2.2
<i>Salix bonplandiana</i>	Ahuejote	1.3
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar, Ocozote	1.3
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto o Alcanfor	1.3
<i>Acer negundo</i>	Acezintle	1.0
<i>Yucca</i> sp.	Izote	1.0
<i>Malva</i> sp.	Herbácea	0.9
<i>Blepharocalyx</i> sp.	Ninguno (Especie Arbórea)	0.9

Ficus benjamina y *Fraxinus uhdei* son especies arbóreas perennifolias que entran dentro de la categoría de maderas duras con porcentajes de lignina que van del 18 al 25 % (Gómez *et al.*, 2012; Sung y Chen, 2002). La lignina juega un papel importante en la bioestabilidad de los sustratos, por lo que se infiere que sustratos como el Mlc pueden mantener estables por mayor tiempo las propiedades físicas y químicas (Chander-Kuhad *et al.*, 2011). Es importante considerar que existe una relación inversamente proporcional entre la concentración de lignina y la tasa de mineralización de N, por lo que, en sustratos provenientes de residuos de poda es necesario el suministro de N a través de un programa de fertilización que inhiba la competencia entre los microorganismos y la planta, logrando así un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo (Hernández *et al.*, 2006).

Kostova e Iossivfova (2007) y Hassan *et al.* (2003) reportan la composición química de *F. uhdei* y *F. benjamina* respectivamente, determinando la presencia de compuestos fenólicos como cumarinas, con propiedades insecticidas, bactericidas y fungicidas, así como flavonoides con actividad antioxidante y funciones que inhiben el desarrollo de patógenos, por lo que los compuestos presentes en el material orgánico que dan origen al Mlc, pueden tener efectos benéficos al inhibir el desarrollo de patógenos como *Clavibacter* sp. Un análisis sobre la presencia y concentración de dichos compuestos químicos, así

como la evaluación de la susceptibilidad de los cultivos a éstos, puede ser útil para descartar o no el empleo de sustratos alternativos provenientes de residuos de poda (Zarate-Martínez *et al.*, 2018; Díaz-Serrano *et al.*, 2006).

El Cuadro 4 muestra las propiedades físico-químicas de los sustratos empleados en los diferentes tratamientos. Se observa que el tratamiento control (Tm70 - Tn15 - Tz15), al igual que los tratamientos con diferentes porcentajes de material lignocelulósico (Mlc70-Tn15-Tz15, Mlc8-Tz15, Mlc100) - y Tn100 arrojaron datos dentro de los rangos de los valores óptimos para densidad aparente, porosidad total y de aireación.

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas de los diferentes tratamientos empleados en el cultivo

No.	Tratamientos (%V/V)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Aireación (%)	Porosidad RH (%)	MO (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)
Control	Tm70 - Tn15 - Tz15	0.53	76	37	39	12.0	5.4	0.20
2	Mlc70 - Tn15 -Tz15	0.55	77	29	48	19.0	7.7	1.84
3	Tm85 - Tz15	0.14	84	65	25	20.3	4.8	0.45
4	Mlc85 - Tz15	0.70	91	13	56	26.0	8.0	2.00
5	Tm100	0.12	90	51	39	36.7	4.5	0.33
6	Mlc100	0.44	73	11	61	34.3	7.9	2.00
7	Tn100	0.66	70	8	62	9.0	6.2	0.09
8	Tz100	1.26	49	7	42	0.7	5.9	0.12
Óptimos		0.15-0.75	70-85	10-30	55-70	> 80	5.2-6.3	≤2.0

*Mlc = Material lignocelulósico, Tm = Tierra de monte, Tn = Tierra negra, Tz = Tezontle, RH = Retención de humedad. Fuente: Yeager *et al.* (2007), Urrestarazu y Burés (2009) y Gayosso-Rodríguez *et al.* (2016).

