

Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral

Physical and chemical properties of substrates in function of its granulometry and organ-mineral component

Gabriela Mixquititla-Casbis¹ , Oscar Gabriel Villegas-Torres^{1*} , María Andrade-Rodríguez¹ , Héctor Sotelo-Nava¹ 

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Av. Universidad, 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor para correspondencia: voscar66@yahoo.com.mx

RESUMEN

Fecha de recepción:

23 de junio de 2020

Fecha de aceptación:

22 de noviembre de 2021

Disponible en línea:

25 de agosto de 2022

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercia-

CompartirIgual 4.0

Internacional

Existen materiales inorgánicos y orgánicos con potencial para ser empleados como sustratos en la producción agrícola; sin embargo, es fundamental conocer la influencia de la granulometría y material sobre las características físicas y químicas de los sustratos derivados de la combinación granulometría-material, pues ayudan en la disponibilidad de oxígeno, agua y nutrimentos para el buen desarrollo de las plantas. El objetivo fue cuantificar las propiedades físicas y químicas de sustratos en función de la granulometría (G1: $\geq 0.5 - < 1.0$ mm; G2: $\geq 1.0 - < 2.0$ mm; G3: $\geq 2.0 - < 3.36$ mm), material (turba, vermiculita, polvo de coco y composta), y la combinación granulometría-material. Las variables físicas estimadas fueron: la porosidad total, porosidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente, densidad de partículas; y las químicas: pH y conductividad eléctrica. En todas las variables evaluadas se manifestaron diferencias estadísticas significativas por efecto de la granulometría, material y en la combinación granulometría-material.

PALABRAS CLAVE

Turba, vermiculita, polvo de coco, composta.

ABSTRACT

There are inorganic and organic materials with the potential to be used as substrates in agricultural production; however, it is essential to know the influence of the granulometry and material on the physical and chemical characteristics of the substrates derived from the granulometry-material combination since they help in the availability of oxygen, water and nutrients for the proper development of plants. The objective was to quantify the physical and chemical properties of substrates as a function of granulometry (G1: $\geq 0.5 - < 1.0$ mm; G2: $\geq 1.0 - < 2.0$ mm; G3: $\geq 2.0 - < 3.36$ mm), material (peat, vermiculite, coconut powder and compost), and the combination of granulometry-material. The estimated physical variables were total porosity, aeration porosity, water retention capacity, apparent density, and particle density; and the chemical variables were pH and electrical conductivity. Significant statistical differences were manifested in all the variables evaluated due to the effect of granulometry, material, and in the combination of granulometry-material.

KEYWORDS

Peatmoss, vermiculite, coconut dust, compost.

INTRODUCCIÓN

Existen materiales tanto orgánicos como inorgánicos con potencial para ser utilizados en la elaboración de sustratos. En la elección del sustrato, se considera la especie vegetal a cultivar, la época, el sistema de cultivo, el costo del material, la disponibilidad en la región de producción y sus propiedades físicas y químicas (Ortega-Martínez et al. 2010).

Un sustrato está conformado por partículas sólidas y espacios libres, denominados poros, que conforman el espacio poroso total. Las propiedades físicas del sustrato están determinadas por la estructura interna de las partículas, el tipo de empaquetamiento y la granulometría, las cuales definen la capacidad de proveer agua y aire a las raíces. Desde un punto de vista físico, un buen sustrato debe ser liviano, poroso y con buena capacidad para almacenar agua (Pastor 1999; Pire y Pereira 2003; Martínez y Soriano 2014).

De acuerdo con Cruz-Crespo et al. (2013) y Villegas et al. (2017), algunas de las propiedades físicas más evaluadas en sustratos son: 1) densidad real o de partículas; 2) densidad aparente, la cual se expresa generalmente en g/cm^3 y mediante la cual se pueden estimar volumen y costo de transporte; 3) granulometría, es decir, la distribución de partículas según su tamaño; 4) espacio poroso total, espacio que está ocupado por agua y aire, y 5) capacidad de retención de agua. Es importante considerar la naturaleza de los materiales empleados y el tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento, porque las partículas con diámetro mayor de 0.5 mm incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua.

