

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación de Sustratos Hidropónicos en Tomate
(*Lycopersicon esculentum Mill.*) Bajo invernadero

Por:

JOEL NAVA VILLA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

ING. AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2014

AGRADECIMIENTOS

Con casi cinco años aquí, mi vida no ha sido nada fácil, sin embargo, estoy a un paso de culminar lo que tanto he anhelado.

Por ello, doy gracias principalmente a DIOS por permitirme vivir y seguir luchando a pesar de todos los errores cometidos a lo largo del camino. ÉL nunca me dejó solo y me fue forjando por un camino de rectitud y verdad, siempre viendo lo que más me convenía. Es por eso que con todo respeto y máximos anhelos le dedico este trabajo que espero sea de su agrado y esté contento con lo que he logrado. Todos mis esfuerzos y esperanzas estuvieron siempre fundadas en ÉL. Le pido que siempre me cuide y guíe no solo al acabar mi compromiso en la universidad, sino en mi vida profesional, social y espiritual.

Doy gracias a toda mi familia por todo su apoyo moral ya que fueron de gran ayuda para crear un gran proyecto de vida. Sé que les fallé en muchas cosas, mas creo que esta es la prueba de que si se puede salir adelante aun y cuando hay demasiados errores cometidos, sé que estarán orgullosos de mi a pesar de no tener una buena conciencia para realizar las cosas. Sé que en el futuro seremos una familia unida y que con el poder de Dios saldremos de cualquier situación difícil.

También le doy gracias a mi asesor de tesis Dr. Ricardo Requejo López y a mi tutora MC. Leticia Escobedo Bocado por el apoyo que me ofrecieron, nunca perdieron la fe en mí y estuvieron ahí cuando quise escuchar algún consejo que me permitiera seguir adelante. Sé que cualquier otra persona se hubiera cansado de mí por tanto error y tanta mentira pero en particular ustedes me siguieron apoyando en todo, ya sea en lo económico y moralmente. Siempre me animaron para acabar mi carrera.

Doy gracias a toda la comunidad de La Esperanza ya que fueron de vital importancia para seguir adelante con mis estudios en la Universidad. Me brindaron todo su apoyo en un momento muy complicado.

Agradezco a todos los profesores, amigos y compañeros que confiaron en mí para lograr mis anhelos, no los defraudaré.

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a DIOS y todas esas personas que ha puesto en el camino para hacer más fácil mi vida en los momentos críticos, para que el resultado sea siempre de triunfos y de una verdadera felicidad en el lugar donde estemos. A todo ese movimiento de fuerzas positivas que corre en los lugares más oscuros del mundo, a esas fuerzas de luz que de alguna forma rara y extraña aun no ha desaparecido y siguen iluminando, hoy con el presente trabajo les quiero decir que todavía estamos al frente y esto demuestra la importancia de nunca dejar de luchar por las cosas que realmente valen la pena y por las cuales se tiene que hacer hasta lo imposible para que todo marche bien y de la forma más correcta, basándose siempre en la verdad ya que este es solo el camino que tiene corazón.

Está dedicado a toda mi familia ya que sin su apoyo no lo hubiera logrado, va para mi papá, mamá, a mis 4 hermanos y a todas sus enseñanzas; bueno ahora comprendo porque hay que hacer caso siempre a los consejos que te da la vida y hacer conciencia de lo que pasa en el mundo, que no hace falta detallarlo.

Dedicado a todos esos profesores que me han formado desde toda la vida, comentándoles que sus esfuerzos y principalmente discusiones han logrado un fruto que ni se imaginan de que grado y capacidad crearon para enfrentar a los obstáculos que va poniendo la vida. Les comento que hoy en día somos más fuertes como en ningún otro momento por tanto fracaso y tanta experiencia acumulada durante todos los tiempos.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el invernadero ubicado en el Departamento de Ciencias del Suelo. El experimento se inició con la siembra de la variedad de tomate floradade de crecimiento determinado con el objetivo principal de evaluar su comportamiento en diferentes mezclas de sustratos.

Se prepararon bolsas plásticas (bolis) de 10L con 9 mezclas diferentes de sustratos elaboradas a base de tezontle, perlita, ladrillo y fibra de coco, que constituyeron nuestros 9 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Para comenzar la producción se instaló un sistema de riego por goteo programado con un temporizador, cada boli tenía 2 plantas y 1 gotero. Se empleó solución nutritiva tipo steiner a solución perdida. Durante todo el proceso de producción de este trabajo se realizaron las prácticas culturales aplicables al tomate (eliminación de hojas, desyemes polinización etc.). Se reguló el pH y la CE (conductividad eléctrica) tratando de conservar un pH= 6.5 y CE= 2. El pH osciló entre 6.5 a 7.5 y una CE que osciló en un rango de 2 a 3.1 para asegurar una buen suministro de nutrientes y utilizar solo lo necesario.

El tratamiento 6 (7.2 litros mas 2.3 litros de tezontle) fue el sobresaliente en la mayoría de las variables que se evaluaron. El tratamiento 2 (10 litros de perlita) generó la peor respuesta en la evaluación.

PALABRAS CLAVE: Sustrato, solución nutritiva pH, CE (conductividad eléctrica), prácticas culturales, y producción.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PAGÍNA
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
RESUMEN	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Requerimientos del cultivo	4
Temperatura	4
Humedad	4
Luminosidad.....	4
Suelo.....	4
Variedades cultivadas	5
Variedad Floradade.....	5
Sustrato hidropónico	6
Propiedades generales que debe reunir un sustrato para cultivo hidropónico:	6
Propiedades físicas de los sustratos	7
Granulometría	7
Densidad real.....	7
Densidad aparente.....	7
Espacio poroso total (ept)	7
Relaciones agua-aire	8
Capacidad de aireación (ca)	8

Agua fácilmente disponible (afd)	8
Agua de reserva (ar)	8
Mojabilidad	8
Contracción de volumen	8
Propiedades químicas de los sustratos	9
pH	9
Salinidad y conductividad eléctrica (CE)	9
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	10
Relación carbono-nitrógeno C/N	10
Características de sustratos usuales	10
Perlita	10
Fibra de coco	11
Tezontle:	12
Ladrillo molido	13
Solución nutritiva	13
pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva	13
Respuesta del tomate establecido en diferentes sustratos hidropónicos	14
Reuso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>)	15
Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero	16
Producción hidropónica de tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos	17
MATERIALES Y METODOS	19
Localidad donde se realizó la investigación.	19
Materiales	19
Establecimiento y conducción de la investigación	20

Formulación de la solución nutritiva	24
Manejo de plagas	27
Realización de podas	28
Manejo de enfermedades.....	28
Temperatura y humedad relativa.....	28
Cosecha	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIONES.....	34
LITERATURA CITADA.....	35
Páginas web consultadas	41

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGÍNA
Cuadro 1. Niveles óptimos en las propiedades físicas de un sustrato	6
Cuadro 2. Propiedades de la perlita	11
Cuadro 3. Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco, en comparación con el sustrato ideal.....	12
Cuadro 4. Propiedades fisicoquímicas del tezontle	13
Cuadro 5. Valores unitarios de las partículas de los diferentes sustratos.	22
Cuadro 6. Listado de Tratamientos a base de sustratos y mezclas de sustratos..	23
Cuadro 7. Distribución de tratamientos en invernadero (R1=cerca a la pared húmeda).	23
Cuadro 8. Aportes nutricionales considerados en el experimento en tomate.....	24
Cuadro 9. Diseño de la solución nutritiva a aplicar en el experimento en tomate .	24
Cuadro 10. Cálculo de la adición de sales fertilizantes	25
Cuadro 11. Fechas de corte de tomate en el experimento.....	29
Cuadro 12. Cuadrados medios de tratamientos y repeticiones, así como del error experimental de cada una de las variables analizadas	33
Cuadro 13. Prueba de rango múltiple de Tukey (0.05) realizada a las variables evaluadas	33

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGÍNA
Figura 1. Desarrollo de la planta de tomate.....	5
Figura 2. Situación nutricional visual del cultivo de tomate	26
Figura 3. Empleo del buffer PHase 1 [®]	27
Figura 4. Presencia de mosquita blanca en las hojas del tomate.....	27
Figura 5. Poda de hojas y brotes axilares al cultivo de tomate.....	28
Figura 6. Madurez del tomate al momento de la cosecha.....	29

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es originario de los Andes del Perú, donde apareció silvestre como una fruta redonda de color rojo. Gradualmente se esparció a lo largo de Sudamérica, desde donde continuó su viaje hasta América Central. Allí, ya hace miles de años, lo llamaron "xitomatl" en el lenguaje Náhuatl, que era el idioma que hablaba la nación azteca; fue allí adonde fue cosechado, cultivado y mejorado produciendo una mayor diversidad de frutos. Por muchos siglos, el tomate detuvo su camino en esa área (Smith, 1994).