Dichas propiedades físicas están relacionadas entre sí, ya que la densidad aparente es determinante en la porosidad de los sustratos y por lo tanto en su aireación y contenido de humedad. Cuando se presentan valores de densidad aparente mayores a los óptimos (0.15 a 0.75 g cm⁻³) existe una disminución en el volumen de poros, afectando la oxigenación en raíces y aumentando la retención de agua difícilmente disponible para la planta (Abad *et al.*, 2001). Se observa para el tratamiento de Tz100, el valor

más alto de densidad aparente (1.26 g cm^{-3}) y valores menores en porosidad total (49%) y porosidad de aireación (7%) con respecto a los demás tratamientos. Dichos resultados no coinciden con lo señalado por Ordaz (2010), donde el tezontle se reporta como un sustrato inerte con granulometrías $> 1.0 \text{ mm}$ que le confieren alta aireación y baja retención de agua. Lo anterior pudiera ser resultado de que el tezontle empleado en el presente experimento fue de una granulometría $< 1.0 \text{ mm}$, lo que explica un mayor contenido de material por unidad de volumen.

Los tratamientos con un mayor % V/V de tierra de monte (Tm100 y Tm85-Tz15) presentaron los menores valores en densidad aparente (con 0.12 y 0.14 g cm^{-3} respectivamente), lo que explica los altos valores de porosidad total relacionados directamente con una mayor capacidad de aireación y con una menor retención de humedad. Los tratamientos con un mayor % V/V de Mlc al igual que el tratamiento Tn100, presentan los valores más elevados para la propiedad de porosidad RH (56, 61 y 62%), y los valores mínimos de porosidad de aireación (8, 11 y 13%), lo cual, de acuerdo con Brito *et al.* (2015), está relacionado con la presencia de materia orgánica, su degradación y el efecto que tiene ese proceso sobre la disminución del tamaño de partículas en esos sustratos y su compactación. Las propiedades físicas mencionadas son importantes, pues una falta de equilibrio en la cantidad de humedad y oxigenación a la que están sometidas las raíces en los sustratos impacta negativamente en su crecimiento y desarrollo, demeritando la calidad del cultivo (Barret *et al.*, 2016). Al ser los sustratos evaluados de origen orgánico existe una población microbiana que también demanda O_2 para sus funciones metabólicas, lo que genera una competencia entre los microorganismos y las raíces de la planta de este elemento si no se encuentra en concentraciones suficientes (Urrestaraz y Burés 2009). Por otro lado, si la retención de humedad es elevada, la lámina de agua que se forma alrededor de las raíces impedirá una adecuada difusión del O_2 (la difusión del O_2 en el agua es 10^4 veces menor que en el aire), lo que propicia una acumulación de CO_2 , liberación de etileno que resultará en una inhibición del crecimiento de la planta y generación de un ambiente anaerobio ideal para microorganismos patógenos (Urrestaraz y Burés 2009).

Asimismo, el % de porosidad de retención de humedad no expresa *per se* si el agua presente en el sustrato es fácilmente disponible para la planta, pues ello dependerá de la proporción de macroporos ($> 30 \mu\text{m}$) y microporos ($< 30 \mu\text{m}$), siendo la distribución del tamaño de poros el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos, jugando un papel importante el tamaño del contenedor (Zhang y Sun, 2014).

Para los tratamientos con 100, 85 y 70% V/V de Mlc, se observa un impacto negativo de este material en las propiedades químicas con valores para el pH de 7.7 - 8.0 y para la CE de $1.84 - 2.00 \text{ ds m}^{-1}$, lo cual puede elevarse más durante el manejo nutrimental del cultivo al agregar los fertilizantes (Brito *et al.*, 2015; Medina *et al.*, 2009; Ostos *et al.*, 2008). Así mismo, debe considerarse el efecto en el pH y CE el aporte de sales provenientes del agua utilizada en el proceso de “composteo” del Mlc, la cual es obtenida de los canales de la zona lacustre o de alguna planta de tratamiento. Algo diferente se aprecia

para los tratamientos con mayor porcentaje de tierra de monte - Tm100 y Tm85-Tz15 -, donde tanto el pH (4.5 - 5.4) como la C.E. (0.2 - 0.45 ds m⁻¹) tienen valores bajos, lo cual está relacionado con la presencia de las acículas del mantillo de bosque que al descomponerse, favorecen la acidificación del sustrato (Barret *et al.*, 2016; Burés, 1997).