Las características químicas importantes de los sustratos son las siguientes: 1) capacidad de intercambio catiónico, 2) pH y 3) conductividad eléctrica (CE) (Cruz-Crespo et al. 2013; Andreau et al. 2015). Algunas propiedades biológicas que se determinan en materiales orgánicos son: 1) población microbiana y su relación con la presencia de sustancias reguladoras; 2) contenido de materia orgánica, y 3) estado y velocidad de descomposición (CO_2) (Burés 1997; Cruz-Crespo et al. 2013).

Martínez y Soriano (2014) mencionan que un material puede ser utilizado en estado puro o en mezcla para preparar sustratos si se conocen sus características físicas y químicas; de ahí la importancia

de evaluar las propiedades. Por otro lado, la mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos para conformar sustratos tiene el objetivo de generar las condiciones óptimas de porosidad, aireación, retención de agua, distribución granulométrica, estabilidad estructural, entre otras propiedades físicas y químicas; por lo tanto, es importante evaluar dichas características, porque de ellas depende el éxito del cultivo (García et al. 2001).

Respecto a los materiales usados como sustratos en hidroponía, se encuentran la turba, la vermiculita, la fibra y el polvo de coco, el tezontle y las compostas. La turba de musgo (*Sphagnum*) tiene propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el buen crecimiento de las plantas; por ello, es uno de los sustratos más utilizados, pero, por ser de importación, su costo resulta elevado y su disponibilidad en el mercado es irregular (Domínguez et al. 2012). En respuesta a esta situación, se ha incrementado el interés en diferentes sustratos, con la finalidad de dar soporte, anclaje y aireación a las plantas; entre los más usados se encuentran: lana de roca, vermiculita, fibra de coco y tezontle. Sin embargo, existen otros materiales locales con potencial de uso como sustitutos de la turba, tanto orgánicos como inorgánicos, que merecen ser evaluados por sus propiedades físicas (Fernández-Bravo et al. 2006; Mundo 2006; Bracho et al. 2009). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue cuantificar las propiedades físicas y químicas de algunos sustratos usados en sistemas hidropónicos en función de su granulometría y componente órgano-mineral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las propiedades físicas y químicas de cuatro componentes de sustratos —1. Turba Sunshine® (S1, testigo), 2. Vermiculita (S2), 3. Polvo de coco (S3); 4. Composta PROGAU-UAEM (S4)— se determinaron en el laboratorio de docencia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

Los componentes de sustrato se dejaron expuestos al ambiente dentro del laboratorio y, una vez secos, se procedió a homogenizar el material mediante la técnica del cuarteo descrita por Villegas et al. (2017). Del kilogramo de material seco se pesaron 100 g; éstos se hicieron pasar por tamices de diferente abertura durante 20 minutos, para obtener las granulometrías deseadas:

G1: $\geq 0.5 - < 1.0$ mm; G2: $\geq 1.0 - < 2.0$ mm; G3: $\geq 2.0 - < 3.36$ mm. En este procedimiento se usó una tamizadora modelo RX-812, serie 17-1505 de 115 Volts © 60Hz, 4.4 AMPS (W. S. Tyler Mentor, Ohio, Estados Unidos).

Cada una de las muestras separadas por granulometría se colocó dentro de un porómetro hasta su máxima capacidad; para ello, se siguió el procedimiento descrito por Villegas et al. (2017). De esta manera, se obtuvieron el volumen de agua drenado (Va), el peso húmedo (PH) y el peso seco (PS), para lo cual se colocó en una estufa modelo DHG9070A (Xi'an Heb Biotechnology, Shaanxi, China) a 105 °C por 72 h; estos datos se usaron para obtener las propiedades físicas evaluadas.

Diseño de tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar y el procesamiento de cada muestra se repitió cinco veces. La unidad experimental fue un porómetro, elaborado con tubo de PVC de 7.62 cm de diámetro (3 pulgadas) y 15 cm de longitud; la base del porómetro cuenta con cuatro orificios de 5 mm de diámetro, dispuestos en forma equidistante a lo largo del perímetro (Pire y Pereira 2003; Villegas et al. 2017).