Se considera que a nivel internacional, las hortalizas junto con las frutas ocupan en nuestros días el segundo lugar de los productos agropecuarios, apenas aventajadas por los cereales. Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50% de la producción en el mundo: la papa y el jitomate, lo cual nos indica el enorme valor que este último cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial. En México, como en otras partes del mundo, preferimos consumir el jitomate fresco, pero también es utilizado como producto industrializado para elaborar pastas, salsas, purés, jugos, etc. El jitomate o "tomate rojo" es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera. Es el principal producto hortícola de exportación, ya que representa el 37% del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16% del valor total de las exportaciones agropecuarias, sólo superada por el ganado vacuno (San Martín-Hernández, 2012).

El concepto de sustrato se utiliza para denominar a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, diferente al suelo *in situ*, que al ser depositado en un contenedor, solo o mezclado, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando un papel de soporte para las plantas (Abad et al., 2004 y

2005). El sustrato, por sí solo, puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turbas, corteza de pino, fibra o polvo de coco, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, entre otros.) (Pastor, 2000; Urrestarazu, 2004; Cadahía, 2005).

Ya desde la década de los 80's (Verdonk *et al.*, 1981) y (Wilson 1985) reconocieron la importancia de la porosidad y la aireación del sustrato; por su parte, Peñuelas y Ocaño (2000), expresan que las propiedades físicas más importantes son aquellas relacionadas con los poros internos de las partículas y el espacio poroso entre ellas; es decir, la granulometría, la porosidad y el reparto de las fases sólida y gaseosa. El tezontle es una roca volcánica ampliamente utilizada como sustrato hidropónico en la producción hortícola y ornamental (Baca *et al.*, 1991; Ojo de agua *et al.*, 2008). Con respecto a este material, Vargas *et al.*, (2008), reportan que la densidad aparente y la densidad real aumentaron conforme disminuyó el tamaño de la partícula; mientras que el espacio poroso total se incrementó con el aumento en el tamaño de partícula.

En el caso de las partículas de tezontle, perlita y pómez, los poros son de empaquetamiento simple y vesículas, al estar ocluidos no tienen intercambio de fluidos (Lemaire, 1995), sin embargo, los poros vesícula retienen entre 55 y 70% de humedad gravimétrica, lo que significa que tienen interconexión (Tamari *et al.*, 2005; Segura *et al.*, 2008). Algunos autores manifiestan que el tamaño de las partículas está relacionado con las propiedades físicas y químicas de los sustratos. Según Ansorena (1994), el tamaño óptimo de partículas para sustratos hortícolas se ubica entre 0.25 y 2.5 mm. Las partículas de tamaño uniforme mejoran el suministro de oxígeno a las raíces, comparado con mezclas de partículas de diferentes tamaños (Steiner, 1968; Biran y Eliassaf, 1980; Gislerødet *et al.*, 1997). El estudio de las propiedades físicas y químicas de los sustratos es indispensable para evaluar su aptitud en el soporte de cultivos hidropónicos.

Además, es necesario evaluar directamente la respuesta de la planta, la cual depende del tipo de manejo (Luque, 1981).

En la actualidad, sustratos minerales como el tezontle para usar en hidroponía, el cual es un material no renovable, requieren una especial atención, debido a su desmedida explotación ya que viene siendo utilizado en la construcción de caminos (S. C. y T., 2010). Por lo que evaluar su empleo y determinar las posibilidades de reuso al conservar sus cualidades para la producción hidropónica no solo favorece su conservación, sino que también significa un mayor impacto en la reducción de los costos de producción. Por su parte (Bastida 2002), consigna que el “tezontle” (del eje neovolcánico), “tepetztl” y la fibra de coco (de las zonas costeras), han sido excelentes sustratos en la producción hidropónica de diferentes especies hortícolas.

OBJETIVO

Evaluar la respuesta agronómica de tomate bola establecido en diferentes mezclas de sustratos hidropónicos.

HIPÓTESIS

Debido a las características particulares de cada mezcla de sustrato estudiadas, el tomate establecido en ellas mostrará respuestas diferentes.

REVISIÓN DE LITERATURA

Requerimientos del cultivo del tomate

Temperatura: la temperatura óptima de desarrollo del cultivo de tomate oscila entre los 20 y 30°C durante el día y entre 10 y 17°C durante la noche. Las temperaturas superiores a los 35°C impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos. Por el otro lado, las temperaturas inferiores a 12°C afectan adversamente el crecimiento de la planta. Las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los 25°C o por debajo de los 12°C la fecundación no se produce. Durante la fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas. No obstante, por encima de los 30°C (o por debajo de los 10°C) los frutos adquieren tonalidades amarillentas (Ezquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Humedad: la humedad relativa óptima oscila entre 60% y 80%. Con humedades superiores al 80% incrementa la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta y puede determinar, además, el agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización ya que el polen se apelmaza. En el otro extremo, una humedad relativa menor al 60% dificulta la fijación de los granos de polen al estigma, lo que dificulta la polinización (Ezquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Luminosidad: el tomate necesita de condiciones de muy buena luminosidad, que sea de entre 6 y 8 horas luz, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización y maduración de los frutos pueden verse negativamente afectados (FAO, 2007).

Suelo: la planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, el cual tiene que ser excelente ya que no soporta el anegamiento. No obstante, prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde

ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (FAO, 2007).

Variedades cultivadas

El cultivo de los frutos comestibles del tomate actualmente se encuentra extendido alrededor del mundo, con miles de cultivares que seleccionan una amplia variedad de especies. Los tomates cultivados varían en tamaño desde el tomate *cherry* que tiene entre 1 y 2 cm, hasta los tomates *beefsteak* que alcanzan más de 10 cm de diámetro. La variedad más ampliamente comercializada tiende a estar entre los 5 y 6 cm de diámetro. La mayoría de los cultivares producen frutos rojos, pero también existen algunos con amarillo, naranja, rosado, púrpura, verde o blanco. También se pueden encontrar frutos multicoloridos y rayados (Kader, 2002).

Variedad Floradade: Variedad de pleno campo, rústica y productiva que da frutos redondos de calibre medio (140 – 150 g). Floradade es una variedad muy apreciada por su buena adaptación a los diferentes tipos de climas. En la Figura 1 se presenta el desarrollo de la planta de tomate. Densidad de 2 plantones/m². Cosecha a partir de 75 días después de la siembra. Resistencias: *Verticillium*, *Fusarium*, *Stemphylium* (FAO, 2007).

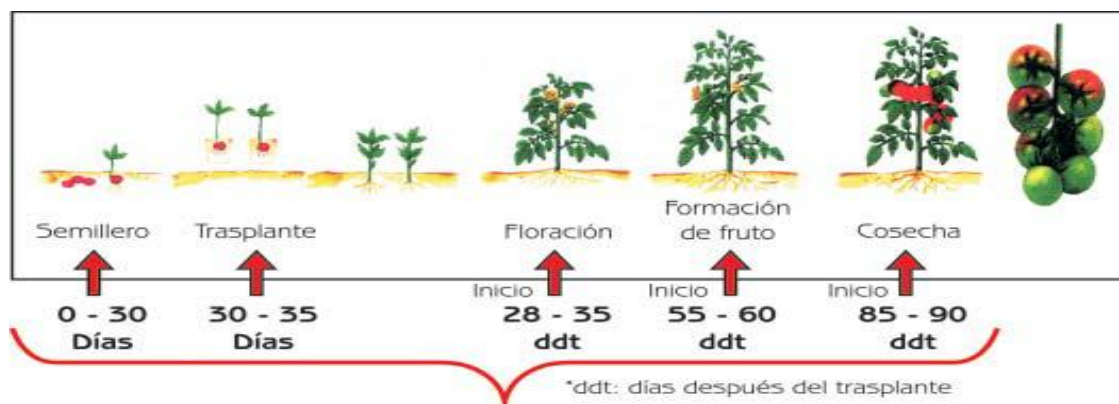


Figura 1. Desarrollo de la planta de tomate (FAO, 2007).

Sustrato hidropónico

Un sustrato constituye el lecho que sirve de sostén y soporte para el desarrollo del sistema radical de las plantas. Este elemento reviste una gran importancia en el éxito del cultivo, antes que pensar en nombres o tipos de sustratos se debe tener presente la conjugación de una serie de factores o propiedades para optimizar la funcionalidad y el papel que debe desempeñar un sustrato en el sistema de cultivos sin suelo (FAO, 2007).

Propiedades generales que debe reunir un sustrato para cultivo hidropónico:

- ❖ Ser un sustrato estéril o que permita su esterilidad.
- ❖ Que sus propiedades físicas no se alteren en corto tiempo.
- ❖ Permitir una buena oxigenación.
- ❖ Poseer excelente drenaje.
- ❖ Buena capacidad de retención de humedad, de forma homogénea.
- ❖ Guardar una relación entre sus fases, sólido, líquido, oxigenación estable (30:40:30) y fácil de recuperar (FAO, 2007).

