

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



USO DE SUSTRATO DE CRECIMIENTO ORGANICO DE *Tillandsia recurvata*
Y *Agave lechuguilla* Torr. COMO ALTERNATIVA A PEAT MOSS.

Tesis

Que presenta MARÍA DE LOURDES DE LA MORA ROSALES
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020

USO DE SUSTRATO DE CRECIMIENTO ORGANICO DE *Tillandsia recurvata*
Y *Agave lechuguilla* Torr. COMO ALTERNATIVA A PEAT MOSS.

Tesis

Elaborado por **MARÍA DE LOURDES DE LA MORA ROSALES** como
requisito para obtener el Grado de **Maestro en Ciencias en Horticultura**
con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor principal



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor



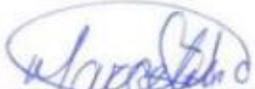
Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor



Dr. David Sánchez Aspeytia
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo incondicional, estando siempre conmigo para guiarme de la mejor manera.

A mis hermanos por hacer mi vida más divertida.

A Patricia Valdovinos por su apoyo.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, por ser parte fundamental de mi formación profesional.

Al CONACYT, por el apoyo y confianza que me brindó para continuar mi preparación.

Dr. José Antonio González Fuentes, por ser parte de mi formación, brindarme su apoyo en todo momento.

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por su apoyo

Dr. Armando Hernández Pérez, por su apoyo, enseñanzas y dar siempre lo mejor.

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente, por su apoyo en este tiempo.

Dr. David Sánchez Aspeytia, por su apoyo y estar siempre dispuesto a ayudar.

Al M.C. Jorge Enrique Canales Almendares, por su apoyo incondicional, por ser parte de mi familia.

Al M.C. Etelberto Cortez Quevedo, por sus enseñanzas y por ser una amistad para toda la vida.

Ing. Jorge Kau Pérez, por su amistad y apoyo incondicional.

A todo el cuerpo académico de la Maestría en Ciencias en Horticultura, por recibirme y formarme de la mejor manera.

A mis compañeros de generación, por las risas, los momentos de estrés y el apoyo que me brindaron.

.

DEDICATORIA

A mi madre por su cariño tan grande y siempre tener las palabras correctas para los días malos.

A mi padre por ser la persona más divertida del mundo y siempre estar para mí.

A mis hermanos y sobrina Abril De La Mora, por su manera tan especial de ayudarme con sus sonrisas en los momentos cuando nada tiene sentido.

A todas las personas que a lo largo de mi vida profesional me han aportado todo tipo de experiencia, mis respetos y admiración aun a la distancia.

Índice General

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia y demanda de peat moss.....	4
Sustratos.....	5
<i>Tillandsia recurvata</i>	6
Agave lechuguilla.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Modificaciones de tamaño de partícula	9
Crecimiento semanal, altura total de planta, largo de hoja, diámetro de tallo, peso de racimos, diámetro ecuatorial y polar del fruto y rendimiento.	11
Potencial hídrico del tallo	12
Solidos solubles totales y azúcares reductores.....	12
Firmeza	13
Licopeno	13
Vitamina C.....	13
Mezclas de sustratos y propiedades físicas.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Calidad del fruto y contenido nutracéutico.....	18
CONCLUSIONES	21
LITERATURA CITADA	22

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Propiedades físicas, contenido de Aireación (Aireación), contenido volumétrico de humedad (Agua) y porosidad total (Porosidad) y químicas potencial hidrogeno (pH) y Conductividad eléctrica en dS/m (CE) de las mezclas de los sustratos utilizados, Heno mota (HM), fibra de guiche (FG), Peat moss (PM) y perlita (P).....	11
Cuadro 2 Respuesta de planta de tomate a diferentes mezclas de sustratos parámetros agronómicos.	16
Cuadro 3. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre el parámetro de rendimiento.	18
Cuadro 4. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre parámetros de calidad del fruto.....	19

Índice de Figuras

Figura 1. Muestra de materiales en forma natural utilizados como sustituto a peat moss: A) residuo de Agave lechuguilla (guiche) y B, residuo de Tillandsia recurvata (Heno de mota).	10
Figura 2. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre el potencial hídrico del tallo de plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero con diferentes mezclas de sustratos.....	17

Lista de Figuras

Figura 1.- Muestra de materiales en forma natural utilizados como sustituto a peat moss: A) residuo de *Agave lechuguilla* (guiche) y B, residuo de *Tillandsia recurvata* (Heno de mota).

Figura 2 Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre el potencial hídrico del tallo de plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero con diferentes mezclas de sustratos.

RESUMEN

USO DE SUSTRATO DE CRECIMIENTO ORGANICO DE *Tillandsia recurvata*
Y *Agave lechuguilla* Torr. COMO ALTERNATIVA A PEAT MOSS.

Por

MARIA DE LOURDES DE LA MORA ROSALES
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSE ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES –ASESOR

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020

En este estudio se reporta el uso de sustratos alternativos a peat moss que permiten el correcto crecimiento de las plantas manteniendo la calidad y rendimientos en el cultivo de tomate. Los materiales que se utilizaron como sustrato de crecimiento para esta investigación fueron: Bagazo de lechuguilla o guiche (residuo generado por la obtención de fibras orgánica en los estados del norte de México), y *Tillandsia recurvata* o Heno mota (residuos de la poda de saneamiento de esta planta que afecta la vida de las zonas forestales cuando su población es muy alta). Los tratamientos utilizados consistieron en la modificación del tamaño de partículas de los materiales y la adición de perlita en algunos casos obteniendo propiedades físicas similares que variaron de 21 a 25.86% de aireación, de 66.22 a 68.05 % contenido volumétrico de humedad y de 89.05% a 92.09 % de porosidad total. Los resultados mostraron que las plantas de tomate cultivada en los tratamientos se comportaron de la misma manera que en las plantas cultivadas en el sustrato testigo de peat moss y perlita, no obteniendo diferencias significativas en la mayoría de variables estudiadas como rendimiento y parámetros de calidad y contenido nutracéutico, lo que indica que los sustratos orgánicos en las proporciones estudiadas son una alternativa eficaz al peat moss.

Palabras claves

Lechuguilla- *Tillandsia* – sustratos orgánicos- peat moss

ABSTRACT

USO DE SUSTRATO DE CRECIMIENTO ORGANICO DE *Tillandsia recurvata*
Y *Agave lechuguilla* Torr. COMO ALTERNATIVA A PEAT MOSS.

Por

MARIA DE LOURDES DE LA MORA ROSALES
MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSE ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES –ASESOR

In this study, it is reported the use of alternative substrates to peat moss that allow the correct growth of tomato plants while maintaining the quality and yields. The materials that were used as growing media for this research were: Bagasse of lechuguilla or guiche (waste generated by obtaining organic fibers in the northern states of Mexico), and *Tillandsia recurvata* or Mota Hay (waste from sanitation pruning of this plant that affects the life of forest areas when its population is very high). The treatments used consisted of modifying the particle size of the materials and adding perlite in some cases, obtaining similar physical properties that varied from 21 to 25.86% air filled porosity, from 66.22 to 68.05% volumetric moisture content and from 89.05% to 92.09% of total porosity. The results showed that the tomato plants grown in all treatments behaved similar to the control plants grown in peat moss and perlite growing media. No significant differences were obtained in most of the variables studied such as yield , quality parameters and nutraceutical content, indicating that the organic materials used as growing media in the proportions studied are an effective alternative to peat moss.

