

SUSTRATOS EN LA HORTICULTURA

SUBSTRATES IN HORTICULTURE

Cruz-Crespo E*, Can-Chulim A, Sandoval-Villa M,
Bugarián-Montoya R, Robles-Bermúdez A, Juárez-López P

Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit.
Carretera Tepic-Compostela Km 9. Apdo. Postal 49, C.P. 63780. Xalisco, Nayarit, México.

Recibido: 11 de julio de 2012
Aceptado: 13 de septiembre de 2012

Resumen

El presente artículo presenta un bosquejo general de los sustratos de uso hortícola, las ventajas, los factores a considerar en su elección y las propiedades físicas, químicas y biológicas que se deben evaluar. Esto porque en la actualidad, los sustratos representan un componente importante en la agricultura moderna, específicamente en los sistemas semi-hidropónicos de especies hortícolas. Se concluye, que existe una gran diversidad de materiales que pueden utilizarse como sustratos agrícolas, pero existen criterios que deben considerarse para su elección como: requerimientos de las plantas, que se ajusten en lo posible a las características ideales de un sustrato, así como efecto en el medio ambiente.

Palabras clave: Vermicompost, jal, tezontle, propiedades.

Abstract

This article shows a general outline of horticultural substrates usage, advantages of its use and, factors to be considered in their choice; as well as the physical, chemical and biological properties that need to be assessed. This is because today, substrates are an important component in modern agriculture,

specifically in the semi-hydroponic vegetable species systems. It could be concluded that there is great diversity of materials that can be used as agricultural substrates, however, there are criteria to be considered for its election such as: plant requirements that better adjust the ideal characteristics of a substrate and environmental effect.

Key words: Vermicompost, jal, tezontle, properties.

Introducción

En los últimos 10 años la agricultura protegida ha cobrado gran importancia a nivel mundial. Tal es el caso de la producción en condiciones de invernadero, que registra una tasa de crecimiento anual de 20 % (Castellanos, 2009).

Un aspecto importante en la producción en invernadero es el medio que se utiliza para el crecimiento de la planta, que puede ser el suelo o un sustrato orgánico o inorgánico.

Una de las ventajas que representa el uso de los sustratos regionales es la disponibilidad y menor costo, y más aun los de origen orgánico dada la tendencia al manejo de sistemas de producción con enfoque sustentable (Porter-Humpert, 2000).

***Autor Corresponsal:**

Cruz-Crespo E. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km.9, Apdo. Postal 49, C.P. 63780, Xalisco Nayarit, México. Tel: +52 (311) 2 11 0128. Correo Electrónico: ccruz2006@yahoo.com.mx

En las regiones de México hay diversas actividades tales como la minera, la industrial y la agropecuaria, que producen materiales de desecho, los cuales pueden ser explotados como sustratos, aunque algunos de ellos deban de pasar por un proceso de acondicionamiento previo a su utilización. Sin embargo, dado el escaso conocimiento sobre la utilidad para la producción agrícola de diversos materiales en algunas regiones del país su explotación es escasa, por lo que es importante difundir qué es un sustrato así como los requerimientos a considerar para su uso y las ventajas del mismo. Es importante enfatizar que antes de decidir por el uso de un sustrato se debe caracterizar, es decir, analizar sus diferentes propiedades; también, se deben considerar diversos factores como el físico, económico y ecológico. Por tanto, el objetivo del presente documento es presentar un bosquejo general de los sustratos, señalar principalmente las ventajas en su uso, factores a considerar en su elección, propiedades físicas, químicas y biológicas que se deben evaluar, y los tipos de sustratos.

Definición de sustrato

Sobre el término sustrato aplicado a la horticultura, existen diversas definiciones. Burés (1997) señala que sustrato es cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores, donde se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga altura limitada. Por su parte, Abad *et al.*, (2004) señalan que sustrato es todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que este puede intervenir o no en la nutrición vegetal.

