CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA

PRODUCCIÓN DE TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

ESPECIALIZACIÓN EN

QUÍMICA APLICADA

CON OPCION TERMINAL AGROPLASTICOS

JOSE LUIS ALDANA HERNANDEZ

CENTRO DE INFORMACIÓN
07 ENE 2005
RECIBIDO

Diciembre, 2004.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

PRODUCCIÓN DE TOMANTE EN CULTIVO SIN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL

GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.

OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

PRESENTADO POR:

JOSE LUIS ALDANA HERNANDEZ

DICIEMBRE 2004.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

"PRODUCCIÓN DE TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"

PRESENTADO POR:

José Luis Aldana Hernández

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA:

OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

Ha sido dirigida por:

M.C. Ma. del Rosario Quezada Martín

Saltillo, Coahuila *DICIEMBRE 2004*

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

"PRODUCCIÓN DE TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO "

Que Presenta:

Jose Luis Aldana Hernández

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.

OPCION TERMINAL AGROPLASTICULTURA

Presidente

Vocal

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2004

DEDICATORIA.

A DIOS:

Por darme la fe necesaria para no desanimarme nunca en toda mi vida.

A mis Padres:

Al Sr. Marcelino Aldana García y a la Sra. Cretina Hernández Hernández.

A mis hermanos:

Albina, Isaías, Silvia, Enrique y Daniel.

A todos mis sobrinos:

Liz, Luís, Chico, Quitino, Areli, Gysel, Bibi, Juanchito, Rubí, Pelón, Peques, Lesly, y la bebita.

A mis Cuñados y Cuñadas:

Lorenzo y Andrés, Silvia y Gabriela

A todos ustedes gracias por formar parte de mi familia, que siempre me han apoyado en todo momento de mi vida gracias mil.

Y muy en especial a SANDRA que siempre estas apoyándome en todo momento.

A mis amigos de la primera generación de la especialidad.

Felipe Olguín (chelipin), Sagrario Oyervidez (gordita), Eduardo Treviño (el inge), Ana Maria López (la china), Gaspar Santana (gasparin), Benito Correa (beni), Omar Cárdenas (el pelao) Pablo G. Hernández (el chaparro).

A ustedes con gran afecto y cariño por compartir un año de estudio compartiendo muchas experiencias en todo momento.

A mis compañeros de la casa de saltillo que siempre nos apoyamos en todo.

Miguel (compadre), Enrique (cuñado), Iván (chiquidracula), Alejandro (changoleon), Karenji (cámaras), y a todos mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por brindarme la oportunidad de superarme, al momento de aceptarme como integrante dentro de su institución en la especialidad de agroplásticos.

A mis maestros que me impartieron clases, donde siempre pusieron lo mejor de si para pasarnos sus conocimientos:

Dr. Luís Ibarra Jiménez

Dr. Juan Munguía López

Dr. Manuel de la Rosa Ibarra

Dr. Eduardo Ramírez Vargas

M.C. Ma. Del Rosario Quezada Martín

M.C. Juanita Flores Velásquez

M.C. Boanerges Cedeño Rubalcava

M.C. Santiago Sánchez

M.C. Luís Villareal

M.C. Sergio Hernández Valdez

A mis asesores del caso de estudio que siempre tuvieron la paciencia para orientarme adecuadamente desde el principio hasta el momento de la presentación del mismo.

M.C. Ma. Del Rosario Quezada Martín

M.C. Juanita Flores Velásquez

M.C. Boanerges Cedeño Rubalcaba

INDICE

INTRODUCCIÓN 1
Objetivos 3
REVISIÓN DE LITERATURA 4
Hidroponía 4
Antecedentes Históricos 5
Importancia de la Hidroponía 6
Importancia de la calidad del agua 7
Ventajas de la Hidroponías 8
Desventajas de la Hidroponía 8
Sustratos 9
Funciones Esenciales de un Sustrato 9
Características de un sustrato 10
Propiedades Físicas 10
Propiedades Físico-Químicas y Químicas 10
Otras Propiedades 11
Cultivo en Sistemas Convencionales con Sustrato 11
Tipos de Sustratos 11
Orgánicos 11
Naturales 12
Sintéticos 12
Los Sustratos mas Usados Comúnmente 12
Perlita 12
Vermiculita 12
Arena 12
Lana de Roca 13
Desinfección de Sustratos 13
Métodos de Desinfección 13
Materiales para Cubiertas de Invernaderos 14
Películas Flexibles 14

Películas Rígidas 14
Características generales de los Plásticos para Invernaderos 15
Policloruro de Vinilo 15
Polietileno Normal 15
Polietileno de Larga Duración 16
Polietileno Térmico 16
Copolímero Etil Acetato de Vinilo 16
Poliéster Fibra de Vidrio 17
PMMA 17
Policarbonato PC 18
Variaciones de los Factores Ambientales en los Invernaderos 18
Temperatura 18
Humedad Relativa 19
Luz 20
Dióxido de Carbono 21
Centro de Origen del Tomate 21
Taxonomía 21
Morfología del Tomate 22
Semilla 22
Raíz 22
Tallo 22
Hojas 23
Inflorescencia 23
Flor 23
Fruto 23
Requerimientos Edafoclimaticos 23
Temperatura 24
Humedad Relativa 24
Luminosidad 25
Suelo 25
pH 25

Manejo del cultivo 26
Marco de Plantación 26
Transplante 26
Poda de Formación 26
Tutorado 26
Destallado 27
Deshojado 27
Fertilización 27
Solución Nutritiva 29
pH de la Solución Nutritiva 30
Preparación de la Solución Nutritiva 30
Recolección del Fruto 30
Índices de Calidad de Frutos 31
Forma 31
Color 32
Apariencia 32
Firmeza 32
Temperaturas Optimas de Almacenamiento 32
Temperaturas de Maduración 32
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO 33
AREAS DE OPORTUNIDAD 34
NOMENCLATURA 37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 38
REVISION DE LITERATURA 39

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las tasas de crecimiento agropecuaria mundial y los rendimientos de los cultivos han disminuido. Esto ha suscitado temores de que el mundo no sea capaz de incrementar lo suficiente la producción de alimentos y otros productos para asegurar una alimentación adecuada de la población futura.

Es por ello que la mayoría de los países han optado por hacer mas investigaciones en el campo de la agricultura para poder solucionar los problemas. Uno de ellos es la alternativa de producir ya no directamente a campo abierto ni en el suelo, esto es por los problemas que se tiene tanto en la atmósfera como en el suelo.

El suelo ya no es capaz de producir lo mismo que hace veinte años, por lo tanto se tiene que recurrir a la producción de alimentos bajo condiciones controladas, como son los invernaderos, esto es porque el medio ambiente ya no es tan favorable y la población exige cada día una mejor calidad en los productos que consume.

Los invernaderos son una gran alternativa para la producción hortícola, ya que tienen la ventaja de que se puede controlar el medio ambiente en el interior, además de que se tiene un mejor control sobre los cultivos.

Los cultivos de hortalizas en invernadero, específicamente el tomate en cultivo sin suelo se ha desarrollado mucho en los últimos años y es una alternativa para incrementar los rendimientos y la calidad para competir en los mercados internacionales y obtener mayores márgenes de utilidad.

Comparando la producción de tomate a campo abierto contra la de invernadero. los rendimientos en invernadero son mayores de un 200 a 800% dependiendo del sistema de cultivo.

Estos aumentos no son simplemente por que se controla el medio ambiente, sino por la combinación de varias técnicas para el manejo de los cultivos, por ejemplo la utilización de los sistemas de riegos mas adecuados, la nutrición de las plantas, la calefacción, el manejo cultural, etc. proporcionándoles los factores mas favorables a la planta, dentro de las técnicas está la hidroponía y el cultivo sin suelo.