VARIABLES EVALUADAS

De cada granulometría (G1, G2 y G3) se estimaron las propiedades físicas siguientes: porosidad total (PT, %), porosidad de aireación (PA, %), capacidad de retención de agua (CRA, %), densidad aparente (D_a , g/cm³) y densidad de partículas (D_p , g/cm³), con base en las fórmulas descritas por Pire y Pereira (2003). También se determinaron las propiedades químicas de acuerdo con Puerta et al. (2012): pH y CE. En ambos casos, se utilizaron 10 g de muestra en 50 mL de H₂O destilada, se agitó con una varilla de vidrio y, transcurrida una hora de reposo, se llevó a cabo la determinación en el sobrenadante. Para el pH se utilizó un potenciómetro y para el CE un conductímetro PC-18 (Conductronic, Puebla, México).

Análisis estadístico

A todos los datos se les realizó análisis de varianza con el paquete estadístico SAS® versión 9.2, y a los que

mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

Granulometría. Con relación a la granulometría de los componentes de sustrato, se observó que la PT (%) fue estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) para las tres granulometrías evaluadas. La PT promedio fue de 72.02 por ciento (Cuadro 1). Sin embargo, para las variables PA, CRA, D_a y D_p , sí se manifestaron diferencias significativas en función de la granulometría. Con la G1 (≥ 0.5 mm – 1.0 mm<), los valores de CRA (68.87%), D_a (0.18 g/cm³) y D_p (0.62 g/cm³) fueron los más altos, y disminuyeron conforme se incrementó el tamaño promedio de las partículas, lo cual indica que, mientras mayor sea el tamaño de partícula, se reduce la capacidad del sustrato para retener agua, por presentar poros más grandes en comparación con los sustratos con partículas sólidas de menor tamaño. Lo anterior se comprueba porque el componente de sustrato con G3, el PA, fue de 27.51 por ciento, es decir, que es superior con relación a granulometrías más pequeñas, al mismo tiempo que disminuyó la CRA a 44.21 por ciento (Cuadro 1).

En este ensayo se observó que, a medida que aumenta el tamaño de partícula, también aumenta la PA, y a su vez la CRA disminuye; por lo tanto, se puede decir que el tamaño de partícula afecta directamente la relación agua-aire en los sustratos. Al respecto, Verdonck y Demeyer (2004) señalaron la influencia que tiene el tamaño de partícula en las relaciones agua-aire en materiales puros y en mezclas, y recalcan que una misma fracción de diferentes materiales puede tener características físicas diferentes. Campos et al. (2009) también confirman el efecto directo de la distribución del tamaño de partícula sobre la disponibilidad de agua y aire en mezclas de perlita-compost y perlita-lombricomposta.

Componentes de sustrato. La turba (S1), vermiculita (S2), polvo de coco (S3) y composta (S4) presentaron algunas propiedades físicas diferentes desde el punto de vista estadístico ($p \leq 0.05$). El S1 tuvo los valores más altos en PT (77.53%), PA (18.21%)

y CRA (59.32%). El S3 también presentó valores estadísticamente similares que el S1, sólo en PT (75.51) y PA (18.38) (Cuadro 1). Estos datos coinciden con lo reportado por Cabrera (1999) para el sustrato ideal donde valores óptimos para el sustrato turba (*Sphagnum*) en porosidad total fueron de 70-85 por ciento, porosidad de aireación de 10-20 por ciento y capacidad de retención de agua de 55-70 por ciento.

El S2 presentó el menor valor de PA que fue de 10.53 por ciento en comparación con los otros componentes de sustrato (Cuadro 1). Este resultado difiere a lo hallado por López-Pérez et al. (2005), quienes determinaron las propiedades físicas de la vermiculita para encontrar valores en porosidad de aireación de 51 por ciento. Es probable que la diferencia radique en la granulometría de la vermiculita evaluada, puesto que no son similares.

El S3 presentó los valores más bajos de Da (0.069 g/cm³) y Dp (0.29 g/cm³), con relación al que manifestaron el S1, S2 y S4. Diversos autores han evaluado las propiedades físicas del polvo de coco; sin embargo, hay una gran diversidad de valores en las diferentes propiedades físicas, posiblemente debido a la falta de control en el tamaño de partícula de este material. Abad et al. (2005) reportaron una Da de 0.025 a 0.089 g/cm³ en polvo de coco, y Vargas et al. (2008), quienes evaluaron polvo de coco de siete diferentes comercializadores, indicaron que la Da fue de 0.075- 0.117 g/cm³ y Dp de 1.480-1.490 g/cm³.