Para sustratos con características alcalinas, Alcántar-González *et al.* (2016) consideran como alternativas el uso de soluciones nutritivas con pH ligeramente ácidos, fertilizantes nitrogenados a base de NH₄ que promuevan en la raíz la exudación de iones H⁺ que favorecen la acidificación del medio radicular y/o lavados ácidos del sustrato, además de considerar la resistencia natural del cultivo a valores de C.E. por encima de los estipulados. Se han reportado para el cempasúchil rangos que pueden llegar de 3.64 dS m⁻¹, hasta los 7.9 dS m⁻¹ en variedades como *T. erecta* C.V. First Lady (Trejo *et al.*, 2013). Urrestarazu y Burés (2009) mencionan que se debe considerar la modificación constante del pH que la propia raíz provoca en la rizosfera como producto de procesos metabólicos de las células de las raíces, considerando que cuando predomina la absorción de cationes sobre la de aniones, la tendencia en la rizosfera es a disminuir el pH, y viceversa.

Los valores más altos de MO para Tm100 y Mlc100 (36.7 y 34.3% MO respectivamente), en comparación con el tratamiento de Tz100 (0.7% MO); cabe resaltar que los materiales que están parcialmente degradados tienen valores de materia orgánica que van del 80 al 85% MO (Urrestarazu y Burés, 2009). La MO en los sustratos evaluados puede actuar como un reservorio dosificador de nutrientes (C.I.C elevada, formación de complejos metálicos solubles para las plantas), así como generar un poder amortiguador (capacidad tampón) sobre los cambios rápidos de pH cuando se adicionan los fertilizantes de tipo ácido o básico al sustrato (Alcántara-González *et al.*, 2016; Urrestarazu y Burés, 2009; Burés, 1997). Cabe resaltar la importancia de la presencia de la MO al disminuir los valores de densidad aparente en los sustratos y los procesos de compactación gracias a la acción en la floculación de las partículas minerales, así como por los cambios mecánicos de los agregados (Brito *et al.* 2015). Dicha relación se observa en los valores de % MO (36.7 - 34.3) y densidad aparente (0.12 - 0.44 g cm⁻³) para los tratamientos Tm100 y Mlc100 respectivamente, así como para el tratamiento Tz100 con un 0.7% MO y una densidad aparente de 1.26 g cm⁻³.

El Cuadro 5 muestra los valores de los macronutrientes P, K, Ca, Mg así como la relación C/N de los diferentes tratamientos evaluados.

Cuadro 5. Contenido de elementos minerales en los sustratos usados para el cultivo de *T. patula*

No.	Tratamientos (%V/V)	Ct	Ntotal	C/N	P	K	Ca	Mg
		%	%					
Control	Tm70 - Tn15 - Tz15	7	0.58	12.07	26	195.5	1523	194.6
2	Mlc70 - Tn15 -Tz15	11	0.99	11.11	102	3518.6	3086.2	741.8
3	Tm85 - Tz15	11	0.94	11.70	79	195.5	1483	194.6
4	Mlc85 - Tz15	13	1.13	11.50	547	4417.8	4028	1130.9
5	Tm100	20	1.68	11.90	73	273.7	1763.5	231
6	Mlc100	22	1.91	11.45	1054	2971.3	4228.4	*
7	Tn100	5	0.44	11.36	3	78.2	1302.6	*
8 Tz100		0.4	0.03	13.33	154	117.3	601.2	73
Niveles óptimos				20-40	6-10	150-249	> 200	> 70

*Los valores de Mg de los tratamientos Mlc100 y Tn100 no se muestran debido a problemas con el control de calidad del laboratorio donde se realizaron las determinaciones. Ct carbono total.

**Niveles de referencia de los nutrientes asimilables para el cultivo en sustrato de las plantas ornamentales. Se expresan en concentración del elemento en el extracto de saturación del sustrato (Urrestarazu y Burés, 2009).

Se puede observar que los tratamientos Mlc100, Mlc85-Tz15 y Mlc70-Tn15-Tz15 contienen una mayor proporción en ppm de los elementos de P, K, Ca y Mg con respecto a los demás tratamientos; los tratamientos de Tn100 y Tz100 tienen los valores menores en los macroelementos evaluados (Cuadro 5). Los resultados están relacionados con los macroelementos presentes en materiales provenientes de residuos de poda y jardinería, así como al % MO que presentaron los tratamientos elaborados con el Mlc (Xiao-qiang Gong *et al.*, 2018).