Por otro lado, Röber (2000) señala que un sustrato hortícola es la tierra para las plantas, como las mezclas a base de turbas y otros materiales, que sirven de ambiente para las raíces. Kämpf *et al.*, (2006) definen como sustrato para plantas al medio poroso donde se desarrollan las raíces, relacionadas con el cultivo en recipientes fuera del suelo *in situ*.

En general, podemos resumir que un sustrato para el cultivo de plantas es todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las mismas, o en su caso nutrientes, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor.

Inicio del uso de los sustratos

Hoy en día se piensa que la técnica del cultivo sin suelo, la cual incluye a los sustratos, es una forma de producción moderna, sin embargo, ésta es una técnica que data desde aproximadamente 4000 años (Raviv y Lieth, 2008). De acuerdo con Burés (1997), el desarrollo de los sustratos hortícolas tuvo su origen en el cultivo en contenedor o maceta. Desde que se introdujo el cultivo en contenedor, se planteó la necesidad de un cambio conceptual con respecto al cultivo tradicional, apareciendo los sustratos, en sus distintas variantes para sustituir al suelo. El cultivo en maceta tiene probablemente el mismo origen que la jardinería. Raviv y Lieth (2008) señalan que en la cultura egipcia, ca. 4000 años de antigüedad, se dibujaron murales en el templo de Deir Al Bahariace que muestran el cultivo de árboles en contenedores de madera o piedra. También, se mencionan que dadas las condiciones de suelos del lugar los árboles eran transportados de su lugar de origen al interior del palacio, por lo que utilizaron probablemente medios de crecimiento más ligeros que el suelo, dado que se recorrían grandes distancias.

Por otra parte, Abad *et al.*, (2004) mencionan que fue en Europa durante la década de los 60's donde ocurrieron cambios notables en las técnicas culturales en la producción vegetal y junto con estos se sustituyó paulatinamente el cultivo tradicional en el suelo por el cultivo hidropónico y en sustrato. Posteriormente, se expandieron en Estados Unidos.

Existen diversas razones que justificaron el uso del cultivo en sustratos entre las que se encuentran: 1) la necesidad de trans-

porte de plantas de un lugar a otro, 2) problemas del cultivo intensivo por agotamiento de los suelos agrícolas, salinidad y enfermedades.

Actualmente, debido a aspectos relacionados con la conservación del medio ambiente la concepción del uso de los sustratos cambió, por lo que hay otros factores a considerar al seleccionar un material como sustrato tal como: agua, suelo y reciclaje de materiales de desecho.

En general, al cultivo sin suelo, en el que se incluye el uso de los sustratos, se considera como una técnica agronómica amigable con el medio ambiente y con el ser humano, dado que mediante estos sistemas de producción, además de obtener rendimientos altos y productos de calidad, se logra un producto sano.

La necesidad del uso de materiales para sustratos ha dado auge a las investigaciones a nivel mundial, donde España destaca por la amplia experiencia en este tema, lo cual se puede constatar por las investigaciones publicadas. No obstante, un inconveniente en lo que respecta a la caracterización de sustratos es la falta de estandarización en las metodologías para tal fin, lo cual dificulta la comparación de resultados de un laboratorio a otro.

Ventajas del uso de los sustratos

Una de las ventajas del uso de sustratos lo constituye el menor control de plagas y enfermedades de la raíz de diversidad de plantas hortícolas, las cuales son comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento. Para el sistema de cultivo en suelo se han desarrollado diversos métodos de desinfección con la finalidad de incrementar rendimiento y calidad de producto. Entre estos se encuentran: la solarización, vaporización, con el objeto de evitar el uso de moléculas químicas complejas y tóxicas como el bromuro de metilo, metam sodio, entre otros (Chávez *et al.*, 2009). No obstante, la solarización y vaporización, y los métodos químicos son poco rentables por la superficie a desinfectar así como la cantidad de mano de obra que se necesita para llevar-

las a cabo, sin garantizar esto un suelo 100 % libre de fitopatógenos. Por otra parte, en los últimos años la preocupación del consumidor por el cuidado del medio ambiente así como por adquirir productos de calidad llevaron a la prohibición del uso de ciertos productos para la desinfección del suelo, tal como el bromuro de metilo. La presencia de suelos improductivos por sobreexplotación, heterogeneidad, así como por carecer de características físicas y químicas apropiadas para la agricultura, ha llevado a desarrollar las técnicas de cultivo de plantas en maceta o contenedor.