Keywords

Lechuguilla- *Tillandsia* – sustratos orgánicos- peat moss

INTRODUCCIÓN

La gran demanda de alimentos para consumo del ser humano y la reducción de las superficies destinadas para la agricultura hacen que el sector agrícola busque alternativas para obtener altos rendimientos por menor unidad de superficie, la agricultura protegida es un sistema que ha permitido mejorar los rendimientos y hacer eficientes los insumos disponibles, mayor control de plagas y enfermedades; se obtienen plantas más uniformes, Una gran parte de la agricultura protegida está migrando a la producción de cultivo sin suelo debido a sus ventajas (Baixauli & Aguilar, 2002), México tiene una superficie de 49 mil hectáreas destinadas solo para el cultivo de tomate (SIAP 2019).

Uno de los principales retos de la agricultura protegida es conseguir un sustituto de las funciones del suelo con el uso de diferentes sustratos, las propiedades físicas y químicas de este deben de brindar un nivel balanceado entre sus contenidos por lo que las materias primas son las responsables de brindar buenas características que permitan el crecimiento de las plántulas, guiando a una producción equilibrada y de calidad (Quesada y Méndez 2005).

En estos sistemas se utilizan sustratos de diversos orígenes para sustituir el suelo, uno de los principales materiales orgánicos que se utiliza para lograr crecimientos homogéneos, eficiencia en nutrición así como altos rendimientos es el peat moss (turba), el cual contiene características apropiadas para crecimiento de las plantas hortícolas (Blanco., *et al*, 2004). Los ecosistemas constituidos por las turbas (peat moss) consisten en más del 50 % de los humedales del mundo y cumplen funciones fundamentales para el equilibrio tales como: control de clima, aporte de agua en sequías, control de erosión y sostén de biodiversidad principalmente. Considerando que la tasa de crecimiento de la turba es de 1mm por año y que su extracción es mayor a su capacidad de formación (85:1), trae como consecuencia un desequilibrio en el ecosistema debido a la sobre explotación del material (Iturraspe, 2010).

Dentro de las principales consecuencias negativas al medio ambiente por la explotación de los turbales se han reportado la disminución de biodiversidad, el ciclo hidrológico, almacén de carbono (Domínguez., *et al*, 2012).

Debido al impacto ambiental del Peat moss se buscan nuevos sustratos que logren acercarse o igualar sus características fisicoquímicas a un menor

impacto, aunque en el mercado existen diversos materiales disponibles, como fibra de coco y lana de roca, con características físicas adecuadas para el desarrollo ideal de los cultivos se tienen la desventaja económica por los altos costos de importación.

Las propiedades físicas en los sustratos para crecimiento de plantas en contenedores son particularmente importantes, ya que en el contenedor o maceta después del riego se crea una columna de agua (Evans., *et al*, 2009). La profundidad del recipiente o contenedor es determinante, ya que dentro de este la columna de agua es determinada por el tamaño de partícula, así una partícula fina crea una columna alta dentro del contenedor afectando el drenaje y en consecuencia permitiendo poca aireación dentro del sustrato por lo que se requiere crear un sustrato adecuado a la altura del contenedor con una gran cantidad de poros gruesos para aumentar drenaje y aireación sin reducir la capacidad de retención de agua.

El crecimiento de las raíces y las plantas en contenedor depende de la adecuada distribución de oxígeno y agua en el perfil del sustrato (Raviv., *et al*, 2002). Como resultado las raíces pueden experimentar un ambiente muy variable por lo que las propiedades físicas se deben adecuar al requerimiento de la planta, el sistema de riego y contenedor. En particular al ser el crecimiento de la raíz muy sensible a las propiedades físicas, se ha reportado un mayor crecimiento en porcentajes que varían de un 13 a un 25% con un promedio de 19% (González., *et al*, 2016) por lo que considerando que las raíces crecen dentro del espacio poroso del sustrato y que con el tiempo esto reduce la capacidad de aireación es aconsejable iniciar el cultivo con al menos 20% de aireación.

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de evaluar dos materiales orgánicos como sustrato de crecimiento en cultivo de tomate, determinando las proporciones de cada material para generar un medio adecuado para el desarrollo de la planta, buscando una alternativa al uso del peat moss.

Objetivo general

Determinar las proporciones adecuadas de los sustratos orgánicos para crecimiento óptimo de tomate.

Hipótesis

Al menos uno de los sustratos estudiados serán una alternativa feasible al peat moss.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia y demanda de peat moss

Las turberas son ecosistemas reconocidos mundialmente por actuar como grandes reservorios de agua dulce, afectando el clima y la hidrología local; por ser sumideros de carbono; por albergar especies únicas en especial musgos del género *Sphagnum* (Díaz., *et al*, 2008). Nuestra creciente demanda de agua y su sobreexplotación ponen en peligro el bienestar humano y el medio ambiente. Las turberas aportan al ser humano beneficios económicos enormes, como abastecimiento de agua (cantidad y calidad); pesca, agricultura, gracias al mantenimiento de las capas freáticas y a la retención de nutrientes en las llanuras aluviales; madera y otros materiales de construcción; recursos energéticos, como turba y materia vegetal (Ramsar, 2013).

La producción mundial de turba es liderada por los países del norte de Europa, principalmente Finlandia, Irlanda y Suecia para fines en su mayoría energéticos. La producción anual varía entre 25 y 30 millones de toneladas de turba. El principal exportador es Alemania, mientras que los mayores importadores son Holanda y EE. UU (Villega., *et al*, 2017). Las propiedades que la turba puede aportar a un suelo es el que le ha dado una gran relevancia en el campo de la horticultura, permite la modificación del pH así como las propiedades físicas, remplazando el tradicional uso de tierra de hoja debido a que es un material más liviano (INIA, 2011).

En México, el estado que más superficie reporta bajo algún tipo de agricultura protegida es Sinaloa con 9 mil hectáreas, siendo su cultivo principal el tomate rojo saladette bajo malla sombra. Le sigue Jalisco con 7 mil 713 hectáreas, de las cuales 4 mil 448 son de frambuesa bajo macro túnel (SIAP 2017).

Como una alternativa de la agricultura tradicional, surgen los cultivos hidropónicos, conocidos también como cultivos sin suelo, lo que permite eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, que facilitan el manejo del cultivo, tienen un incremento hasta un 15 – 20% respecto al suelo, ahorro en agua, fertilizantes y agroquímicos, como medio de anclaje se utilizan sustratos esterilizados lo que reduce la presencia de plagas y enfermedades radiculares. (SIAP, 2016).

Sustratos

El término “sustrato”, que se aplica en la producción en contenedores o macetas, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada (Sáez,1999). Las propiedades físicas de un sustrato son más importantes que las químicas, puesto que las segundas las podremos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas, siendo las primeras más difíciles de modificar. A un buen sustrato le vamos a pedir un comportamiento similar al de una esponja, es decir, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad (Baixauli., *et al*, 2002).