El fertirriego es fundamental para la producción y consiste en aplicar en el sistema de riego los nutrimentos necesarios para el buen desarrollo, además que ya no es necesario la utilización del suelo como fuente de nutrimentos, sino que en algunos casos es sustituido por materia inerte o en la misma solución van suspendidas las raíces, esta es una técnica que es llamada hidroponía.

La hidroponía y el cultivo sin suelo son una técnica novedosa para estos tiempos, ya que consiste en tener al cultivo en un medio inerte, o en una solución donde se aporta al mismo tiempo los elementos nutritivos necesarios para que la planta realice todas sus funciones fisiológicas durante toda su etapa fenológica.

Es por ello, que se realiza la presente investigación de revisión de literatura de cómo se puede producir, en un sistema de cultivo sin suelo, los problemas mas frecuentes que se tienen, las limitaciones y todos los aspectos relacionados con la producción de tomate sin suelo.

OBJETIVOS.

Adquirir los principios básicos para la aplicación de la tecnología de cultivo sin suelo en la producción de tomate.

Tener la información necesaria como apoyo a la toma de decisiones para los productores de tomate en cultivo sin suelo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Hidroponía.

El término hidroponía se deriva de dos palabras griegas "Hidros" que significa agua y "Ponos" que significa labor o trabajo; literalmente se traduce como "trabajo en agua" (Harris, 1977).

Sánchez y Escalante (1988), definen a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución.

Se entiende como cultivo sin tierra, el método que consiste en proveer a las plantas los elementos de que tienen necesidad, para su crecimiento no por medio de su habitáculo natural, la tierra, sino por medio de una solución sintética de agua y sales minerales, (Hoterwal, 1983).

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier medio de cultivo es conseguir una planta de calidad en el más corto período de tiempo, con costos de producción mínimos. En este sentido los cultivos sin suelo, también denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Tecnociencia, 2003).

Se entiende por sistema de cultivo sin suelo el conjunto unitario que forma el sustrato, el contenedor y el sistema de riego (Martínez y García, 1993).

Antecedentes Históricos.

Es necesario mencionar el inicio de la hidroponía del primer experimento recordado sobre el cultivo con agua, cuando muy poco o nada se sabia de la nutrición de las plantas, (Hoterwal, 1983; Sánchez y Escalante, 1988; Harris, 1977).

En 1699 Woodwer, hizo crecer menta (hierba buena), en distintas clases de agua: lluvia, río y de canalización. encontró que el mejor aumento en peso de las plantas tuvo lugar con el agua que contenía mayor porcentaje de tierra (Harris, 1977).

El mérito de haber iniciado los experimentos exactos en este campo científico, correspondió al químico francés Jean Boussignault, a quien por esta razón se le considera el precursor de los métodos modernos originarios de la hidroponía actual. Antes de 1840 Jean hizo crecer plantas en tierras artificiales insolubles: arena, cuarzo, carbonilla, impregnadas con soluciones acuosas de formulas químicas conocidas (Harris, 1977).

Este método de hacer crecer a las plantas en "tierras artificiales" insolubles, fue mas tarde mejorado por Salm Horstmar (1836-1860). Mas adelante, Sachs y al mismo tiempo Knop, mejoraron las técnicas en el año de 1960 (Hoterwal, 1983).

Knop comenzó los experimentos de cultivo con agua en el laboratorio al mismo tiempo que Sachs propuso en 1865 una formula de solución nutritiva que resulto ser una de las mas utilizadas para el estudio de la nutrición de las plantas (Hoterwal, 1983).

Otras fórmulas fueron propuestas por Tellens en 1882, Schimper en 1890, Pfeffer en 1900, Crone en 1902, Tottingham en 1914, Shive en 1915, Houglan en 1920, y muchos otros botánicos mas (Harris, 1977).

En 1938 la hidroponía entró en el campo de la horticultura práctica, grandes horticultores de E.U. trabajaron con tinas hidropónicas, de las cuales una buena cantidad fracasó debido principalmente a la falta de información (Sánchez y Escalante, 1988).

Casi todos estos investigadores estuvieron de acuerdo en que no puede haber ninguna composición de solución nutritiva que sea notablemente superior a las otras, pero también concordaron en que ciertas clases de composición y concentración totales ofrecen justamente diferencias de poder nutritivo adaptables a diferentes modalidades de crecimiento de las plantas (Hoterwal, 1983).

Hasta hace poco, la técnica de cultivo con agua no había pasado del campo experimental en pequeña escala dentro de los laboratorios científicos. Las instalaciones hidropónicas más importantes, en 1953, eran las realizadas en Japón por los americanos, cubriendo una de ellas 7 ha. y la otra 28 Ha. (Sánchez y Escalante, 1988)

Con el desarrollo del plástico, la hidroponía dio otro paso grande, si hay un factor al que podría acreditársele el éxito de la industria hidropónica de hoy, ese factor es el plástico (Sánchez y Escalante, 1988).

En la década de los años 70, en Japón y algunos países de Europa, es cuando se produce el despegue definitivo de la producción comercial, de hortalizas y flores en cultivo sin suelo (Martínez y García, 1993).

Importancia de la Hidroponía.

La importancia de la hidroponía es, que su aplicación ha beneficiado a ciertos cultivos, adaptando nuevas técnicas como alternativas para satisfacer la demanda de productos agropecuarios, así como usar diferentes instalaciones, de las cuales para algunos su sistema no siempre es justificable económicamente por los gastos de inversión inicial, pero presenta varias opciones adecuadas en casi todos los casos (López, 1988).

Para que un sistema de cultivo sin suelo pueda ser empleado a nivel comercial es necesario que permita el buen desarrollo de la raíz, de manera que aporten en forma óptima los siguientes elementos:

Aireación.- La raíz obtiene la energía que necesita por medio de la respiración quemando carbohidratos, y requiere por lo tanto del oxígeno necesario para ello. Este es uno de los requisitos indispensables en la hidroponía ya que para el buen éxito depende de una buena ventilación.

Agua.- Deberá estar continuamente disponible para las plantas en unas condiciones de extracción muy favorables.

Solutos.- Entre los elementos químicos disueltos deberán encontrarse todos los necesarios para la nutrición de la planta en cantidades suficientes para prevenir las carencias, pero no excesivas para evitar niveles altos de presión osmótica.

Temperatura.- tiene que ser la apropiada para asegurar una óptima actividad biológica en la raíz (Magán, 2004; Hoterwal, 1983).

Importancia de la Calidad del Agua

Noguera (1993) menciona que antes de iniciar el cultivo, conviene realizar análisis completo del agua a utilizar, posteriormente, conviene realizar análisis periódicos para conocer la variabilidad estacional que muestran las aguas.

Todas las aguas de riego tienen sales en disolución y cuando se van a utilizar en cultivo sin suelo es imprescindible conocer la composición cuantitativa y cualitativa de dichas sales (Martínez y García, 1993)

Las aguas con conductividad eléctrica (C. E.) elevadas no son adecuadas para su uso en la hidroponía. Lo ideal sería utilizar aguas con C. E. menores de 0.6 $dS.m^{-1}$ dependiendo de la concentración de los cloruros y de sodio, algunos autores establecen el límite para el sodio en 2 $meq.l^{-1}$ y para el cloruro en 1.5 $meq.l^{-1}$, la solución en estos casos pasa a mejorar la calidad del agua disponible (Díaz y Pierna 2001).