La problemática asociada al manejo de los desechos sólidos, la necesidad de reducir la superficie destinada a los vertederos y la búsqueda de alternativas para el reciclaje de los desechos de origen orgánico, afectan a la sociedad en general (Hidalgo *et al.*, 2009). En tal sentido, la transformación de los desechos en sustratos y el uso adecuado de los mismos para fines hortícolas surge como una alternativa viable, técnica y económica.

Los desechos orgánicos transformados en sustratos mediante técnicas tales como el compostaje o vermicompostaje proveen propiedades adecuadas para el crecimiento de los cultivos, como la reducción del tamaño de partícula que lleva a una mayor retención del agua por el sustrato, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y mejora la capacidad de aireación, las cuales dependerán de la naturaleza de los materiales (Frederickson *et al.*, 2007; Acevedo y Pire, 2007).

Criterios para la selección de sustratos

Para elegir un material como sustrato se deben considerar varios aspectos para que el crecimiento de las plantas sea el óptimo. Dentro de los criterios más importantes se encuentran:

1. Que posea propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el crecimiento.
2. Se debe considerar la relación beneficio/costo.
3. Disponibilidad en la región o zona.

4. Facilidad de manejo o compatibilidad, en el caso de realizar mezclas de materiales.

El costo de los sustratos es variable y dependerá del tipo de sustrato, lugar de procedencia, así como de su disponibilidad. Al respecto, Fernández *et al.*, (2006) señalan que el sustrato constituye uno de los conceptos de mayor costo en la producción de hortalizas, por lo que es un punto de suma importancia.

No obstante, una manera de reducir los costos por el concepto de sustratos es llevar a cabo mezclas de diferentes materiales, lo cual también puede contribuir en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas (si es el caso) de un material determinado, lo cual debe constatare mediante el análisis de laboratorio respectivo.

Actualmente, existe preocupación mundial por reducir la contaminación y conservar los recursos naturales (Grigatti *et al.*, 2007). Dada esta situación se han considerado otros factores para la selección de sustratos como:

1. Que presenten supresividad respecto a patógenos.
2. Que sean reciclables.
3. Que eviten el lavado de nutrientes.
4. Que optimicen el consumo del agua.

5. Evitar que causen daño al ambiente.
6. Que estén libres de patógenos.

Un material o sustrato que puede cumplir con estas características son los materiales compostados o vermicompostados (Villa *et al.*, 2008) (Figura 1); sin embargo, los resultados pueden variar de acuerdo a los materiales utilizados en su elaboración así como del grado de descomposición y el cuidado durante el proceso.

Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Los materiales que son utilizados como medios de crecimiento o sustratos para la producción de plantas en contenedores o macetas, tienen la función de servir de soporte a la planta, y proveer de agua, aire y nutrientes para el adecuado desarrollo de raíces y parte aérea (Burés, 1997). Para cumplir con estos aspectos, el sustrato debe cumplir con ciertos requerimientos en sus propiedades físicas y químicas, y biológicas si es el caso de materiales orgánicos.