La porosidad 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 la propiedad más importante a evaluar es 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 (Cruz., *et al*, 2013). Para evaluar las características de retención de humedad y capacidad de aireación de los sustratos hortícolas, De Boodt (1974) introdujeron el uso de la curva característica de retención de humedad de los medios muy porosos. Esta curva tiene una forma particular para cada sustrato y refleja con precisión la distribución del tamaño de los poros de acuerdo potenciales hídricos de 10, 50 y 100 cm. En años posteriores diferentes variantes al método han sido propuestas (Gabriels., *et al*, 1991; Wever, 1995; Armstrong y Mc Intyre, 2000). En ocasiones un material por sí 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.

Actualmente se comercializan sustratos de características y orígenes diversos, de forma pura o en mezclas de dos o más materiales, que buscan satisfacer las necesidades específicas de cada cultivo; sin embargo, sus altos precios (varios de ellos son de importación) limitan su acceso y uso a muchos productores. En las últimas décadas, se ha encontrado aplicación como medios de crecimiento a materiales que son subproductos o residuos de desecho de muy diversas actividades domésticas, urbanas e industriales (Resh, 1998; Sánchez y Escalante, 1988; Maher., *et al*, 2008).

Tillandsia recurvata

Los ecosistemas forestales arboladas han servido también como un regulador del medio ambiente con la fijación de carbono y la recarga de mantos acuíferos, además de la recreación, valores ambientales que son necesarios conservar. Estos ambientes ven afectados por diversos factores, destacando las plantas parásitas y epífitas, cuyos daños en los últimos años han alcanzado niveles alarmantes, teniendo como consecuencia la afectación así como un gran deterioro de estos ecosistemas (Alfredo ., *et al*, 2007). El heno *Tillandsia recurvata*, siendo una planta epífita, cuando existe población excesiva tiene la capacidad de matar a los árboles al limitar la capacidad fotosintética, por el momento no se tiene un control efectivo para esta afección y todo el material vegetal resultante de los saneos en la serranía no se le da una utilidad. Se estima que en Coahuila más de 60,000 hectáreas se han infestado gravemente en los últimos 10 años (Flores ., *et al*, 2009), se distribuye en ambientes tropicales secos, desde el sur de los E.U.A. hasta la parte media de Argentina, y en altitudes desde el nivel del mar hasta los 3000 m de elevación (Valverde., *et al*, 2010) y por el momento no se tiene un control químico efectivo y se maneja con podas de saneamiento.

Agave lechuguilla

La lechuguilla es uno de los recursos forestales no maderables con mayor valor socioeconómico de las zonas áridas y semiáridas del noreste del país. El aprovechamiento de esta especie representa una de las principales actividades para los pobladores de esas regiones debido a que su recolección proporciona el sustento de 31,000 pobladores y sus familias (Narcia., *et al*,

2012). El principal mercado es el internacional, donde el 93% de la producción se exporta principalmente a Estados Unidos, Holanda y Suiza (CONAFOR, 2006; Berlanga, 1998), donde México es el único país exportador con una superficie aproximada de 20 millones de hectáreas. Entre 2003 y 2007 se registraron ventas de 350 mil dólares (Castillo., *et al*, 2011).

La producción de fibra de una planta de lechuguilla es de 8 a 12 % de su peso, si se talla únicamente el “cogollo” sólo se obtiene una sexta parte de la fibra que se obtendría al utilizar toda la corona. Sin embargo, el tallado del cogollo es el más recomendable, debido a que la fibra es de mejor calidad, además es el método de explotación más adecuado para la conservación del recurso (Cruz y Medina, 1988). A pesar de que su explotación es y ha sido de manera tradicional en gran parte del Desierto Chihuahuense, no existen planes de manejo que aseguren la conservación y fomento de este recurso (Zarate., *et al*, 1991).

Regularmente, de un cogollo se obtiene de 6 a 8 hojas tallables (Castillo-Quiroz., *et al*, 2012). En el año 2007 en el estado de Coahuila se autorizó la cantidad de 553 Toneladas de planta de lechuguilla, lo que genera de un 92 a un 88% de un material de desecho denominado “Guiche” el cual tiene poco o nulo uso (Zarate, 2011), es apilado a la intemperie por tiempo indefinido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó del mes de septiembre de 2019 al mes de enero de 2020 en un invernadero con cubierta de polietileno localizado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro sede Saltillo, Coahuila, México. El material orgánico “guiche”, se colectó en el municipio de Ramos Arizpe del estado de Coahuila en la latitud Norte de 25° 77' y longitud Oeste 101° 31', con una altitud de 1040 msnm. El material que se utilizó para este proyecto tenía 2 años expuesto a las condiciones medioambientales de la región.

Los residuos del material de *Tillandsia recurvata* conocido como "Heno de mota" se colectó en el ejido Cuauhtémoc en el municipio de Saltillo del estado de Coahuila en la latitud Norte de 25° 28' y longitud Oeste 100° 94', con una altitud de 2300 msnm.

El experimento se estableció con un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, utilizando un híbrido de tomate indeterminado El Cid F1, el cual se germinó en sustrato de peat moss en charola de polietileno de 200 cavidades, se trasplantó en bolsas de polietileno negro con un volumen de 10 L y la altura del perfil del sustrato fue de 20cm. Los tratamientos fueron: T1 Heno- perlita 50:50, T2 Heno – Fibra de guiche – perlita 37:13:50, T3 peat moss-fibra de guiche-perlita 25:25:50, T4 peat moss-perlita 40:60, T5 polvo de guiche – perlita 50:50. Siendo el tratamiento cuatro el testigo.

Todas las plantas fueron irrigadas vía sistema de riego localizado con goteros auto compensados con descarga unitaria de 4 L h⁻¹ y automatizado para aplicar el riego con una frecuencia definida por día en horarios de 9, 11, 12, 14, 16 y 18 horas de 3 minutos cada uno, el cual se modificó con base en los drenajes colectados en las bandejas considerando una fracción de lavado del 30%. Este sistema de riego se utilizó para la inyección de fertilizantes aplicando una solución nutritiva completa que contenía las siguientes concentraciones, nitrato de amonio (0.4 g/L), nitrato de potasio (0.8 g/L), nitrato de calcio (0.6 g/L), nitrato de magnesio (0.26 g/L), ácido nítrico (0.05 ml/L) con una pureza de 55% (d=1.35), ácido fosfórico (0.10 ml/L), con una pureza de 85% (d=1.65), ácido Sulfúrico (0.08 ml/L) con una pureza de 98% (d=1.84), quelato de Fe 6% (33.33 g/m³), sulfato de manganeso (1.53 g/m³), sulfato de cobre (0.39 g/m³), sulfato de zinc (1.75 g/m³), ácido bórico (1.14 g/m³), molibdato de sodio (0.092 g/m³) la cual se manejó al 50% en las primeras cuatro semanas, aumentando al 100% a partir de la quinta semana. La salinidad fue de 1.8 dS/m y el pH de 5.8 en la solución nutritiva.

Las temperaturas que se presentaron en el invernadero durante el experimento variaron de 7 a 32°C con promedio de 19.5 °C. En el día 139 ddt, después de la evaluación del 4to racimo se presentó un repentino descenso de temperatura exterior alcanzando 1.6° C que causó daño en el cultivo al interior del invernadero por el choque térmico, terminando el

experimento. La radiación solar el periodo de desarrollo del cultivo vario de 8 a 28 mol m² d⁻¹ con un promedio de 18 mol m² d⁻¹. El déficit de presión de vapor se mantuvo en un rango de 0.1 a 3.5 con un promedio de 1.8 kPa.

