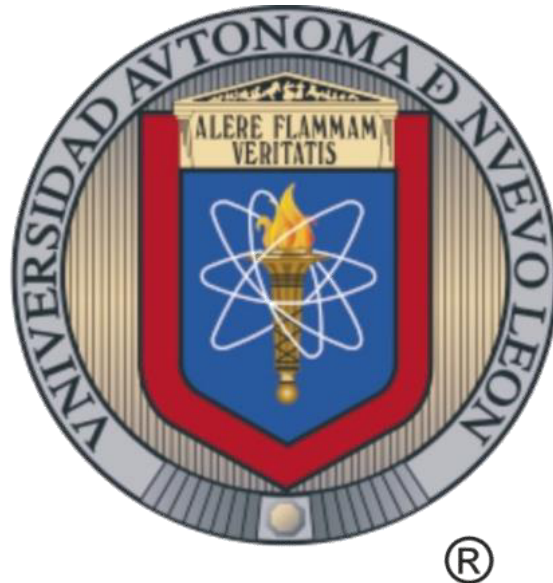


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



TESIS

**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN EL CULTIVO DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) y PEPINO (*Cucumis sativus* L.)
EN INVERNADERO**

PRESENTA

ANDREA PAOLA LONGORIA SALDAÑA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

JULIO, 2017

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



TESIS

**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN EL CULTIVO DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) y PEPINO (*Cucumis sativus* L.)
EN INVERNADERO**

PRESENTA

ANDREA PAOLA LONGORIA SALDAÑA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



TESIS

**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN EL CULTIVO DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) y PEPINO (*Cucumis sativus* L.)
EN INVERNADERO**

PRESENTA

ANDREA PAOLA LONGORIA SALDAÑA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Director de tesis

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Co-director de tesis

M. C. Nora Esthela García Treviño
Asesor Auxiliar

Dr. Roberto Carranza de la Rosa
Asesor Auxiliar

Sub Director de Estudios de Posgrado
Dra. Adriana Gutiérrez Díez

DEDICATORIA

A mis padres

Juan Ramón Longoria Rodríguez

Antonia Saldaña González

A mis hermanos

Zayda

Edna

J. Daniel

A mis amigos y ahora colegas por su ayuda

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico.

A la División de Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Al Centro de Agricultura de Protegida de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Por el apoyo y facilidades para realizar la presente investigación

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz por dirigirme durante toda la investigación. Agradezco su confianza y apoyo

A mis asesores la M.C. Nora Estela García Treviño y al Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado por sus aportaciones y apoyo

A los que de manera directa e indirecta participaron en la realización de la presente investigación

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Agricultura Protegida en México	3
2.2. Cultivo en Sustrato.....	4
2.2.1. Características de los sustratos.....	5
2.2.2. Evaluación de sustratos.....	6
2.2.3. Reutilización de los sustratos	8
2.3. Soluciones Nutritivas.....	9
2.4. Producción de Tomate y Pepino en México	10
2.5. Condiciones Agronómicas del Cultivo de Tomate.....	11
2.6. Condiciones Agronómicas del Cultivo de Pepino	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Localización de los Experimentos	14
3.2. Diseño Experimental	14

3.3. Manejo del Cultivo y Proceso de Producción	18
3.4. Desinfección de los Sustratos	18
3.5. Variables Evaluadas para el Experimento Uno	19
3.6. Variables Evaluadas para el Experimento Dos	20
3.7. Análisis Estadístico de los Datos	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Experimento Uno	23
4.2. Experimento Dos.....	26
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
6. BIBLIOGRAFÍA	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características del sustrato pumicita.....	16
2	Análisis del agua y solución nutritiva del experimento uno.....	17
3	Análisis de agua y solución nutritiva del experimento dos.....	17
4	Incremento de altura (cm), diámetro del tallo (mm) y longitud de hoja (cm) en el experimento uno.....	24
5	Producción de tomate (kg/UE) y número de frutos en el experimento uno.....	25
6	Diámetro polar (mm), diámetro ecuatorial (mm) y peso del fruto (g).....	26
7	Incremento de altura (cm), diámetro del tallo (mm) y grados SPAD en el experimento dos.....	28
8	Largo y ancho de hoja (cm) en el experimento dos.....	28
9	Producción (kg/UE) y número de frutos en el experimento dos.....	30
10	Largo (cm), ancho (mm) y peso (g) de frutos.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Plántulas utilizadas en el experimento uno.....	18
2	Solarización de los sustratos.....	19
3	Medidas del fruto de tomate a) pesaje del fruto, b)diámetro polar, c) diámetro ecuatorial.....	20
4	Medidas de crecimiento de la planta de tomate a) incremento de altura, b) diámetro del tallo, c) longitud de la hoja.....	20
5	Medidas del pepino a) peso, diámetro ecuatorial, c)diámetro polar del fruto.....	21
6	Medidas de la planta de pepino a) largo y ancho de hojas, b)medición de los grados SPAD.....	21
7	Medidas de crecimiento de las plantas de pepino a) incremento de altura, b)diámetro del tallo.....	22

RESUMEN

El cultivo en sustrato ha venido a suplir al cultivo en suelo, debido algunas ventajas como la mejor nutrición de los cultivos y reducción de la contaminación del suelo, entre otras. Sin embargo, el empleo de sustratos genera una importante cantidad de residuos sólidos al finalizar el año agrícola. La investigación consistió en la evaluación de los sustratos pumicita, fibra de coco y perlita, así como el su reúso. Dos experimentos fueron realizados en la Facultad de Agronomía, UANL, en General Escobedo N. L., México. El experimento uno comparó cinco tratamientos: T1 Fibra de coco gruesa (FCG), T2 Fibra de coco fina (FCF), T3 pumicita (Pum) (5-7 mm), T4 perlita (Pr) (<.15-1.8 mm), T5 Pum:Pr en proporción 1:1. El experimento dos consistió de seis tratamientos, de los cuales cinco fueron reusados del experimento uno: T1 Fibra de coco gruesa (FCG), T2 Fibra de coco fina (FCF), T3 Pumicita (Pum), T4 Pumicita fina (PumF), T5 Perlita (Pr), T6 Pum: Pr en proporción 1:1. Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en ambos experimentos en términos de producción y número de frutos, los mejores resultados se presentaron en los sustratos de fibra de coco. En cuanto al crecimiento, en el experimento uno pumicita presentó resultados inferiores, sin embargo en el experimento dos no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para las variables de crecimiento. Los resultados se atribuyen a la fisiología de los cultivos y a la granulometría de los sustratos que al ser gruesa como en pumicita no favorece la retención de agua causando un déficit hídrico y cuando es muy fina no permite la correcta aireación de

las raíces. Se concluye que la granulometría y el riego son determinante en el óptimo desarrollo de las plantas. Se recomienda evaluar los sustratos gruesos con mayor frecuencia de riego.