El tratamiento Tz100 y control Tm70-Tn15-Tz15 presentan una mayor relación C/N con respecto a los demás tratamientos evaluados, con 13.33 y 12.07 respectivamente; los tratamientos de Mlc70-Tn15-Tz15 y Tn100 tienen los valores menores en la relación C/N (11.11 y 11.36 respectivamente). Los valores de la relación C/N > 40, indican una degradación lenta del material y por ende una mayor

estabilidad del sustrato, lo que los hace menos susceptibles a procesos de compactación y aumento de pH y C.E debido a procesos de mineralización por acción de los microorganismos, así como la síntesis de compuestos fitotóxicos o estimulantes (Alcántara-González *et al.*, 2016). Sin embargo, se considera que la bioestabilidad y la relación C/N no presentan una relación proporcional estricta, es decir, existen materiales evaluados con un índice de bioestabilidad > 90% y una relación C/N de 10. Lo anterior se explica como consecuencia de la naturaleza química de los componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina), su proporción en el material de origen de los sustratos y la ubicación de los biopolímeros en los tejidos, p. ej. celulosa cubierta por una capa de lignina.

Mediciones de crecimiento en cultivo de *T. patula*

Los tratamientos que obtuvieron una mayor frecuencia de valores máximos en las medidas de crecimiento fueron el tratamiento 1 Control (Tm70-Tn15-Tz15) con un 66.7%, seguido por el tratamiento 3 (Tm85-Tz15) con un 53.3% y finalmente con un 40% para los tratamientos 2 (Mlc70-Tn15-Tz15) y 8 (Tz100). El tratamiento 6 (Mlc100) mostró la mayor frecuencia de valores mínimos de crecimiento y desarrollo del cultivo experimental (60%). Al revisar los valores de las propiedades físico-químicas para los tratamientos 1 y 3, se observa que tuvieron valores de pH ácidos y C.E. bajas, permitiendo que, a lo largo del ciclo del cultivo no se favoreciera los problemas de salinidad por el aumento de pH y C.E. al adicionar las soluciones nutritivas.

Asimismo, el análisis estadístico muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos en mediciones como la altura (cm), número de ramas primarias y secundarias, diámetro de tallo (cm), así como peso fresco de botones (g) y peso seco de flores (g). Para las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas, los tratamientos Control (Tm70-Tn15-Tz15), 3 (Tm85-Tz15) y 8 (Tz100) mostraron los datos más altos para peso seco de ramas y tallos (0.0017 ± 0.00018). Son éstos mismos tratamientos los que obtuvieron mayores valores en diferentes parámetros de crecimiento (Cuadros 6 y 7). El tratamiento 2 (Mlc70-Tn15-Tz15) no presenta diferencias estadísticas significativas con respecto al tratamiento Control (Tm70-Tn15-Tz15), siendo semejante la respuesta de las medidas de crecimiento del cultivo en ambos tratamientos e indicando una factible sustitución en la mezcla de sustratos de Tm por Mlc en esa proporción para el cultivo de *T. patula*. Situación similar presenta el tratamiento 8 (Tz100), que, a pesar de no contar con propiedades físicas dentro de los valores óptimos, la respuesta del cultivo no muestra diferencias estadísticas significativas con el Control 1 (Tm70-Tn15-Tz15), explicado por ser un sustrato inorgánico químicamente inerte.

Los tratamientos 6 (Mlc100) y 4 (Mlc85-Tz15) muestran diferencias estadísticas significativas en los efectos que tienen sobre el crecimiento del cultivo en variables como área foliar, número y peso seco de botones, peso seco de ramas, tallos y hojas, lo que pudiera estar asociado a deficiencia en la absorción y translocación de nutrimentos debido a los valores relativamente altos de pH y C.E. (pH 7.9-8.0 y C.E

2.0 dS m⁻¹) con relación a los demás tratamientos, así como una afectación en el desarrollo radicular y del agua fácilmente disponible para la planta dado los valores de porosidad de retención de humedad (56 a 61% RH) que presentaron los sustratos analizados, coincidiendo con lo reportado en los trabajos de Massa *et al.* (2018), Ondoño *et al.* (2015) y Papafotiou *et al.* (2004).