El S4 mostró los valores más altos en Da (0.34 g/cm³) y Dp (1.03 g/cm³) (Cuadro 1). Al utilizar compostas es importante saber qué restos orgánicos dieron origen al material orgánico. Algunos restos, como los estiércoles, son transformados por las lombrices rápidamente, a diferencia de los restos de cosecha, los cuales, por contener mayor cantidad de fibra, tardan más tiempo en ser transformados, por lo que varían en su totalidad, tanto en sus propiedades físicas, como químicas y biológicas (Hernández et al. 2008).

Hernández et al. (2008) evaluaron las propiedades físicas de la vermicomposta de palma y encontraron que presenta una Da de 0.35 g/cm³ y Dp de 0.82 g/cm³; la Da coincide con lo hallado en este trabajo. Por su lado, Martínez y Soriano (2014) determinaron las características físicas de la turba canadiense y encontraron que presenta una densidad aparente de 0.25 g/m³, la cual difiere con la obtenida en este trabajo.

Como se puede observar, todos los materiales de origen orgánico y compostados presentan propiedades muy diferentes; sin embargo, en combinación con otros materiales y a partir de las fracciones granulométricas, es posible generar un sustrato con las condiciones óptimas para cada cultivo (Burés 1997).

Interacción granulometría-componente de sustrato.

En cuanto a la interacción granulometría-componente de sustrato, también se presentaron diferencias significativas en todas las variables. En la PT y CRA, la interacción G1S3 obtuvo los valores máximos, con un promedio de 79.86 y 76.69 por ciento, respectivamente. La PT es un dato básico e importante en la descripción del material, pero por sí sola nada dice respecto al tamaño de dichos poros. Por tanto, la relación agua-aire en los sustratos varía ampliamente de acuerdo con los tamaños de las partículas que predominen en su composición, siendo uno de los factores que definen el tamaño de los poros situados entre ellas. Es decir, que la distribución y tamaño de partículas, en combinación con el origen de los sustratos proporcionan diversas condiciones físicas para el desarrollo de las plantas (Verdonck y Demeyer 2004; Anicua et al. 2009). Por lo tanto, para crear un sustrato se necesita la combinación de diferentes granulometrías y componentes de sustratos, con la finalidad de que se generen las propiedades físicas requeridas para el crecimiento adecuado de las plantas (Urbina-Sánchez et al. 2006).

Propiedades químicas

Granulometría. En el Cuadro 2 se observa que se manifestó una tendencia a disminuir el pH conforme el tamaño de partícula se incrementó, al grado de que la diferencia fue significativa en el tamaño de partícula correspondiente al intervalo G3 (7.59) con respecto a G1 y G2. Es probable que dicho efecto esté relacionado con la superficie específica, es decir, entre menor superficie específica (G3), el pH será relativamente más ácido. La conductividad eléctrica fue estadísticamente similar, sin importar el tamaño de partícula. La concentración de sales solubles totales no fue modificada por la granulometría (Cuadro 2).

Componente de sustrato. El pH se modificó significativamente por la naturaleza química de los componentes de sustratos. En este sentido, el S1 presentó un pH ligeramente ácido de 6.77, mientras

que el S2 y S3 manifestaron un pH ligeramente alcalino de 7.09 y 7.17, respectivamente; también el S4 fue alcalino (9.99). Al respecto, Martínez y Soriano (2014) reportaron pH de 3.96 para la turba canadiense y pH de 6.97 para polvo de coco; López-Pérez et al. (2005) señalan pH de 7.0 para la vermiculita; Vargas et al. (2008) hallaron pH en un rango de 5.1-5.6 en polvo de coco, mientras que Abad et al. (2002) muestran diferentes rangos que van de 4.90-6.14 para el pH en polvo de coco, y para la turba un pH de 3.17. Por su parte, Hernández et al. (2008) encontraron pH de 7.42 en bagazo de agave composteado y pH de 8.52 en bagazo de agave vermicomposteado. Así, la diferencia entre el pH de los componentes de sustrato derivado de su origen orgánico y procedencia, así como el manejo durante el composteo hace obligatorio determinar esta propiedad en cada uno de los lotes que se van a utilizar en la preparación de sustratos.