ABSTRACT

In recent years, substrate cultivation has come to replace traditional cultivation in soil, because it offers advantages such as better nutrition of crops, reduces contamination of the soil with agrochemicals, among others. However, the use of substrates represents a significant amount of solid waste at the end of the agricultural year. The present research was focused on evaluating the substrates pumicite, coconut fiber and perlite, as well as the reuse behavior of these substrates. Two experiments were carried out at the Facultad de Agronomía, UANL, in General Escobedo N.L., México. Experiment one compared five treatments: T1 Coarse Coconut Fiber (FCG), T2 Fine Coconut Fiber (FCF), T3 Pumicite (Pum) (5-7 mm), T4 Perlite (Pr) .15-1.8 mm), T5 Pumicite: Perlite (1: 1) (P: P). Experiment two consisted of six treatments, of which five were reused of experiment 1: T1 Coarse coconut fiber (FCG), T2 Fine coconut fiber (FCF), T3 pumicite (Pum), T4 pumicite fina (PumF), T5 perlite (Pr), T6 Pum: Pr (1:1). Analysis of variance showed significant differences ($p < 0.05$) among treatments in both experiments in terms of yield and number of fruits, the best results were presented in coconut fiber substrates. The growth, in the experiment one, was inferior in pumicite, however in experiment two there was no significant difference between treatments for the growth variables. Results were attributed to the physiology of the crops and to the granule size of the substrates, such that large granules do not favor water retention, causing water deficit. When granules are very fine, do not allow the correct aeration of roots. It is concluded that the granulometry and the irrigation are

determinant in the optimal development of the plants. It is recommended to evaluate the coarse substrates with greater frequency of irrigation.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de alimentos crea la necesidad de buscar técnicas agronómicas que permitan aumentar la producción y a su vez reduzcan el impacto que la agricultura tiene sobre el medio ambiente. Las hortalizas como el tomate y pepino tienen un gran valor nutricional y una importante comercialización en México; estas hortalizas son producidas a cielo abierto y bajo agricultura protegida ya sea en invernaderos o casas sombras.

Los invernaderos mejoran las condiciones ambientales y de manejo de los cultivos lo que permite tener un mayor rendimiento, comparado con los cultivos en campo abierto. En los últimos años el cultivo en sustrato ha estado sustituyendo al cultivo tradicional en suelo. Este sistema de producción hace posible establecer cultivos en suelos erosionados o desfavorables para el desarrollo de las plantas, debido a que evita el contacto con el suelo y las enfermedades transmitidas por el mismo, así como la contaminación por químicos; además presenta ventajas como el control más preciso de la nutrición del cultivo (Alarcón-Vera, 2000).

El cultivo sin suelo utiliza sustratos que toman un papel relevante en el correcto desarrollo de las plantas, que se traduce en una óptima producción. La elección del sustrato se hace con base a sus características físicas, químicas y biológicas. Las características físicas incluyen la granulometría, espacio poroso, densidades y

relación entre agua y aire. La granulometría es la proporción de diámetro de las partículas que constituyen el sustrato y la distribución de sus tamaños afecta la caracterización física del mismo (Castellanos y Vargas, 2009).

Para la elaboración de los sustratos, los materiales originales son sometidos a distintos procesos para su obtención, algunos son traídos de sitios relativamente lejos de la zona del cultivo, lo que aumenta su costo, otros pueden ser usados sólo un par de ciclos produciendo gran cantidad de residuos sólidos anuales, lo que hace importante tomar en cuenta el impacto ambiental y económico buscando el reúso de los sustratos. Los sustratos más conocidos son perlita, lana de roca, turba, fibra de coco, entre otros; todos ellos con características distintas. La pumicita es un material de origen volcánico que presenta buenas características para ser usado como sustrato y en los últimos años se ha estado utilizando en algunos invernaderos en México

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los sustratos pumicita, fibra de coco y perlita en el cultivo de tomate y pepino, así como su funcionalidad al ser reusados, bajo la hipótesis de que el sustrato pumicita puede ser una buena opción en el cultivo de tomate y pepino bajo condiciones de invernadero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura Protegida en México

La agricultura protegida permite controlar algunos factores ambientales y establecer condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas, con ello se reduce el efecto que las condiciones climáticas externas tienen sobre los cultivos. Además este sistema de producción tiene otras ventajas entre las que destacan la generación de empleos, aumento en los rendimientos, producción sostenida durante todo el año, inocuidad en los cultivos, ahorro de agua y establecimiento de cultivos en suelos con problemas de degradación o con químicos. Los principales cultivos establecidos bajo Agricultura Protegida en México son tomate (70%), pimiento (16%), pepino (10%), otros (4%) (SAGARPA, 2012).

La superficie cultivada de Agricultura Protegida en el país es de aproximadamente 25 mil ha, de las cuales 16 250 ha corresponden a invernaderos, 3750 ha a casas sombras y 5000 ha a macro y micro-túneles (SIAP, 2017).

2.2. Cultivo en Sustrato

El cultivo sin suelo o en sustrato tiene entre sus objetivos evitar la contaminación del subsuelo y acuíferos, además favorece el ahorro de agua debido a que se puede reutilizar aquella que es drenada en el sistema de riego (Garza y Molina, 2008).

Los sustratos son aquellos materiales que aportan soporte a la raíz de la planta, además de mediar el intercambio gaseoso y la retención de agua, también permiten la absorción de los nutrimentos que son depositados dentro del contenedor y son necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo.

Los sustratos pueden ser: orgánicos de origen natural y de síntesis o bien inorgánicos también de origen natural o con proceso industrial. Los sustratos están formados por tres fases con importantes funciones cada una: 1) Fase sólida, que proporciona anclaje a la planta, 2) Fase líquida, la cual permite el suministro de agua y nutrimentos, 3) Fase gaseosa, encargada del intercambio gaseoso de la raíz y el medio exterior.

La elección del sustrato es realizada principalmente con base a sus características físicas y químicas, sin embargo, se debe considerar la disponibilidad, uniformidad de las características granulométricas, precio e impacto sobre el medio ambiente (Castellanos y Vargas, 2009). El parámetro ambiental hace referencia que para la elaboración de los sustratos, los materiales originales son sometidos a procesos

industriales para su obtención, algunos pueden ser usados sólo un par de ciclos produciendo gran cantidad de residuos sólidos anuales.

2.2.1. Características de los sustratos

Las características más importantes de los sustratos son las físicas, éstas hacen referencia a la granulometría, densidad, espacio poroso, capacidad de retención de agua y aireación. A continuación, se mencionan algunas de ellas (Castellanos y Vargas, 2009).

- **Granulometría:** describe el tamaño de la mezcla de partículas que conforman el sustrato.
- **Densidad aparente (D_a):** se refiere a la relación del volumen y la masa del material sólido seco y está relacionada con la porosidad.
- **Densidad real (D_r):** es el volumen ocupado por el material que constituye el sustrato sin contar el espacio poroso y la relación con la masa del material seco.
- **Espacio Poroso Total (EPT):** está asociado con la aireación de la raíz y a la cantidad de agua que puede ser retenida por el medio, es el espacio no ocupado por el material sólido.
- **Capacidad de Aireación:** es el volumen ocupado por aire.
- **Agua Fácilmente Disponible (AFD):** es el agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado y drenado a 10 cm de succión.