Los parámetros agronómicos que se evaluaron fueron crecimiento semanal, altura total de planta, largo de hoja, diámetro de tallo, peso de racimos, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, rendimiento de cuarto racimos; los parámetros fisiológicos y de calidad que se midieron fueron potencial hídrico, sólidos solubles totales, contenido de azúcares, firmeza, y contenido de licopeno contenido de vitamina C.

Modificaciones de tamaño de partícula

Los materiales colectados (Figuras 1 A y B) en el municipio de Ramos Arizpe y en el ejido Cuauhtémoc se colocaron bajo una cubierta plástica por un periodo de 4 días para provocar pérdida de humedad y facilitar su molienda para lo cual, se utilizó un molino forrajero marca AZTECA con un tamiz de 1 cm para hacer la reducción del tamaño de partícula (fibra de guiche y heno) y posteriormente una parte del volumen total de ambos se pasó por tamiz de 0.5 a 2 mm para tener un sustrato con menor tamaño de partícula, y así con diferentes tamaños de partícula determinar las cantidades adecuadas mediante diferentes mezclas hasta obtener propiedades físicas similares (Cuadro 1) Determinadas mediante la técnica rápida del cilindro descrita por Castellanos en 2009.

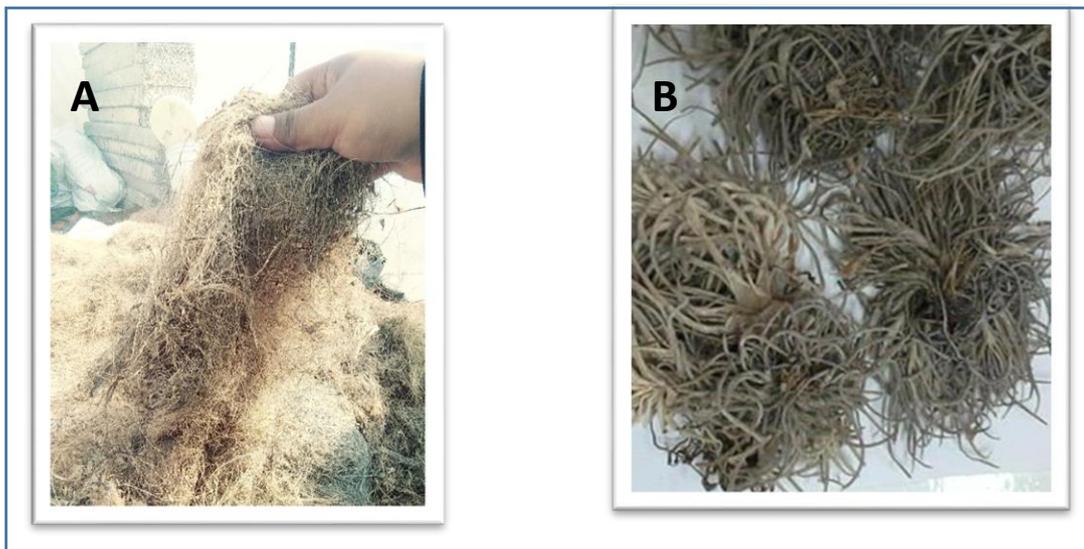


Figura 1. Muestra de materiales en forma natural utilizados como sustituto a peat moss: A) residuo de Agave lechuguilla (guiche) y B, residuo de Tillandsia recurvata (Heno de mota).

Así también se determinaron las propiedades químicas de pH y conductividad eléctrica (Cuadro 1), utilizando el método 1:1 el cual consistió en agregar a un vaso de precipitado una parte de agua destilada y una parte de sustrato, se agitó por 30 minutos para posteriormente determinar pH y conductividad eléctrica (CE) con un conductímetro/potenciómetro HI98130 DIST® Hanna Instruments. Es importante mencionar que los sustratos se lavaron en repetidas ocasiones para eliminar sales hasta que se obtuvo en el lixiviado el valor de C.E de 0.7 dS/m que es la conductividad que se tiene en el agua de riego disponible en el invernadero, además para el caso del sustrato compuesto de planta de lechuguilla se continuaron los lavados hasta que no hubo espuma ya que este material contiene saponinas en forma natural que la crean al contacto con el agua y no es deseable para el cultivo de plantas. El sustrato peat moss (Premier® Sphagnum Peat Moss): perlita en proporción 40:60 recibió el mismo tratamiento en lavados.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos utilizados, Heno mota (HM), fibra de guiche (FG), Peat moss (PM) y perlita (P)., contenido de Aireación (Aireación), contenido volumétrico de humedad (Agua) y porosidad total (Porosidad) , (pH) y Conductividad eléctrica en dS/m (CE).

<i>Tratamiento</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>
<i>Proporciones de materiales</i>	<i>HM:P 50:50</i>	<i>HM:FG:P 37:13:50</i>	<i>PM:FG:P 25:25:50</i>	<i>PM:P 40:60 testigo</i>	<i>FG:P 50:50</i>
<i>Aireación(%)</i>	<i>21</i>	<i>24.44</i>	<i>25.86</i>	<i>26.15</i>	<i>25.72</i>
<i>Agua (%)</i>	<i>68.05</i>	<i>66.22</i>	<i>66.23</i>	<i>66.43</i>	<i>63.66</i>
<i>Porosidad total (%)</i>	<i>89.05</i>	<i>90.66</i>	<i>92.09</i>	<i>92.58</i>	<i>89.38</i>
<i>pH</i>	<i>7.2</i>	<i>7.3</i>	<i>7.3</i>	<i>6.2</i>	<i>7.4</i>
<i>CE 1:2</i>	<i>0.5</i>	<i>0.53</i>	<i>0.4</i>	<i>0.5</i>	<i>0.7</i>

Crecimiento semanal, altura total de planta, largo de hoja, diámetro de tallo, peso de racimos, diámetro ecuatorial y polar del fruto y rendimiento.

Estos parámetros se determinaron de acuerdo a la propuesta de Castellanos, 2009 para el crecimiento semanal (cm) se inició la medición 5 días después de la plantación, se marcó con un plumón permanente la rafia de tutoreo a la altura máxima a la cual llegó el ápice de la planta, una semana después con una cinta métrica (TRUPER modelo FH-5M) se marcó nuevamente sobre la rafia de tutoreo la altura máxima de la planta, la diferencia entre estas dos marcas se considera el crecimiento de esa semana. La longitud de hoja (cm) se midió desde la base del tallo hasta la punta, siempre se tomó de referencia la hoja número cinco contando del ápice hacia abajo , para el diámetro de tallo (mm) se utilizó un vernier (STEREN modelo HER-411) tomando como punto de referencia para medición la marca en la rafia realizada para “crecimiento semanal“ de una semana anterior, para la altura total de la planta se sumaron los datos recolectados durante las 17 semanas de evaluación, para el peso de racimo (g) se utilizó una báscula digital (TRUPER modelo BASE-5EP), cuando el tomate se encontraba maduro se cosechaba y colocaba en la

báscula y se registraba el peso de cada tomate, para el parámetro de rendimiento(kg/planta) se sumó el peso de los 4 racimos por cada planta, Para la medición de los diámetros (mm) del fruto se utilizó un vernier (STEREN modelo HER-411), para el diámetro polar se midió de la cicatriz del pedúnculo hasta la base del fruto, para el diámetro ecuatorial se tomó como referencia la parte media del fruto.