Aunado a lo anterior, de acuerdo con Sung y Chen (2002), las maderas duras que dieron origen a el Mlc de la presente investigación, muestran un porcentaje menor de lignina (18-25%) en comparación a la concentración de celulosa (40-55%) y hemicelulosa (24-40%), lo que indicaría una menor bioestabilidad y una mayor compactación en el sustrato a lo largo del cultivo, alterando las propiedades físicas de porosidad total, capacidad de aireación y la retención de humedad, favoreciendo condiciones anaerobias que permiten la proliferación de patógenos, mayor concentración de CO₂ y síntesis de compuestos fitotóxicos (Barrett *et al.*, 2016; Urrestaraz y Burés 2009). Con relación a las propiedades químicas, la falta de bioestabilidad genera un mayor aumento en los valores de pH, C.E y porosidad de RH, incrementando factores adversos que se reflejaron en un menor crecimiento de las plantas que se desarrollaron en sustratos que contenían Mlc (Barrett *et al.*, 2016; Urrestaraz y Burés 2009).

Cuadro 6. Efecto de diferentes mezclas de sustrato en medidas de crecimiento del cultivo de *T. patula* L. cv Flame

No.	Tratamientos (%V/V)	Altura (cm)	Diámetro de Tallo (cm)	Núm. Botones	Núm. Flores	Ramas Secundarias
Control 1	Tm70 - Tn15 - Tz15	13.39 ± 5.34 ^a	6.40 ± 0.96 ^a	32.61 ± 1.08 ^{ab}	7.50 ± 0.86 ^{ab}	23.50 ± 3.57 ^a
2	Mlc70 - Tn15 - Tz15	12.56 ± 6.03 ^a	6.20 ± 0.40 ^a	24.61 ± 0.82 ^{ab}	7.62 ± 1.45 ^{ab}	22.62 ± 3.20 ^a
3	Tm85 - Tz15	12.25 ± 5.14 ^a	6.46 ± 0.50 ^a	29.03 ± 0.54 ^{ab}	6.62 ± 1.51 ^{ab}	23.25 ± 4.29 ^a
4	Mlc85 - Tz15	11.40 ± 4.34 ^a	5.56 ± 0.65 ^a	21.61 ± 0.44 ^b	6.25 ± 1.69 ^{ab}	20.75 ± 3.89 ^a
5	Tm100	12.15 ± 5.50 ^a	6.44 ± 0.96 ^a	25.42 ± 1.50 ^{ab}	6.50 ± 2.70 ^{ab}	18.62 ± 3.28 ^a
6	Mlc100	11.38 ± 5.25 ^a	5.34 ± 0.88 ^a	21.57 ± 0.74 ^b	6.12 ± 1.69 ^{ab}	19.00 ± 3.87 ^a
7	Tn100	12.94 ± 7.06 ^a	6.06 ± 1.17 ^a	21.87 ± 0.46 ^{ab}	9.00 ± 2.09 ^a	18.50 ± 2.30 ^a
8	Tz100	13.05 ± 5.23 ^a	6.55 ± 0.47 ^a	37.59 ± 1.08 ^a	4.75 ± 2.38 ^b	21.87 ± 2.49 ^a

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la Prueba de Tukey ($p \geq 0.05$).

No.	Tratamientos (%V/V)	Peso Fresco Flores (g)	Peso Fresco Hojas (g)	Peso Seco Botones (g)	Peso seco Flores (g)	Peso seco Ramas y Tallos (g)
Control 1	Tm70 - Tn15 - Tz15	18.66 ± 4.03 ^{ab}	17.91 ± 3.90 ^{ab}	0.3437 ± 0.1301 ^{ab}	0.0023 ± 0.00034 ^a	0.0017 ± 0.00034 ^a
2	Mlc70 - Tn15 -Tz15	22.33 ± 4.88 ^a	15.42 ± 2.38 ^{ab}	0.1901 ± 0.1086 ^{bc}	0.0024 ± 0.00049 ^a	0.0016 ± 0.00039 ^a
3	Tm85 - Tz15	14.45 ± 5.92 ^{ab}	19.13 ± 2.97 ^a	0.2701 ± 0.0764 ^{abc}	0.0022 ± 0.00037 ^a	0.0017 ± 0.00024 ^a
4	Mlc85 - Tz15	14.43 ± 2.36 ^{ab}	13.81 ± 4.55 ^{ab}	0.1511 ± 0.0698 ^c	0.0016 ± 0.00033 ^a	0.0010 ± 0.00023 ^b
5	Tm100	13.52 ± 4.15 ^b	16.40 ± 3.45 ^{ab}	0.2875 ± 0.1694 ^{abc}	0.0017 ± 0.00045 ^a	0.0015 ± 0.00030 ^{ab}
6	Mlc100	14.11 ± 2.14 ^{ab}	12.08 ± 2.86 ^b	0.1765 ± 0.1506 ^c	0.0016 ± 0.00026 ^a	0.0010 ± 0.00036 ^b
7	Tn100	21.11 ± 6.84 ^{ab}	13.11 ± 3.62 ^{ab}	0.1384 ± 0.0990 ^c	0.0024 ± 0.00069 ^a	0.0014 ± 0.00056 ^{ab}
8	Tz100	15.23 ± 7.74 ^{ab}	16.67 ± 6.77 ^{ab}	0.3605 ± 0.1007 ^a	0.0017 ± 0.0010 ^a	0.0017 ± 0.00018 ^a