- Capacidad de Retención de Agua: es la capacidad del sustrato para retener agua después de haber sido saturada y drenada.

Características Químicas

- pH: es fundamental para favorecer la asimilación de nutrimentos y el intercambio iónico.
- Salinidad: es la concentración de sales que se encuentran en el sustrato.
- Disponibilidad nutrimental: es la cantidad de nutrimentos con los que cuenta el sustrato y la capacidad para aportarlos a la planta, también está relacionado con la capacidad de intercambio iónico.
- Capacidad de intercambio catiónico: es la cantidad de cationes que el sustrato es capaz de adsorber e intercambiar.

2.2.2. Evaluación de sustratos

Los sustratos juegan un papel importante en el comportamiento de las plantas; existen estudios donde se evalúan las características de los sustratos tanto orgánicos como inorgánicos y el impacto que tienen sobre el rendimiento de diferentes cultivos, sin embargo, en México es importante fomentar el reúso de los sustratos que permita reducir costos de producción y disminuir los desechos sólidos anuales.

Marinou *et al.* (2013) cultivaron fresas en pumicita y fibra de coco con granulometría < 8 mm, en aserrín con tamaño < 4 mm y en mezclas de los sustratos; reportaron que el crecimiento vegetativo fue mayor en los sustratos orgánicos y en las mezclas de los sustratos orgánicos con inorgánicos, de igual manera el número de frutos y el rendimiento fue más elevado en las plantas establecidas en la mezcla de pumicita y aserrín.

Maloupa *et al.* (2001) evaluaron la respuesta de plantas de tomate y pepino cultivadas en pumicita y perlita, ambas con granulometría de 3-5 mm, no reportaron diferencia significativa en términos de crecimiento y rendimiento entre ambos sustratos, sin embargo el rendimiento fue incrementado en las plantas establecidas en pumicita.

Gizas y Savvas (2007) evaluaron el rendimiento de plantas de rosas y pepino establecidas en bolsas y macetas con diferentes tamaños de partículas de pumicita, los mejores resultados en pepino se observaron con la granulometría de 0-5 mm, mientras que para rosa los resultados no fueron consistentes en todas las variables relacionadas con el rendimiento.

Tzortzakis y Economakis (2008) estudiaron el rendimiento de plantas de tomate establecidas en perlita, pumicita, tallos de maíz triturados y mezclas de ellos, los resultados mostraron que el rendimiento total fue mayor en las mezclas del sustrato orgánico con pumicita y perlita.

2.2.3. Reutilización de los sustratos

Los sustratos empleados durante el ciclo agrícola representan una importante cantidad de residuos sólidos al finalizar el cultivo. Schmilewski (2007) reportó que la Unión Europea produce millones de m³ de medios de crecimiento anualmente; en el año 2005 el 77% de los sustratos producidos era turba, sin embargo, en algunos países, por cuestiones ambientales, se ha decidido aminorar la extracción de turba orgánica. Por tal razón, existen investigaciones enfocadas en el reúso de los sustratos, con la finalidad de reducir el impacto sobre el medio ambiente y a su vez disminuir los costos de producción. Sin embargo, se reconocen riesgos de transmisión enfermedades al reusar medios de cultivo, por lo que se sugiere la desinfección de los sustratos antes de comenzar el siguiente ciclo.

Gunnlaugsson y Adelsteinsson (1995), señalaron que para reusar pumicita es necesario esterilizarla durante 24 h a 120 °C colocando el sustrato bajo una cubierta plástica. Hanna (2006) empleó un método de desinfección que consistió en mezclar la perlita y tratarla con agua caliente hasta que el sustrato alcanzara los 71°C durante una hora, señaló que el costo de reusar perlita representó solamente el 22% del costo de usar perlita nueva.

Giuffrida *et al.* (2007) compararon el rendimiento de tomate cultivado en perlita nueva y perlita reusada después de tres ciclos, no reportan diferencia significativa en términos de rendimiento, peso seco de plantas, sólidos solubles del fruto y peso del fruto.

Moncada *et al.* (2007) establecieron dos cultivares de tomate cherry en sustrato de fibra de coco nueva y fibra de coco utilizada en dos ciclos anteriores y previamente solarizada durante 60 d. Los resultados no mostraron diferencia significativa en términos de rendimiento y calidad del fruto entre los sustratos nuevos y los solarizados.

Giuffrida y Consoil (2016), compararon las características de un sustrato de perlita usado por 4 ciclos y uno nuevo, señalaron que, con el reúso, el tamaño de partícula y la conductividad eléctrica disminuyó, mientras que la capacidad de aireación y de agua fácilmente disponible mejoró.

2.3. Soluciones Nutritivas

El cultivo sin suelo presenta un mejor control de la nutrición debido a que los nutrimentos son proporcionados por una solución nutritiva formulada según los requerimientos específicos del cultivo. Para la preparación de la solución nutritiva se han de tomar en cuenta factores como el estado fenológico del cultivo y la concentración iónica del agua para hacer el ajuste de la solución tomando en cuenta los elementos que están presentes en el agua.

Las soluciones nutritivas consisten en una mezcla de elementos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta; los elementos se proporcionan en sus formas asimilables y en las concentraciones adecuadas para la planta.

Existe una solución nutritiva universal propuesta por Steiner (1961) basada en la cantidad de aniones y cationes, en la concentración iónica total y el pH; el cálculo para la solución comienza definiendo la CE deseada. El autor sugiere que la proporción de aniones debe establecerse en 60 % de NO_3^- , 5% de H_2PO_4^- y 35% de SO_4^{2-} . Para los cationes las proporciones recomendadas son 45% de Ca^{2+} , 35 % de K^+ y el 20% de Mg^{2+} . Respecto a los micronutrientes, Steiner (1984) señala una concentración de 1.3 ppm Fe^{2+} , 0.6 Mn^{2+} , 0.13 Zn^{2+} , 0.02 Cu^{2+} , 0.05 Mo^{6+} y 0.44 B^{3+} . Actualmente las soluciones propuestas por Steiner (1961) y otros autores como Arnon (1902) y Hoagland (1950) siguen empleándose en las investigaciones y en las actividades agrícolas (Catellanos y Ojodeagua, 2009).

2.4. Producción de Tomate y Pepino en México

Las hortalizas son una parte básica de la alimentación, aportan nutrientes como vitaminas, carbohidratos y proteínas. La producción de hortalizas como el tomate y el pepino requieren mejoras continuas que permitan rendimientos más elevados. La producción de tomate rojo en el 2016 a nivel nacional fue de 3 349 154.71 ton con un valor de producción de \$24 000 millones. En Nuevo León, durante el mismo año, la producción de tomate rojo fue de 33 669.85 ton con un valor de \$235 millones. La producción de pepino a nivel nacional durante el 2016 fue de 886 269.76 ton con un valor de \$4815 millones, mientras que Nuevo León tuvo una producción de 270 ton con un valor de \$1 441 000 (SIAP, 2017).