En el Cuadro1 se presentan los niveles óptimos en las propiedades físicas de un sustrato.

Cuadro 1. Niveles óptimos en las propiedades físicas de un sustrato

PROPIEDADES	NIVELES OPTIMOS DE UN SUSTRATO IDEAL
Tamaño de partícula (mm)	0,25 – 2,50
Densidad aparente (g/cm ³)	<0,4
Densidad real (g/cm ³)	1,45 – 2,65
Espacio poroso total (% vol)	>85
Capacidad de aireación (% vol)	10 – 30
Agua fácilmente disponible (% vol)	20 – 30
Agua de reserva (% vol)	4 – 10
Agua total disponible (% vol)	24 – 40
Contracción	<30

(De Boodt, et al., 1974; Bunt, 1988).

Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos son un aspecto muy importante ya que una vez que está colocado en el contenedor y la planta creciendo en él, es prácticamente imposible modificar dichas características (Raviv *et al.*, 1984).

Granulometría: Muchos sustratos están compuestos por una mezcla de partículas de diferentes tamaños y, en función de la distribución del tamaño de esas partículas varían las propiedades físicas del sustrato, por tanto, el estudio de la distribución de partículas es un aspecto importante en la caracterización de los sustratos. El tamaño de las partículas afecta al crecimiento a través de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad. Para mantener una buena aireación en el sustrato es recomendable que las partículas tengan un tamaño entre 0,5 y 1 mm (Raviv *et al.*, 1984).

Densidad real (DR): También denominada densidad absoluta. Se refiere a la densidad media de las partículas del sustrato sin incluir el espacio poroso, o lo que es lo mismo, la relación entre el peso de una partícula del sustrato y el volumen que ocupa. Su valor se expresa en g/cm³ (Martínez y García, 1993).

Densidad aparente (DA): La densidad aparente se define como la relación entre la masa de material sólido seco (a 105°C) y el volumen que ocupa, en condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre las partículas. Esta propiedad se expresa en g cm⁻³ o en g L⁻¹ (Martínez, 1993).

Espacio poroso total (EPT): El espacio poroso total se define como el volumen total del sustrato no ocupado por partículas orgánicas o minerales. Es la relación entre el volumen de poros y el volumen aparente del sustrato, expresado como porcentaje en volumen (Martínez, 1993). Su nivel óptimo para cultivos hortícolas se sitúa por encima del 85% (De Boodt y Verdonck 1974).

Relaciones agua-aire

Capacidad de aireación (CA): Se define como la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que este haya sido saturado con agua y dejado drenar, normalmente a 10 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo oscila entre el 20-30% del volumen (Abad *et al.*, 2004).

Agua fácilmente disponible (AFD): Se define como la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión, y el volumen de agua presente en el mismo tras ser sometidos a una succión de 50 cm de columna de agua. El valor óptimo oscila entre el 20-30% (Abad *et al.*, 2004). Cuando un sustrato presenta una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible puede deberse a:

- Una porosidad total baja.
- Los poros son muy grandes y gran parte del agua se pierde por drenaje.
- Los poros son muy pequeños y la planta no puede extraer el agua.
- Una combinación de situaciones anteriores (Bunt, 1988).

Agua de reserva (AR): Es la cantidad de agua que libera el sustrato al pasar de 50 a 100 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo está entre el 4 y 19% del volumen (Abad *et al.*, 2004). - 17 - El límite de 100 cm de tensión fue establecido por (DeBoodt y Verdonck 1974) en una experiencia con plantas del género *Ficus*. A esta tensión muchos cultivos restringen su crecimiento, el agua comienza a ser un factor limitante (Martínez, 1993).

Mojabilidad: Se expresa como el tiempo necesario para que un sustrato absorba 10 ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Abad *et al.*, 2004).

Contracción de volumen: Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca, generalmente a 105°C, referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (saturación y posterior drenaje a 10 cm de columna de agua).

La contracción del volumen lleva a la compactación del sustrato, compresión de las raíces, disminución de la eficacia del riego y la fertilización. Su nivel óptimo se sitúa por debajo del 30% (Abad *et al.*, 2004).

Propiedades químicas de los sustratos

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del sustrato. Al contrario de las propiedades físicas, las químicas pueden ser corregidas o modificadas mediante un manejo adecuado del fertirriego. Los materiales orgánicos, contribuyen a la química de los sustratos debido a la formación y presencia de sustancias húmicas que son el principal producto final de la descomposición de los materiales orgánicos (Raviv *et al.*, 1984).

pH: Aunque la mayoría de las plantas pueden sobrevivir con amplios márgenes de pH en el sustrato, su calidad varía si éste se aleja de los valores óptimos por lo que es importante que el sustrato presente el pH adecuado (Burés, 1997). Valores de pH entre 5,5 a 6,8 en la solución del sustrato se consideran el óptimo para el cultivo hidropónico de hortalizas (Mazuela, 2005).

Salinidad y conductividad eléctrica (CE): La conductividad eléctrica se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Un contenido elevado de sales en el sustrato puede causar problemas debido a toxicidad por algunos elementos que se hallen en cantidades excesivas, o por aumento del potencial osmótico que causa dificultades en la planta para obtener agua. Este efecto resulta más marcado en verano cuando las tasas de transpiración son más elevadas. La salinidad puede aumentar una vez que el sustrato está en el contenedor bien por la presencia de fertilizantes insolubles, bien porque la cantidad de sales que se aportan con el agua de riego sea superior a la absorbida por la planta, o bien cuando el sustrato tiene una elevada CIC y se va descomponiendo con el tiempo liberando así nutrientes. Estas situaciones

pueden prevenirse conociendo las necesidades requeridas por el cultivo y evitando aplicaciones excesivas de abonos (Bunt, 1988).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad de un sustrato de adsorber e intercambiar iones (Burés, 1997). Se define como la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso o volumen del sustrato. Estos cationes quedan retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para la planta. Esta propiedad se expresa en miliequivalentes por 100 gr de sustrato o por litro de sustrato.(Burés, 1997).

Relación carbono-nitrógeno C/N: Suele usarse como indicador del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica ya que su valor depende del material y disminuye con la fermentación de la materia orgánica. Una relación C/N inferior a 20 se considera como indicadora de madurez y estabilidad (Burés, 1997). Si se cultiva sobre materiales inmaduros, pueden aparecer problemas debido a inmovilización del nitrógeno o a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizósfera, todo ello debido a la actividad microbiana (Abad *et al.*, 2004).

Características de sustratos usuales

Perlita: Material obtenido como consecuencia de un tratamiento térmico a unos 1.000-1.200 °C de una roca silíceo volcánica del grupo de las riolitas. Se presenta en partículas blancas cuyas dimensiones varían entre 1,5 y 6 mm, con una densidad baja, en general inferior a los 100 kg/m³. Posee una capacidad de retención de agua de hasta cinco veces su peso y una elevada porosidad; su C.I.C. es prácticamente nula (1.5-2.5 meq/100 g); su durabilidad está limitada al tipo de cultivo, pudiendo llegar a los 5-6 años. Su pH está cercano a la neutralidad (7-7.5), se utiliza a veces mezclada con otros sustratos como turba, arena, etc

(Fernández et al., 1998). Las propiedades de la perlita se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades de la perlita

Propiedades físicas	Tamaño de las partículas (mm de diámetro)		
	0-15 (Tipo B-6)	0-5 (Tipo B-12)	3-5 (Tipo A-13)
Densidad aparente (Kg/m ³)	50-60	105-125	100-120
Espacio poroso (%)	97,8	94	94,7
Material sólido (% volumen)	2,2	6	5,3
Aire (% volumen)	24,4	37,2	65,7
Agua fácilmente disponible (% volumen)	37,6	24,6	6,9
Agua de reserva (% volumen)	8,5	6,7	2,7
Agua difícilmente disponible (% volumen)	27,3	25,5	19,4

(Fernández et al., 1998)

Fibra de coco

La fibra de coco es un sustrato orgánico, 100% natural y renovable. Se procesa de diferentes formas dependiendo de la calidad agronómica necesaria para su uso como sustrato. La principal ventaja de los cultivos sobre fibra de coco frente a los cultivos tradicionales es el aislamiento entre planta y suelo que evita problemas de enfermedades, plagas, salinidad y estructura deficiente. Otras ventajas del cultivo sobre fibra de coco son las altas densidades de plantación que permiten maximizar rendimientos, realizar un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes y un mayor control climatológico (Valdés et al., 2007). En el cuadro 3 se presenta el intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco, en comparación con el sustrato ideal.

Cuadro 3. Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco, en comparación con el sustrato ideal.