Potencial hídrico del tallo

Este parámetro se determinó al medio día (1:00-3:00 p.m.) de acuerdo a los métodos propuestos por McCutchan and Shackel (1992). Brevemente, hojas de tomate de la parte media de la planta se cubrieron con una bolsa de papel aluminio por 20 minutos para impedir transpiración y permitir que el potencial hídrico de la hoja se equilibrara con el potencial hídrico del tallo. Cada hoja cubierta después del tiempo indicado se cortó y el corte se afinó transversalmente con navaja de acero inoxidable para posteriormente colocarla dentro de una cámara de presión Scholander (PMS Instrument Company, Albany, OR, USA) y medir el potencial hídrico (Fulton et al., 2001) Las lecturas se tomaron cuando la sabia apenas cubrió el corte del peciolo de la hoja. Los resultados se reportaron en unidades de presión (bar).

Sólidos solubles totales y azúcares reductores

Los sólidos solubles totales se determinaron mediante un refractómetro (HANNA instruments modelo HI96800) colocando una muestra de cada fruto y tomando la lectura que el equipo mostraba, los resultados se reportaron en Brix.

La determinación de azúcares reductores se realizó mediante el método de Dubois (1956) colocando 1000 μ l del extracto para posteriormente agregar 1000 μ l de reactivo de DNS, posteriormente se sometió a ebullición durante 5 minutos, después se colocó por 5 minutos en hielo y finalmente se le adicionó 5 ml de agua destilada y se procedió a leer a 540 nm en un lector de microplacas. Los valores fueron calculados mediante una curva de calibración de glucosa al 0.1% (0-1 mg/mL).

Firmeza

Esta se determinó con un medidor de firmeza (QA supplies modelo FT444) tomando frutos con el mismo grado de maduración, introduciendo el medidor en la fruta y registrando la lectura (Kgf).

Licopeno

El contenido de licopeno en el fruto se determinó de acuerdo al método propuesto por (Fish., *et al.*, 2002) con algunas modificaciones para lo cual 0.5 gramos de tomate triturado fueron mezclados con una solución de hexano: acetona: etanol (2:1:1) y se agitó por 10 minutos, posteriormente se agregó agua destilada y se agitó por 5 minutos más para proceder a leer la absorbancia en un lector de microplacas a una longitud de onda de 503 nm. El contenido de licopeno se determinó mediante la fórmula

Licopeno ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) = $(A_{503\text{nm}} \times 31.2) / \text{g pulpa}$

Vitamina C

La concentración de vitamina C se determinó por el método de (Hung y Yen, 2002) con algunas modificaciones, y consistió en agregar 40 ml de agua destilada a 10 g de fruto macerado y del extracto obtenido se tomaron alícuotas de 100 μl que se reaccionaron con 100 μl del reactivo 2-6 diclorofenolindofenol, se dejó reposar por 15 minutos y se procedió a leer en un lector de microplacas a 515 nm. Los valores se calcularon a partir de una curva estándar de ácido ascórbico (20-80 ppm).

Mezclas de sustratos y propiedades físicas

La propiedad física de las mezclas de los diferentes tratamientos se realizó mediante el método de Castellanos (2009). Brevemente, para la medición del volumen de la maceta, se utilizaron recipientes de volumen conocido con orificios de drenaje en el fondo, cilindro graduado de volumen de 1L, el sustrato a evaluar seco (secado al aire), cinta adhesiva o plastilina, una cubeta, marcador, agua de la llave y una franela de algodón. Se sellaron los orificios con la cinta adhesiva y/o plastilina, posteriormente se llenaron con agua a la misma altura a la que se llenaron con sustrato y se marcó con un color permanente. Cuidadosamente se regresó el volumen de agua al cilindro

graduado y se cuantificó el volumen denominado valor A identificado como volumen del sustrato o contenedor.

Para determinar la porosidad del sustrato el contenedor con el que se midió el volumen se llenó con el sustrato a evaluar hasta la marca realizada en el primer paso, se golpeó ligeramente y en repetidas ocasiones sobre una superficie sólida para consolidar el material, posteriormente usando el cilindro graduado se le agrega agua lentamente hasta que el nivel del agua llegue al sitio donde se marcó la línea y el sustrato estuvo completamente saturado y se procedido a cuantificar el volumen de agua usado que se denominó valor B. Para la determinación de aireación se colocó la maceta sobre de un recipiente que permitió la recolección del agua del contenedor al momento de retirar la plastilina que cubrió los orificios de drenaje inicialmente, después se permitió que la maceta drenara libremente por un periodo de 30 minutos y se cuantifico la cantidad de agua drenada, este valor se denominó valor C. La retención de humedad se calculó restando el volumen de agua drenado del volumen da agua aplicado al sustrato para saturarlo. Para los cálculos se utilizaron las siguientes formula:

1.- Porosidad Total (%)= $(A/B)*100$

2.- Capacidad de aireación (%)= $(C/A) *100$

3.- Capacidad de retención de agua (%) = % Porosidad total- % Capacidad de aireación.

Para obtener homogeneidad en las propiedades físicas de cada sustrato se realizaron distintas mezclas entre los materiales orgánicos y se adicionó perlita, manejando distintas proporciones con lo que se obtuvo un rango de aireación en los sustratos de los 4 tratamientos que varió del 21 al 26%, el valor del contenido volumétrico de agua fue 63 al 68% y la porosidad total en un rango de 89 al 92% (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos se examinaron por medio de análisis de varianza usando el programa estadístico Infostat (2017) y para la separación de medias se utilizó la prueba DMS ($p<0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las propiedades físicas y químicas de las 5 mezclas estudiadas se mantuvieron en un rango para crecimiento adecuado para diferentes plantas (Sáez, 1999). En particular el porcentaje de retención de humedad varió del 63.66 al 68.05% con un promedio de 65.85% y el porcentaje de aireación en este estudio varió de 21 a 26.15% con un promedio de 23.57% (Cuadro 1) siendo similar al reportado por Maatije (2018) quienes estudiaron un rango de retención de humedad de 60 a 75% con un promedio de 67.5% y un porcentaje de aireación de 13 a 27% y reportaron mayor producción de frutos comerciales de tomate con los porcentajes altos de aireación a partir del promedio de 19%. El crecimiento de la planta (Cuadro 2) muestra pequeñas diferencias entre las variables como altura de planta, crecimiento semanal, diámetro de tallo y longitud de hoja, aunque ninguna es diferente estadísticamente al comparar con las plantas testigo. Esto sugiere que las diferentes mezclas de sustratos utilizadas al proveer similares propiedades físicas y mantener un régimen de riego similar proveen a las plantas lo necesario para crecer adecuadamente. La altura que presentaron las plantas en este estudio en un periodo de 119 días está por debajo de lo reportado por Ortega (2010) en un periodo similar con 125 días después de plantación (ddp) donde evaluaron el efecto de mezclas de aserrín de pino, tezontle rojo, la composta de estiércol de ovinos y tierra agrícola en crecimiento y rendimiento del tomate bajo condiciones de invernadero en el municipio de Chignahuapan, Puebla con temperaturas medias dentro del invernadero de 24.25 C, donde se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos a partir del día 75 ddp teniendo alturas entre los rangos de 357 cm – 446 cm, la diferencia en un periodo similar puede deberse a las diferencias climáticas en los sitios de experimentación.