No obstante se ha observado que las propiedades físicas cobran mayor relevancia respecto de las demás, dado que estas una vez colocado el material vegetal en la maceta es difícil mo-



Figura 1. Vermicompost elaborado a partir de los materiales hueso de mango, estiércoles diversos, cenizas resultantes de la quema de la caña de azúcar, bagazo de caña de azúcar, en el ejido de Pantanal, municipio de Xalisco, Nayarit. Al fondo de la imagen A se muestran las pilas composteras con lombriz roja californiana. (Fotos: Cruz-Crespo E.).

dificarlas positivamente (Abad *et al.*, 2004). Dicho de otra manera, debe procurarse que el material a utilizar posea las características físicas de mayor valor posible al inicio del ciclo del cultivo, ya que conforme pase el tiempo estas podrán disminuir, dado el manejo. Esto dependerá del requerimiento de un cultivo en particular y también del objetivo que se persiga, por ejemplo, si se va a destinar para producción de trasplantes, o si se va a producir plantas de ciclo corto o largo. Por otra parte, la estabilidad o degradación del material a través del tiempo durante el crecimiento del cultivo es un aspecto más a considerar (Pinamonti *et al.*, 1997).

Las propiedades físicas que usualmente se determinan son el espacio poroso total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real (Baixauli *et al.*, 2002):

Espacio poroso total: Es el total de espacio que no está ocupado por el material sólido que se agrega en la maceta o contenedor y que puede estar ocupado por agua y aire, denominado también como capacidad de retención de agua y capacidad de aire, respectivamente. El espacio poroso total debe ser mayor a 85 %.

Capacidad de aire o porosidad de aire: Se refiere a la proporción de aire en el medio de crecimiento o sustrato y es importante conocerla, ya que las diferentes especies a cultivar tienen diferentes requerimientos o necesidades de aireación. Para algunos autores es la propiedad más importante a evaluar. Hasta el momento no existe consenso entre los autores de cuál es el valor óptimo; algunos autores aceptan que este debe estar comprendido entre 10 y 35 % para sustratos en maceta, mientras que otros señalan que debe situarse entre 20 y 30 %. Esta variable depende del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento así como de la forma, naturaleza de los materiales y altura del contenedor. Por ejemplo, si el tamaño de partícula incrementa en el contenedor o maceta disminuye la cantidad de agua retenida e incrementa el espacio poroso total.

Capacidad de retención del agua:

Es una propiedad importante a evaluar en los sustratos a utilizar y se refiere a la cantidad de agua retenida por el sustrato, y corresponde a la cantidad de agua en el sustrato después de haber drenado, después de que fue agregada al contenedor o maceta. Esta variable depende del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento así como de la naturaleza de los materiales empleados. Ansorena (1994) señala que tamaño de partícula menor a 0.5 mm, presenta la máxima influencia en la porosidad de aire y en la retención de agua, dado que la disminuye e incrementa, respectivamente. Así, partículas mayores a 0.5 mm incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua. Por tanto, el tamaño de partícula se tendrá que modificar o seleccionar adecuadamente para obtener propiedades físicas óptimas.

Densidad aparente: Se define como la masa seca contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo, depende del grado de compactación y del tamaño de partícula. Es importante determinarla, ya que a través de esta se pueden evaluar volúmenes y costos de transporte por volumen de material.

Densidad real: Se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos, no depende del grado de compactación, ni del tamaño de partícula.

En lo que se refiere a las propiedades químicas, los sustratos orgánicos son los que contribuyen en mayor grado a estas propiedades. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), disponibilidad de nutrientes, salinidad y la relación C/N son las más importantes. Alarcón (2000) señala que las propiedades químicas de un sustrato establecen la transferencia de materia entre el sustrato y la disolución, siendo de notable importancia en los materiales orgánicos.

La CIC es una medida de la capacidad de retención de nutrientes, que depende fundamentalmente del pH y del contenido y composición de la materia orgánica y arcilla

de la fase sólida, la cual incrementa conforme lo hace el pH (Abad *et al.*, 2004).

Capacidad de amortiguamiento del pH. Esta propiedad depende del tipo de sustrato (orgánico o inorgánico) en general, los materiales orgánicos con elevada CIC, la capacidad de amortiguamiento ante cambios de pH es mayor.

Nutrimientos. El contenido nutrimental entre sustratos es notoriamente variable, pero los materiales compostados, en su mayoría, son los que presentan elevado nivel de nutrientes asimilables en comparación a otros como la corteza de pino, o bien con los sustratos inorgánicos que por lo general son inertes.