FIBRA DE COCO		
Propiedad	Intervalo	Mediana
Índice de grosor (%)	11-66	34
Densidad aparente (g/cm ³)	0.020-0.094	0.059
Espacio poroso total (%vol)	93.8-90.5	96.1
Capacidad de aireación (%vol)	22.2-90.5	44.9
Agua fácilmente disponible	0.7-36.8	19.9
Agua de reserva (%vol)	0.1-7.8	3.5
Capacidad de retención de agua (mL/L sustrato)	110-797	523
Contracción (%vol)	n.d. 28	14
pH (pasta saturada)	4.76-6.25	5.71
Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dS/m)	0.39-6.77	3.52
Capacidad de intercambio catiónico (m.e./100g)	31-97	61
Materia orgánica total (%)	88.6-95.7	93.8
Relación C/N	74-194	132
Iones asimilables: (ppm en el extracto de saturación)		
N-NO ₃	n.d-1.7	0.21
N-NH ₄ ⁺	n.d-1.8	0.14
P ⁺	7.4-104	41
K ⁺	115-2,343	956
Ca ²⁺	6.9-114	26
Mg ²⁺	2.6-59	20
Cl ⁻	27-2,242	1.085
SO ₄ ⁻	2.5-314	23
Na ⁺	25-294	197

Comercial Projar, 2002)

Tezontle: El tezontle es el material triturado que proviene de las rocas volcánicas ígneas que se forman del magma expulsado por las erupciones volcánicas y son de color rojo o negro, de estructura vesicular y se localizan en la zona del eje neovolcánico del país (Ansorena, 1994). En el Cuadro 4 se presentan las propiedades físico-químicas del tezontle.

Cuadro 4. Propiedades fisicoquímicas del tezontle

PARAMETRO	TEZONTLE
PH	7.35
CE (dS m ⁻¹)	0.15
N (%)	0.61
P (mg kg ⁻¹)	0.31
K (mg kg ⁻¹)	2.74
Ca (mol m ⁻¹)	22.0
Mg (mol m ⁻¹)	10.09
Na (mg L ⁻¹)	Nd

CE= conductividad eléctrica; N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio y Na= sodio, nd= no detectado. Los resultados son el promedio de tres repeticiones (Ansorena, 1994)

Ladrillo molido: El ladrillo debidamente molido es apropiado solamente cuando está libre de mortero y pobre en cal. El material por utilizar se recomienda obtenerlo de las fábricas de ladrillo y después molerlo hasta el tamaño deseado que no debe ser mayor de 4 mm. (Sagarpa, 2005).

Solución nutritiva: Es el conjunto de sales inorgánicas (fertilizantes) disueltas en el agua de riego, que origina una solución con nutrientes aprovechables y en proporciones adecuadas, de los elementos nutritivos requeridos por las plantas, como son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

El agua para preparar las soluciones nutritivas a utilizar debe ser de pozo, arroyos o ríos; hay que evitar el uso de aguas residuales o que contengan altos contenidos de sales. En caso de tener dudas sobre la calidad del agua se recomienda analizarla (Sagarpa, 2005).

pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva: El pH de la solución nutritiva es una medida del grado de acidéz o alcalinidad de la solución. Las plantas pueden tomar los elementos en un rango óptimo de pH comprendido entre 5 y 7. La importancia del pH en las soluciones nutritivas tiene una doble función.

La primera es que el pH influncia el equilibrio de óxido-reducción y la solubilidad de ciertos compuestos y las formas iónicas de ciertos elementos.

En una solución aireada con un pH de 8, el hierro férrico, Fe^{3+} , se precipita como un hidróxidoférrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ extremadamente insoluble. El hierro puede no estar disponible para la absorción por parte de las plantas. El estado de oxidación y la solubilidad de otros metales pesados en forma iónica son también muy influenciados por el pH (Hodgson, 1963; Ponnaperuma, 1955). Para los aniones, la forma ionizada del fosfato es función del pH. A pH 4, el fosfato se encuentra predominantemente como H_2PO_4^- , pero a pH 9 solamente el 1.5 % del fosfato se encuentra en forma de HPO_4^{2-} (Larsen, 1967). Ni el comportamiento fisiológico o químico de estas especies iónicas es idéntico. El segundo aspecto del pH sobre el medio nutritivo tiene que ver con el efecto de los iones hidrógeno e hidroxilo sobre las raíces de las plantas especialmente sobre el ión transportador de las membranas de las células corticales de las raíces en lo que hace referencia sobre la fisiología de los procesos de la absorción activa del ión.

El manejo de la conductividad eléctrica, dependerá de la especie salina que tengamos disponible, pero la conductividad eléctrica puede ser calculada dependiendo de los aniones o cationes que tengamos disponibles en la solución de fertilización siendo más preciso calcularla a partir de los radicales aniónicos que se encuentren en la solución. Estos radicales son el fosfato (H_2PO_4^-), los sulfatos (SO_4^{2-}), los nitratos (NO_3^-) y los bicarbonatos (HCO_3^-) especie no deseable en la solución de nutrientes. Para el cálculo de la conductividad eléctrica es necesario realizar un análisis en donde se determine el número de miliequivalentes por litro de cada anión, este número de miliequivalentes total de aniones se divide por 10. La Conductividad eléctrica promedio adecuada para las plantas cultivadas es de $2.0 \text{ mmhos cm}^{-1}$. (Larsen 1997).

Respuesta del tomate establecido en diferentes sustratos hidropónicos

Reuso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*)

Se estudiaron los cambios en las propiedades físicas del Tezontle por efecto de su reuso como sustrato para el cultivo de tomate (primer uso T0, primer reuso T1 y segundo reuso T2), así como la influencia de dichos cambios en la producción.

La investigación se realizó en Tlajomulco, Jalisco bajo invernadero, en un sistema hidropónico, de agosto de 2009 a septiembre de 2010. La variedad de tomate fue la SUN 7705. El diseño experimental fue completamente al azar y se evaluaron las propiedades físicas del sustrato (granulometría, densidad aparente, retención de humedad y aireación) al inicio y al final de cada ciclo de cultivo; asimismo, la redistribución del tamaño de partículas, así como algunas variables de respuesta del cultivo (peso de fruto, grados Brix, altura de planta y diámetro de tallo). Se observó un aumento en la capacidad de retención de humedad del tezontle de 43% en T0, 46% en T1 y 48% en T2, una disminución de la capacidad de aireación de 12% en T0, 9% en T1 y 8% en T2, debido a cambios en la distribución del tamaño de partícula por el reuso; dichos cambios no afectaron agrónomicamente las variables de peso de fruto y grados Brix; las diferencias estadísticas, solo fueron significativas en altura de planta y diámetro de tallo.

Los resultados obtenidos demostraron que el tezontle como sustrato puede utilizarse durante tres ciclos consecutivos de cultivo de tomate hidropónico sin demeritar su productividad, permitiendo un ahorro aproximado de ciento sesenta mil pesos por hectárea por cada reuso (Rodríguez *et al*, 2013).

Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero

En este trabajo se evaluó durante el ciclo agrícola 2008–2009 el efecto de los sustratos: Aserrín de pino, composta de estiércol de ovino, tierra agrícola y tezontle rojo; en el crecimiento, y rendimiento del tomate. El diseño experimental que se utilizó fue bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones y se evaluaron diez tratamientos producto de la combinación de los sustratos a un volumen de 1:1, cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro plantas, las variables estudiadas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

El genotipo que se utilizó fue Sun 7705. Se detectaron diferencias significativas entre sustratos, la mezcla aserrín-composta afectó en mayor respuesta las variables altura 4.61 m, grosor del tallo 2.1 cm, frutos de mayor peso 107.8 g, y rendimiento por planta de 4 kg y 25 kg/m². Sin embargo, el número de flores y de racimos fue mayor en el sustrato aserrín, por lo que la mezcla aserrín-composta puede ser una opción viable para producir tomate en invernadero.

El mejor sustrato fue la mezcla aserrín-composta debido a que presentó significativamente los mejores resultados en las variables altura, grosor del tallo, tamaño de frutos y rendimiento por planta y metro cuadrado.

El aserrín y la mezcla aserrín-composta mostraron una mayor estabilidad, buena capacidad de aireación para el sistema radicular, alta porosidad, adecuada retención de agua, confiriendo un alto poder tampón en fertirrigación e hidroponía, adecuada estabilidad del pH y buena retención de la solución nutritiva. (Ortega-Martínez et al., 2010).

Producción hidropónica de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos.