Cuadro 2 Respuesta de planta de tomate a diferentes mezclas de sustratos parámetros agronómicos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Crecimiento semanal (cm)</i>	<i>Altura de planta (cm)</i>	<i>de Diámetro de tallo (mm)</i>	<i>Largo de hoja (cm)</i>
<i>T1</i>	10.97 ab	186.43 ab	5.26 b	29.18 a
<i>T2</i>	12.19 a	207.28 a	5.9 a	28.62 a
<i>T3</i>	10.16 b	172.75 b	5.02 b	28.51 a
<i>T4</i>	10.99 ab	186.43 ab	5.40 ab	29.91 a
<i>T5</i>	9.73 b	165.35 b	5.02 b	29.06 a

T1 Heno- perlita 50:50, T2 Heno – Fibra de guiche – perlita 37:13:50, T3 peat moss-fibra de guiche- perlita 25:25:50, T4 (testigo) peat moss- perlita 40:60, T5 polvo de guiche – perlita 50:50. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); y DMS: diferencia mínima significativa.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del potencial hídrico del tallo de tomate de los distintos tratamientos evaluados, donde no se observa diferencias estadísticas significativas entre ellos. Los valores reportados en este estudio (4 a 5.2 bar) concuerdan con los reportados por Tonetto de Freitas ., *et al.*, (2011) quienes observaron valores de 2 a 5.5 bar en plantas de tomate cultivadas en maceta con una mezcla de sustrato de 33% peat, 33% arena y 33% composta de aserrín y corteza de árbol de secoya. El potencial hídrico del tallo se ha asociado con la conductancia estomática (Stepien- Johnson 2009), con elongación de las hojas (Ehlert., *et al.*, 2009) y fotosíntesis (Hubbard., *et al.*, 1999) por lo que los resultados sugieren que los diferentes tratamientos tuvieron la misma capacidad de proveer agua sin afectar su crecimiento y rendimiento (Cuadros 2 y 3) ya que de existir baja disponibilidad de agua en algún tratamiento este se refleja provocando estrés abiótico afectando el crecimiento de las plantas (Quintal Ortiz., *et al.*, 2012).

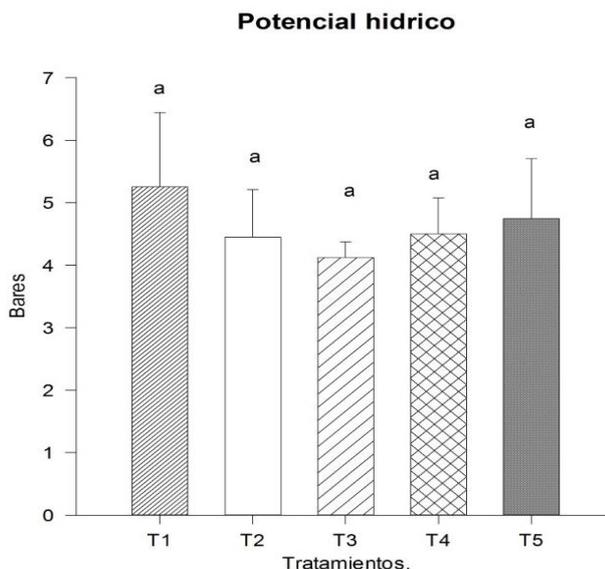


Figura 2. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre el potencial hídrico del tallo de plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero con diferentes mezclas de sustratos.

Referente al rendimiento de las plantas, en el Cuadro 3 se muestra que no hubo diferencias estadísticas significativas al comparar los tratamientos con el rendimiento de las plantas testigo. Así también el comportamiento de los racimos 1 al 4 en los diferentes tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos, al comparar con los de las plantas testigo. Sin embargo, el peso de los racimos disminuyó a lo largo del ciclo y se observa una disminución (Cuadro 3) en el peso promedio de los racimos comparados con el racimo uno, siendo el racimo dos un 7.6% menor, el tres un 27% menor y el cuatro un 44% menor que el racimo uno. La producción de tomate se determina principalmente por la radiación interceptada dentro del invernadero y la distribución de asimilados dentro de la planta (Newton., *et al.*, 1999); Ho, 1996). Se ha reportado que la temperatura ambiente menor a 19°C disminuye la iniciación de hojas, el desarrollo de frutos y el rendimiento en general (Van Der Ploeg and Heuvelink 2005) siendo esto en gran medida una afectación por la distribución de asimilados dentro de la planta, entre la parte vegetativa y reproductiva (Adams., *et al.*, 2001). En este estudio cuando se presentaron temperaturas alrededor de 7°C en el día 63 ddp se observó una reducción en

el tamaño de los racimos. Se ha reportado que abajo de 12°C el crecimiento de plantas de tomate es casi nulo (Criddle., *et al.*,1997). Referente a los diámetros polares y ecuatoriales del fruto, los valores promedio aquí reportados 62.4 y 49.9 son similares a los obtenidos por Salas y colaboradores (2007) quienes evaluaron el efecto de diferentes sustratos a base de composta de ganado bovino (C) y mezclada con arena de río (A) reportando diámetros polares y ecuatoriales con valores de 62 - 64 mm y 48 a 49 mm respectivamente, sin embargo estos diámetros para el tomate el Cid deben ser de hasta 71 mm para el tamaño grande de este tipo de tomate (Medoza-Pérez., *et al.*, 2018), por lo que los datos sugieren que las bajas temperaturas afectaron disminuyendo estos parámetros.

Cuadro 3. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre el parámetro de rendimiento.

<i>Tratamiento.</i>	<i>Racimo 1</i>	<i>Racimo 2</i>	<i>Racimo 3</i>	<i>Racimo 4</i>	<i>Rendimiento (kg/planta)</i>	<i>Diámetro ecuatorial del fruto (mm)</i>	<i>Diámetro polar del fruto (mm)</i>
<i>T1</i>	631.65 a	615.40 a	433.93 a	340.16 ab	2.02 a	51.04 a	63.90 a
<i>T2</i>	475.08 a	471.10 a	407.60 a	222.68 b	1.58 b	48.37 a	60.26 a
<i>T3</i>	570.75 a	522.35 a	408.78 a	349.18 ab	1.85 ab	50.22 a	62.82 a
<i>T4</i>	636.85 a	525.95 a	416.98 a	315.63 ab	1.90 ab	50.44 a	64.03 a
<i>T5</i>	541.98 a	503.17 a	416.38 a	384.43 a	1.85 ab	49.47 a	61.92 a

T1 Heno- perlita 50:50, T2 Heno – Fibra de guiche – perlita 37:13:50, T3 peat moss-fibra de guiche-perlita 25:25:50, T4 (testigo) peat moss- perlita 40:60, T5 polvo de guiche – perlita 50:50. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); y DMS: diferencia mínima significativa.

Calidad del fruto y contenido nutracéutico

Las diferentes mezclas de los medios de crecimiento con propiedades físicas similares en los que se desarrollaron las plantas no influyeron en los parámetros de calidad del fruto, ya que los análisis estadísticos no mostraron

diferencias significativas para sólidos solubles totales, firmeza, licopeno, vitamina C ni Azúcares reductores (Cuadro 4).