Según Rodríguez *et al.* (1999) los parámetros fundamentales de calidad del agua de riego son: su acidez o alcalinidad (valorada por su pH), el contenido total de sales (medido por la conductividad eléctrica CE), el contenido en sodio y cloruros, la presencia de metales pesados y la concentración de microorganismos.

Si el valor de CE es elevado, el agua puede salinizar el suelo o sustrato y perjudicar la producción, dependiendo de la tolerancia a la salinidad del cultivo regado. Un valor de CE superior a 2 $dS.cm^{-1}$, indica que la calidad del agua no es aceptable para el cultivo hidropónico (cultivo en un sustrato inerte) por lo que se deberá mejorar su calidad.

Ventajas de la Hidroponía.

Permite obtener cultivos más homogéneos y, de forma especial, favorece el desarrollo de un sistema radicular más homogéneo. Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los denominados hongos del suelo (damping off), lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes. Reduce el consumo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación. Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida. El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla más fácilmente que en cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal (Duran y Martínez, 2000; Alpi y Tognoni, 1999).

Desventajas de la Hidroponía.

- El costo elevado de la infraestructura e instalaciones que configuran el sistema.
- El costo añadido que representa el mantenimiento de las instalaciones.
- El costo de la energía consumida por las instalaciones.
- La producción de residuos sólidos, a veces, difíciles de reciclar.

• La acumulación de drenajes cuando se riega con aguas de mala calidad.
• La contaminación de acuíferos cuando se practican vertidos improcedentes.
• El costo de las instalaciones y de la energía necesaria para reutilizar parte de los drenajes producidos. (Duran y Martínez, 2000; Alpi y Tognoni, 1999).

Sustratos.

En un cultivo hidropónico se denomina sustrato a un medio material, normalmente sólido, en el cual se desarrollan las raíces del cultivo. Con objeto de optimizar las propiedades de los sustratos, suelen estar confinados en contenedores que pueden adoptar distintas formas (abiertas o cerradas), volúmenes (cubos, prismas, cilindros) y aspectos (a granel, bolsas, sacos) (Duran y Martínez, 2000).

El cultivo en sustrato de acuerdo con Harris *et al.,* (1987), en un sistema de cultivo hidropónico comprende todos aquellos métodos en los que las plantas crecen en un sustrato con propiedades de retención de humedad (arena, perlita, vermiculita, aserrín etc.), el cultivo en estos sustratos es el sistema más simple de cultivo hidropónico. Las raíces se desarrollan y crecen en un medio inerte, generalmente con partículas de tamaño pequeño y capacidad de retención de humedad. El sustrato en el que las raíces crece debe ser lo suficientemente fino para mantener un adecuado nivel de humedad; pero a la vez no tan fino que interfiera con una eficiente aireación.

Un sustrato es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo. en sistemas hidropónicos, presentan un volumen físico limitado, debe encontrarse aislado del suelo y tiene como funciones mantener la adecuada relación de aire y solución nutritiva para proporcionar a la raíz el oxígeno y los nutrimentos necesarios, y en el caso de sustratos sólidos ejercer de anclaje a la planta (Alarcón, 2001).

Funciones Esenciales de un Sustrato.

Anclar y aferrar a las raíces protegidas de la luz y permitiéndoles respirar, además de contener el agua y los nutrimentos que las plantas requieren para su desarrollo normal durante todo su ciclo de vida (Correa, 2001).

Los gránulos componentes del sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos a aquellos que permiten la presencia entre 15 y 35% de aire y 60% de agua en relación con el volumen total. La mayoría de las veces es mucho mas conveniente mezclar los sustratos buscando que nos aporten algunas características que les faltan a otros (Correa, 2001).

Características de un Sustrato

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas , se requieren de las siguientes características (Raviv *et al.,* 1986; Abad, 1991) .

Propiedades Físicas

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible;
- Suficiente suministro de aire;
- distribución del tamaño de las partículas que mantengan las condiciones antes mencionadas;
- Baja densidad aparente;
- Elevada porosidad total, y
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón) del sustrato.

Propiedades Físico-Químicas y Químicas

- Baja o apreciable capacidad de intercambio cationico, dependiendo de que la fertirigacion se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente;

- Suficiente nivel de nutrientes asimilables;
- Salinidad reducida;
- pH ligeramente ácido y moderada capacidad tampón; y
- Mínima velocidad de descomposición

Otras Propiedades

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas;
- Reproducibilidad y disponibilidad;
- Bajo coste;
- Fácil de preparar y manejar;
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección; y
- resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

Cultivo en Sistemas Convencionales con Sustrato.

Magan, (2004) menciona que este tipo de sistemas son los más extendidos desde un punto de vista comercial. El tipo de sustrato empleado puede ser muy variado, pero en general se busca que presente una alta capacidad de retención de agua, sin que ello limite la aireación de la raíz, con el fin de poder reducir el número de riegos y facilitar así el manejo del sistema. Del mismo modo resulta importante que presente una estructura estable y una baja velocidad de descomposición para que su vida útil sea la mayor posible.

Inicialmente se empezaron a utilizar bancadas rellenas de arena. Después se ha tendido hacia el empleo de materiales más estandarizados como la lana de roca y la perlita, dispuestos en sacos de plástico, los cuales resultan más económicos y fáciles de manejar (Magan, 2004).

Tipos de Sustratos.

Según estos dos autores Duran y Martínez, (2000) existen diferentes tipos de sustratos que son los siguientes:

Orgánicos

Se considera sustratos orgánicos a la cascarilla de arroz, la viruta y el aserrín de madera, la cáscara de coco. Éstos sustratos no se recomiendan para el cultivo hidropónico, ya que no son duraderos y, al degradarse, pueden obstruir el paso de la solución nutritiva o del oxígeno.

Naturales

Entre los sustratos naturales se encuentran, la grava, arena, el tezontle, piedra pómez con carbón mineral, piedra volcánica (como el basalto), perlita, vermiculita, ladrillo triturado, tejas molidas (libres de elementos calcáreos o cemento).

Sintéticos

Dentro de los sustratos sintéticos se pueden mencionar al hule espuma, el "tecnosport", los pelets o esponjas de polipropileno (trozos de plástico), poliuretano, poliestireno, polietileno, etc.

Los Sustratos mas Usados Comúnmente.

Perlita.

Es un material volcánico natural con propiedades semejantes a la arena. La perlita puede ser utilizado como sustrato hidropónico una vez cribado y calentado a una temperatura de 1000° C. es de color blanco o grisáceo de baja densidad, completamente estéril y con excelentes propiedades de retención de humedad y aireación (Sánchez y Escalante, 1988; Rodríguez *et al.*, 1999).

Vermiculita.

Serrano, (1980) menciona que químicamente es un material de Magnesio, Aluminio y Hierro, cuando se ha expandido es muy liviano, de reacción neutra, insoluble en agua pero capaz de absorberla en grandes cantidades. Tiene una alta capacidad de intercambio de cationes y por consiguiente puede retener nutrimentos en reserva y liberarlos mas tarde. La vermiculita expandida se clasifica en cuatro tamaños: de 5 a 8, de 2 a 3, de 1 a 2 y de 0.75 a 1mm de diámetro.

Arena.

Este es un material muy variable en tamaño, forma, composición y color. La arena que se utiliza en la hidroponía no debe de contener sustancias tóxicas para las plantas. El diámetro de las partículas de arena mas adecuada, depende de varios factores como tipo de clima, método de cultivo, disponibilidad etc. pero en general varía entre 0.5 y 2.5 mm de diámetro (Sánchez y Escalante, 1988).

Lana de Roca.