Por orden descendente de concentración, la de mayor CE fue S3 ($0.73 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), le siguieron S1 ($0.47 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), S4 ($0.31 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y el de menor CE fue S2 ($0.10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Cuadro 2). Lo obtenido con el S1 es similar a Bracho et al. (2009), donde reportaron CE de $0.043\text{-}1.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en diferentes turbas comerciales. Sin embargo, López-Pérez et al. (2005) obtuvieron una CE de $0.19 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ al evaluar la vermiculita; Vargas et al. (2008) hallaron CE de $1.5\text{-}4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en polvo de coco; mientras que Martínez y Soriano (2014) encontraron CE para el polvo de coco de $3.23 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Hernández et al. (2008) señalaron CE de $1.59 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en bagazo de agave composteado y CE de $0.56 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en bagazo de agave vermicomposteado; lo determinado por estos autores es diferente a lo indicado en este trabajo.

Interacción granulometría-componente de sustrato. Con relación al efecto de la interacción granulometría-componente de sustrato sobre el pH se manifestaron diferencias significativas entre las 12 combinaciones (Cuadro 2). Sin embargo, de los sustratos generados, los que tuvieron el S4 presentaron pH de alcalinidad alta (9.97-10.01), mientras que con el S3 fueron ligeramente alcalinos (7.12, 7.13 y 7.26), en las tres granulometrías.

Cruz et al. (2010) mencionan que las compostas y vermicompostas suelen ser ligeramente más alcalinas por su actividad biológica, mientras que los sustratos inertes tienden a tener un pH más neutro. Según las normas de interpretación general para propiedades

químicas de sustratos analizados por el método de Extracto de Sustrato Saturado descrito por Warnecke y Krauskopf (1983), se considera pH bajo de 3-4, pH adecuado de 5-6 y un pH alto de 7 o más. Es importante proveer a la planta de un sustrato no sólo con un ambiente físico favorable, sino también uno químico, puesto que de ello dependerá el buen desarrollo radical y la absorción de los nutrimentos, ya que el pH influye en una baja o alta solubilidad de los macro y microelementos (Cabrera 1999).

En cuanto al efecto de la interacción granulometría-componente de sustrato sobre la CE, se manifestaron diferencias significativas. La interacción G1S3 mostró la CE más alta con $0.86 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y la interacción G3S2 presentó la CE más baja ($0.10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). El nivel de salinidad se mide por la conductividad eléctrica; por lo tanto, los sustratos pueden presentar cantidades elevadas de sales y así ocasionar problemas a la producción. Asimismo, un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad (Martínez y Soriano 2014).

Las recomendaciones generales que se dan en las normas de interpretación general para propiedades químicas de sustratos analizados por el método de Extracto de Sustrato Saturado (Warnecke y Krauskopf 1983) se mencionan como un nivel bajo de CE de $0\text{-}1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, nivel adecuado $1\text{-}2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y un nivel alto de más de $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por otra parte, los niveles óptimos de propiedades químicas deseables en sustratos analizados por el método de lixiviados propuesto por el programa de investigación en cultivos de vivero del Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos (Wright 1986) sugieren un nivel de $0.6\text{-}2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Sin embargo, es importante recalcar que los niveles deseables de pH, sales solubles y nutrimentos varían con respecto a la especie de planta, prácticas culturales y su manejo específico; otro dato significativo es considerar la calidad del agua de riego, es decir, su composición química, ya que está íntimamente vinculada al manejo de las propiedades químicas en un sustrato, y afecta en gran medida el pH del sustrato, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de toxicidades específicas y los niveles totales de sales solubles. Si bien hay ciertas medidas que pueden ayudar a disminuir los efectos de salinidad, como mantener el sustrato húmedo, nunca hacer aplicaciones de fertilizante granular o soluciones

nutritivas concentradas cuando el sustrato esté seco, y reducir la demanda evaporativa usando malla sombra o elevando la humedad relativa (Cabrera 1999).