Se llevó a cabo un ensayo en Chía (Colombia), en las instalaciones del Centro de Bio-Sistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano donde se determinó el efecto de diferentes sustratos acondicionados a partir de materiales orgánicos e inertes sobre la producción y calidad del fruto en tomate bajo condiciones de invernadero. Se utilizó el híbrido Victoria del que se seleccionaron frutos de acuerdo a su categoría comercial (primera, segunda, tercera e industrial). Los materiales utilizados para la preparación de los sustratos fueron: cascarilla cruda, cascarilla quemada, cascarilla cielo abierto, escoria de carbón, fibra de coco y zeolita, evaluados física y químicamente. Como parámetros de respuesta se tomaron: sólidos solubles totales, acidéz titulable, pH y pérdida de peso. La acidéz total titulable y los sólidos solubles totales aumentaron dependiendo del sustrato en el cual fueron sembrados donde la zeolita en mezcla con la cascarilla quemada incrementó los sólidos solubles totales y en mezcla con cascarilla cielo abierto incrementó la acidéz titulable. Los valores de pH no presentaron diferencias respecto a los sustratos. La mayor producción de calidad primera se obtuvo con las plantas sembradas en zeolita en mezcla con cascarilla quemada seguida de este mismo material en mezcla con cascarilla cielo abierto (Peña et al., 2013).

Déficit de presión de vapor (DPV)

La humedad relativa se utiliza para medir el contenido hídrico del aire. Está expresada en tanto por ciento de la cantidad de agua presente en un volumen dado con respecto a la cantidad de agua que puede contener a la misma temperatura.

Dentro del invernadero, el agua aparece principalmente en forma de gas. La diferencia de presión de vapor de agua o déficit de presión de vapor (DPV) representa el gradiente o diferencia de presión de vapor entre el interior de las hojas (que asumimos está saturada) y el ambiente en el interior del invernadero.

La ecuación de (Rosenberg et al., 1983) es descrita por Urrestarazú, (2004) y mencionan que valores comprendidos entre 0.5 y 1.5 Kpa (kilopascales) para valores de humedad ambiental entre 60 y 85% son apropiados para producir tomate en invernadero de Almería, España.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad

El presente trabajo fue realizado del mes de octubre del 2013 a marzo del 2014 en el Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" ubicada en Saltillo, Coahuila, en las coordenadas 25° 23' latitud norte y 101° 00' longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1743 metros.

Materiales

- ✂ Semilla de tomate (variedad Floradade).
- ✂ Charolas para germinación.
- ✂ Sustratos: Perlita, fibra de coco, tezontle, ladrillo (cuadro 1).
- ✂ Bolsas de polietileno (10 litros).
- ✂ Cinta métrica
- ✂ Báscula
- ✂ Bomba de agua
- ✂ Equipo de riego
- ✂ Estacas
- ✂ Fertilizantes
- ✂ Tanque de 200 litros.
- ✂ Tubín o espaguete de riego
- ✂ Charola de demanda
- ✂ Probeta
- ✂ Bomba para aspersión
- ✂ Termómetro
- ✂ Vernier
- ✂ Productos químicos contra enfermedades
- ✂ Productos químicos contra plagas
- ✂ Agribón
- ✂ Medidor de radiación, temperatura y humedad (HOBO)
- ✂ Buffer comercial PHase1[®]

Establecimiento y conducción de la investigación

Las semillas de jitomate variedad Floradade se sembraron en octubre de 2013 en charolas germinadoras de espuma de poliestireno blanco de 200 cavidades con medidas de 33 x 67 x 6.5 cm, para lo cual se utilizó peat moss para su germinación. El trabajo se estableció en un invernadero con cubierta plástica, extractor de aire caliente y pared húmeda; las plantas de tomate se trasplantaron en bolsas de polietileno de color negro de 10 litros de volumen con capacidad para 2 plantas de tomate donde previamente se colocaron mezclas de sustratos.

Las mezclas de sustratos se elaboraron al caracterizarlos de manera individual en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Sustratos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se utilizaron cilindros o secciones de tubo de plástico de tres pulgadas de diámetro, con volumen de 350 cc, de los empleados para el agua de drenaje doméstico. En uno de los extremos se fijó con pegamento una tapa plástica en la cual se perforaron cuatro orificios de 5 mm de diámetro en forma equidistante a lo largo de su borde perimetral, en el otro extremo del tubo se colocó un conector o anillo plástico removible. Ya en operación el dispositivo se colocó en forma vertical con la tapa perforada hacia abajo. Se seleccionaron cuatro componentes de mezclas de sustratos previamente tamizados (Cuadro 5), que son de uso común y de fácil obtención en la región: perlita de la empresa Termolita, S. A. de Monterrey, Nuevo León y que comercializa la marca Hortiperl®, aserrín de coco de la empresa Germinasa, S. A. de Armería, Colima, y que vende el producto denominado Germinaza®. Otro de los sustratos estudiados fue el tezontle adquirido en Viveros Saltillo y el cuarto componente lo constituyó el ladrillo molido del elaborado y comercializado en ladrilleras de Saltillo, Coahuila. Muestras individuales fueron expuestas al aire durante dos días, luego se colocaron dentro de los porómetros, cuidando su perfecto asentamiento al dejarlos caer en cinco oportunidades desde 10cm de altura sobre una tela que amortiguaba la caída en la mesa de trabajo, enseguida se colocaron durante 24 horas en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzaba justo debajo del borde superior del anillo removible, provocando así el humedecimiento de la muestra

desde los orificios del fondo, con esto se expulsaba el aire por la parte superior; al quitar el anillo superior, se procedía a enrasar con una espátula y sujetar un pedazo de tela con un liga de goma para cubrir el extremo expuesto de la muestra. Cada cilindro era colocado de nuevo en agua, esta vez sumergiéndolo por completo hasta lograr la saturación total de las muestras. Pasados treinta minutos se extraían del agua tapando los orificios del fondo con una goma. Posteriormente se colocaron en posición vertical sobre un matraz que descansaba en una gradilla donde se midió el volumen de agua (V_a) que drenó en un tiempo de 10 minutos. Las muestras húmedas fueron extraídas de los tubos para medir su peso (PH); luego se colocaron en estufa a $105^{\circ}C$ para obtener el peso seco (PS). Se realizaron los siguientes cálculos para las determinaciones de las propiedades físicas de las muestras: Espacio poroso total (EPT), Porosidad de aireación (PA), Capacidad de retención de agua (RA), Densidad aparente (DA) y Densidad real (DR). Donde P_a corresponde al Peso específico del agua y V_c al volumen del cilindro (Zamora, 2005).

$$EPT(\%) = \frac{V_a + \frac{PH - PS}{P_a}}{V_c} \times 100$$

$$PA(\%) = \frac{V_a}{V_c} \times 100$$

$$RA(\%) = \frac{PH - PS}{V_c} \times 100$$

$$DA(Mg/m^3) = \frac{PS}{Vc}$$

$$DR(Mg/m^3) = \frac{DA}{1 - \frac{PT}{100}}$$

Con los datos del análisis de los cuatro sustratos individuales se determinaron las variables de diseño EPT, RA y CA con potencial para ser incluidas en el modelo de programación lineal, estableciendo los límites o nivel de restricción para cada una de estas variables con el software QSB Versión 1.00 para Windows (LP-ILP: Linear and Integer programming.) La programación lineal se empleó para minimizar la función de costo de las mezclas de materiales individuales. La función objetivo fue minimizar el costo (≤ 2.80 \$/L) en la elaboración de mezclas de sustratos (Yih-Long, 2003). En el Cuadro 5 se aprecian los sustratos empleados y sus tamaños.

Cuadro 5. Valores unitarios de las partículas de los diferentes sustratos.

MATERIAL	TAMAÑO DE PARTICULA
Coco	Testigo
Perlita	(0-4)mm
Perlita	(4-8)mm
Tezontle	(0-4)mm
Tezontle	(4-8)mm
Tezontle	(8-12)mm
Ladrillo	(0-4)mm
Ladrillo	(4-8)mm
Ladrillo	(8-12)mm

En el Cuadro 6 se observan los tratamientos evaluados, la fibra de coco y perlita sin combinar constituyen los primeros tratamientos. Interesa evaluar a la fibra de coco mezclada con diferentes materiales por su buena retención de agua. El trabajo consideró 9 tratamientos con 4 repeticiones. El arreglo establecido bajo un diseño completamente al azar se presenta se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Listado de Tratamientos a base de sustratos y mezclas de sustratos.

TRATAMIENTOS	MEZCLAS	PRECIO
T1	Coco 10L	\$2.8/L.
T2	Perlita 10L	\$0.80/L.
T3	Coco 2.2L + Perlita (0-4)mm 7.8L.	\$1.23/L.
T4	Coco 7.2L + Perlita (4-8)mm 2.8L.	\$2.24/L.
T5	Coco 6L + Tezontle (0-4)mm 4L.	\$2.38/L.
T6	Coco 7.7L + Tezontle (4-8)mm 2.3L.	\$2.56/L.
T7	Coco 7.7L + Tezontle (8-12)mm 2.3L.	\$2.56/L.
T8	Coco 7.5L+ Ladrillo (4-8)mm 2.5L.	\$2.35/L.
T9	Coco 7.2L + Ladrillo (8-12)mm 2.8L.	\$2.30/L.

Cuadro 7. Distribución de tratamientos (R1=cerca a la pared húmeda).