La lana de roca es también un sustrato de silicato de aluminio, obtenido por la fundición de roca basáltica, caliza y carbón de coque a 1,600 °C. El producto fundido forma fibras a las que se añaden mojantes y estabilizantes en diferentes proporciones. Es un sustrato de pH neutro o alcalino de fácil neutralización. Posee una baja densidad, una estructura homogénea, una porosidad total elevada, una buena capacidad de retención de agua para la planta y es de fácil desinfección (Rodríguez, *et al.*, 1999)

Desinfección de Sustratos.

Solamente en el caso de estar seguros de que un sustrato está contaminado y de conocer la técnica de desinfección para erradicar el problema planteado, debemos de desinfectar el sustrato (Duran y Martínez, 2000).

Métodos de Desinfección.

Si tenemos necesidad de desinfectar un sustrato, el método más eficaz es aplicar vapor de agua durante 5 minutos a 95-100 °C ó 15 minutos a 80-90 °C.

La aplicación de productos químicos es muy popular en todos los países. Un producto ampliamente utilizado es el Metan-sodio que es muy fácil de incorporar mediante el sistema de riego. Estos deben ser aplicados siguiendo escrupulosamente las recomendaciones del fabricante o de los técnicos (Duran y Martínez, 2000).

Materiales Utilizados para Cubiertas de Invernaderos

La misión de la cubierta de invernaderos es crear un clima en el interior que permita el crecimiento y desarrollo del las plantas, incluso en aquellas épocas cuyas condiciones climáticas no permite que los cultivos puedan desarrollarse al aire libre, de esta cubierta dependerá principalmente los resultados logrados en los cultivos (Bretones, 1991)

Bretones (1991) menciona que un material ideal para la cobertura de los invernaderos sería aquel que permitiera durante el día calentar lo más posible, el invernadero, por lo tanto debería ser más permeable a las radiaciones de onda inferiores a 2.5 micras y por la noche lo más opaca a las radiaciones de longitud de onda larga superiores a 2.5 micras ya que son las encargadas de mantener caliente el recinto, tener buena transmisión de luz visible y que tenga una buena propiedad de difusión de luz.

Películas Flexibles

- PVC plastificado (armado o sin armar)
- Polietileno normal (armado o sin armar)
- Polietileno de larga duración
- Polietileno térmico
- Copolímero EVA
- Polipropileno
- Polietileno espumado
- Polifluoruro de vinilo

Placas Rígidas

- Poliéster estratificado con fibra de vidrio
- Policloruro de vinilo rígido(PVC)
- Polimetacrilato (PMMA)
- Policarbonato (PC)

Características Generales de los Plásticos

Los plásticos para cubierta de invernaderos tienen características especiales, dentro de las mas importantes están, las propiedades ópticas que influyen directamente en el desarrollo de los cultivos y, las propiedades que determinan la duración de los plásticos

Policloruro de Vinilo

Este material se puede presentar en placas rígidas o flexibles (armado o sin armar) sus espesores varían entre 0.01 a0.25 mm en placas rígidas. Las ventajas que tiene este material son: su permeabilidad a las radiaciones solares y bastante opaca a las radiaciones nocturnas del suelo (radiación infrarroja larga) provocando un buen "efecto de abrigo" mejor que el polietileno, es menos sensible a la oxidación que el polietileno y su duración va a depender de su plastificación, si ésta es incorrecta se degradará enseguida por la acción de los rayos ultravioleta.(Bretones, 1991).

El PVC procede del acetileno y del etileno, derivados éstos del petróleo y de la hulla. Este material es rígido y es necesario añadirle plastificantes, con objeto de obtener láminas flexibles. Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40%, y una alta transmitancía a la radiación visible, aproximadamente del 90%.

Polietileno Normal

De acuerdo a Quezada (2001) el polietileno normal tiene buena transparencia a los rayos ultravioleta, los visibles a infrarrojo corto por lo que el invernadero se calienta pronto durante el día, pero el polietileno normal (sin tratar) que ha empleado tradicionalmente en los invernaderos transmite mas del 70 % de la radiación infrarroja de longitud de onda larga emitida por el suelo, las plantas y la estructura del invernadero, como consecuencia de ello las calorías acumuladas durante el día en el interior del invernadero se pierden con gran rapidez.

el polietileno normal tiene una duración de menos de un año ya que la luz ultravioleta lo degrada con facilidad, así como las elevadas temperaturas que se originan en la zona de contacto con la estructura de fierro del invernadero (Quezada, 2001)

Polietileno de Larga duración

Este material tiene todas las características del polietileno normal mencionadas, solamente que durante su fabricación se le agregan inhibidores ultravioleta, que evita que el plástico se vea afectado por los rayos ultravioleta y así su periodo de duración se incrementa considerablemente (Quezada, 2001)

Polietileno Térmico

El polietileno térmico presenta las características de los dos tipos de polietileno mencionados anteriormente y además tiene la incorporación de aditivos termoaislantes, lo que le confiere al material ser térmico. El polietileno térmico es bastante impermeable a las radiaciones infrarrojo largas, que son las que calientan al invernadero reduciendo por tanto el enfriamiento en la noche y casi su totalidad las inversiones térmicas (Quezada, 2001).

Copolímero Etil Acetato de Vinilo (EVA)

Los copolímeros EVA son materiales gomosos, tenaces y termoplásticos, sus propiedades dependen fundamentalmente de dos factores el peso molecular y el contenido de Acetato de Vinilo. El comportamiento térmico de una película de copolímero EVA es superior a la de un polietileno normal y por lo tanto las plantas están mejor protegidas en el invernadero con este material (Quezada, 2001).

Quezada (2001) afirma que una película de un compuesto especial de copolímero EVA, utilizado para túneles que tiene un 6 % de EVA con un espesor de 75 micras tiene una transmisión de luz visible del 92%; dicha película con un espesor de 125 micras , su transmisión es de 89%.

Poliéster Fibra de Vidrio

Bretones (1991) indica que la principal propiedad del poliéster es la de tener gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Son materiales bastante resistentes y rígidos que le permiten tener un periodo de vida largo, su flexibilidad le permite que pueda ser adaptado a cualquier tipo de estructura con tornillos, este material tiene muy buenas propiedades térmicas provocando un gran "efecto invernadero" superior al de cualquier otro tipo de material actualmente utilizado en los invernaderos, el poliéster fibra de vidrio es poco transparente a rayos ultravioleta. Es un excelente sustituto del vidrio.

Bretones (1991) menciona que las desventajas de este material son que los rayos ultravioleta le provocan cambio en la coloración y agregado a esto, el viento, arena, lluvia, nieve y granizo, incluso el polvo desgastan la superficie dando lugar a una perdida de transparencia y reducción del poder de difusión de luz. Además el alto precio de las placas de poliéster y el costo de la estructura que necesitan, hace que su utilización se vea restringida a cultivos ornamentales y de flor cortada.

Dadas las características de resistencia a la intemperie, permeabilidad a UV (necesaria para las plantas) y fácil manipulación, las placas de polimetacrilato de metilo (PMMA) y policarbonatos (PC) constituyen los materiales mas adecuados para cubiertas de invernaderos, las placas celulares simples y triples son los materiales mas avanzados para este uso (Bretones, 1991)

Polimetacrilato de Metilo

Bretones (1991) menciona que es el material comúnmente conocido como el "vidrio acrílico" tiene una elevada pureza óptica y gran transparencia a la luz, muy semejante a la del cristal, su resistencia a roturas es 7 veces mayor que la del vidrio a espesores iguales y su peso es la mitad que el vidrio común, lo que permite usar infraestructuras mas ligeras resultando

mas económico, es un material muy resistente a los agentes atmosféricos, permite el paso de los rayos ultravioleta tiene gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo y gran transparencia a la luz. El principal inconveniente de este material es su elevado costo y susceptibilidad al rayado con cualquier instrumento.