CONCLUSIONES

Las propiedades físicas y químicas de los sustratos son modificados tanto por la granulometría como por el tipo de material (orgánico o inorgánico), al igual que por la combinación granulometría-material; por lo tanto, es posible generar sustratos con propiedades físicas y químicas específicas para el desarrollo de las plantas a través de la combinación de materiales orgánico e inorgánicos en diferentes granulometrías. Conforme se incrementa el tamaño de partícula, se reduce la capacidad del sustrato para retener agua.

El pH disminuye al aumentar el tamaño de partícula.

LITERATURA CITADA

- Abad M, Noguera P, Puchades R, Maquieira A, Noguera V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82: 241-245. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00189-4)
- Abad M, Fornes F, Carrión C, Noguera P, Maquieira A, Puchades R. 2005. Physical properties of various coconut coir dust compared to peat. *HortScience* 40: 2138-2144. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.7.2138>
- Andreau R, Giménez D, Beltrano J. 2015. Soluciones nutritivas II en cultivos hidropónicos. En: Beltrano J, Giménez DO, editores. *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires, Editorial de la Universidad de la Plata. P. 91-108.
- Anicua R, Gutiérrez MdelC, Sánchez P, Ortiz C, Volke VH, Rubiños JE. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México* 35: 147-156.
- Bracho J, Pierre F y Quiroz A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 21: 117-124.
- Burés S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España.
- Cabrera RI. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 5-11.
- Campos L, van Meeteren U, Blok C. 2009. Comparison of the physical properties of vermicompost from paper mill sludge and green compost as substitutes for peat-based potting media. *Acta Horticulturae* 819: 227-234. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.819.25>
- Cruz E, Sandoval M, Volke V, Ordaz V, Tirado JL, Sánchez J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28: 219-229.
- Cruz-Crespo E, Can-Chulim A, Sandoval-Villa M, Bugarín-Montoya R, Robles-Bermúdez A, Juárez-López P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2: 17-26. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.03>
- Domínguez E, Bahamonde N, Muñoz-Escobar C. 2012. Efectos de la extracción de turba sobre la composición y estructura de una turbera de *Sphagnum* explotada y abandonada hace 20 años, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 40: 37-45. <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2012000200003>
- Fernández-Bravo C, Urdaneta N, Silva W, Poliszuk H, Marín M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cv. Rio Grande sembradas en bandejas plásticas utilizando distintos sustratos. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 23: 188-195.
- García O, Alcántar G, Cabrera RI, Gavi R, Volke V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19: 249-258.
- Hernández JA, Guerrero F, Mármol LE, Bárcenas JM, Salas E. 2008. Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia* 33: 668-671.
- López-Pérez L, Cárdenas-Navarro R, Lobit P, Martínez-Castro O, Escalante-Linares O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 171-174.
- Martínez R, Soriano AR. 2014. Propiedades físicas y químicas de los sustratos. Folleto Técnico 11. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Colima, México.
- Mundo J. 2006. *El vivero ornamental*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.

- Ortega-Martínez LD, Sánchez-Olarte J, Ocampo-Mendoza J, Sandoval-Castro E, Salcido-Ramos BA, Manzo-Ramos F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6: 339-346.
- Pastor JN. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17: 231-235.
- Pire R, Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15: 55-64.
- Puerta CE, Russián T, Ruiz CA. 2012. Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 298-306.
- Urbina-Sánchez E, Baca-Castillo GA, Núñez-Escobar R, Colinas-León MT, Tijerina-Chávez L, Tirado-Torres JL. 2006. Cultivo hidropónico de Plántulas de jitomate en zeolita cargada con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} y diferentes granulometrías. *Agrociencia* 40: 419-429.
- Vargas P, Castellanos JZ, Sánchez P, Tijerina L, López R, Ojodeagua JL. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 375-381.
- Verdonck O, Demeyer P. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae* 644: 99. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.10>
- Villegas OG, Domínguez ML, Albavera M, Andrade M, Sotelo H, Martínez MG, Aguilar M, Castillo C, Magadan MdelC. 2017. Sustrato como material de última generación. Omnia Publisher SL. Barcelona, España.
- Warnecke DD, Krauskopf DM. 1983. Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines. Extension Bulletin E-1736. Michigan State University. Lansing, Michigan.
- Wright RD. 1986. The pour-through nutrient extraction procedure. *HortScience* 21: 227-229.