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la Prueba de Tukey ($p \geq 0.05$).

Cuadro 7. Efecto de diferentes mezclas de sustrato en medidas de crecimiento del cultivo de *T. patula* L. cv Flame

No.	Tratamientos (%V/V)	Área Foliar (cm ²)	Ramas Primarias	Peso Fresco Botones (g)	Peso Fresco Tallos/ Ramas (g)	Peso Seco Hojas (g)
Control 1	Tm70 - Tn15 - Tz15	402.82 ± 80.65 ^{ab}	5.75 ± 0.68 ^a	2.13 ± 1.27 ^a	11.37 ± 2.17 ^a	2.38 ± 0.37 ^{ab}
2	Mlc70 - Tn15 -Tz15	364.94 ± 90.93 ^{abc}	5.75 ± 0.86 ^a	2.75 ± 3.58 ^a	10.23 ± 1.66 ^{ab}	1.85 ± 0.32 ^{bcd}
3	Tm85 - Tz15	458.62 ± 60.90 ^a	6.00 ± 0.49 ^a	1.64 ± 0.83 ^a	11.53 ± 1.25 ^a	2.48 ± 0.32 ^a
4	Mlc85 - Tz15	284.40 ± 74.45 ^{bc}	5.50 ± 0.67 ^a	1.06 ± 0.60 ^a	8.52 ± 3.23 ^{ab}	1.48 ± 0.21 ^{cd}
5	Tm100	329.24 ± 27.57 ^{abc}	6.00 ± 0.99 ^a	1.83 ± 0.97 ^a	10.04 ± 1.92 ^{ab}	1.88 ± 0.32 ^{bcd}
6	Mlc100	246.49 ± 61.62 ^c	5.75 ± 0.58 ^a	1.27 ± 1.27 ^a	6.84 ± 2.28 ^b	1.31 ± 0.30 ^d
7	Tn100	337.11 ± 62.79 ^{abc}	5.50 ± 0.57 ^a	0.84 ± 0.75 ^a	9.12 ± 3.89 ^{ab}	1.72 ± 0.47 ^{cd}
8	Tz100	369.95 ± 152.02 ^{abc}	5.62 ± 0.63 ^a	2.41 ± 0.76 ^a	11.84 ± 2.03 ^a	2.07 ± 0.48 ^{abc}

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la Prueba de Tukey ($p \geq 0.05$).

CONCLUSIONES

Al no encontrarse diferencias estadísticas significativas en las medidas de crecimiento del cultivo entre el tratamiento control (Tm70 - Tn15 - Tz15) y el Mlc (Mlc70 - Tn15 - Tz15), se recomienda el uso de esta última mezcla de sustratos como una alternativa a la mezcla de sustratos que utiliza tierra de monte. Es importante considerar que las soluciones nutritivas utilizadas no modifiquen los valores de pH ligeramente alcalinos y C.E. de 2.0 dS m^{-1} que presentó el tratamiento 2 (Mlc70 - Tn15 - Tz15) con la finalidad de que no afecten adversamente el desarrollo del cultivo. Para el cultivo de compasúchil, los sustratos con un contenido mayor de Mlc (85% y 100%) causaron un efecto adverso en las medidas de crecimiento del cultivo.

Asimismo, se debe considerar que el Mlc no tienen un proceso de maduración en su compostaje debido al periodo que dura su elaboración (las compostas maduras tardan al menos tres meses en ser elaboradas), lo que no permite la degradación de posibles sustancias fitotóxicas que pudieran estar presentes y generar un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, por lo que se recomienda en futuras investigaciones incluir análisis de derivados fitoquímicos provenientes de la materia prima que da origen a los materiales lignocelulósicos.