2.5. Condiciones Agronómicas del Cultivo de Tomate

La producción de tomate en invernadero requiere ciertas condiciones ambientales, la literatura señala que la temperatura óptima dentro del invernadero para el buen desarrollo de la planta es de 22° C, con un fotoperiodo de 12 h y la humedad relativa es del 70 %. Las condiciones del suelo pueden ser con tendencia a la acidez con un pH entre 5.0 y 6.8 y con una salinidad menor a 3 dSm⁻¹.

En las plantas de tomate existen dos tipos de crecimiento, el determinado y el indeterminado, en invernadero se usa el tipo indeterminado que permite mantener el cultivo todo el año agrícola.

En cuanto al manejo del cultivo es necesario practicar la poda de formación donde los brotes laterales son eliminados, además la planta debe ser tutorada para mantenerla erguida, otra de las prácticas importantes de manejo es el deshoje, que se realiza eliminando las hojas por debajo de los frutos con tamaño comercial. La planta de tomate requiere ayuda para tener una polinización adecuada, lo que se logra en forma muy eficiente utilizando abejorros de la especie *Bombus terrestris* L., también es importante el raleo de frutos, dejando aquellos con potencial comercial, con el fin de asegurar un cultivo sano y una buena producción. La cosecha es realizada cuando los frutos llegan a madurez fisiológica, es decir cuando han alcanzado el tamaño máximo, mismo que coincide con una coloración blanca en forma de estrella en la zona inferior del fruto, aproximadamente 90-100 días después del trasplante.

Las principales plagas que atacan el cultivo del tomate son: la araña roja de la especie *Tetranychus urticae* Koch, pulgón de las especies *Aphis gossypii* Glover, *Myzus persicae* (Sulzer), *Macrosiphum euphorbiae* Thomas, *Aulacorthum solani* Kaltentbach, trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande), mosca psílida *Bactericera cockerelli* (Sulc.), mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), ácaro bronceador *Aculops lycopersici* (Tyron), nemátodos *Meloidogyne* spp. Respecto a las enfermedades que afectan al cultivo están las pudriciones radicales *Phytophthora* sp. y *rhizoctonia solani* Kühn, pudrición de cuello y raíz *Phytophthora capsici* Leonian, marchitez *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Sacc.), pudrición de la corona y raíz *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker, tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, tizón temprano *Alternaria solani* (Ell. Y G. Martin), cenicilla *Leveillula taurina* (Lev.) Arn; *Oidiopsis taurina* (E. S. Salm.), moho gris *Botrytis cinérea* Pers., moho blanco *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, cáncer bacteriano *Clavibacter michiganensis* (Smith), algunos virus como el virus del mosaico del tabaco, (Garza y Molina, 2008).

2.6. Condiciones Agronómicas del Cultivo de Pepino

Las plantas de pepino bajo invernadero requieren una temperatura entre 18-28° C y una humedad relativa entre el 50-80 %. La luminosidad requerida es alta; este cultivo puede desarrollarse en distintos fotoperiodos incluidos los menores de 12 h de luz. El suelo debe tener buen drenaje y una estructura suelta; el pH óptimo está entre 5.5-7, y son plantas medianamente tolerantes a la salinidad.

El manejo del cultivo consiste en el desbrote o poda de formación, donde también se eliminan los zarcillos, aclareo de frutos dejando sólo uno por nudo o bien eliminando aquellos que presentan algún daño o curvatura; tutoreo de planta para mantenerla erguida, así como practicas que ayuden a la polinización.

Las plagas más importantes en este cultivo son los ácaros de las especies: *Tetranychus urticae* Koch, *T. turkestanii* Ugarov, *T. ludeni* Zacher, *Polyphagotarsonemus latus* Banks, los insectos *Bemisia tabaci* (Gennadius), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), *Aphis gossypii* Glover, *Myzus persicae* (Sulzer), *Liriomyza trifolii* (Burguess), *L. strigata* Meigen, *L. bryoniae* Kaltentbach, *L. huidobrensis* Blanchard, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), *Spodoptera exigua* Hübner, *S. littoralis* Boisduval, *Autographa gamma* L., *Chrysodeixis chalcites* Esper, *Plusia* spp., *Heliothis* spp. Los nematodos *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. arenaria* Chitwood, *M. incognita* (Kofoid y White) Chitwood. Las enfermedades más comunes son producidas por *Pseudoperonospora cubensis* (Berkeley & Curtis) Rostovtsev, *Sphaerotheca fuliginea* (Schltdl), *Botrytis cinérea* Pers, *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, *Fusarium oxysporum* Schlecht., *Didymella bryoniae* (Fuckel) Rehm, *Pseudomonas syringae* pv. *Lachrymans*, *Xanthomonas campestris* pv. *Cucurbitae*, *Erwinia carotovora*, *E. tracheiphila*. Este cultivo se ve atacado por el virus del cribado del pepino, virus del mosaico del pepino, virus de las venas amarillas del pepino, entre otros (Zamudio y Felix, 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de los Experimentos

La investigación fue realizada en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus Ciencias Agropecuarias, General Escobedo, N.L. Este municipio se localiza a 25° 49´ L. N. - 100° 192´ L. O. a una altura de 481 msnm. El clima de Escobedo es Bs, con una temperatura media entre los 22° y 24°C y una precipitación media de 400–600 mm (INEGI, 2017). El invernadero es tipo sierra con superficie de 1000 m², altura de 4.6 m a canaleta y con orientación Norte-Sur, cuenta con ventanas laterales, ventanas cenitales y un sistema de ferti-irrigación por goteo

3.2. Diseño Experimental

La presente investigación consistió en dos experimentos, el experimento uno se realizó con el cultivo de tomate y el experimento dos con el cultivo de pepino. Los dos experimentos fueron establecidos bajo un diseño completamente al azar con una unidad experimental que consistió en una bolsa con 25 l de sustrato con dos plantas. El experimento uno estuvo conformado por cinco tratamientos establecidos con la variación de tipo de sustrato: T1 Fibra de coco gruesa (FCG), T2 Fibra de coco fina (FCF), T3 pumicita (Pum) con granulometría de 5-7 mm, T4 perlita (Pr) con granulometría <0.15- 1.8 mm, T5 Pum: Pr en proporción 1:1, en base a volumen. Los

tratamientos T1 y T3 tuvieron siete unidades experimentales, mientras que los tratamientos T3, T4 y T5 tuvieron catorce unidades experimentales. El experimento dos consistió de seis tratamientos: T1 Fibra de coco gruesa (FCG), T2 Fibra de coco fina (FCF), T3 pumicita (Pum), T4 pumicita fina (PumF), T5 perlita (Pr), T6 Pum:Pr en proporción 1:1. Los sustratos de los tratamientos T1, T2, T3, T5 y T6 fueron utilizados en el primer experimento, el sustrato del T4 fue utilizado por primera vez. Los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6 tuvieron 7 unidades experimentales, mientras que para el tratamiento T2 fueron 6. El mineral pumicita (Pum) fue analizado en su composición física y química (Cuadro 1) en un laboratorio especializado (Fertilab-Intagri, S.C.).