Policarbonato

El policarbonato es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto y más ligero que el PMM. La presentación de este material es en planchas alveolares, que consta de 2 ó 3 paredes paralelas unidades transversalmente por paredes del mismo material. El grosor de las placas, que se puede encontrar en el mercado es de 4 a 16 mm. Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. La transmisión a la luz de la gama de radiaciones visibles e infrarrojos cortos es del 76-83%, según el grosor de la placa y paredes (2 ó 3), en las placas que no llevan protector a las radiaciones UV (Infoagro, 2004).

Variaciones de los Factores Ambientales en los Invernaderos.

Temperatura.

El invernadero es una construcción que siempre se ha realizado con estructuras y soportes muy diversos y con materiales de recubrimiento que dejan pasar las radiaciones solares que son indispensables para la vida de las plantas. El fenómeno de transmisión de calor por irradiación, por conducción y convección, son las que constituyen las causas directas de las variaciones de la temperatura que se aprecian en el interior del invernadero (Alpi y Tognoni, 1999).

Para Tognoni (2000) la regulación de la temperatura en el invernadero se basa en las condiciones climáticas externas en el sistema de calentamiento y de enfriamiento adaptado (incluyendo el tipo de combustible que se ha usado) y en los objetivos de productividad del productor. Si no hay plantas o instrumento para calentamiento es imposible la producción precoz y tardía y la calidad de los productos pueden bajar significativamente.

La temperatura ejerce gran influencia sobre el crecimiento y metabolismo de la planta, y no hay tejido o proceso fisiológico que no esté influenciado por ésta. La respuesta a la temperatura es, además, sustancialmente diferente según el proceso metabólico o el tejido considerado, y un mismo proceso fisiológico por ejemplo la fotosíntesis o la respiración, responden a la temperatura según modalidades diferentes de acuerdo con el estado de desarrollo de las plantas (Alpi y Tognoni, 1999).

Para Martín y Robledo (1981) la temperatura es uno de los factores más importantes y es el que determina donde y cuando un cultivo puede desarrollarse favorablemente. El buen desarrollo de sus diferentes fases fenológicas dependen de la temperatura como determinante de los procesos fisiológicos comunes en todas las plantas como la fotosíntesis, respiración, traslocación , transpiración y otras muchas funciones. La temperatura influye en estos procesos en varias formas y en grados diferentes

Humedad Relativa.

Para mantener las más adecuadas condiciones atmosféricas en el invernadero es de gran importancia el sostenimiento de una humedad relativa suficiente (Penningsfeld y Rurzmann, 1975).

Alpi y Tognoni (1999) Dicen que la cantidad de vapor contenida en el aire se puede expresar como masa por unidad de volumen (humedad absoluta en $kg.m^{-3}$), o por unidad de masa por aire seco (Humedad especifica en kg/kg). La humedad relativa depende

estrechamente de la temperatura del aire y de la cantidad de vapor que éste contiene y, por lo tanto, del balance hídrico del invernadero.

El problema del balance hídrico se acomete generalmente al considerar por un lado las fuentes de aprovisionamiento de vapor de agua (evapotranspiración, irrigación, nebulización etc.) y por otro lado, los procesos que tienden a disminuir la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera del invernadero (condensación , ventilación etc.). Unas condiciones con elevada evapotranspiración tienden a aumentar el contenido de vapor de agua y consecuentemente la humedad relativa.

El aumento en la humedad puede producir cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero también en la incidencia de enfermedades fúngicas y, en ultima instancia, en la producción. (Alpi y Tognoni, 1999).

Luz.

Alpi y Tognoni (1999) dicen que hay que considerar las condiciones de la iluminación como un elemento fundamental para un invernadero, en cuanto que son los que determinan sus posibilidades bioagronómicas. A este elemento del clima habrá que relacionarlo con la intensidad y con la duración de la luz, puesto que éstas, junto con el fotoperíodo son en gran parte las que determinan el resultado de los cultivos en los invernaderos.

En primer lugar, la disminución de la luz solar tiende a reducir los rendimientos, mientras que un aumento en ella, se tiene un mejor desarrollo en las plantas dentro del invernadero (Mortensen, 1986).

Serrano (1980) menciona que la luz es un factor primordial en la vida de las plantas, ya que sin ella éstas no pueden realizar la fotosíntesis. Las radiaciones solares recibidas, las condiciones de iluminación son un elemento fundamental para los invernaderos, la calidad, intensidad, y cantidad de la luz son las que determinan los efectos producidos en los cultivos. La luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas como fuente energética para la

asimilación fotosintética del CO_2, así como fuente primaria del color y estímulo para la regulación del desarrollo de la planta.

Dióxido de Carbono (CO_2).

Según Bentley (1973) el CO_2 es esencial para la fotosíntesis. Al aire libre se encuentra aproximadamente en unas 300 ppm de CO_2 se puede ver que en las primeras horas de la mañana en un día despejado la concentración de CO_2 en un invernadero es más alta que en la atmósfera. En cuanto aumenta la intensidad luminosa y por lo tanto, el proceso de organización, hay una baja rápida de CO_2 que alcanza niveles muy bajos (200 ppm).

La concentración de CO_2 en el interior del invernadero sin ventilación no es constante ni corresponde a la atmosférica, pero indica un comportamiento cíclico en relación con la actividad fotosintética de la planta. La cantidad de gas carbónico, de la atmósfera es de 0.03% aproximadamente (300ppm). Esta cantidad puede variar de un 0.02 hasta un 0.04%. De todos modos, la concentración de este gas varia mucho mas en el interior de un invernadero que al aire libre. (Alpi y Tognoni, 1999).

Centro de Origen del Tomate

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó (Anderlini, 1980).

Taxonomía.

Familia: *Solanaceae.*
Especie: *Lycopersicum esculentum* Mill.

Morfología del Tomate.

Semilla.

Es ovalada y aplanada, con tamaño promedio de 3.5 mm. de longitud, la cubierta protectora conocida como testa, es de color café pálido y se encuentra envuelta por una capa muy fina de falsos pelillos, que mas bien son remanentes de células suberizadas, provenientes de la pared celular (Chávez, 1980).

Raíz.

La planta del tomate por lo general posee una raíz principal bien definido, pero también presenta abundancia de raíces laterales de naturaleza fibrosa. El sistema radicular es robusto y puede crecer hasta una profundidad de 1.8 metros en el suelo. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrimentos, cortéx y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes (Anderlini, 1980; Chávez, 1980).

Tallo.

Es un eje con un grosor que oscila entre 2 y 4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortéx, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Valdez, 1998).

Hoja.

Las hojas son grandes, compuestas, divididas de diferentes tonos de color verde y distinta forma, según la variedad. La posición de las hojas sobre el tallo es alterna. Las hojas son compuestas, formadas por siete, nueve y algunas veces, por once hojas sencillas y recubiertas por pelos glandulares (Chávez, 1980; Valadez, 1996; Valdez, 1998).

Inflorescencia.

El racimo floral o inflorescencia del tomate está compuesto de una sucesión de ejes, cada uno portador de una flor; el pedúnculo es capaz de ramificarse una o más veces y esto puede ocurrir en casi cualquier parte del racimo (Chávez, 1980).

Flor.

La flor de las diversas especies de tomate es de color amarillo brillante. El cáliz y la corola están compuestas de cinco sépalos y pétalos, respectivamente. Las anteras que contienen el polen se encuentran unidas formando un tubo de cuello angosto que rodea y cubre al estilo y estigma (Chávez, 1980; Valdez, 1998).