Salinidad. Esta se refiere a la concentración de sales solubles en la solución del sustrato, la cual suele ser elevada en sustratos orgánicos. Además de que existen sustratos, principalmente los de tipo orgánico, con alguna concentración natural de sales como es el caso de la fibra de coco. Por tanto, en el cultivo en sustrato es mayor la probabilidad de acumulación de sales en comparación al suelo.

Las propiedades biológicas se evalúan en los sustratos orgánicos ya que son susceptibles de sufrir descomposición previa a ser empleados o durante su permanencia en la bolsa en vivero. Por esta razón, es importante determinar las características biológicas de los mismos, tales como población microbiana y su relación con la presencia de sustancias reguladoras y evolución del CO₂ como un indicador de la velocidad de descomposición, las cuales aportarán mayor garantía de calidad al sustrato (Villasmil, 2008).

El suelo como sustrato

Al inicio del uso del cultivo en maceta o contenedor uno de los primeros medios de crecimiento utilizados fue el suelo mineral, pero gracias a la evolución de estos el suelo se ha ido sustituyendo por otros materiales como la turba.

De acuerdo a la definición del término sustrato el suelo puede usarse como tal, más la creciente sensibilidad hacia el cuidado de los recursos no renovables y los diferentes problemas que el suelo puede traer como: presencia de fitopatógenos, presencia de semillas indeseables, posible deterioro, suelos heterogéneos, contaminados o infértiles, debería analizarse mejor la idea de utilizar el suelo para tal fin, ya que uno de los objetivos del uso de los sustratos es mejorar las condiciones de crecimiento de la planta de interés. En este sentido autores como Raviv *et al.*, (2008) indican que algunos sustratos pueden incluir arcillas y arenas como componentes, pero no suelo directamente.

Las propiedades físicas son un importante factor de elección de un material como sustrato, ya que el volumen de un contenedor es reducido y por tanto, las propiedades físicas, o dentro de ellas las relaciones agua-aire cobran gran importancia; de ahí que se considere que un buen sustrato deba tener más del 85 % de porosidad total (Abad *et al.*, 2004). En el suelo el espacio poroso total generalmente no supera el 50 % aunado a contenidos hídricos altos, presenta escasa proporción de poros con aire (menos del 10 %), que lo convierten en un material poco adecuado para el uso en contenedores.

En ocasiones un material por si mismo no cumple con las mejores características para el crecimiento adecuado de la planta, por lo que hay necesidad de realizar mezclas de materiales (Zamora *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2010). Por tanto, dado el tamaño de partícula de los suelos se consideran poco propicios para la elaboración de mezclas de materiales.

Otro aspecto importante es la menor proporción de la fase sólida del sustrato respecto del suelo (consecuencia de su elevada porosidad), lo que implica que en un volumen determinado de sustrato habrá más espacio disponible para el agua y aire que en el mismo volumen de suelo (Ansorena, 1994).

Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, sin embargo de acuerdo a Abad *et al.* (2004) los sustratos se pueden clasificar como materiales orgánicos e inorgánicos.

Materiales orgánicos. Los materiales orgánicos a la vez se pueden subdividir en:

1. De origen natural (turba o peat moos).
2. De síntesis (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
3. Residuos y subproductos de diferentes actividades, aunque este tipo de materiales deben ser previamente acondicionados mediante un proceso de compostaje o vermicompostaje. Entre algunos ejemplos de este tipo de materiales se encuentra el bagazo de caña (Figura 2), bagazo de agave, aserrín o serrín, corteza de arboles, orujo de uva, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, cascarilla de arroz, paja de cereales, fibra y polvo de coco, entre otros.

Materiales inorgánicos o minerales. Estos materiales también se subdividen en:

1. De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, como por ejemplo: rocas de tipo volcánico como el jal (Figura 3), tezontle (Figura 4), piedra pómez, arena, grava.
2. Materiales transformados o tratados industrialmente. Son obtenidos a partir de rocas o minerales mediante tratamientos físicos y a veces químicos, que modifican las características de los materiales de partida. Algunos ejemplos de estos son la perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca.
3. Residuos y subproductos industriales, como las escorias de horno alto, estériles de carbón.