El material vegetal utilizado en el experimento uno fue tomate tipo Saladette variedad Afrodita, para el experimento dos se utilizó pepino variedad Corintio. Las dos especies fueron sembradas en semilleros de 200 cavidades y las plántulas se desarrollaron en el invernadero establecido para la investigación. El proceso de producción de plántulas se realizó de acuerdo con el método descrito en Olivares *et al.* (2006).

El sistema hidropónico en los dos experimentos estuvo integrado por un tanque (1100 l), bomba (1 Hp), temporizador, manómetro (0-30 lb), manguera de polietileno (1.27 cm), goteros autocompensables (4 LPH), tubín y estacas. Para cada bolsa se establecieron dos goteros. El riego fue programado con ocho impulsos de riego diarios repartidos cada dos horas a partir de las 7:00 am. El tiempo de riego fue ajustado conforme a la demanda de la planta, con un drenaje del 30%.

El agua utilizada para las soluciones nutritivas fue analizada para conocer la concentración iónica, pH y conductividad eléctrica. El ajuste de la solución para el

experimento uno se hizo de acuerdo con Castellanos y Ojodeagua (2009) (Cuadro 2). En el experimento dos se siguió lo propuesto por Papadopoulos (1994) (Cuadro 3).

Cuadro 1. Características del sustrato pumicita

Características de los sustratos			
Físicas	Resultados	Químicas	Resultados
Humedad	0.52 %	pH	8.18
Densidad real	1.72 g/cm ³	CE	0.34 dSm ⁻¹
Densidad Aparente	0.46 g/cm ³	CO ₃ ²⁻	0.00 me /l
Espacio Poroso Total	73.1 %	HCO ₃ ⁻	1.20 me /l
Capacidad de aireación	45.2 %	Cl ⁻	2.30 me /l
Agua Fácilmente Disponible	2.25 %	SO ₄ ²⁻	0.36 me /l
Agua de Reserva	0.99 %	NO ₃ ⁻	0.08 me /l
Agua Totalmente Disponible	3.24 %	H ₂ PO ₄ ⁻	0.01 me /l
Capacidad de Retención de Agua	278.7 mL/L	Ca ²⁺	0.67 me /l
Agua Difícilmente Disponible	24.6 %	Mg ²⁺	0.31 me /l
		Na ⁺	2.38 me /l
		K ⁺	0.28 me /l
		Fe ²⁺	0.5703 ppm
		Cu ²⁺	0.0481 ppm
		Mn ²⁺	0.0227 ppm
		Zn ²⁺	0.0208 ppm
		H ₃ BO ₃	0.0808 ppm

Cuadro 2. Análisis del agua y solución nutritiva del experimento uno

	Agua	Solución nutritiva Etapa inicial		Solución nutritiva Etapa final	
Ca ²⁺	9.2 meq l ⁻¹	HNO ₃	0.27 ml l ⁻¹	HNO ₃	0.26 ml l ⁻¹
Mg ²⁺	5.8 meq l ⁻¹	H ₃ PO ₄	0.12 ml l ⁻¹	H ₃ PO ₄	123 ml l ⁻¹
CO ₃ ²⁻	0	12-0-46	354 mg l ⁻¹	12-0-46	905 mg l ⁻¹
HCO ₃ ⁻	5.6 meq l ⁻¹	† Micromix	0.02 g l ⁻¹	Micromix	0.02 g l ⁻¹
Cl ⁻	6.7 meq l ⁻¹				
Na ⁺	6.4 meq l ⁻¹				
SO ₄ ²⁻	9.1 meq l ⁻¹				
pH	7.2				
CE	2.4 μS cm ⁻¹				

† Micromix: Fe 7.5%, Mn 3.7%, B 0.7%, Z 0.6%, Cu 0.3%, Mo 0.2%

Cuadro 3. Análisis del agua y solución nutritiva del experimento dos

	Agua	Solución nutritiva	
Ca ²⁺	12 meq l ⁻¹	HNO ₃	0.33 ml l ⁻¹
Mg ²⁺	7.6 meq l ⁻¹	H ₃ PO ₄	0.12 ml l ⁻¹
CO ₃ ²⁻	0	12-0-46	633 mg l ⁻¹
HCO ₃ ⁻	6.4 meq l ⁻¹	33-0-3	151 mg l ⁻¹
Cl ⁻	7.5 meq l ⁻¹	† Micromix	0.02 g l ⁻¹
Na ⁺	5.3 meq l ⁻¹		
SO ₄ ²⁻	10.4 meq l ⁻¹		
pH	7.2		
CE	2.6 μS cm ⁻¹		

† Micromix: Fe 7.5%, Mn 3.7%, B 0.7%, Z 0.6%, Cu 0.3%, Mo 0.2%

3.3. Manejo del Cultivo y Proceso de Producción

El trasplante para ambos experimentos se realizó con el sustrato humedecido cuando las plántulas tenían 4 hojas verdaderas y 20 cm de longitud aproximadamente (Figura 1). Las bolsas se etiquetaron y se colocaron en fila con una distancia de 0.50 m entre plántulas. El trasplante en el experimento uno se llevó a cabo el 9 de noviembre del 2015 y en el experimento dos el 27 de septiembre del 2016.



Figura 1. Plántulas utilizadas en el experimento uno

3.4. Desinfección de los Sustratos

Los sustratos al finalizar el experimento uno fueron desinfectados mediante solarización dentro del invernadero, con el objetivo de utilizarse en el experimento dos (Figura 2). Las plantas fueron retiradas de las bolsas dejando el sistema radicular y fueron regadas únicamente con agua hasta punto de saturación y cubiertas con plástico durante 40 días en el mes de junio y julio del 2016. Las temperaturas alcanzadas durante el invernadero fueron de 55°C en promedio.

Cuando terminó la solarización, el sistema radicular fue retirado para realizar el trasplante del segundo experimento. El volumen del sustrato dentro de cada contenedor fue medido, encontrando que en el tratamiento de fibra de coco fina hubo una disminución de volumen del 15%, los otros sustratos no registraron un cambio en el volumen.



Figura 2. Solarización de los sustratos

3.5. Variables Evaluadas para el Experimento Uno

Producción (P_1): Los datos de esta variable fueron obtenidos sumando el peso de los frutos en todos los cortes de cada unidad experimental.

Número de frutos (Nf_1): El Nf se obtuvo sumando todos los tomates de cada unidad experimental.

Diámetro ecuatorial (DE_1): El DE fue obtenido midiendo el diámetro del fruto con un vernier electrónico en la sección ecuatorial. El tomate fue seleccionado de acuerdo con las características de la ficha técnica de US Agriseeds.

Diámetro Polar (DP_1): El tomate seleccionado fue usado para medir el DP desde la base del pedúnculo hasta el ápice (Figura 3).