Para sólidos solubles totales en el Cuadro 4 se observa que el rango de los valores va de 4.08 a 5.15 °Bx sin encontrarse diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Siendo estos resultados similares a los reportados por Moreno-Velázquez, *et al.*, (2013), quienes reportaron para el mismo híbrido cultivado en sustrato bajo condiciones de invernadero valores de 4.13 a 4.93 °Bx. Así también estos resultados coinciden con los datos de Salas *et al.*, 2004 quienes reportaron valores de 4.3 a 4.5 °Bx cuando estudiaron tomates cultivados bajo condiciones de invernadero en sustrato de crecimiento compuesto por composta de ganado bovino y mezclada con arena de río. Los resultados sugieren que además de producirse frutos similares en todos los tratamientos, también se cosecharon con madurez similar, ya que el grado de madurez afecta el contenido de sólidos solubles totales (Renquist y Reid, 1998)

Cuadro 4. Efecto de diferentes mezclas de sustrato sobre parámetros de calidad del fruto.

<i>Tratamiento.</i>	<i>Licopeno</i> ($\mu\text{g}100\text{g}^{-1}$)	<i>Vitamina C</i> (mg/Kg)	<i>Firmeza</i> (Kgf)	<i>Sólidos</i> <i>solubles totales</i> (°Brix)
T1	142.71 a	2.45 a	4.00 a	5.15 a
T2	112.98 a	2.50 a	3.53 a	4.55 a
T3	156.00 a	2.45 a	3.39 a	4.48 a
T4	110.95 a	2.41 a	3.39 a	4.18 a
T5	129.04 a	2.44 a	3.85 a	4.08 a

T1 Heno- perlita 50:50, T2 Heno – Fibra de guiche – perlita 37:13:50, T3 peat moss-fibra de guiche-perlita 25:25:50, T4 (testigo) peat moss- perlita 40:60, T5 polvo de guiche – perlita 50:50. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); y DMS: diferencia mínima significativa.

La firmeza de los frutos confiere una vida de anaquel más prolongada, así como resistencia al transporte. Los frutos con menos firmeza son más susceptibles a deshidratación rápida (Moreno-Velázquez, *et al.*, 2013). El

resultado obtenido en este estudio coincide con lo reportado por Medoza-Pérez., *et al.*, 2018, quienes cultivaron tomate El Cid en sustrato de tezontle rojo.

El contenido de licopeno (Cuadro 4) no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al ser comparado con las plantas testigo. El licopeno es un carotenoide encontrado principalmente en frutos de tomate, este carotenoide presenta efectos quimio-terapéuticos, anti-inflamatorios y antioxidante contra algunas enfermedades neurodegenerativas y algunos tipos de cáncer (Przybylska, 2020), además está relacionado en general con capacidad antioxidante (Tokunaga., *et al.*, 2004).

Referente a la vitamina C (ácido ascórbico), los resultados (Cuadro 4) no muestran diferencias estadísticamente significativas, De acuerdo a Yactayo-Chang ., *et al.*, 2017, el ácido ascórbico es un antioxidante soluble en plantas que se encuentra en estas con mayor abundancia que otros, y un alto porcentaje del requerimiento para humanos proviene de productos vegetales (Sariñana-Aldaco., *et al.*, 2020), por lo que los resultados sugieren que en cualquier mezcla de sustratos se producen tomates con el mismo contenido nutricional.

Los resultados sugieren que en todos los tratamientos las plantas se desarrollaron en condiciones similares. Luna-Guevara y colaboradores (2014) menciona que factores como la intensidad de luz, pH del medio de crecimiento, frecuencia de riego, tipo de fertilización, pueden afectar la composición química del fruto. Lo anterior demuestra que las proporciones de cada material utilizados en las mezclas y generaron un sustrato con propiedades físicas similares que ocasionaron un crecimiento homogéneo entre tratamientos el cual permitió que los contenidos nutraceuticos del fruto no fueran afectados.

CONCLUSIONES

El uso de fibra de guiche y heno mota son una alternativa factible a sustratos de crecimiento como peat moss en las proporciones utilizadas en este estudio. Mezclas de sustrato con propiedades físicas en un rango de 21 a 26% de aireación, de 63 a 68% de retención de humedad y de 89.05 a 92.58% de porosidad total, proveen condiciones de crecimiento similares para el cultivo de tomate

LITERATURA CITADA

- Armstrong, H. y J. McIntyre (eds.). 2000. International Substrate Manual. Elsevier International Business. Holanda. 94 p.
- Adams, S. R., Cockshull, K. E. And Cave, C. R. J. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*, 88, 869–877.
- Amy, N. P. 1996. Tillandsia. School of Forest Resources and Conservation, Florida Coperative Extensión Service, Institute of Food and Agricultural Sciencies, University of Florida. Publication 52: 1-8
- Alfredo, S. S. J., David, C. Q., & Mario, T. E. L. 2007. Principales plantas parásitas y epifitas e insectos que atacan a los bosques de coníferas del estado de Nuevo León.
- Baixauli, C., & Aguilar, J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencias. Serie de Divulgación Técnica. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.11.004>
- Berlanga R., C. A. 1998. Evaluación de las poblaciones naturales de lechuguilla: En: *Tecnologías Llave en Mano*. Serie 1998. División Forestal. México.
- Blanco, D. E. y V. M. de la Balze (eds.). 2004. Los Turbales de la Patagonia: Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. Publicación No. 19. Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.
- Castellanos, J. Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial INTAGRI. México. P127.
- Castillo, D., Mares, O., & Villavicencio, E. E. 2011. Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), planta suculenta de importancia económica y social de las zonas áridas y semiáridas de México. *Boletín de La Sociedad Latinoamericana y Del Caribe de Cactáceas y Otras Suculentas*, 8(2), 6–9. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)00268-9](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00268-9)
- Castillo-Quiroz, D.C., A. Cano-Pineda y C.A. Berlanga-Reyes. 2012. Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). Comisión Nacional Forestal-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. Productos forestales no lxtle (Lechuguilla) Reporte de investigación. *Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal*. 27. En: <http://www.mexicoforestal.gob.mx/nota.php?id=207>

- Criddle, R. S., Smith, B. N. And Hansen, L. D. 1997. A respiration-based description of plant growth rate responses to temperature. *Planta*, 201, 441–445.
- Cruz C., J. A. y J.G. Medina T., 1988. La Lechuguilla Agave lechuguilla. DIF Coahuila
- Cruz Crespo, Elia., Can Chulim, Alvaro, Sandoval villa, Manuel., Bugarin Montoya, Ruben, Robles Bermudez, Agustin, & Juarez Lopez, Porfirio 2013. *Sustratos en la horticultura*. CONACYT.
- De Boodt, M., O. Verdonck e I. Cappaert. 1974, Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- Díaz, María F, Larraín, Juan, Zegers, Gabriela, y Tapia, Carolina. 2008. Caracterización florística e hidrológica de turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(4), 455-468. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000400002>
- Domínguez, Erwin, Bahamonde, Nelson, & Muñoz-Escobar, Christian. 2012. Efectos de la extracción de turba sobre la composición y estructura de una turbera de *Sphagnum* explotada y abandonada hace 20 años, Chile. *Canales del Instituto de la Patagonia*, 40(2), 37-45. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2012000200003>
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Ehlert, C., Maurel, C., Tardieu, F., Simonneau, R., 2009. Aquaporin-mediated reduction in maize root hydraulic conductivity impacts cell turgor and leaf elongation even without changing transpiration. *Plant Physiology* 150, 1093-1104.
- Evans, R. Y., Hansen, J. and Dodge, L. L. 2009. Growth of rose roots and shoots is highly sensitive to anaerobic or hypoxic regions of container substrates. *Scientia Horticulturae*. 119: 286-291.
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of food composition and analysis*, 15(3), 309-317.
- Flores, J., Torres E., Nájera J. 2009 Situación del heno de motita *Tillandsia recurvata* en el estado de Coahuila.
- Fulton, A., R. Buchner, B. Olson, L. Schwankl, C. Gilles, N. Betagna et al. 2001. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *HortTechnology* 11:609-615.