DISEÑO EXPERIMENTAL DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR									
REPETICIONES	TRATAMIENTOS								
R1	T7	T5	T3	T4	T2	T6	T8	T1	T9
R2	T8	T9	T3	T7	T5	T1	T4	T6	T2
R3	T5	T9	T8	T4	T1	T2	T7	T3	T6
R4	T7	T2	T9	T4	T5	T6	T1	T8	T3

Formulación de la solución nutritiva

Para la elaboración de la solución nutritiva se empleó la técnica Steiner con la cual se puede formular a criterio y personalizar las soluciones. La solución nutritiva consideró los requerimientos máximos de nutrientes que demanda el jitomate según la literatura. Se trabajó durante todo el cultivo al 100% de concentración en sales. En el Cuadro 8. Se presentan los aportes nutricionales considerados en el experimento en tomate, en el Cuadro 9 el diseño de la solución nutritiva a aplicar en el experimento en tomate y en Cuadro 10 el cálculo de la adición de sales fertilizantes.

Cuadro 8. Aportes nutricionales considerados en el experimento en tomate

	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	HCO ₃
RIEGO	–	–	3.5	3.5	–	4.2	–	–	–	–	–	–	1.7*
IDEAL	15	1.2	5	10	9	3	2	1	0.1	0.1	1	0.05	
APORTES	15	1.2	1.5	6.5	9	–	2	1	0.1	0.1	1	0.05	1.2

Cuadro 9. Diseño de la solución nutritiva a aplicar en el experimento en tomate

	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	TOTAL
Ca	6.5	–	–	6.5
K	9	–	1.5	10.5*
Mg	–	–	–	–
H	–	2	–	2*
TOTAL	15.5	2	1.5	18.2

*Elementos que se ajustan considerando un criterio agronómico ya que numéricamente es imposible su balance.

Cuadro 10. Cálculo de la adición de sales fertilizantes

MACROS
$\text{CaNO}_3: (6.5 \text{ meq/L}) (0.12) = (0.78\text{g/L.}) (19\text{L}) = 14.82 (100) = 1.48\text{Kg.}$
$\text{KNO}_3: (9 \text{ meq/L}) (0.10) = (0.9\text{g/L.}) (19\text{L}) = 17.1 (100) = 1.71\text{Kg.}$
$\text{H}_3\text{PO}_4: (2 \text{ meq/L}) (0.07) = (0.14\text{g/L.}) (19\text{L}) = 2.66 (100) = 0.260\text{L.}$
$\text{K}_2\text{SO}_4: (1.5 \text{ meq/L}) (0.09) = (0.135\text{g/L.}) (19\text{L}) = 2.56 (100) = 0.2510.86\text{Kg.}$

NOTA: Los resultados obtenidos de los fertilizantes son para 1900L de agua.

MICROS	
$\text{Fe} : (2\text{ppm/L}) (100/18) = (11.11\text{mg/L}) (19\text{L}) (100) = 21.1\text{g}$	Q-Fe 18%
$\text{Mn} : (1\text{ppm/L}) (223.01/54.9) = (4.06\text{mg/L}) (19\text{L}) (100) = 7.71\text{g}$	MnSO ₄
$\text{Cu} : (0.1\text{ppm/L}) (100/9) = (1.11\text{mg/L}) (19\text{L}) (100) = 2.10\text{g}$	Q-Cu 9%
$\text{Zn} : (0.1\text{ppm/L}) (100/14.8) = (0.67\text{mg/L}) (19\text{L}) (100) = 1.27\text{g}$	Q-Zn 14.8%
$\text{B} : (1\text{ppm/L}) (61.8/10.8) = (5.72\text{mg/L}) (19\text{L}) (100) = 10.86\text{g}$	H ₃ BO ₃
$\text{Mo} : (0.05\text{ppm/L}) (1235.9/271) = (1.89\text{mg/L}) (100) = 3.59\text{g}$	Molibdato de amonio

NOTA: Los resultados de los fertilizantes son para 1900 litros de solución.

Los fertilizantes a base de macro y microelementos se mezclaron en un depósito de 19 litros 100 veces concentrado. Por lo que corresponden 2 litros de solución madre con 198 litros de agua en el depósito de 200 litros. Este trabajo se inició el día 12 de octubre del 2013.

Se realizó el trasplante en las bolsas plásticas de diez litros. Ese día se hizo el tutoreo de las plantas sobre alambres sujetos al invernadero con el fin de dar soporte a las plantas. Se colocaron 2 plantas por bolsa (bolis) dando un total de 72 plantas distribuidas en 36 bolis. En las podas se consideró eliminar los brotes axilares para un mejor desarrollo de la planta. Después de 15 días con la

aplicación de la solución nutritiva se notó que la planta empezaba a manifestar síntomas en la parte apical (tonalidades moradas). Para ello se adicionó un miliequivalente de H_2PO_4 por litro de agua. Se empleó fosfato monoamónico a razón de 0.13 gramos por litro de agua. Con la corrección del fósforo se notó una notable mejoría en las plantas en cuanto al color, las puntas de las hojas se tornaron de un color verde-limón indicador de una mejor nutrición. (Figura 2).



Figura 2. Situación nutricional visual del cultivo de tomate

En lo que respecta a la solución nutritiva en el depósito de 200 litros, se observó que las sales formaron un precipitado al fondo del tanque. Se encontró que el pH fue de 7.3 y la conductividad eléctrica (CE) de 2.1 dSm^{-1} . Entonces se procedió a elaborar una solución de refresco para la corrección del pH y así evitar los precipitados de los fertilizantes. Para corregir el pH, es decir bajar su valor de 7.34 a 6.5 que es lo recomendado se utilizó ácido nítrico. Normalmente se emplearon alrededor de 6 ml de ácido para 100 litros de solución nutritiva.

Se observó que el pH en el depósito no se mantuvo estable con el paso de los días, aun considerando que fue un sistema hidropónico a solución perdida (sistema abierto). En las primeras dos semanas los valores en las mediciones de este parámetro estuvieron entre 6.5 y 7.3 sin ajuste con ácido. Para eliminar el problema de desajuste del pH se decidió utilizar el buffer **PHase 1**[®] de la empresa Arista Life de Saltillo, Coahuila. (Figura 3). El producto es una sal ácida y ayuda a

bajar el pH y la CE, con la intención de que ayude a la asimilación de nutrientes de una forma más efectiva. Se emplearon 70 ml para 130 litros de solución nutritiva para obtener un pH de 6.6 y una CE de 3.



Figura 3. Empleo del buffer PHase 1[®] ■

Manejo de plagas

A mediados de noviembre apareció en forma moderada la plaga llamada mosquita blanca, la que se controló con aplicaciones de jabón marca Foca. Se puede apreciar en la Figura 4 la incidencia de la plaga. Un mes después se volvió a presentar dicho insecto. Se utilizó CONFIDOR a razón de 1 mL^{-1} sobre el área foliar lo que resultó eficaz para su control.



Figura 4. Presencia de mosquita blanca en las hojas del tomate

Podas

Se condujo la planta a un tallo. Se manejó una densidad de 2.8 plantas por metro cuadrado. Para evitar que las plantas desarrollaran demasiada área foliar y aprovechar la entrada de luz solar se dejó una hoja abajo del racimo floral. Se eliminaron brotes axilares desde tamaño pequeño para evitar la competencia por agua, nutrientes y luz como se aprecia en la Figura 5.



Figura 5. Poda de hojas y brotes axilares al cultivo de tomate.

Manejo de enfermedades

En el mes de diciembre en algunas plantas se presentaron leves síntomas provocados por *Fusarium oxysporum*, para ello se aplicó el producto **Afimax** a razón de 100 ml en 200 litros de agua, es decir se agregaron al tanque de solución nutritiva. El problema quedó resuelto.

Temperatura y humedad relativa

Se colocó un sensor **Hobo**[®] en un sitio que representó la condición climática promedio del invernadero. Se colectaron datos de humedad y temperatura cada dos horas durante todo el tiempo que duró el experimento. Con estos datos se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) importante en horas puntuales del día.

Para el día 20 de diciembre del 2013 a causa de los fuertes fríos que se preveían, se colocó una malla llamada agribón y calentadores eléctricos con la finalidad de pasar el invierno sin que sufrieran daños las plantas. El día 25 de enero del 2014 se retiró la malla de agribón una vez que se tuvo certeza de la ausencia de frentes fríos intensos.

Cosecha

En el Cuadro 11 se aprecian las fechas de corte de tomate realizadas en el experimento. Se hicieron cinco cortes.

Cuadro 11. Fechas de corte de tomate en el experimento

FECHA	CORTES
14/02/2014	1 ^{ER} CORTE
24/02/2014	2 ^{DO} CORTE
3/03/2014	3 ^{ER} CORTE
15/03/2014	4 ^{TO} CORTE
22/03/2014	5 ^{TO} CORTE



Figura 6. Madurez del tomate al momento de la cosecha.