Incremento de Altura (IA_1), diámetro del tallo (DT_1) y longitud de la hoja (LH_1) (Figura 4) fueron determinados de acuerdo a los métodos establecidos por Muñoz (2009)



Figura 3. Medidas del fruto de tomate a) pesaje del fruto, b) diámetro polar, c) diámetro ecuatorial



Figura 4. Medidas del crecimiento de la planta de tomate a) incremento de altura b) diámetro del tallo, c) longitud de la hoja

3.6. Variables Evaluadas para el Experimento Dos

Producción (P_2): Esta variable fue obtenida sumando todos los frutos de cada unidad experimental.

Diámetro ecuatorial (DE_2): El DE fue obtenido midiendo el diámetro del fruto en la parte media, utilizando un vernier electrónico. El fruto fue seleccionado de acuerdo con las características de la ficha técnica de Ahern Seeds.

Diámetro Polar (DP_2): El fruto seleccionado fue usado para medir el DP desde la base del pedúnculo hasta el ápice (Figura 4).

Tamaño de Hoja (TH): Esta variable fue obtenida midiendo el largo y ancho de la hoja más desarrollada (Figura 6).

Unidades SPAD (USP): Este valor fue obtenido midiendo la hoja más desarrollada con un medidor SPAD (Figura 6).

Incremento de altura (IA_2) y diámetro del tallo (DT_2) (Figura 7) fueron determinados de acuerdo a los métodos establecidos por Muñoz (2009).

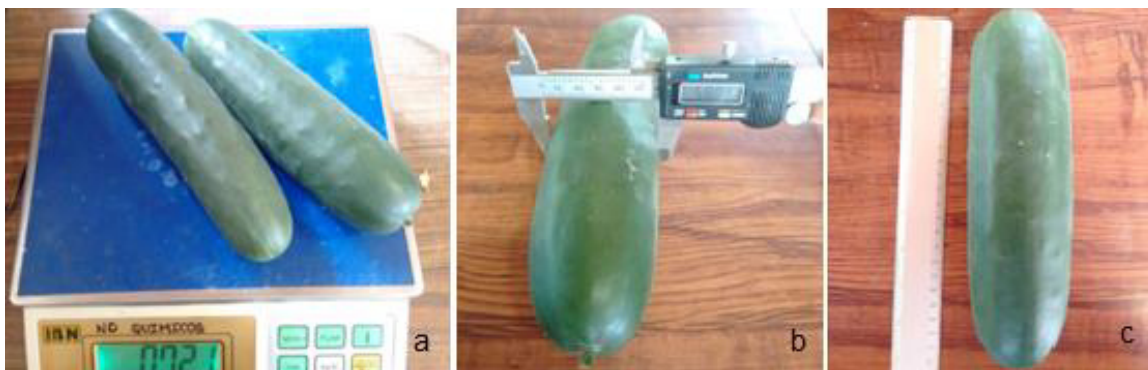


Figura 5. Medidas del pepino a) peso, b) diámetro ecuatorial, c) diámetro polar del fruto

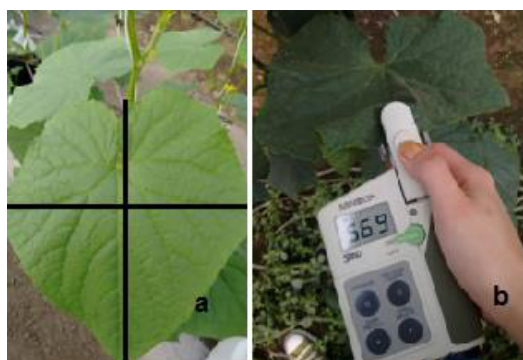


Figura 6. Medidas de la planta de pepino a) largo y ancho de hojas, b) medición de Grados

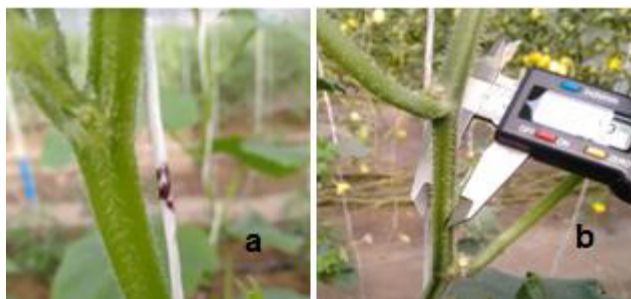


Figura 7 Medidas de crecimiento de las plantas de pepino a) incremento de altura ,b) diámetro del tallo

3.7. Análisis Estadístico de los Datos

Los datos fueron analizados por el Paquete Estadístico SPSS versión 17 (2009), con análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento y producción. Las variables que presentaron diferencia significativa por efecto de los tratamientos fueron sometidas a comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados reflejan comportamientos diferentes en crecimiento y producción de las plantas de tomate establecidas durante el primer ciclo de uso de los sustratos así como de las plantas de pepino que fueron establecidas en los sustratos reusados.

4.1. Experimento Uno

El Cuadro 4 muestra las medias de tratamientos de las variables de crecimiento de las plantas de tomate en los sustratos utilizados por primera vez. Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos para las variables incremento de altura, diámetro del tallo y longitud de hoja. Los mejores resultados se presentaron en los sustratos de fibra de coco, perlita y la mezcla de Pum: Pr mientras que el tratamiento de pumicita fue el que presentó el menor crecimiento. Estos resultados se explican por la menor retención de agua fácilmente disponible de pumicita comparada con otros sustratos; la retención de agua de un sustrato está relacionada con la granulometría; la distribución de las partículas determinan las propiedades físicas del sustrato que influyen en el desarrollo de las plantas, las partículas finas se han asociado con un elevado contenido de agua (Gizas y Savvas, 2007); la granulometría gruesa de la pumicita empleada pudiera haber limitado el crecimiento de las plantas. Diversos autores (Castellanos y Vargas, 2009; Gunnlaugsson y Adelsteinsson, 1995) señalan que la pumicita tiende a presentar baja retención de agua, por lo que es necesario compensar con un

aumento en el número de riegos sobre todo durante las horas más calientes del día, para asegurar un óptimo suministro de agua a las plantas. En el presente experimento la frecuencia de riego (ocho impulsos diarios) y cantidad de agua fue la misma para todos los sustratos, por lo que tuvieron ventaja aquellos con mayor retención de agua, como lo son los sustratos de fibra de coco. Los resultados coinciden con lo reportado por Marinou *et al.* (2013) quienes señalaron que las plantas establecidas en los sustratos orgánicos presentaron el mayor crecimiento, mientras que las plantas en el sustrato de pumicita, con granulometría <8 mm, obtuvieron el menor crecimiento.

Cuadro 4. Incremento de altura (cm), diámetro del tallo (mm) y longitud de hoja (cm) en el experimento uno.