Una desventaja que presentan los materiales orgánicos en relación a los inorgánicos es que son susceptibles de continuar su descomposición en mayor o menor medida en el contenedor, lo cual dependerá del buen o mal proceso de compostaje o ver-



Figura 2. Ingenio El Molino y montículo de bagazo de caña de azúcar, Tepic Nayarit, México (Foto: Can-Chulim A.).

micompostaje, que puede afectar el volumen del sustrato. Esto es un aspecto importante en el cultivo de plantas, al igual que la contracción de volumen de un sustrato, ya que este último facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, afectando también la eficiencia del riego y la fertilización (Abad *et al.*, 2004).

tando también la eficiencia del riego y la fertilización (Abad *et al.*, 2004).

Por otra parte, si el material orgánico no fue procesado adecuadamente durante el composteo los componentes de este



Figura 3. Mina de jal en el municipio de Xalisco, Nayarit, México. (Foto: Cruz-Crespo E.).

secuestrarán el N a medida de la descomposición de la celulosa. Razón por la que se recomienda que los materiales orgánicos como las compostas o vermicompostas, cuenten con una relación C/N no mayor de 40 (Sullivan *et al.*, 2005; Jim *et al.*, 2007).

En México uno de los sustratos orgánicos más empleados específicamente en la producción de planta para trasplante, es el *peat moss* o también denominado turba, el cual es un material fosilizado y considerado como un recurso no renovable (Hanson, 2003). Sin embargo, el uso de este material constituye un costo importante en la producción de cultivos en contenedor, el cual es más marcado entre mayor sea el tamaño de éste, ya que en México es un producto de importación de alto costo (García *et al.*, 2001; Favaro *et al.*, 2002). Algo similar ocurre con la perlita y la vermiculita.

En México, de los materiales minerales de tipo natural ampliamente utilizados como sustrato para la producción de diversos cultivos de hortalizas y flores en contenedor es la roca volcánica o también conocida como tezontle, dada la disponibilidad y el bajo costo. Sin embargo, el tamaño de partícula y su proporción pueden influir sobre las propiedades físicas (Vargas *et al.*, 2008).

Es importante señalar que los materiales destinados para ser utilizados como sustratos, aun siendo de un mismo tipo de material sus propiedades físicas, y si es el caso químicas y biológicas, pueden variar de un lugar a otro, por lo que será necesario caracterizarlos previamente antes de colocarlos en el contenedor o maceta. Un ejemplo claro de esto es el tezontle, donde aun en la misma mina podemos encontrar partículas de tezontle con diferentes características (Figura 4).



Figura 4. Mina de tezontle ubicada en el ejido de La Labor, Santa María del Oro, Nayarit, México. (Foto: Cruz-Crespo E.).

Conclusiones

Existen diversos materiales que pueden utilizarse como sustratos o medios de crecimiento para el cultivo de plantas, estos pueden ser orgánicos o inorgánicos, cuyas características pueden variar según la región. El uso de estos materiales presenta diversas ventajas tales como el cuidado del suelo y el agua; no obstante, se deben considerar diversos criterios para la selección de un material, ya que esto es de relevancia para el buen crecimiento de la planta, así

como para la economía del productor. No solo se trata de tomar un material y colocarlo en un contenedor, si no que se requiere de una secuencia de análisis, priorizando a las propiedades físicas, químicas y a otros aspectos relacionados con el cuidado del ambiente. En general para tomar la decisión de utilizar un material como sustrato se debe considerar el costo, disponibilidad, respeto por el ambiente y que los resultados de la caracterización física, química y biológica se ajusten en lo posible a las características ideales para el crecimiento y desarrollo del cultivo por establecer.