La investigación sobre sustratos deberá de ser fortalecida en cuanto a que su objetivo sea el proporcionar un medio ambiente adecuado para el crecimiento de las raíces y constituir un medio para el anclaje y soporte mecánico de la planta, considerando una diversidad de variables como el sistema de producción, condiciones a cielo abierto o invernadero, clima de la zona, especie a cultivar, métodos de riego y fertilización, así como costos que permitan el buen manejo durante su desarrollo y en post cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., P. Noguera, y S. Burés. (2001). *National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain*. *Bioresource Technology* 77:197–200. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00152-8)
- Acosta, C., Gallardo, S., Kampf, A. y F. Carvallo. (2008). *Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos*. *Investigación Agropecuaria*. 5(2): 93-106.
- Álcantar, G., Trejo, L., y F. Gómez (eds). (2016). *Nutrición de Cultivos*. Segunda Edición. México. Biblioteca Básica de Agricultura.
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S. y Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems –a review. *Scientia Horticulturae*. 212: 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
- Bin, Z., Huili, W., Shuihong, Y. y B. Lidong. (2013). Litter quantity confers soil functional resilience through mediating soil biophysical habitat and microbial community structure on an eroded bare land restored with mono *Pinus massoniana*. *Soil Biology and Biochemistry*. 57: 556-567. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.024>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Brito, L.M., Reis, M., Mourao, I. y J. Coutinho. (2015). *Use of Acacia waste compost as an alternative component for horticultural substrates*. *Communication Soil Science and Plant Analysis*. 46: 1814-1826. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1059843>
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. *Agrotécnicas* S. L. Madrid, España. 340 p.
- Burnett, S., Mattson, K. y K. Williams. (2016). Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. *Scientia Horticulturae*.1: 111-119.
- Carlile, W. R., and S. J. Hammonds. (2008). *Microorganisms of human health importance in growing media*. *Acta Horti*. 779:67–74.
- Carlile, W. R., Cattivelo, C., Zacheo, P., (2015). Organic growing media: constituents and properties. *Vadose Zone J*. 14, <http://dx.doi.org/10.2136/vzj2014.09.0125>
- Chander, R., Piyush, L. y A. Singh. (2011). *Composting of Lignocellulosic Waste Material for Soil Amendment*. In: A. Singh (ed.) *Bioaugmentations, Biostimulation and Biocontrol, Soil Biology*. Berlin, Germany. pp. 107-128 https://doi.org/10.1007/978-3-642-19769-7_6
- Cleary, J., Roulet, N. T., y T. R. Moore. (2005). Greenhouse gas emissions from Canadian peat extraction, 1990–2000: a life cycle analysis. *Ambio* 34: 456–461.
- Díaz, F., Sánchez, P., Sandoval, M., Quintero, R., Soto, M. y A. Martínez. (2006). Fenólicos solubles en sustratos de paja de trigo y su efecto en plántulas de brócoli. *Terra Latinoamericana*. 24: 327-335.

- Dunn, C., Freeman, C. (2011). Peatlands: our greatest source of carbon credits? *Carbon Manage.* 2 (3): 289–301.
- Gayosso, S., Borges, L., Villanueva, E., Estrada, M.A. y R. Garruña. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia.* 50: 617-631.
- Goodman, L. (1961). *Snowball Sampling. Annals of Mathematical Statistics.* 32: 245-268.
- Handreck, K. A. (2011). *Container media: the Australian experience. Acta Hort.* 891,287–295
- Hernández, T. M., Salcedo, E., Arévalo, G. y A. Galvis. (2006). Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 13(1): 5-13. <https://doi.org/10.5154/r.rchs-cfa.2009.08.028>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2008). Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Mapas. Fecha de consulta febrero de 2016. Página web: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf> <https://doi.org/10.17013/risti.26.43-53>
- Jaimes, M. I., Hernández, I. y A. Flores. (2024). Evaluación de un material lignocelulósico como sustituto de tierra de monte en la producción de *Euphorbia pulcherrima* cv. “Prestige Red”. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 24(47), 71-82. <https://doi.org/10.54767/srpma.v24n47.312>
- Kostova, I. y T. Iossifova. (2007). A Review: Chemical components of Fraxinus species. *Fitoterapia.* 78: 85-106 pp. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.08.002>
- Massa, D., Malorgio, F., Lazzereschi, S., Carmassi, G., Prisa, D., y G. Burchi. (2018). Evaluation of two Green composts for peat substitution in geranium (*Pelargonium zonale* L.) cultivation: Effect on plant growth, quality, nutrition and photosynthesis. *Scientia Horticulturae.* 228: 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.025>
- Medina, E., C. Paredes, M. D. Pérez-Murcia, M. A. Bustamante, y R. Moral. (2009). Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology* 100:4227–32. doi:10.1016/j.biortech.2009.03.055 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.055>
- Nejad, A. R., Ismaili, A. (2014). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *J. Sci. Food Agric.* 94 (5): 905–910.
- Ondóño, S., Martínez, J. y J. L. Moreno. (2015). Evaluating the growth of several Mediterranean endemic species in artificial substrates: Are these species suitable for their future use in green roofs?. *Ecological Engineering* 81: 405-417. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.079>
- Ordaz, C. (2010). *Caracterización física de sustratos. Primer curso nacional de sustratos.* Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. Página web: <http://www.cm.colpos.mx/montecillo/images/SUSTRATOS/02.pdf>