Tratamientos †	Incremento de altura (cm)	E.E	Diámetro del tallo (mm)	E.E	Longitud de hoja (cm)	E.E
FCG	17.95 ^a	0.414	8.84 ^a	0.229	44.74 ^a	0.858
FCF	18.52 ^a	0.410	9.56 ^a	0.227	46.04 ^a	0.858
Pum	15.65 ^b	0.425	7.57 ^b	0.236	36.60 ^b	0.868
Pr	18.40 ^a	0.410	9.45 ^a	0.227	46.43 ^a	0.858
Pum : Pr	17.52 ^a	0.410	8.84 ^a	0.227	44.05 ^a	0.858
p value	0.00		0.00		0.00	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$)

En el experimento uno, los análisis estadísticos señalaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en producción y número de frutos (Cuadro 5). El tratamiento de fibra de coco gruesa presentó las plantas con los mejores rendimientos, aunque no hubo diferencia significativa de este sustrato respecto a fibra de coco fina y pumicita; los rendimientos más bajos se reportaron para la mezcla de Pum:Pr y perlita sola. Sustratos con partículas menores a 0.5 mm presentan dificultad en la aireación de la raíz (Castellanos y Vargas, 2009), a lo cual podría atribuirse la baja producción de las plantas en el sustrato perlita al tener una granulometría muy fina. Los resultados de producción de tomate difieren de los obtenidos para el desarrollo vegetativo de la planta, debido a que pumicita no resultó con bajos rendimientos como se esperaba, lo que indica que el déficit de agua en este sustrato impactó más el desarrollo vegetativo que al rendimiento.

Cuadro 5. Producción de tomate (kg/UE) y número de frutos en el experimento uno.

Tratamientos †	Producción (kg/UE)	E.E	Número de frutos	E.E
FCG	9.91 ^a	0.64	135 ^a	6.65
FCF	8.59 ^{ab}	0.64	127 ^{ab}	6.65
Pum	8.14 ^{ab}	0.51	115 ^{ab}	5.31
Pr	7.51 ^b	0.47	113 ^b	4.88
Pum:Pr	7.11 ^b	0.45	112 ^b	4.70
p value	0.01		0.04	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$)

Los análisis de varianza para las variables diámetro polar y diámetro ecuatorial no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo el peso del fruto sí reportó diferencia significativa (Cuadro 6); los frutos de menor peso fueron los de las plantas establecidas en perlita sola y en la mezcla Pum:Pr, que fueron las de menor rendimiento, a lo cual podría atribuirse el bajo peso.

Cuadro 6. Diámetro polar (mm), diámetro ecuatorial (mm) y peso del fruto (g).

Tratamientos †	Diámetro polar (mm)	E.E	Diámetro ecuatorial (mm)	E.E	Peso (g)	E.E
FCG	77 ^a	1.88	57 ^a	1.28	111 ^a	7.05
FCF	78 ^a	1.88	57 ^a	1.28	100 ^{ab}	7.05
Pum	75 ^a	1.38	54 ^a	0.90	93 ^{ab}	4.99
Pr	71 ^a	1.33	54 ^a	0.94	82 ^b	4.99
Pum:Pr	71 ^a	1.33	53 ^a	0.90	82 ^b	4.99
p value	0.54		0.10		0.00	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$)

4.2. Experimento Dos

El experimento dos fue establecido con plantas de pepino en sustratos reusados y previamente desinfectados mediante la solarización, algunos autores aseguran que este proceso de desinfección produce cambios en la granulometría con tendencia a disminuirse (Giuffrida y Consoil, 2016); Tzortzakis y Economakis. (2008) mencionan que los sustratos orgánicos presentan desintegración durante el ciclo agrícola; lo anterior coincide con lo observado en el presente estudio para el sustrato de fibra de

coco fina, que tuvo una disminución de volumen (15 %), lo que pudo ocurrir durante el ciclo agrícola y acentuarse con la solarización.

El Cuadro 7 muestra las medias de los tratamientos para las variables relacionadas con el crecimiento de las plantas y los grados SPAD que fueron observados durante la etapa vegetativa del cultivo. Los análisis estadísticos no encontraron diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos para las variables de incremento de altura de la planta, diámetro del tallo y grados SPAD. Los grados SPAD en el cultivo de pepino son indicadores de las condiciones nutricionales de las plantas (Cho, *et al.* 2007), lo cual podría indicar que en las primeras etapas del cultivo la absorción de nutrimentos fue similar. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos para largo y ancho de la hoja (Cuadro 8); los mejores resultados se observaron en los sustratos de fibra de coco mientras que el menor tamaño de hoja se observó en el tratamiento de pumicita (5-7 mm) reusada. El agua influye en las estructuras celulares y síntesis de las proteínas, por lo que el agua es el factor más importante para el crecimiento de las plantas, cuando el aporte de agua resulta deficiente la extensión foliar se ve disminuida (Taíz y Zeiger, 2006; Ledent, 2002), lo cual pudo ocurrir a las plantas de pepino debido a la baja retención de agua del sustrato pumicita.

Cuadro 7. Incremento de altura (cm), diámetro del tallo (mm) y grados SPAD en el experimento dos

Tratamientos †	Incremento de altura (cm)	E.E	Diámetro del tallo (mm)	E.E	Grados SPAD	E.E
FCG	60.61 ^a	2.71	7.25 ^a	0.35	53.29 ^a	1.21
FCF	66.44 ^a	2.71	7.94 ^a	0.35	53.19 ^a	1.21
Pum	59.38 ^a	2.71	6.55 ^a	0.35	55.17 ^a	1.21
PumF	60.11 ^a	2.71	6.65 ^a	0.35	55.65 ^a	1.21
Pr	61.39 ^a	2.71	7.03 ^a	0.35	54.27 ^a	1.21
Pum:Pr	61.97 ^a	2.71	6.61 ^a	0.35	55.22 ^a	1.21
p value	0.53		0.11		0.60	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, PumF= pumicita fina, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$)

Cuadro 8. Largo y ancho de hoja (cm) en el experimento dos

Tratamientos †	Largo de Hoja (cm)	E.E	Ancho de Hoja (cm)	E.E
FCG	19.44 ^a	0.363	26.89 ^a	0.58
FCF	19.38 ^a	0.363	26.94 ^a	0.58
Pum	17.50 ^b	0.363	23.55 ^b	0.58
PumF	17.77 ^{ab}	0.363	24.44 ^{ab}	0.58
Pr	18.77 ^{ab}	0.363	25.33 ^{ab}	0.58
Pum:Pr	18.49 ^{ab}	0.363	25.44 ^{ab}	0.58
p value	0.01		0.00	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, PumF= pumicita fina, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$)

Las variables de producción del cultivo de pepino se muestran en el Cuadro 9. Los análisis de varianza encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos para las variables de producción y número de frutos; los mejores resultados se observaron en los tratamientos de fibra de coco fina y la mezcla de Pum: Pr, sin diferencia entre ambos; la menor producción fue observada en el tratamiento de pumicita (5-7 mm) reusada. Estos resultados podrían deberse a la fisiología de las plantas, que, al ser un cultivo de rápido crecimiento, demanda mayor cantidad de agua, por lo que las características granulométricas e hidráulicas del sustrato pumicita pudieron afectar la producción. La expansión foliar está relacionada con el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Cho, *et al.*, 2007), al tener menor área foliar disminuye la actividad fotosintética de la planta, lo que tiene como consecuencia una menor acumulación de materia seca. Los análisis de varianza no reportaron diferencia significativa ($p > 0.05$) en términos de diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso del fruto (Cuadro 10).