Literatura citada

- Abad-Berjon M, Noguera-Murray P, Carrión-Benedito C. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Madrid: Mundi Prensa, 2004. 113-158.
- Acevedo IC, Pire R. Caracterización de sustratos agrícolas enmendados con lombricompost. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología 2007; 25: 1-9.
- Alarcón AL. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. España: Novedades Agrícolas, 2000. 459.
- Ansorena MJ. Sustratos. Propiedades y caracterización. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 171.
- Baixauli-Soria C, Aguilar-Oliver JM. Cultivo sin suelo de hortalizas. Serie de divulgación técnica no. 53. Generalitat Valenciana 2002; 110.
- Burés S. Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1997. 342.
- Castellanos J. Manual de producción de tomate. Celaya: Editorial Intagri, S.C., 2009. 459.
- Chávez-Aguilera N, Romantchik Kriuchkova E, Gracia López C, Velázquez Borja M. Desinfección en estático con calor de sustratos. Ingeniería Agrícola y Biosistemas 2009; 1: 127-136.
- Cruz-Crespo E, Sandoval-Villa M, Volke Haller V, Ordaz-Chaparro V, Tirado-Torres JL, Sánchez-Escudero J. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. Terra Latinoamericana 2010; 28: 219-229.
- Favaro JC, Buyatti MA, Acosta MR. Evaluación de sustratos a base de serrín de Salicáceas (*Salix* sp.) compostados para la producción de plantones. Investigación Agrícola 2002; 17: 367-373.
- Fernández BC, Urdanet N, Silva W. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cv. Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. Revista Facultad de Agronomía 2006; 23: 188-196.
- Frederickson J, Graham H, Hobson AM. Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. European Journal Soil Biology 2007, 43: 5320-5326.

- García G, Cabrera R, Gavi R, Volke V. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisi* cultivadas en maceta. Terra 2001; 19: 249-258.
- Grigatti M, Giorgioni ME, Cavani L, Ciavatta V. Vector analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. Scientia Horticulturae 2007; 112: 448-455.
- Hanson J. B. Counting on coir. Greenhouse Product News. 2003; 13: 48-54.
- Jim F, Howell G, Hobson AM. Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. European Journal of Soil Biology 2007; 43: 320-326.
- Hidalgo L, Sindoni M, Méndez JR. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. Revista Científica UDO Agrícola 2009; 19: 282-288.
- Kämpf AN, Jun Takane R, Vital de Siqueira, PT. Floricultura, Técnicas de preparo de sustratos. Brasilia: LK editora, 2006. 132.
- Pinamonti F, Stingari G, Zorzi G. Use of compost in soilless cultivation. Compost Science Utilization 1997; 2: 38-106.
- Porter-Humpert C. New trends in sustainable farming build compost use. ByoCycle 2000; 41: 30-35.
- Raviv M, Leith JH. Soilless culture: theory and practice. California: Elsevier, 2008: 608.
- Röber, R. Gärtnerische Substrate: Möglichkeiten und grenzen ihrer herstellung und verwendung; beispiele aus forschung, industrie und anwendung. En: AN Kämpf, & MH Fermino (eds). Sustratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Genesis, 2000: 105-138.
- Sullivan DM, Miller RO. Propiedades cualitativas, medición y variabilidad del compost. En: Stoffella PJ, Kahn BA. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Madrid: Mundi Prensa, 2005: 95-117.
- Villa-Briones A, Zavaleta-Mejía E, Vargas-Hernández M, Gómez-Rodríguez O, Ramírez-Alarcón S. Incorporación de vermicomposta para el manejo de *nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 2008; 249-255.
- Vargas-Tapia P, Castellanos-Ramos JZ, Muñoz-Ramos JJ, Sánchez-García P, Tijerina-Chávez L, López-Romero RM, et al. Efecto del tamaño de partículas sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México, Agricultura Técnica en México 2008; 34: 323-331.
- Villasmil M. Uso de desechos orgánicos compostados en mezclas para la producción de dos plantas de temporada (Tesis) Maestría en Horticultura. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela: Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, 2008.
- Zamora-Morales BP. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. Inter-ciencia 2005; 30: 365-369.