Cuadro 1. Efecto de la granulometría, el componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta) y la combinación granulometría-componente de sustrato sobre las propiedades físicas.

		PT*	PA	CRA	Da	Dp	
Granulometría (G)							
	G1 ⁺	72.11a [#]	3.23c	68.87a	0.18a	0.62a	
	G2	72.24a	15.43b	56.81b	0.16b	0.54b	
	G3	71.72a	27.51a	44.21c	0.13c	0.46c	
	DMSH	2.96	2.89	0.95	0.0045	0.020	
Componente de sustrato (S)							
	S1 ^{&}	77.53a	18.21a	59.32a	0.095c	0.42b	
	S2	68.44b	10.53c	57.91b	0.13b	0.41b	
	S3	75.51a	18.38a	57.13b	0.069d	0.29c	
	S4	66.61b	14.44b	52.17c	0.34a	1.03a	
	DMSH	3.76	3.67	1.21	0.0057	0.026	
G x S							
	G1	S1	77.05abc	2.32f	74.72a	0.11ef	0.51d
	G1	S2	65.14d	3.92f	61.22bc	0.14d	0.41e
	G1	S3	79.86a	3.17f	76.69a	0.08gh	0.40ef
	G1	S4	66.39d	3.53f	62.85b	0.38a	1.14a
	G2	S1	76.86abc	21.22cd	55.64d	0.09g	0.41ef
	G2	S2	69.91dc	9.68ef	60.22bc	0.13e	0.42e
	G2	S3	75.62abc	15.78de	59.84c	0.07h	0.28g
	G2	S4	66.57d	15.02de	51.54e	0.34b	1.042b
	G3	S1	78.69ab	31.08ab	47.60f	0.07h	0.35f
	G3	S2	70.27adc	17.98cd	52.28e	0.11f	0.39ef
	G3	S3	71.05adc	36.19a	34.86h	0.05i	0.21h
	G3	S4	66.89d	24.77bc	42.11g	0.29c	0.90c
	DMSH		8.42	8.21	2.71	0.0127	0.059
	CV		5.38	24.58	2.20	3.66	5.04

*PT: porosidad total; PA: porosidad de aireación; CRA: Capacidad de retención de agua; Da: densidad aparente (g/cm³); Dp: densidad de partículas (g/cm³).

⁺Granulometría (mm). G1: $\geq 0.5 - <1.0$; G2: $\geq 1.0 - <2.0$; G3: $\geq 2.0 - <3.36$.

[&]S1: turba; S2: vermiculita; S3: polvo de coco; S4: composta.

[#]Medias con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 2. Efecto de la granulometría, componente de sustrato (turba, vermiculita, polvo de coco y composta), y de la interacción granulometría-componente de sustrato sobre las propiedades químicas.

		*pH	CE (dS·m ⁻¹)
Granulometría (G)			
	G1 [†]	7.91a	0.42a
	G2	7.76a	0.36a
	G3	7.59b	0.44a
	DMSH	0.153	0.101
Componente de sustrato (S)			
	S1 [‡]	6.77c	0.47b
	S2	7.09b	0.10d
	S3	7.17b	0.73a
	S4	9.99a	0.31c
	DMSH	0.195	0.128
G x S			
G1	S1	6.70ed	0.34cd
G1	S2	7.83b	0.12d
G1	S3	7.12cd	0.86a
G1	S4	10.01a	0.33cd
G2	S1	6.93cd	0.28cd
G2	S2	7.00cd	0.10d
G2	S3	7.13c	0.76ab
G2	S4	9.99a	0.31cd
G3	S1	6.69ed	0.80ab
G3	S2	6.43e	0.10d
G3	S3	7.26c	0.56bc
G3	S4	9.97a	0.29cd
	DMSH	0.436	0.287
	CV	2.59	32.35

*CE: Conductividad eléctrica

[†]Granulometría (mm). G1: ≥ 0.5 – 1.0<; G2: ≥1.0 – 2.0<; G3: ≥2.0 – 3.36<.

[‡]S1: turba, S2: vermiculita; S3: polvo de coco; S4: composta.

[§]Medias con letras iguales en columna son estadísticamente similares (Tukey; $p \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación (%).