En ocasiones el fracaso de un sustrato puede atribuirse a la mala elección del tamaño de partículas y no al sustrato en sí (Castellanos y Vargas, 2009). Los sustratos utilizados en la presente investigación tuvieron diferente granulometría y por lo tanto diferente retención de agua fácilmente disponible, siendo el sustrato de pumicita el que menor retención de agua presentó. Por otra parte el riego en los dos experimentos estuvo suministro por dos goteros con 8 impulsos de riego para todos los tratamientos, los cuales no fueron suficientes para mantener la planta hidratada adecuadamente en los sustratos de granulometría gruesa; esto se presentó principalmente en la de pepino por lo que estos sustratos de granulometría gruesa

principalmente en las horas del día con mayor radiación solar deben de utilizarse en combinación con riegos de alta frecuencia.

Cuadro 9. Producción (kg/UE) y número de frutos en el experimento dos

Tratamientos †	Producción (kg/UE)	E.E	Número de frutos	E.E
FCG	5.638 ^{ab}	0.48	13.71 ^{ab}	1.106
FCF	6.901 ^a	0.52	16.33 ^a	1.194
Pum	4.170 ^b	0.48	11.14 ^b	1.106
PumF	6.040 ^{ab}	0.48	14.42 ^{ab}	1.106
Pr	5.838 ^{ab}	0.48	13.85 ^{ab}	1.106
Pum:Pr	6.770 ^a	0.48	15.71 ^{ab}	1.106
p value	0.00		0.04	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, PumF= pumicita fina, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($\rho < 0.05$)

Cuadro 10. Largo (cm), ancho (mm) y peso (g) de frutos

Tratamientos †	Largo de frutos (cm)	E.E	Ancho de frutos (mm)	E.E	Peso (g)	E.E
FCG	21.98 ^a	0.35	56.04 ^a	0.74	461.45 ^a	19.38
FCF	21.36 ^a	0.38	54.40 ^a	0.97	438.43 ^a	20.94
Pum	21.74 ^a	0.35	54.71 ^a	0.74	422.61 ^a	19.38
PumF	22.40 ^a	0.38	56.44 ^a	0.80	474.13 ^a	20.94
Pr	22.66 ^a	0.35	57.71 ^a	0.74	499.92 ^a	19.38
Pum:Pr	22.79 ^a	0.38	56.95 ^a	0.80	495.79 ^a	20.94
p value	008		0.05		0.06	

† FCG= fibra de coco gruesa, FCF= fibra de coco fina, Pum= pumicita, PumF= pumicita fina, Pr= perlita, Pum:Pr= pumicita:perlita, EE= error estándar
a, b, letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos ($\rho < 0.05$)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sustratos de fibra de coco tanto gruesa como fina mostraron los mejores resultados en crecimiento y producción para ambos cultivos.

El cultivo de tomate tuvo el menor rendimiento al estar establecido en perlita, mientras que el pepino obtuvo el menor rendimiento en el sustrato pumicita (5-7 mm).

Considerando los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda que los sustratos de granulometría gruesa sean evaluados incrementando los impulsos de riego diario.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón-Vera, A. 2000. Introducción a los cultivos sin suelo. Sistemas y sustratos. In Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Ed. A. L. Alarcón. Ed. Novedades Agrícolas, S. A. pp 191-204 .
- Castellanos, J. Z. y P., Vargas T., 2009. Los Sustratos en la Horticultura Protegida. En J. Z. Castellanos (Ed.). Manual de Producción de Tomate en Invernadero. México INTAGRI. pp. 105- 129.
- Castellanos J., Z. y J.L., Ojodeagua. 2009. Formulación de la Solución Nutritiva. En J. Z. Castellanos (Ed.). Manual de Producción de Tomate en Invernadero. México, INTAGRI. pp. 131-155.
- Cho, Y. Y., Oh, S., Oh, M. Min O. and J. E. Son. 2007. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Scientia horticultrae* 111(4):330-334.
- Garza A., M. y M., Molina V. 2008. Cultivo en Sustrato. En Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. SAGARPA. México. Pp. 180- 183.
- Giuffrida, F. and S. Consoli. 2016. Reusing Perlite Substrates in Soilless Cultivation: Analysis of Particle Size, Hydraulic Properties, and Solarization Effects. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 142(2):04015047.

- Giuffrida, F., C. Leonardi and O. Marfà, 2007. Substrate reuse in tomato soilless cultivation. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys. October 2007. 801. pp. 1577-1582.
- Gizas, G., y D Savvas. 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. HortScience 42(5):1274-1280.
- Gunnlaugsson, B., and S. Adalsteinsson, 1995. Pumice as environment-friendly substrate-a comparison with rockwool. In International Symposium on Growing Media and Plant Nutrition in Horticulture. Sep 1995. 401. pp. 131-136.
- Hanna, H. Y. 2006. A stir and disinfect technique to recycle perlite for cost-effective greenhouse tomato production. Journal of vegetable science 12(1):51-63.
- INEGI (Consultado el 23 de enero, 2017. <http://www.inegi.org.mx>)
- Ledent, J.F., 2002. Manual Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico. CGRI, Bélgica. Pp. 7-53
- Maloupa, E., H. Abou A., M. Prasad and C. H. Kavafakis. 2001. Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture. In V International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Sustainable Technologies. 559. Pp. 593-600.
- Marinou, E., A Chrysargyris, and N. Tzortzakis,. 2013. Use of sawdust, coco soil and pumice in hydroponically grown strawberry. Plant Soil Environ. 59(10):452-459.
- Moncada, A., G. Caracciolo and F. D'Anna, 2007. Effects of substrate solarization on tomato soilless cultivation. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys. October 2007. 801. pp. 1485-1492.

- Muñoz R.,J.J. 2009. Manejo del Cultivo de Tomate en Invernadero. En J. Z. Castellanos (Ed.) Manual de Producción en Tomate en Invernadero. Intagri. México. pp. 45-90
- Olivares S., E., M. Molina V., N. E. García T. y J. Martínez de la C. 2006. Curso teórico práctico “Producción de tomate en invernaderos”. Facultad de Agronomía. UANL. pp. 23-29
- Papadopoulos, A. P. 1994. Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada.
- Producción agrícola, SIAP (Consultado el 27 de mayo del 2017. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>)
- SAGARPA. 2012 (Consultado el 10 de agosto, 2016. <http://www.gob.mx/sagarpa>)
- Schmilewski, G. 2007. Growing medium constituents used in the EU. In International Symposium on Growing Media 819 . Sep 2007. pp. 33-46.
- Taíz, L. y E. Zeiger. 2006. El agua y las células vegetales. En Fisiología Vegetal. Vol 1. Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I. Los Ángeles. pp 51-67
- Tzortzakis, N. G. and C. D. Economakis. 2008. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. HortScience 35(2):83-89.
- Zamudio G., B y A. Félix R. 2014. Producción de pepino bajo invernadero en valles altos del Estado de México. INIFAP. México. pp. 20-43.