Para el día 22 de marzo del 2014 se realizó el último corte a la planta, ya que con lo cosechado era suficiente para evaluar y lograr el objetivo planteado al inicio de la investigación. El día 28 de marzo se hizo el corte de plantas totales para la toma de variables y su posterior análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con todo lo realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

El Cuadro 12 muestra los cuadrados medios de tratamientos y repeticiones, así como el error experimental de cada una de las variables analizadas. Las variables de diámetro ecuatorial (DE), peso total (PT) y peso seco de raíz (PSR) presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, diámetro polar (DP) presentó diferencia significativa y no hubo significancia para altura (ALT) y diámetro de tallo (DT).

El Cuadro 13 contiene las pruebas de rango múltiple de Tukey (0.05) realizadas a las variables evaluadas, lo que nos permitió detectar las diferencias entre los tratamientos.

El diámetro polar reportado por cada tratamiento refleja una diferencia significativa al 0.05 como se aprecia en el Cuadro 12. La combinación de 7.7 litros de fibra de coco con 2.3 litros de tezontle (T6) generó el mayor tamaño polar de los frutos. (Cuadro 3). La razón de obtener los mejores resultados se debe posiblemente al efecto constante de la solución nutritiva utilizada y la mezcla de los sustratos orgánicos, o en dado caso a la mezcla de sustratos que en su composición tengan algún material orgánico según Ortega-Martínez et al., (2010) los mayores tamaños de tomate se lograron con sustratos orgánicos concordando con nuestro trabajo. Sin embargo, Cancino (1990) encontró que el tamaño de fruto (estrechamente relacionado con el peso del fruto) depende de tres a cinco pares de genes, aspecto que concuerda con lo señalado por Ashcroft et al., (1993), en que el tamaño del fruto está controlado por factores genéticos, además de factores fisiológicos; tales como maduración, despunte y defoliación.

El diámetro ecuatorial reportó alta diferencia estadística entre tratamientos al (0.01) como se demostró en el Cuadro 12. De la misma forma el T6: mezcla de 7.7 litros de fibra de coco con 2.3 litros de tezontle generó el mayor tamaño ecuatorial de los frutos. (Cuadro 13). En un trabajo realizado por Requejo et al.,

(2004) demuestra que en lo que respecta a sustratos, perlita más turba con solución recirculada produjo los mayores diámetros ecuatoriales y polares promedio de fruto, lo que concuerda con nuestro trabajo en la combinación de materiales inertes con algún sustrato orgánico (fibra de coco) lo que se atribuyó al contenido de sus elementos nutritivos.

Para el peso total de los frutos de igual manera el T6: 7.7 litros de fibra de coco con 2.3 litros de tezontle mostró que por tratamiento existe una alta diferencia significativa de 0.01. (Cuadros 12 y 13). Los resultados de este estudio contrastaron con los publicados por Subler et al., (1998), quienes señalaban que el mejor desarrollo del cultivo del tomate se dió con pequeñas proporciones de sustrato orgánico, entre 10 y 20%. Aunado a lo anterior Atiyeh et al., (2000) indicaron que al usar más del 20% de sustrato, hubo un decremento en el rendimiento de la planta. Estas diferencias se pueden deber a la densidad de microorganismos, la tasa de mineralización y a las características de cada uno de los sustratos (Moreno et al., 2005).

Para el peso seco de raíz se muestra que por tratamiento existe una alta diferencia significativa (Cuadro 12) y las mejores combinaciones fueron las que tenían un alto porcentaje en fibra de coco como lo fueron el T6, T7 (fibra de coco-tezontle) y T9 (fibra de coco-ladrillo molido). (Cuadro 13). Lo que concuerda con Zárate (2007) quien menciona que encontró diferencias significativas entre tratamientos, destacan T4 Y T3 evaluando 2 variedades de tomate con el sustrato fibra de coco. Esto se debe a que la fibra de coco es un sustrato con adecuada porosidad y densidad aparente, características que no permiten la compactación siendo un material muy penetrable a diferencia de otros sustratos como la arena que presenta capas muy compactadas haciendo muy difícil el desarrollo de raíces. Con lo anterior se comprueba que para el mejor desarrollo, la raíz debe contar con un determinado nivel de O_2 y espacio suficiente para que los tejidos desarrollen tasas respiratorias adecuadas y superficie de contacto amplias que permitan la absorción balanceada de los nutrimentos (Bieto y Talon, 2000).

Para la altura de las plantas se reportó que para tratamientos no hubo diferencias significativas. (Cuadro 12). Esto se debió a la utilización de variedad de tomate tipo bola de crecimiento determinado ya por lo regular todas las plantas solo alcanzan cierta altura y cesan su crecimiento. Lo que concuerda con el trabajo realizado por Requejo et al., (2004) quienes mencionan que no se encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta y diámetro de tallos de tomate sembrando la misma variedad de tomate bola (floradade).

El diámetro de tallo para los diferentes tratamientos no presentó diferencia significativa, pero de igual forma el T6: fibra de coco 7.7 litros con 2.3 litros de tezontle obtuvo el mejor resultado. (Cuadro 13); lo que concuerda con Requejo et al., (2004) quienes al sembrar la misma variedad de tomate (floradade) no encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta y diámetro de tallos de tomate. Contrastando con otros trabajos ya que nuestros resultados están por debajo de lo que muestran Ortega-Martínez et al., (2010) quienes mencionaron que en 75 días de desarrollo de la planta con el sustrato de aserrín-composta ya contaban con un diámetro de 1.7 cm y para los demás sustratos era de 0.9-1.4 cm. Esto se debió en primer lugar al tipo de variedad de tomate utilizada (floradade) ya que ésta es de crecimiento determinado y también se lo atribuimos a que el lugar donde estábamos situados había mucha sombra, lo que limitó el desarrollo de tejido del tallo. Sin embargo, el total de tallo y sus diferentes tejidos pueden ser afectados por factores ambientales y de manejo, las temperaturas elevadas (30°C) propician el crecimiento de tallos delgados (Folquer, 1976) y con mayor proporción de tejido parenquimatoso (Chamarro; 1995 y Picken, et al., 1986). Asimismo, luminosidades bajas dan lugar a tallos delgados y débiles con mayor proporción de tejido parenquimatoso.

Cuadro 12. Cuadrados medios de tratamientos y repeticiones, así como del error experimental de cada una de las variables analizadas

FV	GL	DP	DE	PT	PSR	ALT	DT
T	8	1.06 *	1.54 **	471698.57 **	721.58 **	721.71 NS	0.05 NS
R	3	0.86 NS	0.84 NS	575866.49 *	351.57 NS	102.02 NS	0.06 NS
EE	24	0.32	0.31	138704.82	179.38	343.46	0.03
CV %		18.93	17.05	65.4	37.30	15.83	18.41

FV=Fuente de variación; Trat=Tratamientos; Rep=Repeticiones; EE=Error experimental; CV=Coefficiente de variación; GL=Grados de libertad; DP=Diámetro polar; DE=Diámetro Ecuatorial; PT=Peso total; PSR=Peso seco de raíz; ALT=Altura; DT=diámetro de tallo.

Cuadro 13. Prueba de rango múltiple de Tukey (0.05) realizada a las variables evaluadas.

Trat	DP	DE	PT	PSR	ALT	DT
1	3.91 ab	4.62 ab	925.35 ab	43.10 ab	136.75 a	1.11 a
2	3.02 b	3.53 b	181.02 b	19.32 b	97.37 a	0.77 a
3	4.10 ab	4.71 ab	616.72 ab	47.20 ab	137.12 a	0.99 a
4	4.56 a	5.51 ab	898.64 ab	43.20 ab	127.62 a	0.90 a
5	3.44 ab	4.21 ab	515.77 b	48.80 ab	139.00 a	1.01 a
6	4.65 a	5.56 a	1437.87 a	54.87 a	129.50 a	1.11 a
7	3.89 ab	4.74 ab	898.20 ab	51.87 a	115.25 a	1.04 a
8	3.89 ab	4.78 ab	718.70 ab	51.50 ab	134.25 a	1.04 a
9	3.62 ab	4.42 ab	718.92 ab	70.32 a	132.63 a	0.94 a

Trat=Tratamientos; DP=Diámetro polar; DE=Diámetro Ecuatorial; PT=Peso total; PSR=Peso seco de raíz; ALT=Altura; DT=diámetro de tallo.

En cuanto al déficit de presión de vapor (DPV) se encontró lo siguiente:

Los valores de (DPV) cuando se colocó la malla sombra de agribón en el invernadero oscilaron en torno a 0.6 en la primera hora de la mañana y alcanzaron un promedio de 1.5 a mediodía.

Una vez retirada la malla sombra, los valores fueron de 1.0 en la mañana y cercana a 2.0 a las 14:00 horas. Estos valores son adecuados para la producción de tomate y concuerdan con las cifras recomendadas por Urrestarazú (2004) para invernaderos ubicados en Almería, España.