Fruto.

El fruto del tomate se clasifica como una baya carnosa que contiene abundantes semillas. Cada semilla se encuentra cubierta por una sustancia mucilaginosa llamada placenta, contenida en cavidades o lóculos. El fruto es de forma redonda y lisa, alargado, redondo y lobular, achatado. El color del fruto también es diverso existiendo en rojo, anaranjado, amarillo, rosa, azul violáceo y blanco (Chávez, 1980; Anderlini, 1980).

Requerimientos Edafoclimaticos.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno dé estos incide sobre el resto (Martínez y García, 1993)

Temperatura.

En el tomate, la temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 a 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores de 12 a 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. (Guzmán y Sánchez, 2000)

A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas (Anderlini, 1981; Guzmán y Sánchez, 2000).

Regímenes Recomendados de Temperaturas en un Invernadero (Harris, 1977)

Condiciones de Luz	Temperatura en ° C
Días Soleados	23.88 – 25.55
Días Medios Soleados	22.22 – 23.33
Días Nublados	20.55 – 16.11
Noches Despejadas y Medios Nublados	15.55 – 16.66
Noches con Días Nublados	14.44 – 15.55

Humedad.

La humedad relativa óptima para el tomate, oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultando la fecundación, debido a que el polen se apelmaza, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Valadez 1996).

Luminosidad.

En el tomate los valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Valadez, 1996).

Tognoni (2000) la energía emitida por el sol llega a la superficie de la tierra en forma de radiación electromagnética. esta se puede dividir en tres intervalos de longitud de onda , de 300 a 400 nm (radiación ultravioleta) de 400 a 700 nm (espectro visible) que se descompone en diferentes colores (calidad de luz) desde el azul (400 nm), Violeta , verde, amarillo, naranja hasta la roja (700 nm). Las plantas responden no sólo a la cantidad de radiación disponible (intensidad) sino también a su duración (fotoperíodo) y a su calidad. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es importante para el proceso fotosintético, además de tener influencia en la morfogénesis desde el punto de vista fotoperiodismo, por ejemplo, las radiaciones que nos interesan se encuentran comprendidas entre los 650 – 655 nm (rojo) y 725- 735 nm (rojo lejano).

Suelo.

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados (Valdez, 1998)

pH.

El cultivo del tomate crece en pH de suelos que pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como el agua de riego (Chávez, 1980).

Manejo del Cultivo.

Marcos de plantación.

Para el tomate el marco de plantación se establece en función del porte de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. Normalmente la distancia entre hileras es de 1.5 a 1.8 metros, la separación entre plantas es de 15 a 20 cm. para las variedades de crecimiento indeterminado que se cultivan en invernadero (Angulo, 1980). La densidad máxima resultante es de dos plantas por cada metro cuadrado de superficie cultivada esto nos da una densidad de 20,000 plantas por hectárea (Martínez y García, 1993).

Transplante.

Para el transplante en tomate, éste se realiza a los 30 a 35 días en verano y de 40 a 45 en invierno, a esta edad las plántulas tienen una altura de unos 20 cm aproximadamente (Angulo, 1980).

Poda de formación.

Angulo (1980) reporta que la poda vegetativa en la planta del tomate, es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado, ésta consiste en quitar los brotes que aparecen en los tallos laterales que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación. Así mismo se determinará el número de brazos (tallos) a dejar por planta. Esta práctica se inicia de 15 a 20 días después del transplante y hasta el final del cultivo.

Tutorado.

Esta es una práctica imprescindible que sirve para mantener la planta erguida y así evitar que las hojas y sobre todo los frutos estén en contacto con el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.) (Angulo, 1980). La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillas) y del otro extremo a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta.

Destallado.

Esta se realiza principalmente para eliminar los brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10-15 días en invierno) para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas. Los cortes deben ser limpios para evitar la posible entrada de enfermedades en las plantas (Escudero, 1993)

Deshojado.

Escudero (1993) para esta practica es recomendable realizarlo tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo.

Fertilización.

El tomate en cada etapa de su ciclo de vida, la planta tiene necesidades nutritivas diferentes por lo que es necesario aplicar una fertilización que contenga las cantidades adecuadas y con la relación de equilibrio requerida (Alisedo, 2002).

En los cultivos protegidos de tomate el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego localizado y va a ser función del estado fonológico de la planta así como del ambiente en que ésta se desarrolla. en el cultivo hidropónico el riego esta automatizado y existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo, siendo el mas extendido el empleo de bandejas de riego a la demanda. el tiempo y el volumen de riego dependerá de las características físicas y de la reserva útil del sustrato. (Palomino, 2000)

En la producción hortícola de cultivo sin suelo, las cantidades de fertilizantes a aplicar son muy elevadas, hay que evitar en muchas ocasiones, un exceso de abonado de fondo que pueda causar problemas en el cultivo por exceso de salinidad, sobre todo en las etapas de plántula. El rango de pH comprendido entre 5.5 y 6.5 es el optimo para muchos cultivos, por lo que un pH elevado deberá rebajarse con fertilizantes acidificantes y lo contrario con pH bajos de manera que se asegure una mayor disponibilidad de los nutrimentos (Quezada, 2001)

Recomendaciones de fertilización de tomate en México (Alisedo, 2002).

Fertirrigacion Cuantitativa											
Etapas de Desarrollo			Demanda de Nutrientes (Kg/Ha/Dia)			Fertilizantes Recomendados (Kg/Ha/Dia)					
	N	P_2O_2	K_2O	CaO	MgO	Multi NPK	Multi MPK	Multi MAP	Multical	Magnisal	NA
Transplante	1.2	3.0	1.2	0.5	0.2	-	3.5	2.0	2.0	1.25	1.5
Vegetativa	1.5	1	1.8	0.5	0.2	2.5	1.8	-	2.0	1.25	2.1
Floración	2.4	1.0	3.8	0.5	0.2	7.2	1.6	-	2.0	1.25	3.3
Llenado de fruto	3.0	1.0	6.0	1.0	0.5	12.5	1.5	-	3.5	3.125	1.5
fin de cosecha	2.0	1.0	4.0	1.0	0.5	8.0	1.5	-	3.5	3.125	0.2

Fertirrigacion Proporcional										
Etapas de Desarrollo			Demanda de Nutrientes ppm (g/m^3) H_2O			Fertilizantes Recomendados ppm (g/m^3) H_2O				
	N	P_2O_2	K_2O	CaO	MgO	Multi NPK	Multi MKP	Multi CAL	Magnisal	NA
Transplante	65	100	65	50	25	-	193	189	157	56
Vegetativa	120	100	145	80	40	186	186	302	250	64
Floración	160	100	240	100	50	409	177	377	313	42
Llenado de Fruto	190	100	380	100	50	737	164	377	313	4
Fin de Cosecha	130	100	260	80	40	455	176	302	250	-

Formula de fertilización en USA. (Hochmuth, 2002).