- Ostos, J. C., R. López, J. M. Murillo, y R. López. (2008). Substitution of peat for municipal solid-waste- and sewage-sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology* 99:1793–800. doi:10.1016/j.biortech.2007.03.033. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.033>
- Papafotiou, M., Phsyhalou, M., Kargas, G., Chatzipavlidis, I. y J. Chronopoulos. (2004). Olive mill wastes compost as growing médium component for the production of *Ponsettia*. *Scientia Horticulturae*. 102: 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.11.016>
- Pérez, J., Muñoz, A., De la Rubia, T. y E. Martínez. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int. Microbiol.* 5: 53-63. <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3>
- Pote, D., Burner, D. y J. Snider. (2012). *Pine straw harvesting effects on vadose-zone water content of a leadvale silt loam in western Arkansas*. *Journal of Sustainable Forestry*. 31: 230-238. <https://doi.org/10.1080/10549811.2011.582829>
- Rainbow, A. (2009). *The use of green compost in the production of container nursery stock in the UK: challenges and opportunities*. *Acta Hort.* 819: 27–32.
- Raviv, M. (2013). *SWOT analysis of the use of composts as growing media constituents*. *Acta Hort.* 1013:191–202.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. (Edición digital: INECOL 2010)
- Schmilewski, G. (2009). *Growing media constituents in the EU*. *Acta Hort.* 819, 33–45.
- Schmilewski, G. (2012). *The view from europe*. In: *HDC News, Growing Media Report*. Kenilworth, pp. 5–7.
- Sung, Y. y J. Chen. (2002). Hydrolysis of ligninocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology*. 83: 1-11.
- Trejo, L., P. María, Gómez, F., Rodríguez, M., Serrato, M. y Arévalo, Á. (2013). Cloruro de sodio sobre biomasa seca y absorción de cationes macronutrientes en cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4: 979-990.
- Urrestarazu, M. y S. Burés. (2009). Aplicación de cultivos sin suelo en la agricultura. *Hort. Inter.* 70: 10-15.
- Wilson, G.C.S. (1983). *The physio-chemical and physical properties of horticultural substrates*. *Acta Horticulturae*, 150:19-32.
- Xiaoqiang Gong, S. L., Xiangyang S., Li Wang, L. C., Junda Z. y W. Le. (2018). Green waste compost and vermicompost as peat substitutes in growing media for geranium (*Pelargonium zonale* L.) and calendula (*Calendula officinalis* L.). *Scientia Horticulturae*. 236: 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.051>

- Yeager, T. H., Fare, D. C., Lea, J., Ruter, J., Bilderback, T. E., y C. H. Gilliam. (2007). *Best management practices: Guide for producing container- grown plants*. 2nd ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA.
- Zarate, W., González, S., Ramírez, F., Robledo, A. y A. Juárez. (2018). Efecto de los ácidos fenólicos en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inoculadas con *Clavibacter michiganensis*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 20: 4367-4379.
- Zhang, L., Sun, X. Y. (2014). Effects of rhamnolipid and initial compost particle size on the two- stage composting of green waste. *Bioresour. Tec.* 163: 112-122. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.041