CONCLUSIONES

La mezcla que produjo la mejor respuesta en la producción de tomate en base a las variables evaluadas: diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), peso total de los frutos (PT), altura de la planta (ALT), peso seco de raíz (PSR) y diámetro del tallo (DT) fue el tratamiento 6 conformado por 7.7 litros de fibra de coco mas 2.3 litros de tezontle con tamaño de partícula 4 a 8 mm.

El peor tratamiento fue el 2 por lo que no se recomienda la perlita sola, ya que no retiene la suficiente humedad para el correcto desarrollo de tomate.

LITERATURA CITADA

Abad, B.M., P. Noguera, M. y C. Camón B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Tratado de Cultivo Sin Suelo. Urrestarazu G.M. 3a edición. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 113-158.

Abad, M., P. Noguera y C. Camón. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales. C. Cadahía (coord). 3ra ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 299-352.

Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.

Ashcroft, W., Gurban, R., Wares, C. and Nick, H. 1993. Arcadia and Goulbum: Determinate fresh market tomatoes for arid production areas. HortiScience 28 (8), 854-857 p.

Atiyeh, RM, Domínguez J, Subler S, Edwards CA (2000) Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. Pedobiologia 44: 709-724.

Baca, C., G. A., B. S. Alcalde, G. A. Martínez, L. R. James e I. D. Barrera. 1991. Efecto de la solución nutritiva, riego, el sustrato y la densidad de siembra en tres cultivos hortícolas en la hidroponía al aire libre. II Melón y jitomate. Agrociencia 2: 33-55.

Bastida, T. A. 2002. Sustratos hidropónicos. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal, Ed. McGraw, Hill, Madrid España.

Biran, I. and A. Eliassaf. 1980. The effect of container size and aeration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. Sci. Hortic. 12: 385-394.

Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. 309 p.

- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Cadahía L. C. 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Cancino, B. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo, serie horticultura 73-74:26-30.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En Nuez, F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa Barcelona, España. 43-91 p.
- Comercial Projar, S.A. 2002. Fibra de coco como sustrato en hidroponía. Productos y servicios para viverismo, jardinería y control de erosión. Almería, Murcia y Valencia España.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae 37: 2054-2062.
- Esquinas-Alcázar, J. y Nuez V., F. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate. F. Nuez ed. Mundi-Prensa. 793 p.
- FAO. 2007. "Manual de buenas prácticas agrícolas para la agricultura familiar" 54p.
- Fernández, M.M., Aguilar, M.I., Carrique, J.R., Tortosa, J., Gracia, C., López, M., Pérez, J.M. 1998. Suelo y medio ambiente en invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla, España. 302 p.
- Folquer, F. 1976. El tomate: estudio de la planta y su producción. 2a ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina, 104 p.
- Gislerød, H. R., R. Baas, M. Warmenhoven and D. Berg. 1997. Effect of aeration on rooting of growth of roses. Acta Hortic. 450: 113-122.
- Hodgson, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements soils. Adv. Agron., 15:119-59.

Kader, A. 2002. Tecnologías de productos hortofrutícolas. 3ª Edición. Publicación 3311. Universidad de California. 580 p.

Larsen, K. (1967). Cytological studies on Monnina. Feddes Rtpert. 75:43-46

Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. Acta Hortic. 396: 273-284

Luque, A. 1981. Physical and physical chemical properties of the volcanic materials used in hydroponics. Acta Hortic. 126: 51-57.

Martínez, E., M. García. 1993. Cultivos sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ed Horticultura. Reus.

Martínez, F. X. 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. Actas de Horticultura 11: 55-66.

Mazuela, A. C. P. 2005. Caracterización y evaluación agronómica del compost de residuos hortícolas como sustrato alternativo con cultivos sin suelo. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España.

Ojodeagua, A.J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L.Tijerina Ch., P. VargasT. y S. EnríquezR. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Rev. Fitotec. Mex. 31: 367-374.

Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 339-346.

Pastor, S. J. .N (2000) Utilización de sustratos en viveros. Terra 17(3):213-235.

Picken, A., Steward, K., Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton J, G. ; Rudich, J. (Eds.) The tomato crop. Chapman and Hall Ltd. New York, EUA. 111-165 p

Peña, Y. M., Casierra-Posada, F., y Monsalve, I. O. 2013. Producción hidropónica de tomate (*SolanumlycopersicumL.*) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 7 - No. 2 - pp. 217-227.

Peñuelas, R., J. C. y L. Ocaño, B. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Ponnamperuma, F.N. 1955. The chemistry of submerged soils. *Ady. Agron.*, 24:29-96.

Raviv, M., Y. Chen, Z. Geler, S. Medina, E. Putievski and Y. Inbar. 1984. Slurry produced by methanogenic fermentation of cow manure as a growth médium for some horticultural crops. *Acta Horticulturae* 150: 563-573.

Ravid, M., Chen, Y., Inbar, Y. 1986. "Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants". En chen, Y.; Avnimelech, y (EDS.). *The role of organic matter in modern agriculture*, dordrecht (Holanda): Martinus nijhoff publishers, P. 257-287

Requejo, L. R., Escobedo, B. L., Olivares S. E., García, G. S. J. 2004. Producción de tomate cultivar floradade en dos sustratos hidropónicos a solución perdida y recirculada. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila Mexico.

Rodríguez, D. E., Salcedo, P. E., Rodríguez, M. R., González E. R. D., y Mena, M. S. 2013. Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). *Terra Latinoamericana* 31: 275-284.

Sagarpa. 2005. Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON). Versión 1.1. Información agrícola y pecuaria de los años 1980 a 2005. Programa para computadora. Centro de estadística agropecuaria. México.

San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V., Sánchez-García, P., Colinas-León, B., Borgues-Gómez, L. 2012 Calidad de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de Tezontle. *Agrociencia*. 46:243-254.

Segura, C. M. A., P. Preciado, R., G. González, C., J. E. Frías, R., G. García, L., J. A. Orozco, V. y M. Enríquez, S. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33: 923-928.

SCyT (Secretaria de Comunicaciones y Transportes). 2010. Inventario de bancos de materiales. *Bancos_2010*. México, D. F.

Smith, A.F., 1994. *The tomato in America: early history, culture, and cookery*. University of South Carolina. Press, Columbia, S.C, EEUU.

Steiner, A. A. 1968. In: *Proceedings of the IPI 1968 6th Colloquium of the International Potash Institute*. Florence, Italy. *Soilless culture*. pp. 324-341.

Subler, S., Edwards, C. A., Metzger, J. (1998) Comparing vermicompostes and composts. *Biocicly*. Organic tomato production under greenhouse conditions. *Acta Hort (ISHS)* 614: 775-780.

Tamari, S., D. Samaniego M., I. Bonola, E. R. Bandala, and V. M. Ordaz CH. 2005. Particle density of volcanic scoria determined by water pycnometry. *Geotech. Test. J.* 28: 1-6.

Urrestarazu, M. 2004. *Tratado de cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa. Madrid, España

Valdés, R., López, J., González, A., Navarro, A., Sánchez-Blanco, M. J., y Bañón, S. 2007. Influencia del medio de cultivo sobre el desarrollo y consumo hídrico de plantas de clavel en maceta. *Agrícola Vergel*. 310: 213-220.

Vargas, T. P. J., Zaragoza-Castellanos, R. J. J., Muñoz, R., Sánchez P. G., Tijerina, L. Ch., López, R. M. R., Martínez, C. S. y Ojodeagua, J. L. A. 2008. Efecto

del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 34: 323-331.

Verdonk, O., D. De Vleeschauwer, and M. De Boodt. 1981. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Hortic.* 126: 251-258.

Wilson, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Hortic.* 172: 151-156.

Yih-long ch. 2003. Win_QSB. Versión 1.0 Jhon Wiley and Sonz. USA.

Zamora, M. B. P., Galvis, S. A., Volke-Haller, U.H., Sanchez, G. P. y Espinoza, V. D. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia. Revista de ciencia y tecnología de América.* ISSN 0378-1844, 30(6):365-369

Zarate, B. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero, tesis de maestría. C.I.D.I.R. Oaxaca, México.

Páginas web consultadas

<http://cep.unep.org/repcar/capacitacion-yconcienciacion/upoli/publicaciones-upoli/Manual%20BPA%20en%20Tomate.pdf>

(Consultada el 25 de mayo del 2014).

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s02.pdf>

(Consultada el 05 de enero del 2014)

<http://www.el-tomate.net/suelos.html>

(Consultada el 3 de marzo del 2014)

<http://www.journals.unam.mx/index.php/rxm/article/view/24588>

(Consultada el 26 de julio del 2014)

<http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio4/04-Seleccion-sustratos-prodhortinvernadero.pdf>

(Consultada el 5 de junio del 2014)

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000100008

(Consultada el 15 de agosto del 2014)

http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf

(Consultada el 9 octubre del 2014)