	A	B
fertilizante	del transplante al primer corte (gr/100lts)	primer corte al ultimo corte gr/100 lts.)
sulfato de magnesio	50	50
fosfato monopotasico	27	27
nitrato de potasio	20	20
sulfato de potasio	10	10
nitrato de calcio	50	68
fiero (330)	2.5	2.5
micronutrientes	15ml	15ml

Concentración final de nutrientes en ppm

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn	Mo
105	62	199	95	50	70	2.5	.44	.05	.62	.09	.03

Formula para los micronutrientes

fertilizante	gramos por litro
ácido bórico (H_3BO_3)	7.50
cloruro de manganeso ($MnCl_2$ x $4H_2O$)	6.75
cloruro de cobre ($CuCl_2$ x $2H_2O$)	0.37
oxido de molibdeno (MoO_3)	0.15
sulfato de zinc ($ZnSO_4$ x $7H_2O$)	1.18

Rangos mínimo, optimo y máximo de concentraciones de nutrimentos recomendados en España (Sánchez, 2000).

nutrimento	Concentración (mg/L)			
	Mínima	Optima (rango)	Máxima	Recomendada
Nitrógeno	140	200-400	900	200
Fósforo	30	60-90	100	60
Potasio	150	200-400	600	250
Calcio	120	200-400	600	250
Magnesio	25	50-75	100	50
Azufre	100	150-300	1000	200
Fierro	0.5	1-5	10	3
Manganeso	0.3	0.5-2	15	1
Boro	0.3	0.5-1	5	.05
Cobre	0.05	0.1-1	5	0.1
Zinc	0.05	0.1-1	5	0.1
Cloro	1	1-5	350	no añadir
Molibdeno	0.001	0.001-0.002	0.01	no añadir

Solución Nutritiva

durante todo este tiempo los investigadores siempre han intentado obtener una solución que fuera la mejor para todas las plantas en general. Pronto se demostró que no había una solución nutritiva ideal ya que las necesidades de las plantas dependen de la duración del día, la temperatura y de la cantidad de luz solar y de otros factores (Cerdá, 1993).

Cerdá (1993) indica que cualquier disolución nutritiva, básicamente tiene que tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Sin embargo es preferible utilizar cuatro sales, ya que provee una mayor flexibilidad para variar las concentraciones y relaciones de los elementos y evitar problemas de solubilidad.

pH de la Disolución Nutritiva

La mayoría de las especies crecen bien en el rango de pH entre 5 y 7. Cuándo se utiliza agua de la red o de pozo para preparar las disoluciones si el pH es alcalino, se debe acidificar el agua antes de añadir los nutrientes. La importancia del pH de la disolución es doble. Por una parte, el pH influye en el equilibrio de oxidación-reducción y en la solubilidad y forma iónica de varios elementos. El segundo aspecto de la importancia del pH de la solución esta en relación con el efecto de los iones H^+ y OH^- sobre las raíces de las plantas. Esto esta relacionado principalmente con el N, si el N se absorbe en forma de NO_3^- generalmente conduce a un aumento del pH ya que se liberan OH^- a la solución. Por lo contrario si se aporta como NH_4^+ hay una disminución del pH por la liberación de H^+. (Cerdá, 1993).

Uno de los factores a tomar en cuenta es la alcalinidad del agua o lo que es lo mismo, el equilibrio carbonato/bicarbonato del agua, es una medida de la resistencia de esta a su acidificación. Será necesario añadir ácido para reducir el pH a niveles próximos a 5.3-5.5 para su uso en hidroponía (Casas, 1993).

Preparación de la Solución Nutritiva

La preparación de la solución nutritiva se realiza en tres depósitos como mínimo, teniendo así, el deposito "A" donde puede contener todos los macroelementos de las siguientes fuentes: el nitrato de potasio, ácido fosforico, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, etc excepto el calcio. El deposito "B" contiene todos los microelementos y el calcio, y por ultimo el deposito "C" que contiene cualquiera de los ácidos nítrico, sulfúrico o bórico (Escudero, 1993).

Para unir los fertilizantes dentro del mismo tanque habrá que consultar en primer lugar las posibles incompatibilidades, así la aplicación en el mismo tanque de nitrato de calcio ($Ca(NO_3)_2$ y de cualquier fosfato o sulfato es incompatible. Por lo tanto ya que las sales cálcicas son problemáticas, la mejor solución es incorporarlo en un tanque por separado (Cadahia, 2000).

Recolección de Frutos.

Normas para Tomates.

La mínima madurez para cosecha (Verde Maduro 2, Mature Green 2) se define en términos de la estructura interna del fruto: las semillas están completamente desarrolladas y no se cortan al rebanar el fruto; el material gelatinoso está presente en al menos un lóculo y se está formando en otros (Trevor y Cantwell, 2001). La mínima madurez de cosecha corresponde a la clase Rosa (Pink) (estado 4 de la tabla patrón de color utilizada por United States Department of Agriculture, USDA; en este estado más del 30% pero no más del 60% de la superficie de la fruta muestra un color rosa-rojo.)

Índices de Calidad

Trevor y Cantwell (2001) mencionan que la calidad del tomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial.

Forma

Bien formado (redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada, dependiendo del tipo).

Color

Color uniforme (anaranjado-rojo a rojo intenso; amarillo claro). Sin hombros verdes.

Apariencia

Lisa y con las cicatrices correspondientes a la punta floral y al pedúnculo pequeñas. Ausencia de grietas de crecimiento, cara de gato, sutura, quemaduras de sol, daños por insectos y daño mecánico o magulladuras.

Firmeza

Firme al tacto, no debe estar suave ni se debe deformar fácilmente debido a sobre madurez. Los grados de calidad en los Estados Unidos son: U.S. No. 1, Combinación, No. 2, y No. 3. La distinción entre grados se basa principalmente en la apariencia externa, firmeza e incidencia de magulladuras

Temperaturas Optimas de Almacenamiento

Verde Maduro 12.5 - 15°C (55 - 60°F)

Rojo Claro (Estado 5 de Color USDA) 10 - 12.5°C (50 - 55°F)

Maduro Firme (Estado 6 de Color USDA) 7 - 10°C (44 - 50°F) por 3 a 5 días.

Los tomates Verde Maduro pueden almacenarse a 12.5°C (55°F) por 14 días antes de madurarlos sin reducción significativa de su calidad sensorial y desarrollo de color

Temperaturas de Maduración

18-21°C (65 - 70°F); 90-95% HR para una maduración normal, 14-16°C (57- 61°F) para una maduración lenta (por ejemplo, en tránsito).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Superficie en hectáreas a nivel mundial hasta el 2002, existentes para la producción en invernadero y, para cultivos sin suelo (Jean-Pierre 2003).

País	Superficie de invernadero en Ha.	cultivo sin suelo en Ha.
África y Medio oriente		
Argelia	6 000	60
Egipto	2 430	17
Túnez	1 307	31
Israel	6 500	1 500
África del sur	2 500	300
Europa		
Francia	9 200	1 700
Holanda	400	3 000
Bélgica	350	1 010
Alemania	950	250
Italia	77 400	900
España	49 380	2 000
Hungría	6 500	100
Inglaterra	2 500	600
Asia y América		
Japón		1 500
USA	9 250	250
Canadá	600	300
México	**1 200**	**50**
Chile	300	20
Oceanía		800

El cultivo "sin suelo" son generalmente sistemas de cultivo más caros y sofisticados que el de suelo y no tendría mucho sentido un estudio comparativo entre ambos entre condiciones de aire libre o pleno campo, solo en su entorno mas controlable y avanzado, como el invernadero (Canovas, 1993)

Para Canovas (1993) la hidroponía es un sistema excelente para todo tipo de investigación en fisiología o patología vegetal y casi siempre para el estudio de la nutrición. Al ser, de partida, un medio homogéneo, aislado del suelo y no contaminado, permite un tratamiento uniforme y sin interacciones de elementos extraños, con lo cual se simplifican enormemente los planteamientos para todo tipo de investigación. El estado actual de conocimientos en este campo no se hubiera alcanzado, con toda seguridad, de no haber podido contar con tales medios.