- Gabriels, R., W. Van Keirsbulck y O. Verdonck. 1991. Reference method for physical and chemical characterization of growing media: An international comparative study. *Acta Hort.* 294:147-160.
- González Fuentes, J.A., Evans, Y. R., López Cervantes, R., Benavides Mendoza, A., Cabrera de la Fuente, M. 2016. The physical properties of growth substrate affect the development of strawberry cultivar Albion. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. No 17*, p. 3607-3621.
- Hubbard, R.M., Bond, B.J., Ryan, M.G., 1999. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis. *Tree Physiology* 19, 165-172.
- HUNG, CH-Y y YEN, G-CH. 2002. Antioxidant activity of phenolic compounds isolated from *Mesona procumbens* Hemsl. *J. Agric. Food chem.* 50(10): 2993–2997.
- INIA . «Seminario de capacitación agricultura sustentable en Magallanes: usos y aplicaciones de la turba en horticultura, viveros y jardinería.» 2011.
- Iturraspe, R. (2010). Las turberas de Tierra del Fuego y el Cambio Climático global. Fundación Humedales / Wetlands International. <https://doi.org/10.3892/etm.2017.4350>
- Luna-Guevara ML; y Delgado-Alvarado A. 2014. Importancia; contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria* 18: 51.
- Maatije, A. M, Maboko, M. M and Modise, D.M. 2018 Yield of hydroponically grown tomato (*Solanum lycopersicon*) as affected by different particle sizes of sawdust. *South African Journal of Plant and Soil.* <https://doi.org/10.1080/02571862.2018.1424357>
- MAHER, M.; PRASAD, M.; RAVIV, M. 2008. Organic Soilless Media Components. In *Soiless Culture: Theory and Practice*. RAVIV, M.; LIETH J. H. (Eds.). Editorial Elsevier. United States of America 459–504 pp.
- Martínez-Gutiérrez, A. G., Cruz, A. B., Tinoco, C. E., Cruz, J. Y. L., & Urrestarazu, M. 2015. Effect of Particle Size and Reused Organic Substrates on Tomato Crop Production. *Journal of Plant Nutrition*, 1877-1884. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1069333>
- McCutchan, H., & Shackel, K. A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(4), 607-611.

- Mendoza-Perez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J.E., Trejo, C, Vargas-Orozco, A. G. 2018. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9 número 2.
- Moreno-Velázquez D, Cruz-Romero W, García-Lara E, Ibañez-Martínez A, Barrios-Díaz JM, Barrios-Díaz B 2013. Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. [Postharvest physicochemical changes in three cucumber cultivars with and without plastic film]. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(6):909-920.
- Narcia Velasco, M., Castillo Quiroz, D., Vázquez Ramos, J. A., & Berlanga Reyes, C. A. 2012. Turno Técnico de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. Revista mexicana de ciencias forestales, 3(9), 81-88.
- Newton, P., Sahraoui, R. And Economakis, C. 1999. The influence of air temperature on truss weight of tomatoes. Acta Horticulturae, 507, 43–49.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai, 6(3), 339-346.
- Przybylska S 2020. Lycopene—a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: a review. International Journal of Food Science & Technology 55(1):11-32.
- Quesada G., Méndez C. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almacigos de hortalizas. Agronomía tropical (CR) 35(1):01-13.
- Quintal Ortiz, Wendy C., Pérez-Gutiérrez, Alfonso, Latournerie Moreno, Luis, May-Lara, Cesar, Ruiz Sánchez, Esaú, & Martínez Chacón, Armando J.. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista fitotecnia mexicana, 35(2), 155-160.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Bar-Tal, A., 2002. Substrates and their analysis. Agricultural Research Organization. In: Savvas, D., Passam, H. (Eds.). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications, pp. 25-101.
- Renquist, R. A. and Reid, J. B. 1998. Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. New Zeal. J. Crop Hort. Sci. 26(3):161-168.

- RESH, H. 1998. Cultivos Hidropónicos. Editorial Mundi-Prensa. España. 369 p.
- Sáez, J. N. P. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 231-235
- Salas-Pérez, L., González Fuentes, J. A., García Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. 2016. Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova scientia*, 8(17), 310-325.
- SÁNCHEZ DEL C. F.; ESCALANTE R. E. 1988. Hidroponía. Un sistema de producción de plantas. Universidad Autónoma Chapingo.
- Sariñana-Aldaco, O., Sanchez-Chavez, E., Fortis-Hernandez, M., González-Fuentes, J. A., Moreno-Resendez, A., Rojas-Duarte, A., & Preciado-Rangel, P. 2020. Improvement of the nutraceutical quality and yield of tomato by application of salicylic acid. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 882-892.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971, 6ª ed., Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- SIAP. 2016. Atlas Agroalimentario 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. 94-95.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México.
- Stepien, P., & Johnson, G. N. 2009. Contrasting responses of photosynthesis to salt stress in the glycophyte *Arabidopsis* and the halophyte *Thellungiella*: role of the plastid terminal oxidase as an alternative electron sink. *Plant physiology*, 149(2), 1154-1165.
- Tonetto de Freitas, S., Shackel, K.A., Mitcham, E.J 2011 Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit *Journal of Experimental Botany*, Page 1 of 12 doi:10.1093/jxb/erq430
- Tokunaga T, Miyahara K, Tabata K, Esaka M 2004. Generation and properties of ascorbic acid-overproducing transgenic tobacco cells expressing sense RNA for L-galactono-1,4-lactone dehydrogenase. *Planta* 220(6):854- 863
- Valverde, T., & Bernal, R. 2010. ¿Hay asincronía demográfica entre poblaciones locales de *Tillandsia recurvata*? Evidencias de su funcionamiento metapoblacional. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (86), 23-36.

- Van Der Ploeg, A. and Heuvelink, E. 2005. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80 (6) 652–659
- Villela, O.,D., Castillo, D.,E., Cantallopts, A., J. 2017. Potencial de la turba en la minería no metálica en Chile. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de minería.
- Wever, G. 1995. Physical analysis of peat and peat-based growing media. *Acta Hort.* 401: 561-567.
- yactayo-Chang, J. P., Acosta-Gamboa, L. M., Nepal, N., & Lorence, A. 2017. The Role of Plant High-Throughput Phenotyping in the Characterization of the Response of High Ascorbate Plants to Abiotic Stresses. In *Ascorbic acid in plant growth, development and stress tolerance* (pp. 321-354). Springer, Cham.
- Zamora-Morales BP. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia*; 30: 365-369.
- Zarate L., A. 1991. Análisis dimensional en lechuguilla In: III Simposio Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de plantas útiles del Desierto. INIFAP. Saltillo, México
- Zarate Valdez L. 2011. Estudio regional forestal de la UMAFOR, Universidad Autónoma Chapingo Centro Regional Universitario del Noroeste Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango.