

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y ENARENADOS EN PRODUCCIÓN
DE TOMATE BOLA (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO**

TESIS

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

PRESENTA

RUBÉN TREJO RANGEL

ESCOBEDO, N. L.

AGOSTO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y ENARENADOS EN PRODUCCIÓN
DE TOMATE BOLA (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO**

TESIS

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

PRESENTA

RUBÉN TREJO RANGEL

ESCOBEDO, N. L.

AGOSTO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y ENARENADOS EN PRODUCCIÓN
DE TOMATE BOLA (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO**

TESIS

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

PRESENTA

RUBÉN TREJO RANGEL

ESCOBEDO, N. L.

AGOSTO 2014

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN GRÍCOLA
COMITÉ PARTICULAR**

**Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Director Principal**

**Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-Director Principal**

**Dr. Roberto Carranza de la Rosa
Co- Asesor**

**M. C. Nora Estela García Treviño
Co- Asesor**

**Dr. Ernesto Sánchez Alejo
Sub Director de Estudios de Posgrado**

DEDICATORIA

A mis padres:

Federica Rangel Mendoza

J. Rubén Trejo Sifuentes

A mis hermanas:

Georgina

Mariela

Deyadira

Yesenia

A mis hermanos:

Juan Carlos

Heriberto

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Fundación PRODUCE Nuevo León A. C., por el apoyo económico para la realización del proyecto de Investigación.

Al Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por facilitar infraestructura y materiales para la realización de este proyecto.

Al Área de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Al comité de Asesores:

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, por su apoyo y su participación en este proyecto, agradezco su amistad y confianza.

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz, por su apoyo absoluto y confianza, sus puntos de vista y colaboración para este trabajo.

Dr. Roberto Carranza de la Rosa, por su valioso apoyo y sugerencias en esta investigación.

M.C. Nora Estela Treviño García, por su valiosa aportación y sugerencias en esta investigación.

A los profesores, que influyeron en la formación académica dentro del programa.

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL por compartir sus conocimientos y apoyarnos en nuestra formación académica.

A todos los que colaboraron desinteresadamente en la realización de este trabajo de investigación, **GRACIAS.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pag.
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	2
1.2. Objetivos	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Importancia del Tomate a Nivel Mundial	3
2.2. Producción de Tomate en México	3
2.3. Producción de Tomate en el Estado de Nuevo León	5
2.4. Agricultura Protegida	6
2.5. Sustratos	7
2.6. Elección del Sustrato	9
2.7. Caracterización de Sustratos	9
2.7.1. Granulometría	9
2.7.2. Densidad aparente y real	10
2.7.3. Espacio poroso	10
2.7.4. Capacidad de aireación	10
2.8. Principales Sustratos Utilizados en Agricultura Protegida	11
2.8.1. Perlita	11

2.8.2. Turba	11
2.8.3. Fibra de coco	12
2.8.4. Tezontle	12
2.8.5. Mezcla de sustratos	12
2.8.6. Arena	13
2.9. Enarenados	14
2.9.1. Ventajas del enarenado	15
2.9.2. Suelo	17
2.10. Salinidad	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Ubicación de los Experimentos	22
3.2. Clima	22
3.3. Características del Invernadero	23
3.4. Desarrollo de Plántula Utilizada en los Experimentos	23
3.5. Trasplante de los Experimentos Establecidos en el Invernadero	24
3.6. Manejo del Cultivo Para los Dos Experimentos	25
3.7. Periodo de Cosecha de los Experimentos	25
3.8. Variables Evaluadas en los Dos Experimentos	26
3.9. Procedimiento Para la Toma de Datos de los Dos Experimentos	26
3.10. Desarrollo del Experimento 1	26
3.11. Desarrollo del Experimento 2	29
4. RESULTADOS	32
4.1. Experimento 1	32
4.2. Experimento 2	33

5. DISCUSIÓN	35
5.1. Experimento 1	35
5.2. Experimento 2	37
6. CONCLUSIONES	38
7. BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Países con mayor producción de tomate (toneladas)	3
2	Producción nacional de tomate en campo abierto y en agricultura protegida	4
3	Producción de tomate en Nuevo León en campo abierto y agricultura protegida	5
4	Municipios de Nuevo León con invernaderos reportados en m ²	6
5	Características físicas de cinco sustratos reportados por Castellanos y Vargas en 2009	11
6	Análisis del agua utilizada en la preparación de la solución nutritiva Steiner	27
7	Soluciones nutritivas utilizadas en el Experimento 1	27
8	Resultado de los análisis de textura de los suelos evaluados, en los enarenados	29
9	Comparación de medias de rendimiento dentro de cada fecha de cosecha (g)	32
10	Comparación de medias de rendimiento de 6 plantas (g)	33
11	Comparación de medias de diámetro polar de frutos	34
12	Comparación de medias de diámetro ecuatorial de frutos	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Principales sustratos utilizados en agricultura protegida (Urrestarazu <i>et al.</i> , 2008)	8
2	Mezcla de perlita y turba al 50% c/u utilizada en el tratamiento 3	13
3	Arena utilizada en los enarenados	14
4	Vista superior de los enarenados en trinchera	15
5	Desarrollo del sistema radicular en enarenados	17
6	Campus de Ciencias Agropecuarias U. A. N. L	22
7	Invernadero israelita donde se desarrollaron los experimentos	23
8	Invernadero español utilizado para la producción de plántula	24
9	Plántulas utilizadas en los experimentos y trasplante en sustratos del experimento 1	25
10	Módulo hidropónico utilizado en la evaluación de sustratos	28
11	Unidad experimental en el experimento 1	29
12	Tratamientos empleados en los enarenados	30
13	Marco de plantación	30
14	Unidad experimental en el experimento 2	31

RESUMEN

La agricultura protegida en México se desarrolla en dos sistemas de producción: siembra en suelo directo y con sustratos. La mayoría de los productores prefieren el sistema de siembra en suelo debido a que implica menor gasto de inversión y operación; sin embargo, después de algunos años de monocultivo surgen problemas de enfermedades y una elevada concentración de sales en suelo, provocando un bajo rendimiento en los cultivos. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue comparar diferentes sustratos en siembra hidropónica y diferentes sistemas de enarenados. La investigación se realizó en un invernadero tipo israelita en la Facultad de Agronomía ubicada en el Campus de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el Municipio de General Escobedo N. L. La investigación se diseñó en dos experimentos. Experimento 1: comparación de sustratos: perlita, fibra de coco, turba, mezcla de perlita y turba. Experimento 2: comparación de diferentes sistemas de enarenados en trinchera (tratamiento 1: suelo arcilloso, tratamiento 2: suelo franco-arenoso, tratamiento 3: suelo franco y como testigo la siembra directa en suelo). Ambos experimentos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: número de frutos, rendimiento total por tratamiento (g), peso promedio de fruto, diámetro polar (mm) y ecuatorial (mm) de los frutos. Los análisis estadísticos para el experimento 1 no mostraron

diferencias significativas para el número de frutos, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial, sin embargo se encontró efecto significativo en la interacción tratamientos x fechas de cosecha, encontrando que los sustratos perlita y turba tuvieron mejor desempeño. El sustrato de fibra de coco fue inferior a los demás en todas las fechas, tanto en número de frutos como en rendimiento. En el experimento 2, los análisis de varianza mostraron diferencias significativas en rendimiento (g) y diámetro polar (mm) y ecuatorial (mm) de los frutos. En todas las variables el tratamiento 3 (suelo franco) fue superior; en comparación a los demás tratamientos. Los tratamientos en suelos arcillosos fueron los que presentaron menores rendimientos y menor desarrollo del fruto en el periodo de cosecha del experimento.

Palabras claves: *perlita, fibra de coco, turba, trinchera, mezcla perlita-turba*

SUMMARY

Tomato production under greenhouse conditions in Mexico takes place in two production systems: soil planting and substrates. Most growers prefer soil planting system because it involves less investment and operating expenditure. However, after some years of monoculture disease problems emerge and soil is contaminated with high salt concentration, causing poor growth and low yields. The aim of this study was to compare different substrates for tomato production under greenhouse conditions. The research was conducted in a greenhouse in the College of Agriculture located at Campus of Agricultural Sciences of the Universidad Autonoma de Nuevo Leon, located in General Escobedo N. L. The research was designed in two experiments. Experiment 1: comparison of substrates: perlite, coconut fiber, peat, and mixture of perlite and peat. Experiment 2: comparison of different systems in trench with clay soil high in salt, clay loam soil, loam soil, and clay soil low in salt. Both experiments were established under a completely randomized design with six replications and six plants as experimental unit. Variables measured were: number of fruit, total yield per treatment (g), average weight, polar and equatorial fruit diameter (mm). Statistical analyzes for Experiment 1 showed that there was not significant differences for fruit number and fruit size, however yield was different among treatments, perlite and peat substrates performed better than coconut fiber. Results of experiment 2 showed significant differences among treatments in yield (g) and polar and equatorial fruit diameter (mm). loam soil performed better in all variables compared to other treatments.

Clayey soil treatments were those with lower yields and lower fruit development in the harvest period of the experiment.

Key words: *perlite, coconut fiber, peat, trench, peat-perlite mixture*

1 INTRODUCCIÓN

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en campo abierto se realiza en una gran diversidad de climas que son una gran limitación por los constantes cambios que afectan el periodo de cosecha. También se siembra en suelo directo y en sustratos bajo sistemas de agricultura protegida, este sistema de producción ofrece la ventaja de controlar los factores que intervienen en la producción. En México, el tomate es la hortaliza que más valor aporta a la producción agropecuaria, asimismo, es uno de los productos agrícolas que genera más divisas. El avance en la adopción de tecnologías de agricultura protegida está modificando la estructura del mercado del tomate.

En el mundo las regiones dedicadas a la agricultura están teniendo más restricciones debido a la salinización de los suelos que ha aumentado paulatinamente la concentración de sales solubles, reduciendo el potencial productivo de muchos cultivos. La salinidad afecta a las plantas de tomate por ejemplo, disminuyendo el porcentaje de germinación, prolongando el tiempo de germinación, reduciendo el desarrollo de las raíces, los tallos alcanzan una menor altura, las hojas reducen en número y presentan desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados, por lo que el número y peso de los frutos es afectado e impacta al rendimiento comercial. Sin embargo, la salinidad puede mejorar la calidad de los frutos en términos organolépticos, al presentar mayor contenido de compuestos solubles, concentración de ácido y licopeno.

La producción de tomate en invernadero se realiza en sustratos inertes, los

cuales están confinados a un espacio limitado y aislado del suelo en donde se desarrolla su sistema radicular, los sustratos más utilizados que han demostrado buenos resultados son: turba, lana de roca, polvo de coco y perlita.

La arena tiene una extraordinaria resistencia mecánica, una de sus funciones es aumentar la densidad aparente de las mezclas. Actúa como acolchado evitando la ascensión del agua por capilaridad y evaporación de la misma suavizando las oscilaciones térmicas de los suelos y actuando como intercambiador de energía; la arena puede proceder de canteras o de ríos, las primeras son más homogéneas. Las segundas son más heterogéneas, debido a que resultan de la mezcla de distintos materiales erosionados y transportados por las aguas, por lo que las partículas suelen ser redondeadas.

1.1. Hipótesis

La productividad de tomate bola es afectada por la utilización de diferentes tipos de sustrato por lo tanto la evaluación de estos permitirá identificar los más adecuados para la producción de tomate bajo las condiciones de manejo de un invernadero con tecnología media

El lavado de las sales en suelos arcillosos es más lento que en suelos de texturas más gruesas, por lo que la producción de tomate bola en invernadero se puede mejorar utilizando trincheras con suelo de texturas medias cuando se riega con aguas de alta salinidad.

1.2. Objetivos

Evaluar los sustratos: de fibra de coco perlita y turba en la producción de tomate bola

Evaluar el rendimiento de tomate bola bajo diferentes texturas de suelo usando agua alta en sales.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del Tomate a Nivel Mundial

El tomate es una de las principales hortalizas cultivadas en el mundo por su alto valor económico. México se ubica en el decimo lugar de la producción mundial después de China, Estado Unidos, Turquía, India e Italia, cuya producción en conjunto representa más del 60% del total global de acuerdo con la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Países con mayor producción de tomate (Toneladas).

País	2006	2007	2008	2009	2010
China	32;519,322	36;096,890	39;938,708	45;365,543	47,116,084
Estados Unidos	12;257,200	14;185,200	12;735,100	14;181,300	12,858,700
India	9;820,400	10;055,000	10;303,000	11;148,800	12,433,200
Turquía	9;854,880	9;945,040	9;204,100	10;745,600	10;052,000
Egipto	8;576,070	8;639,020	10;985,400	10;278,500	8;544,990

www.fao.com

2.2. Producción de Tomate en México

En México el tomate es la hortaliza que ocupa el primer lugar en términos del valor de la producción (Cuadro 2). Es el segundo producto más cultivado después del chile y es uno de los productos agrícolas que genera más divisas al país. La mayor parte de la producción bajo invernadero se concentra en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco, este tipo de producción también existe en los estados de Colima, Estado de México, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (FIRA, 2010).

Cuadro 2. Producción nacional de tomate en campo abierto y en agricultura protegida.

Año	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (T)	Rendimiento (T/Ha)	Valor Producción (Millones de \$)
2007	66,635.31	64,779.41	2;425,402.77	37.44	11;527,680.04
2008	57,248.08	55,942.37	2;263,201.65	40.46	12;699,612.99
2009	53,572.62	52,383.63	2;043,814.55	39.02	12;233,405.88
2010	54,510.59	52,088.59	2;277,791.43	43.73	14;887,127.57
2011	53,780.18	44,932.15	1;872,481.69	41.67	10;336,853.07

www.siap.sagarpa.gob.mx

Los principales estados exportadores de tomate son Sinaloa y Baja California, aprovechando las condiciones favorables del clima y la cercanía de Estados Unidos de América, principal país consumidor (Calvin *et al.*, 2005). En general, los invernaderos contribuyen con el 44 % y la malla sombra con 51 % de la superficie total de agricultura protegida. Los estados donde se concentra la mayor cantidad de invernaderos son: Sinaloa (22 %), Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %) y Jalisco (10 %); estas cuatro entidades aportan más del 50 % de la producción total de cultivos protegidos (Perea, 2011).

En relación al nivel de tecnificación de invernaderos en México, se consideran de baja y media tecnología, en función de lo siguiente 1) Tecnología baja: 100 % dependiente del ambiente, uso de tecnologías simples, similares a las utilizadas en cultivo a la intemperie. 2) Tecnología media: semiclimatizados, riegos programados, suelo o hidroponía. 3) Tecnología alta: climatización automatizada (mayor independencia del clima externo), riegos computarizados, inyecciones de CO₂, uso de sustratos (SAGARPA, 2009). Estas son algunas de las principales causas de la rápida expansión de la superficie de tomate bajo

agricultura protegida (Padilla *et al.*, 2012).

2.3. Producción de Tomate en el Estado de Nuevo León

Nuevo León ha avanzado en los últimos años en la producción de tomate en invernadero (Cuadro 3), este crecimiento se debe principalmente al desarrollo de tecno parques hortícolas en el sur del estado en donde ha participado el gobierno federal, estatal, municipal, productores y la U.A.N.L. Aprovechando las condiciones climatológicas favorables para el desarrollo de la producción en invernaderos, la iniciativa privada también se ha establecido en el sur del estado, por lo que los principales desarrollos de invernaderos se localizan en esa zona (Cuadro 4) (González, 2011).

Cuadro 3. Producción de tomate en Nuevo León en campo abierto y agricultura protegida.

Año	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(T)	(T/Ha)	(Miles de \$)
2007	586.60	486.60	4,557.00	9.36	10,279.00
2008	401.03	401.03	15,152.00	37.78	84,946.60
2009	666.81	395.81	16,330.87	41.26	121,576.65
2010	987.70	952.70	27,872.00	29.26	188,762.00
2011	354.39	354.31	20,618.49	58.19	122,580.25

www.siap.sagarpa.gob.mx

Cuadro 4. Municipios de Nuevo León con invernaderos reportados en m².

Zona centro		Zona sur	
Abasolo	5,000	Aramberri	369,340
Cadereyta	107,798	Galeana	623,610
García	2,500	Gral. Zaragoza	19,800
Gral. Escobedo	2,000	Rayones	5,000
Gral. Terán	5,000	total m ²	1,017,750
Juárez	144,000	Zona norte	
Linares	32,500	Bustamante	2,610
Marín	1,000	Lampazos	50,000
Montemorelos	29,300	Los Ramones	20,000
Salinas		Sabinas	
Victoria	1,654	Hidalgo	22,750
Total m ²	330,752	total m ²	95,360

(González, 2011).

2.4. Agricultura Protegida

La agricultura protegida, es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, con la finalidad de proteger los cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos (Moreno *et al.*, 2011). La disponibilidad de infraestructura influye significativamente al reducir la necesidad de inversiones extras. Las instalaciones y equipos deben ser planeados para que en función de la aptitud climática del sitio seleccionado, se satisfagan las variables agronómicas (FIRA, 2010). La agricultura protegida se desarrolla en condiciones muy heterogéneas en México (Castellanos y Borbón, 2009).

La producción de tomate en invernadero tiene un mayor costo a diferencia de los producidos en campo abierto, puesto que están protegidos de la intemperie y otras condiciones que afectan la producción en campo abierto (Calvin *et al.*, 2005).

2.5. Sustratos

Los cultivos sin suelo suelen clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivos en agua, más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivos sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico), los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistemas abiertos, a solución perdida, no re circulante, o como sistemas cerrados, con recirculación de las soluciones nutritivas (FAO, 1990).

La producción de cultivos en sustratos es un sistema donde la planta desarrolla su sistema radical en un medio confinado, en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo. El término sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido, natural o de síntesis distinto al suelo *in situ*, que colocado en un contenedor o bolsa, en forma pura o mezcla, permite el desarrollo del sistema radicular y el crecimiento del cultivo que puede intervenir o no en la nutrición de la planta (Castellanos y Vargas, 2009). Una ventaja importante de los sustratos con respecto al cultivo en suelo, es que los sustratos tienen una alta porosidad (>85%), de la cual una buena porción está en forma de macroporos; mientras que en el suelo la porosidad total en algunas ocasiones puede alcanzar un 50% en suelos bien drenados (mesoporos y microporos) (Díaz, 2004).

El mejor sustrato para el cultivo en cada caso varía de acuerdo con diferentes factores entre los que se encuentran: tipo de material vegetal (semilla, estaca, planta, etc.), especie cultivada, condiciones climáticas, tamaño y forma del contenedor, programas de riego y fertilización, así como aspectos económicos, experiencia en su utilización, etc. (Abad *et al.*, 2005). Los sustratos que han demostrado ser alternativas viables para la producción de hortalizas en

sistemas de semi-hidroponía son: lana de roca, perlita, turba y fibra de coco (Figura 1). Sin embargo para ser competitivo los sustratos deben ser usados al menos un año.



Figura 1. Principales sustratos utilizados en agricultura protegida (Urrestarazu *et al.*, 2008).

Los sustratos están formados por tres fases y cada una de ellas cumple una importante función:

- a. Fase sólida; es la responsable del anclaje de la raíz y asegura la integridad de la planta.
- b. Fase líquida; es la responsable del suministro de agua y fertilizantes (nutrimentos) a la planta.
- c. Fase gaseosa; es la responsable del transporte del dióxido de carbono y oxígeno entre la raíz y el medio ambiente (Castellanos y Vargas, 2009).

Crespo *et al.*, (2010) mencionan que la caracterización física y química de los materiales (por separado) es necesaria para justificar la mezcla o no de los materiales, también hay que considerar el costo de los materiales para la

realización de las mezclas, ya que dependiendo de la viabilidad de estos puede o no seleccionarse o descartarse una mezcla. Domeño *et al.*, (2009) mencionan que la caracterización fisicoquímica de los sustratos debe realizarse en todo el ciclo de producción del cultivo. En el estudio de las propiedades fisicoquímicas, se observó que la capacidad aérea disminuye considerablemente en sustratos de fibra de madera y fibra de coco. Por lo tanto, es importante considerar la retención de nutrientes en los sustratos orgánicos a través del ciclo.

2.6. Elección del Sustrato

La elección de un sustrato se realiza con base a: a) análisis de las propiedades físicas (granulometría, densidad aparente y densidad real) químicas (pH, CE, relación C/N) y biológicas (velocidad de descomposición, actividad reguladora de crecimiento), b) ensayos de evaluación agronómica y c) costos de adquisición. Otro factor importante a considerar es la experiencia que tengan los productores y técnicos acerca de su manejo (Abad *et al.*, 2004).

2.7. Caracterización de Sustratos

2.7.1. Granulometría

Es la proporción de los diámetros de las partículas que constituyen el sustrato. Castellano y Vargas, (2009) mencionan que la fracción de 0.5 a 1.0 mm de diámetro, independientemente del sustrato que se trate, es la que contiene la mejor combinación de aireación y agua de alta disponibilidad. La forma de la gran mayoría de las partículas de los sustratos no es esférica ni presenta un tamaño único, por lo que en la práctica la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de la partícula y viceversa (Díaz, 2004).

2.7.2. Densidad aparente y real

La densidad aparente juega un papel vital sobre la porosidad, ya que junto con la densidad real del material se usan como parámetros para calcular la porosidad. Este parámetro también juega un papel en los costos de transporte y manejo del sustrato, porque si es un material de muy baja densidad cuesta mucho el transporte y debe ser compactado hasta el punto en que pueda recuperar sus características originales.

La densidad real es la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen real ocupado por las partículas que lo conforman (Castellanos y Vargas, 2009).

2.7.3. Espacio poroso

Es el volumen total no ocupado por la fase sólida, es decir, la parte que no está conformada por partículas orgánicas ni minerales (Castellanos y Vargas, 2009). No solamente es generado por el acomodo de las partículas, sino que también algunas partículas tienen poros internos, los cuales pueden estar conectados a los poros externos o estar cerrados; éstos últimos no son efectivos para almacenar aire o agua disponibles para la planta (Díaz, 2004).

2.7.4. Capacidad de aireación

Es la proporción del volumen del sustrato de cultivo ocupado por el aire, o el porcentaje de aire que queda en el sustrato cuando se aplica una carga de 10 cm de agua. El nivel óptimo oscila entre 20 y 30% en base volumen, mientras que en sustratos inorgánicos este rango oscila entre 25 y 35% (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características físicas de cinco tipos de sustrato (Castellano y Vargas, 2009)

Sustratos	EPT %	CA %	DA %	AFD %	AR %
Perlita	86	29	0.14	25	7
Turba	96	41	0.07	25	6
Fibra de coco	94	30	0.09	25	8.1

EPT= espacio poroso total, CA= capacidad de aireación, DA= densidad aparente, AFD= agua fácilmente disponible, AR= agua de reserva.

2.8. Principales Sustratos Utilizados en Agricultura Protegida

2.8.1. Perlita

La perlita procede de un material de origen volcánico que al ser sometido a elevadas temperaturas, en un rango de 800 °C – 900 °C, se expande hasta 20 veces su volumen original (Neocleous, 2010) tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja capacidad de intercambio catiónico y pH neutro. La principal ventaja de la perlita es su capacidad para mantener una humedad uniforme, es de fácil manejo por su bajo peso, es un material inerte, sin problemas de contaminación por patógenos (Castellanos y Vargas, 2009).

2.8.2. Turba

La turba es un material consistente de restos de vegetales en proceso de fosilización. La turba que más se usa en horticultura es la turba rubia, la cual presenta una densidad aparente de 0.04 a 0.08 g/cm³, un espacio poroso de 95 a 97%, una capacidad de aireación de 15 a 40%, un porcentaje de agua fácilmente disponible del orden del 25%, una capacidad de retención de agua de 55 al 80%, una capacidad de intercambio catiónico de 100 a 140 me/100g. Este material, se usa poco en la producción de hortalizas en Invernadero en México y su uso está restringido a la producción de plántula (Abad *et al.*, 2004).

2.8.3. Fibra de coco

Es un subproducto de la industria coprera, que se genera después de que el mesocarpo fibroso del coco ha sido procesado para obtener las fibras más largas, que se destinan a la fabricación de cuerdas para la tapicería, etc. Mientras que las cortas y el polvo se utilizan como sustrato. Las fibras de coco mexicanas presentan una densidad media de 0.09 g/cm^3 , capacidad de retención de agua con un valor medio de 63%, capacidad de aireación media 32%, agua fácilmente disponible de un 25%. La fibra de coco se comercializa en México en varios sitios, pero destaca la región de Tecomán y Armería del Estado de Colima (Castellanos y Vargas, 2009).

2.8.4. Tezontle

Este material procede de la erupción de volcanes y está constituido por silicatos de aluminio. El tezontle es uno de los más usados en México en los cultivos sin suelo. Se puede decir que es un excelente material, su principal inconveniente es su variabilidad en cuanto a granulometría (Castellanos y Vargas, 2009).

2.8.5. Mezcla de sustratos

Para generar la mezcla de sustratos hortícolas se utilizan diferentes materiales inertes u orgánicos con ciertas características y propiedades que deben de tomarse en cuenta para generar mezclas más homogéneas (Figura 2). Las mezclas de sustratos para fines de producción suelen encarecer el costo de su elaboración (Castellanos y Vargas, 2009). García *et al.*, (2001) mencionan que hay alternativas para la sustitución de turba y perlita en la producción de plantas ornamentales, utilizando materiales de la región donde se producen. Ortega *et al* (2010) mencionan que el mejor sustrato en el estudio que ellos

realizaron fue el de la mezcla de aserrín – composta debido a que presentó significativamente los mejores resultados en las variables altura, grosor del tallo, tamaño de frutos y rendimiento por planta de tomate y una mayor estabilidad, buena capacidad de aireación para el sistema radicular, alta porosidad y adecuada retención de agua.



Figura 2. Mezcla de perlita y turba al 50% utilizada en el tratamiento 3.

2.8.6. Arena

Es un material de naturaleza silíceo ($\text{SiO}_2 > 50\%$) y de composición variable que depende de los componentes de la roca silicatada original (Abad *et al.*, 2004). La arena es un sustrato económico cuando se tiene disponible a una distancia cercana. Se consideran arenas, todos aquellos materiales cuyas partículas van de 0.05 a 2 mm de diámetro. La densidad aparente de este material es superior a 1.5 g cm^{-3} y en general el espacio poroso total es muy similar al de los suelos, y está en el orden de 50% (Figura 3).



Figura 3. Arena utilizada en los enarenados.

Las partículas con diámetro inferior de 0.5 mm presentan una buena capacidad de retención de agua, por lo contrario partículas con diámetro mayor a 0.5 mm presentan una mejor capacidad de aireación y menor capacidad de retención de agua (Castellanos y Vargas, 2009). Las arenas finas (0.05 mm y 0.25 mm) contribuyen poco en el mejoramiento de las características físicas (Abo-Rezq, *et al.*, 2009).

La arena impide movimientos ascendentes del agua, lo que evita el traslado de sales del suelo natural subyacente. La arena disminuye la evaporación, evita el desarrollo de malas hierbas, mejora la aireación de la zona radicular y aumenta la temperatura del sustrato (Baudoin and Nisen, 2002).

2.9. Enarenados

El enarenado es un sistema de producción que surgió en el sureste español a consecuencia de las malas condiciones presentes en la región como la calidad de agua y suelo (Figura 4). La primera operación a realizar es la aportación de estiércol, por último se coloca una capa de arena de unos 10 cm de espesor.

Una vez preparado el terreno, y realizadas las obras de infraestructura de riego, se procede a la implantación del enarenado.



Figura 4. Vista superior del enarenado en trinchera.

Es necesario cada cierto tiempo (4 a 6 años) cambiar el estiércol (López, 1997). El intervalo entre la realización de enarenado y la necesidad de reponer la materia orgánica varía en función del número de cosechas y de las alternativas o sucesión de cultivos que se hayan realizado (Bretones, 2003).

La técnica del enarenado es un medio simple para conseguir una producción intensiva de cultivos sensibles a condiciones salinas, en suelos no aptos para la horticultura localizados en zonas áridas empleando menos cantidad de agua e incluso agua de poca calidad (Baudoin and Nisen, 2002).

2.9.1. Ventajas del enarenado

La cobertura del suelo con la capa de arena, actúa como acolchado permanente, evitando la ascensión de agua por capilaridad y la evaporación de la misma en la superficie. Además suaviza las oscilaciones térmicas de los suelos, actuando como intercambiador de energía. Por otra parte la capa de

estiércol situada inmediatamente debajo de la arena, actúa como cama caliente aumentando la temperatura del suelo. La movilidad de algunos elementos, como el fósforo, está ligada al nivel térmico del suelo. La cobertura de arena, a la vez que mantiene la temperatura, proporciona una estabilidad e inercia térmica que permite la disponibilidad y asimilación de este elemento aun en épocas frías (Figura 5). Al ser mínima o nula la ascensión de la solución del suelo por capilaridad, las sales que se puedan aportar en cada riego no se suman a las que ascenderían por capilaridad, sino que el nuevo riego las arrastraría en profundidad. Los cultivos establecidos tendrán localizada su cabellera radicular en la zona situada inmediatamente debajo de la capa de arena, en donde tendrán las facilidades para un mejor desarrollo.

La utilización de arena también es importante para mejorar las características físicas del suelo y manejar aguas con niveles altos de sales. En suelos arcillosos regados con agua salina (2.5 o más $ds\ m^{-1}$) tienden a acumular altos niveles de sales en el estrato superficial debido a un restringido drenaje, sobre todo cuando los niveles de sodio son altos. En estos casos es conveniente cavar trincheras de 0.5 m de profundidad por 0.5 m de ancho y llenarlas con un sustrato con niveles altos de arena, lo que conduciría a mejorar el drenaje y el desplazamiento de las sales de la zona radicular.



Figura 5. Desarrollo del sistema radicular en enarenados.

2.9.2. Suelo

Los suelos de zonas áridas y semiáridas por lo general están limitados en materia orgánica por la escasa cubierta vegetal y limitada productividad (Celaya *et al.*, 2011). La materia orgánica exógena ha demostrado que tiene un impacto positivo sobre las propiedades físicas de los suelos agrícolas (Grosbellet, 2011) con una mayor retención de humedad, debido al incremento de las concentraciones de materia orgánica (Cristobal *et al.*, 2011). El suelo es un sistema abierto dinámico constituido por tres fases: fase sólida, líquida y gaseosa. La textura es una característica de cada horizonte que depende de la proporción de los distintos tamaños de partículas. La granulometría es una de las características más estables y puede considerarse una determinación básica de cada horizonte de un suelo. La fracción arcilla, resulta mucho más determinante de el comportamiento de un horizonte y en consecuencia del suelo y de la respuesta de las plantas. (Porta *et al.*, 2003).

La arcilla se caracteriza por su alta actividad química, que le confiere capacidad para atraer tanto cationes como aniones. Además es un agente cementante que favorece la formación de agregados en el suelo. La influencia de la arcilla depende de su composición mineralógica, influye en la velocidad de infiltración, el drenaje interno y la capacidad de retención de humedad, siendo más difícil el movimiento del agua y el aire en el suelo cuando el contenido de arcilla es alto (Balaguera *et al.*, 2009).

El estudio de la evolución de la estructura del suelo sometido a acciones mecánicas y climáticas puede abordarse a partir de un seguimiento de las propiedades físicas que lo caracterizan, entre estas propiedades, la más importante es la porosidad (Isabel *et al.*, 2005); la degradación del suelo por efecto del agua se origina como consecuencia de diversos mecanismos físicos y físico- químicos influenciados por el tipo de suelo, textura y porcentaje de materia orgánica (Castro *et al.*, 2010).

2.9.2.1. Porosidad

Los suelos difieren en la organización de su espacio poroso. La diversidad de los poros del suelo se subdivide en dos grandes grupos genéticos: poros que se relacionan con el embalaje de los elementos estructurales del suelo, y poros que no se relacionan con el embalaje de estos elementos (Skvortsova y Rozhkov, 2010). La porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos (González *et al.*, 2011).

Los poros que varían entre 0.0002 y 0.05 mm de diámetro, los cuales retienen

el agua que puede ser absorbida por la planta, se llaman poros de almacenamiento, mientras que los poros más pequeños, retienen tan fuerte el agua que las plantas no la pueden extraer de los mismos. Los poros mayores de 0.05 mm de diámetro, conocidos como poros de transmisión, permiten que el agua drene a través del suelo y permita la entrada de aire a los mismos a medida que el agua es drenada (Shaxson y Barber, 2005). Desde el punto de vista agronómico, procesos como la compactación conducen a una modificación del volumen de poros del suelo que afecta, en mayor o menor medida, el desarrollo del cultivo. De ese volumen dependen tanto los fenómenos de transferencia de calor, gases, agua y solutos, como las propiedades mecánicas de resistencia a la penetración y resistencia a la rotura (Isabel *et al.*, 2005).

Los espacios de los poros también son necesarios para que las raíces penetren libremente en el suelo a fin de tomar nutrientes y agua. Los tamaños de las raíces varían con el tipo de cultivo. En la mayoría de los suelos las raíces crecen parcialmente a través de los poros existentes, las raíces pueden forzar su camino a través de los poros más pequeños (Shaxson y Barber, 2005). Los poros del suelo son capaces de recuperar su integridad funcional después de una compactación, lo que está estrechamente relacionado con los contenidos de materia orgánica (Dörner *et al.*, 2009).

La causa más común de un enraizamiento pobre son las restricciones físicas debido a la compactación del suelo que da lugar al colapso o disminución de los espacios de poros y a un aumento localizado de la densidad del suelo. La compactación a menudo reduce el tamaño de los poros en tal medida que inhibe la penetración de las raíces (Shaxson and Barber, 2005).

2.10. Salinidad

La salinidad es un problema grave en zonas áridas, en donde es frecuente utilizar aguas con niveles altos de sales, lo que ocasiona que riegos continuos aumentan paulatinamente la concentración de sales solubles en el suelo y reducen el potencial productivo de muchos cultivos; la salinidad puede inhibir la germinación y el crecimiento de las plantas, reduciendo el rendimiento o la calidad del producto. Los problemas de anegamiento y salinización secundaria son importantes en las zonas de regadío por el exceso de agua, y por los sistemas ineficientes de distribución así como las malas prácticas de riego. La proporción de suelos afectados por salinidad se cifra en un 10% del total mundial y se estima que entre 25 y 50 % de las zonas de regadío están salinizadas (Leidi, 2002). El agua es un factor limitante para la producción agrícola mundial, y por lo tanto es necesario adoptar prácticas de riego que ahorren agua (Zegbe, 2007). La escasez y sobreutilización del agua dulce plantea una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. A escala global, se observa que la tercera parte de la población del planeta carece de los servicios básicos de agua (Dell' Amico *et al.*, 2006). Los efectos de la salinidad deben ser entendidos para poder manejarlos en los cultivos (Li-Ping *et al.*, 2007).

La salinidad del suelo o del medio de cultivo afecta a las plantas en diferentes procesos: en el porcentaje de germinación y prolonga el tiempo en el cual las semillas llevan a cabo este proceso, las raíces tienen una menor longitud, los tallos se desarrollan con una menor altura, las hojas se reducen en número y presentan desecación en los bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados, el número y peso de los frutos también se afecta

negativamente de manera que su rendimiento disminuye.

La salinidad puede mejorar la calidad de los frutos de tomate y de otros cultivos en términos organolépticos y biológicos, al presentar éstos mayores contenidos de compuestos solubles y licopenos (Goykovic, 2007). Muñoz *et al.*, (2004) mencionan, en un estudio que realizaron en pimiento, que la salinidad afectó significativamente y negativamente el diámetro del tallo, el área foliar, la biomasa seca total y la distribución de la misma así como el desarrollo de botones florales. Jasso, *et al.*, (2001) mencionan que la información relacionada con la composición de la solución del suelo es esencial para el manejo adecuado de la fertirrigación.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de los Experimentos

Los experimentos se realizaron en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus Ciencias Agropecuarias, en el Municipio de General Escobedo, N.L.; geográficamente ubicado a 25°45' Latitud Norte y 100°17' Longitud Oeste con una Altitud de 427 m.s.n.m. (Figura 6).



Figura 6. Campus de Ciencias Agropecuarias, UANL.

3.2. Clima

El clima de General Escobedo se puede situar entre los climas secos (Bso), con una precipitación anual que oscila entre los 400 y 600 mm; con una temperatura media anual que fluctúa entre los 22 y 24°C (INEGI, 2012).

3.3. Características del Invernadero

El invernadero en el que se establecieron los experimentos es tipo israelita con una superficie de 1,000 m², con una altura a canaleta de 4.6 m con orientación Norte-Sur además cuenta con ventanas laterales y cenitales semi-automatizadas para facilitar su manejo y además cuenta con un sistema de fertirrigación de riego por goteo (Figura 7).



Figura 7. Invernadero israelita en donde se desarrollaron los experimentos.

3.4. Desarrollo de Plántula Utilizada en los Experimentos

La variedad de tomate bola que se utilizó en los dos experimentos fue Charlestón que tiene un crecimiento indeterminado. La siembra para el experimento 1 se realizó el 01 de Noviembre de 2011 y para el experimento 2 el 24 de Julio de 2011. La producción de la plántula se hizo en charolas de propagación con 200 cavidades, el desarrollo de la plántula se llevó a cabo en un invernadero de dos aguas (Figura 8), de 300 m² con una altura de 2.84 m, orientado de norte a sur, cubierto solo por malla antiáfidos. El procedimiento

para el desarrollo de la plántula fue el establecido en el manual de tomate en invernaderos, desarrollado por el Proyecto Invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, *et al.*, 2006).



Figura 8. Invernadero español utilizado en la producción de plántula.

3.5. Trasplante de los Experimentos Establecidos en el Invernadero

Para el trasplante se humedecieron las camas hasta tener un punto óptimo, después con una rafia marcada a 0.50 m de distancia se realizaron los pozos en donde se depositaran las plántulas. Para el trasplante la plántula se acondicionó sumergiéndola en una solución compuesta de dos fungicidas (Previcur y Derosal) las dosis que se utilizaron para los fungicidas fue de 1ml/L, para preparar la solución se utilizó una bandeja de 5 litros, en la cual se sumergieron las plántulas por un periodo breve y después se plantaron en el área de siembra (Figura 9).



Figura 9. Plántulas utilizadas en los experimentos y trasplante en sustratos del experimento 1.

3.6. Manejo del Cultivo Para los Dos Experimentos

El manejo del cultivo posterior al trasplante consistió en desbrote de la planta, aclareo de frutos, tutoreo de la planta y deshoje, estas actividades se realizaron para lograr un desarrollo uniforme de los frutos. Para el manejo integrado de plagas se utilizaron los siguientes productos: protek, xtraneem, aflux, sulfan, sulfato de cobre, talstar, clorotalonil, agro soap plus inex, antrex y extender, los cuales fueron aplicados en las dosis recomendadas por los fabricantes.

3.7. Periodo de Cosecha de los Experimentos

El periodo de cosecha del experimento uno fue del 29 de marzo al 11 de mayo, realizándose en cuatro fechas. El periodo de cosecha del experimento dos fue del 28 de diciembre de 2011 al 11 de mayo de 2012. Para la recolección, empaque y manejo de pos cosecha se siguió el procedimiento descrito por Siller y Báez (2009).

3.8. Variables Evaluadas en los Dos Experimentos

Rendimiento en seis plantas (g). Número de frutos cosechados. Diámetro polar de los frutos (mm). Diámetro ecuatorial de los frutos (mm).

3.9. Procedimiento Para la Toma de Datos de los Dos Experimentos

Para la toma de datos previamente se marcaron bolsas de polietileno con datos de los tratamientos en cada uno de los experimentos que se utilizaron en la cosecha de frutos. El rendimiento se obtuvo pesando todos los frutos cosechados y luego se dividió entre el número de frutos para obtener el peso promedio de frutos, después se seleccionó un fruto representativo por cada repetición y se tomó la medida del diámetro polar y ecuatorial del fruto esto se realizó con un vernier electrónico y la unidad de medición fue en mm.

3.10. Desarrollo del Experimento 1

Se evaluaron cuatro sustratos utilizando un módulo de hidroponía el cual estuvo constituido por un tinaco de 1000 litros, una bomba de 1.0 Hp, una línea principal de 35 m en la cual se instalaron los goteros conectados a un tubo de 3 mm de espesor y en la parte final una piqueta de un diámetro de 3 mm. Los sustratos evaluados fueron T1, turba, T2, fibra de coco, T3, mezcla de perlita al 50% con turba al 50% y T4, perlita,

3.10.1. Soluciones nutritivas utilizadas en el experimento 1

En la preparación de la solución nutritiva se analizó el agua previamente, el análisis proporcionó información sobre los nutrientes aportados por el agua (Cuadro 6) y en base a la información se hicieron los cálculos para la preparación de la solución nutritiva Steiner (Cuadro 7) la cual se utilizó en todo el ciclo de cultivo, los riegos estuvieron controlados por un temporizador de

ocho estaciones y cada estación estaba programada con un tiempo de 1.5 minutos y un gasto promedio de 278 ml en 2 minutos.

Cuadro 6. Análisis del agua utilizada en la preparación de la solución nutritiva.

	Unidades
pH	6.8
CE	2.82 μ S/cm
Ca	12.9 meq/L
Mg	7.6 meq/L
Ca + Mg	20.5 meq/L
CO ₃	0
HCO ₃	6.2 meq/L
Cl	10.5 meq/L
SO ₄	11.5 meq/L
Σ aniones	28.2meq/L
Na	7.7 meq/L
Σ cationes	28.2meq/L
SE	15.3meq/L
SP	16.25meq/L
RAS	2.4
CRS	0
PSP	50.32

Cuadro 7. Soluciones nutritivas utilizadas en el experimento 1.

Solución 1		Solución 2	
acido nítrico	235 ml	acido nítrico	215 ml
acido fosfórico	123ml	acido fosfórico	120 ml
nitrate de potasio	267 g	nitrate de potasio	410 g
		fertilon (micro nutrimentos)	26.7 g
		Poliquel fe	6 ml

3.10.2. Módulo Hidropónico utilizado en el experimento 1

El módulo hidropónico (Figura 10) se estableció a partir del 27 de septiembre de 2011, posteriormente se evaluaron los componentes del sistema de riego para

detectar posibles problemas y así tener un mejor funcionamiento, los componentes que se evaluaron fueron la uniformidad de presiones, gastos de los goteros y en esta etapa se detectaron problemas con las impurezas que obstruían el paso de la solución nutritiva de una manera eficiente por los goteros y las pipetillas, para solucionar este problema se purgaba el sistema de riego una vez por semana. También se evaluó el gasto en cada estación del riego con la finalidad de estimar un volumen de drenaje al 30%. El trasplante se realizó el 14 de diciembre de 2011.



Figura 10. Módulo hidropónico utilizado en la evaluación de los sustratos.

3.10.3. Diseño experimental y marco de plantación

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones, la unidad experimental fueron seis plantas distribuidas a 30 cm cada par de plantas y entre ellas a una distancia de 10 cm, los sustratos utilizados se colocaron en bolsas horizontales de un metro de largo y en cada bolsa se colocaron seis plantas en pares (Figura 11).

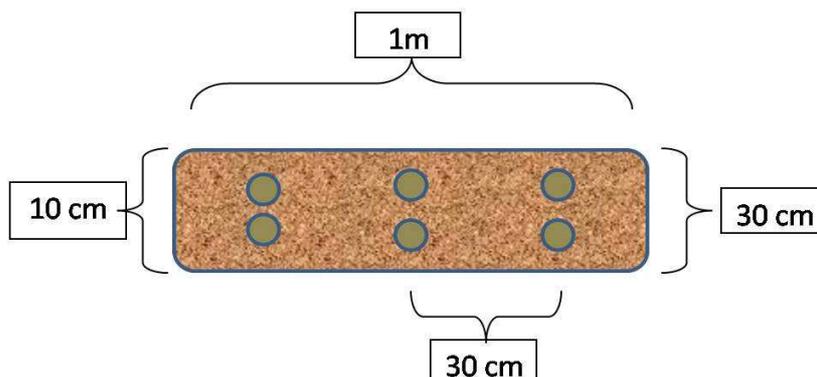


Figura 11. Unidad experimental en el experimento 1.

3.11. Desarrollo del Experimento 2

En este experimento se evaluaron diferentes texturas de suelos, en sistemas enarenados y como testigo la siembra directa en suelo, los tratamientos se ubicaron en la tercera y cuarta cama de este a oeste dentro del primer túnel del invernadero. Para los sistemas de enarenados se preparó una zanja de 50 cm de ancho y 45 cm de profundidad en forma de “V” con la finalidad de rellenarla con diferentes texturas de suelos, y sobre la superficie de los suelos evaluados se colocaron 2 cm de gallinaza más 5 cm de arena de río. En el tratamiento 4 únicamente se aplicó la gallinaza.

Los suelos se analizaron para conocer la textura de cada uno de ellos y su clasificación, los tratamientos son: T1 suelo arcilloso del exterior del invernadero, T2 suelo franco – arcilloso, T3 suelo franco, y el T4 suelo arcilloso del interior del invernadero (Figura 12) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultado de los análisis de textura de los suelos evaluados, en los enarenados.

Contenido de arena, arcilla, limo, CE y pH.				
	T1	T2	T3	T4
Arena	34.24	65.12	41.12	26.24
Arcilla	42.2	19.6	17.6	49.2
Limo	23.56	15.28	41.28	24.56
CE	1.54	2.12	5.06	6.17
pH	7.65	8.04	7.8	7.54

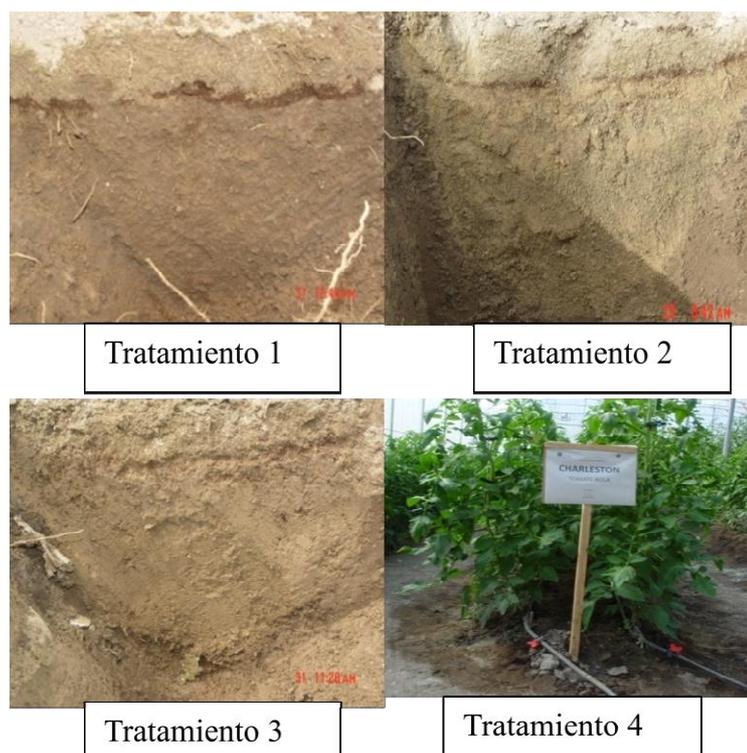


Figura 12. Tratamientos empleados en los enarenados.

3.11.1. Marco de plantación

El marco de plantación (Figura 13) en enarenado y siembra directa en suelo es a doble hilera en camas de 1.8 m de ancho de centro a centro y de 0.5 m entre plantas con una distancia entre hileras de 0.5 m.

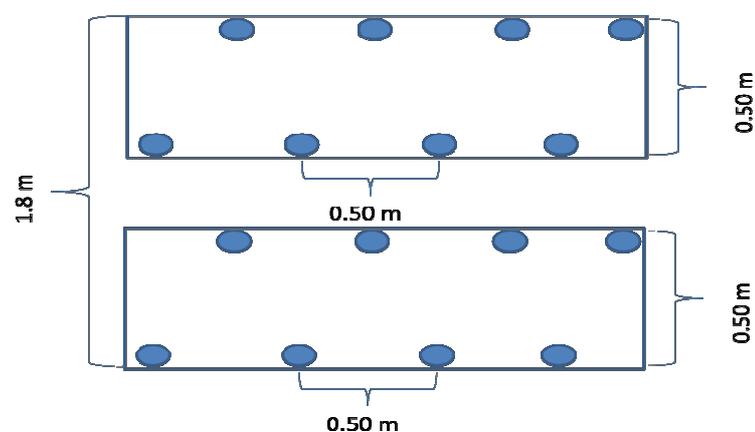


Figura 13. Marco de plantación.

3.11.2. Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones y la unidad experimental (Figura 14) estuvo constituida por seis plantas.

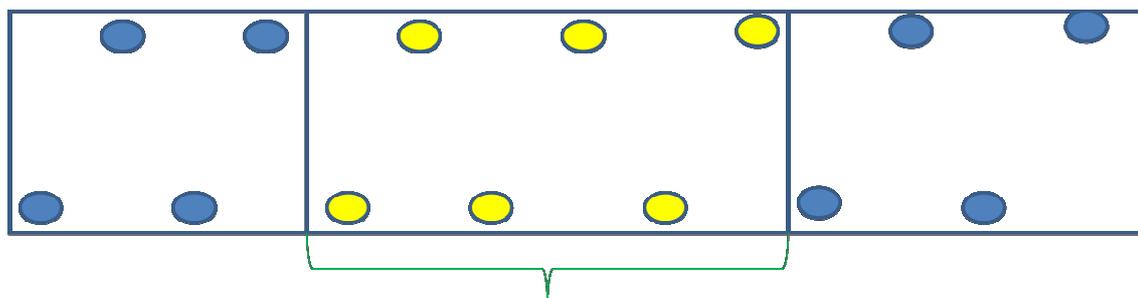


Figura 14. Unidad experimental en el experimento 2.

4. RESULTADOS

4.1. Experimento 1

Los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables: número de frutos, diámetro polar y diámetro ecuatorial. En cuanto a rendimiento el análisis de varianza mostró diferencias significativas para la interacción entre los tratamientos y las fechas de cosecha. En todas las fechas el tratamiento 2 (fibra de coco) resultó con menores rendimientos, sin embargo esta tendencia se observó muy marcada en la fecha 2, en donde este sustrato fue diferente significativamente a los otros tratamientos (Cuadro 9).

Los rendimientos más altos, fueron obtenidos por los tratamientos 1 (turba), 3 (turba mas perlita) y 4 (perlita) en las fechas 1 y 2, mientras que en la fecha 3 los tratamientos más sobresalientes en rendimiento fueron el 3 y 4. En general, no se observó una diferencia importante entre los tratamientos 1, 3 y 4, mientras que el tratamiento 2 fue inferior a los demás.

Cuadro 9. Comparación de medias de rendimiento dentro de cada fecha de cosecha (g).

	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3
(1) Turba	5362.0 a	4361.6 a	3946.6 b
(2) Fibra de coco	4447.0 b	3098.0 b	3842.3 b
(3) Turba + Perlita	4727.6 ab	4043.0 a	4586.0 a
(4) Perlita	4649.1 ab	3925.8 a	4941.8 a

a, b: medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, 0.05).

4.2. Experimento 2

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas para el rendimiento ($p = 0.037$), el diámetro polar ($p = 0.000$) y el diámetro ecuatorial ($P = 0.002$). En cuanto al rendimiento, la comparación de medias mostró que el tratamiento 3 (suelo franco) tuvo los mayores rendimientos y fue superior estadísticamente a los tratamientos 1 (suelo arcilloso del exterior) y 4 (suelo arcilloso del interior) (Cuadro 10). En cuanto al diámetro polar, la comparación de medias mostró que el tratamiento 3 (suelo franco) tuvo el mayor desarrollo y fue superior estadísticamente a los tratamientos 1, 2 y 4 (Cuadro 11), la comparación de medias para el diámetro ecuatorial de frutos mostró que el tratamiento 3 (suelo franco) tuvo un mayor desarrollo ecuatorial y fue superior estadísticamente a los demás tratamientos tanto en enarenados como en siembra directa en suelo (Cuadro 13). En general, los tratamientos 2 (franco arenoso) y 3 (franco) fueron superiores a los tratamientos 1 (arcilloso del exterior) y 4 (arcilloso del interior).

Cuadro 10. Comparación de medias de rendimiento de 6 plantas (g).

Trata	Media		Error Est.	95% Intervalo de Confianza	
	-g-			L I	L S
T1	49917.8	b	1568.971	46573.651	53262.016
T2	51388.5	ab	1568.971	48044.317	54732.683
T3	55794.0	a	1568.971	52449.817	59138.183
T4	49032.3	b	1568.971	45688.151	52376.516

T1=Suelo arcilloso, T2=suelo franco arenoso, T3=suelo franco y T4= Suelo arcilloso.

a,b medias con la misma letra indica que no hay diferencia significativa ($p = 0.05$)

Cuadro 11. Comparación de medias de diámetro polar de frutos.

Trata	Media -mm-	Error Est.	95% Intervalo de Confianza	
			L I	L S
T1	59.726 c	.325	59.033	60.419
T2	61.313 b	.325	60.620	62.006
T3	62.672 a	.325	61.979	63.365
T4	59.813 c	.325	59.119	60.506

T1=Suelo arcilloso del interior, T2=suelo franco arenoso, T3=suelo franco y T4=Suelo arcilloso del exterior.

a,b medias con la misma letra indica que no hay diferencia significativa ($p = 0.05$)

Cuadro 12. Comparación de medias de diámetro ecuatorial de frutos.

Trata	Media -mm-	Error Est.	95% Intervalo de Confianza	
			L I	L S
T1	76.724 b	.438	75.779	77.669
T2	78.634 a	.389	77.795	79.474
T3	79.257 a	.438	78.312	80.203
T4	76.568 b	.389	75.728	77.407

T1=Suelo arcilloso del interior, T2=suelo franco arenoso, T3= suelo franco y T4=Suelo arcilloso del exterior.

a,b medias con la misma letra indica que no hay diferencia significativa ($p = 0.05$)

5. DISCUSIÓN

5.1. Experimento 1

El sustrato de fibra de coco se está utilizando con mayor frecuencia en los sistemas de producción intensiva de tomate en invernadero debido a su bajo costo y buenos resultados, sin embargo en el presente experimento se observó que fue inferior en rendimiento a los demás tratamientos en todos los cortes. Vargas *et al.*, (2008) mencionan que la caracterización física, química y biológica de la fibra de coco es importante y también conocer el lugar de origen dado que en muchas regiones productoras de este sustrato no homogenizan los sistemas de producción ocasionando una gran diferencia en la calidad de fibra de coco que ofrecen diferentes comercializadoras; además algunas empresas venden fibra de coco sin lavar, lo que ocasiona que esta tenga altos niveles de sales. En el experimento 1 se encontró que el sustrato de fibra de coco tuvo bajo desempeño comparado con los otros sustratos, por lo que uno de los factores que explican este resultado puede ser alta salinidad o material heterogéneo. Por otra parte, estos resultados concuerdan con los encontrados por Quesada y Méndez (2005), quienes mencionan que el mejor tratamiento en la producción de lechuga fue la mezcla de perlita + turba y el tratamiento de fibra de coco presentó propiedades físicas inadecuadas, lo que afectó su comportamiento agronómico en la producción de tomate. Domeño *et al.*, (2009) también encontraron resultados adversos de la fibra de coco en un experimento con tomate. Sin embargo, Shinohara *et al.*, (1999) mencionan que el crecimiento y producción de tomate en fibra de coco fue igual al producido en lana de roca. En otro estudio, Ortega *et al.*,(2010) mencionan que

la mezcla de aserrín- composta es una buena mezcla ya que presentó significativamente los mejores resultados en altura, grosor del tallo, tamaño de los frutos y rendimiento en comparación a la fibra de coco.

La turba también ha sobresalido como un buen sustrato en la producción de tomate; Magdaleno *et al.*, (2006) mencionan que la turba tuvo mejores resultados en comparación con la vermicomposta en las variables de peso fresco, peso seco de la plántula y crecimiento. También Deayuiz *et al.*, (2008) encontraron que la mezcla de turba rubia con cascarilla de arroz quemado fue una buena opción en la producción de tomate, debido a que encontraron mejores resultados en altura, longitud de la raíz, peso fresco y seco de las hojas en comparación con otros sustratos. Urrestarazu *et al.*, (2005) mencionan que la fibra de pino es una opción viable para usarse como sustrato alternativo ya que presenta condiciones similares a la fibra de coco y presenta una fácil biodegradación en comparación con sustratos como perlita y turba entre otros.

En el Experimento 1 también sobresalió la perlita como un buen sustrato para la producción de tomate. Márquez y Cano (2005) encontraron que el sustrato preparado con perlita y vermicomposta (50 % cada uno) es una buena opción para la producción de tomate cherry en un sistema hidropónico ya que aumenta los rendimientos, grados Brix, diámetro ecuatorial, polar y peso de frutos. Alarcón *et al.*, (2003) encontraron que la combinación de perlita con fertilización orgánica favoreció al desarrollo de la raíz de pimiento morrón en un sistema de producción hidropónico, además con esta combinación se obtuvo un mayor rendimiento. El tezontle es una buena opción de sustrato, debido a su bajo costo y disponibilidad en el centro de la República Mexicana y bajo ciertas condiciones pudiera superar a la perlita.; Santiago *et al.*, (2005) encontraron

que las plantas cultivadas en arena de tezontle rindieron más que las cultivadas en perlita.

5.2. Experimento 2

La siembra en suelo es una buena opción, sobre todo para los productores con niveles de tecnología baja y media, por lo que es importante estudiar los tipos de suelo en donde se pueden obtener los mayores rendimientos. Ojodeagua *et al.*, (2008) mencionaron que la siembra en suelo tiene ahorro en agua y fertilizante comparado con la siembra en sustratos y estos ahorros pueden ser del orden de 50% en fertilizante y de 70% en agua. En general, los resultados del Experimento 2 mostraron que los tratamientos con textura franca fueron superiores a los suelos arcillosos. Balaguera *et al.*, (2009) mencionan que el contenido de arcilla en el suelo afecta la acumulación de masa y el desarrollo del área foliar, disminuyendo la ganancia en materia fresca y seca de las plantas de tomate.

En varios estudios se ha mencionado que los suelos con niveles altos en arena son adecuados para la producción de tomate, lo que coincide con los resultados encontrados en el presente experimento. Moreno *et al.*, (2008) mencionan que la mezcla de vermicomposta y arena (12.5:87.5, con base en volumen) y la solución nutritiva, diluida al 50% cubrió satisfactoriamente la demanda nutritiva del cultivo, generando una mayor respuesta en cuanto a las variables crecimiento y rendimiento. Rodríguez *et al.*, (2008) encontró que la mezcla de arena más fertilizantes inorgánicos fue superior a las mezcla de arena más vermicomposta más micro nutrientes.

6. CONCLUSIONES

1. Los sustratos evaluados que mostraron un mejor comportamiento en rendimiento y desarrollo del fruto fueron: perlita, turba y la mezcla de perlita y turba donde la fibra de coco mostró los rendimientos y desarrollo de fruto más bajos, los cuales se desarrollaron bajo el ambiente de la región centro norte del Estado de Nuevo León.
2. El suelo de textura franca mostró mejores resultados en rendimiento, diámetro ecuatorial y polar de frutos y los suelos arcillosos fueron los que presentaron los menores rendimientos y calidad de frutos, el sistema de enarenado en trinchera puede ser una opción para la producción de tomate bola en suelos arcillosos de la región centro norte del Estado de Nuevo León.

Las hipótesis planteada en este trabajo de investigación son aceptadas por los resultados obtenidos en los experimentos en los que se evaluó.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abad B., M., P. Noguera M., y C.Carrión B. 2004. Sustratos en los cultivo sin suelo. *In: Tratado de cultivo sin suelo*. M. Urrestarazu-Gavilán. Mundi prensa México. pp 113-158.
- Abad B., M., P. Noguera M., y C. Carrión B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales*. Cadahia Mundi Prensa México. pp 299-354.
- Abo-Rezq H., M. Albaho and B. Thomas. 2009. Effect of sand in growing media on selected plant species. *European Journal of Scientific* 26: 618- 623.
- Alarcón F., A. L., P. Fernández, C. Egea N., J. L. Pérez. 2003. Utilización de materia orgánica líquida en cultivo sin suelo de pimiento, influencia sobre desarrollo radicular y producción. Primer congreso iberoamericano de nutrición vegetal. Barcelona España. Noviembre 2003 pp 121-125.
- Balaguera L., H. E., J.G. Álvarez H., G. E. Martínez A., W. Alberto B. 2009. El contenido de arcilla del suelo influye en el rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 3(2): 199-209.
- Baudoin W. and A.Nisen. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. FAO Italia pp. 145-184.
- Bretones C., F. 2003. El enarenado. *In: Técnicas de producción en cultivos protegidos* ed. Instituto Cajamar. pp. 110-118.

- Calvin L., R Cook, and W Amber. 2005. North America greenhouse tomatoes emerge as a major market. USDA. Economic Research Service 1(3):20-27.
- Castellanos J., Z. y C Borbón M. 2009. Panorama de la Horticultura protegida en México. *In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. J. Z. Castellanos. INTAGRI México. pp 1-18.
- Castellanos J., Z. y P. Vargas T. 2009. Los Sustratos en la Horticultura Protegida. *In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. J. Z. Castellanos. INTAGRI México. pp. 105-130.
- Castro T., M. M., M. L. Rodríguez B., M. T. Taboada C. y J. L. Oropeza M. 2010. Vulnerabilidad estructural en suelos de textura gruesa bajo cultivo y huerta. *Terra Latinoamericana* 29: 11-21.
- Celaya M., H. y A. E. Castellanos. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29: 343-356.
- Crespo C., E., M Sandoval V., V Voke Haller., V Ordaz Ch., J. L. Tirado T., y J. Sánchez E. 2010. Generación de Mezclas de sustratos mediante un programa de físicas y químicas. *Terra* 28:219-229.
- Cristóbal A., D., M. E Álvarez S., E. Hernández A. y R. Améndola M. 2011. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana* 29:325-332.
- Deaquiz O., Y., J. Álvarez., H., y A. Fraile. 2008. Efectos de diferentes láminas de riego y sustratos en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. 2(1): 55 – 65.
- Dell'amico M., J. D. Morales., R. Polón., F. Fernández. 2006. Respuestas adaptativas a la sequia en el tomate inducidas por osmocondicionamiento de plántulas. *Cultivos tropicales* 27: 33-38.

- Domeño I., N. Irigoyen .And J. Muro, 2009. Evolution of organic matter and drainage in wood fibre and coconut fibre substrates. *Scientia Horticulturae*.122:269-274.
- Dörner J., D Dorata., PXinhua. y H Rainer. 2009. Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un adisol (typichapludand) del sur de Chile. *Rev. Cienc. Suelo Nutr.* 9(3):190-209.
- Díaz S., F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invierno. Memorias del IV simposium nacional de horticultura. Invernaderos: Diseño, manejo y producción. (ed.). Torreón Coah, México.13-15 Oct. 2004. pp.44-68.
- FAO. 1990. Soils cultural of horticultural crops production. FAO Plant production and protection paper. pp. 188- 196.
- Fira. 2010. Panorama Agroalimentario, Tomate rojo. pp. 13-7
- García, O. C. G. Alcántara. G. Cabrera.R. I, Gavi F. R. Volke H. V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum and Spathiphyllum wallisii* cultivada en maceta. *Terra* 19: 249-258.
- González B., J. L., G. González C., I. Sánchez C., A. López S. y L. M. Valenzuela N. 2011. Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra*. 29: 369-377
- González V., M. A. 2011. Agricultura en invernaderos y tecnoparques hortícolas en Nuevo León *In: Memorias del Simposium Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos 2011*. General Escobedo Nuevo León México 6-7 Sep. 2011.
- Goykovic C., V. y G. Saavedra del R. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas en su manejo. *IDESIA* 25:47-

58.

Grosbellet C. L. Vidal-Beaudet, V. Caubel and S. Charpentier. 2011.

Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter. *Geoderma*.162: 27-38.

<http://fao.org/> 2012

[http://www.inegi.org.mx./](http://www.inegi.org.mx/) 2012

Isabel C., C., M. García G., y R.Filgueira R. 2005. Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa. *C. Suelo (Argentina)*. 23: 167-178.

Jasso Ch., C., J. Muñoz V, R. Núñez., E., J. Martínez H., y P. García., S. 2001. Distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo. *Agrociencia*. 35:275-285.

Leidi O., E., J. M. Pardo P. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino. pp. 307-315.

Li-Ping F., Y. Kang., Shi- Ping. Lui., S.Wan and D.Wang. 2007. Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area. *Science Direct*. 90:63-74.

López G., J. 1997. Acta I y II, Seminario del agua. pp. 119-132.

Márquez C., P. Cano. 2005. Producción Orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas portuguesas de horticultura*. pp. 219-224.

Magdaleno V., J.J., A Peña L., R Castro B., A. M. Castillo G., A Galavis S., F Ramírez P., y P. A. Becerra L. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cascara (PHYSALES IXOCARPA BROT). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2):153-158.

- Moreno A., R., J Aguilar D., y A Luévano G. (2011) Características de la Agricultura Protegida y su Entorno en México. *RevMex de Agronegocios*. 29:763 – 774.
- Moreno A., R., L Gómez F., P Cano R., V.Martínez C., J. L.Reyes C.,J. L.Puente M., y N.Rodríguez. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *Terra*. 26:103-109.
- Muñoz R., J. J., M, Guzmán.y J. Z. Castellanos. 2004. Salinidad sódica en el desarrollo vegetativo y reproductivo del pimiento. *Terra*. 22:187-196.
- Neocleous D. 2010.Yield, nutrients and antioxidants of tomato in response to grafting and substrate.*International Journal of Vegetable Science*. 16:212-221.
- Ojodeagua A J L., J. Z.Castellanos R., J. J. Muñoz R., G Alcantar G., L Tijerina Ch., P Vargas T., y S Enríquez R. 2008. Eficiencia de Suelo y Tezontle en Sistemas de Producción de Tomate en Invernadero. *Rev. Fito tec. Mex*. 31:367-374.
- Olivares S., E., M Molina V., N. E. García T., y J Martínez de la C. 2006. Curso teórico practico “Producción de tomate en Invernaderos”. Facultad de Agronomía, UANL: 23-29
- Ortega M., L. D., J.Sánchez O., J Ocampo M., E.Sandoval C., B. A.Salcido R., y F.Manzo R. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de Invernadero. *Ra Ximhai*: 6: 339-346.
- Padilla B., L. E., E. Reyes. R., y O. Pérez V. 2012. Evaluación de un cluster bajo agricultura protegida en México. *Contaduría y Administración* 57(3): 2012: 219- 237.
- Perea E. 2011. Alto crecimiento de agricultura protegida; hay desorden y

- abandono regional. <http://imagenagropecuaria.com/articulos>. (Consultado octubre 11, 2012)
- Porta C., J., M. López-Acevedo., R., y C. Roquero., D. L. 2003. Textura del suelo. *In: Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa México. pp. 91-110.
- Quesada R., G., C Méndez S., 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía mesoamericana* 17(2):171- 183.
- Rodríguez D N., P.Cano R., U.Figueroa V., A.Palomo G., E.Favela Ch., V. P.Álvarez R., C.Márquez H., y A. Moreno R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:265-272.
- SAGARPA. 2009. Programa de Ejecución Directa de Agricultura Protegida. [http://www.amhpac.org/contenido/plan nacional de agricultura protegida](http://www.amhpac.org/contenido/plan_nacional_de_agricultura_protegida) (consultado octubre 11, 2012).
- Santiago. H. Quirino. F. Sánchez del C., A. Peña L., y D. Montalvo H. 2005. Sustratos y frecuencias de riego para la producción de jitomate en hileras a diferente altura. *Terra Latinoamericana*. 23:341-349.
- Shaxson F., B. Richard. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. No 79. FAO pp. 09-25.
- Shinohara, Y., T. Hata, T. Mauro, M. Hohjo, T. Lto. 1999. Chemical and physical properties of the coconut-fiber substrate and the growth and productivity of tomato. *Acta Hort.* 481.145-150.
- Siller C. J. H., y M. A. Báez S. 2009. Los Sustratos en la Horticultura Protegida. *In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. J. Z. Castellanos. INTAGRI México. pp. 409 - 420.

- Skvortsova E. B., and V. A. Rozhkov. 2010. Morphometric Profiles of Pore Space in Loamy Soils of the Forest and Steppe Zones of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 44:1104–1116.
- Urrestarazu M., P. C. Mazuela., G. A Martínez. 2008. Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crops. *Journal of Plant Nutrition*. 12: 2031-2043.
- Urrestarazu M., P. C. Mazuela., J. del Castillo., S.Sabada., y J. Muro. 2005. Fibra de pino: un sustrato ecológico. *Horticultura Internacional*. pp. 28-33.
- Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., R. M. López R., y J. L. Ojodeagua A. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fisotec. Mex*. 31(4): 375-381.
- Zegbe D., J. A., M, Hossein, and B. Clothier.. 2007. Respuesta del tomate al riego parcial de la raíz y déficit hídrico. *Rev. Fitotec. Mex*. 30:125-131.
- www.siap.gob.mx/ 2012