La técnica de cultivo en invernadero se desarrollo como respuesta a la demanda de ciertos productos vegetales fuera de su periodo natural de producción. En la dinámica costos/precios, se han ido incrementando las producciones gracias a las mejoras tecnológicas, lo que ha permitido el desarrollo de esta modalidad productiva (Canovas, 1993).

AREAS DE OPORTUNIDAD.

Desde hace un par de décadas, la técnica de cultivos sin suelo se ha ido introduciendo como nueva solución y alternativa al suelo, en cada vez mayor numero de invernaderos. su mayor costo pierde importancia y se diluye ante el generado por los completos equipamientos de los modernos invernaderos, que a su vez son los que permiten, con su perfecto control, las sorprendentes producciones actuales (Canovas, 1993).

De Santiago (1999) aunque la horticultura pudiera parecer una lucha de gigantes, en realidad sus actividades se pueden adoptar a una gran variedad de sistemas. Como podemos ver hay oportunidades para todos. Por citar algunos casos, podemos mencionar que Europa existen varios programas de apoyo para pequeños agricultores, los cuales han sido diseñados para resolver problemas de rentabilidad y falta de mano de obra. En cambio, ante la crisis en Norteamérica, algunos pequeños productores de Estados Unidos y Canadá, han encontrado que libres de los pesados créditos y las enormes maquinarias, las pequeñas unidades de la horticultura pueden darles pequeños-grandes beneficios.

Aunque la comunidad Europea, Estados Unidos y Canadá registran la mayor importación de productos frescos, en realidad los países asiáticos han logrado captar la atención en los últimos años. Por ejemplo en Taiwán al abolirse las barreras arancelarias, se ha vuelto común la importación de productos hortícolas. Igualmente Tailandia, Nueva Zelanda y Japón, han abierto las puertas a una gran variedad de productos frescos. En África, ha sobresalido la participación de Maruecos y Kenia como exportadores. Para América Latina, las oportunidades no son pocas, ya que si bien, guardan un buen potencial como exportadores de frutas tropicales y productos orgánicos, también pueden convertirse en atractivos mercados para las exportaciones de otros países sobre todo aprovechando la llamada "contraestación" México, Brasil y Chile, tienen sin duda las mayores oportunidades para continuar la expansión de sus exportaciones y acceder a nuevos mercados (De Santiago, 1999).

Análisis del mercado de tomate fresco. Cifras en toneladas Enero-Diciembre 2000 (Rndolph, 2002)

País	Producción a campo abierto	Producción en invernadero	Exportaciones de tomate fresco
Canadá	125,000	187,000	122,000
Estados Unidos	1,650,000	167,000	196,000
México	2,135,000	152,000	680,000

Análisis de la producción de tomates de invernadero Enero-Diciembre 2001.

País	Superficie has.	Producción ton.	Rendimiento promedio ton/ha
Canadá	474	187,000	385
Estados Unidos	324	167,000	424
México	593	152,000	256

Randolph (2002) en términos de porcentaje la participación de México ha perdido puntos importantes al pasar de un 55% del mercado de tomates frescos, hasta un 38% de la ultima temporada. Sin embargo, en términos absolutos, las exportaciones de tomate de México a estados unidos y Canadá, casi se ha duplicado, con una ganancia neta del 75% con respecto a 1993, cuando se tenia una cuota de 400 mil toneladas para Estados Unidos y solamente 8 mil toneladas para Canadá. Actualmente, con un sobrecupo de la cuota, las exportaciones de tomates de nuestro país pueden acumular un promedio de 750 mil toneladas anuales, que, su mejor año (1998), llegaron a ser de casi 800 mil toneladas, de las cuales el 93% van mercado norteamericano, un 3% a Canadá (mas de 25 mil toneladas) y el resto a otros países de Centroamérica.

Como se puede observar de la tabla siguiente en la comparación de producción de los diferentes sistemas de producción a campo abierto, malla sombra, invernadero con poca tecnología e invernaderos altamente tecnificados, son muy marcadas las diferencias, esto es debido a que las condiciones de temperatura, humedad, luminosidad, y la nutrición son controladas adecuadamente, para que las plantas crezcan y se desarrollen favorablemente durante toda su etapa y de esta manera se pueda explotar al máximo su potencial de productividad.

comparación de los diferentes sistemas de producción de tomate en México(Randolph, 2000)

Sistema de Producción	Productividad kg de Rendimiento por m^2
campo abierto	8-10
Malla Sombra	12-16
Invernadero A	18-25
Invernadero AA	35-50

A = Invernaderos con poca tecnología

AA= Invernaderos altamente tecnificados.

NOMENCLATURA

C.E.	Conductividad eléctrica
cm	Centímetros
$dS.m^{-1}$	Diesisiemens por metro
EVA	Ethil Vinil Acetato
meq/l	Miliequivalentes por litro
mS/cm	Milisiemens por centímetro
mm	Milímetros
°C	Grados centígrados
PVC	Policloruro de vinilo
PMMA	Polimetacrilato de metilo
PC	Policarbonato
kg/m^3	Kilogramos por metro cúbico
kg/kg	Kilogramos por kilogramos
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
kg/ha/día	Kilogramos por hectárea por día
ppm (gr/m^3) H_2O	Partes por millón ó gramos por metro cúbico de agua
CO_2	Dióxido de carbono
N	Nitrógeno
MAP	Fosfato monoamonico
MPK	Fosfato monopotasico
NPK	Nitrógeno, Fósforo y Potasio
NA	Nitrato de amonio
P_2O_2	Fósforo asimilable
K_2O	Potasio asimilable
CaO	Calcio asimilable
MgO	Magnesio asimilable

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el presente trabajo de revisión de literatura, podemos concluir que la técnica de hidroponía en la actualidad esta siendo empleada por casi la totalidad de los países del planeta, para que puedan satisfacer las necesidades alimenticias, así como al mismo tiempo reducir los costos de producción.

La producción dentro de los invernaderos es necesario considerar varios factores a controlar, para poder cumplir con las metas asignadas al principio de cada proyecto de inversión-producción, de esta manera la hidroponía se hace presente para que estos costos, así como el manejo del cultivo sea apropiado.

El manejo del cultivo dentro de un invernadero se facilita cuando se integran todas las practicas necesarias a emplear, de esta manera el cultivo sin suelo es muy factible como una alternativa de producción moderna.

Para poder manejar bien un invernadero, es necesario que el personal este bien capacitado, en cuanto al manejo de las diferentes técnicas de producción dentro y esto se reflejara al final de la producción.

Las oportunidades dentro de la producción de cultivo sin suelo son muy amplias, debido a que las producciones obtenidas con esta técnica son mayores y de mejor calidad. Esto nos puede llevar a competir con los productores de Estados Unidos y Canadá, así como con el resto del mundo.

REFERENCIAS

Abad, M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. en: La Horticultura Española en la C. E. Eds. L. Rallo y E Nuez. Ediciones de Horticultura S. L., Reus, pp270-280

Alarcón, V. A. L., 2001 los cultivos hidropónicos de hortalizas extratempranas. Republica Bolivariana de Venezuela. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. http://html.rincondelvago.com/los-alimentos-de-los-astronautas.html

Alisedo, M. A. 2002. Temperatura, Humedad Y pH del Suelo. Productores de Hortalizas. Una Publicación de Meister Publishing.

Alpi, A. F. Tognoni 1999. Cultivo en Invernadero. Tercera Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

Anderlini, R. 1980. Cultivo del Tomate. Tercera Edición. Editorial Mundi Prensa Madrid, España.

Angulo, C. A. 1980. Producción de Plantas en Invernadero. El Cultivo del Tomate Para Consumo Fresco en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México

Bentley, M. 1973. Hydroponics Plus. The Bentley System O´ Connor Printers Sioux Falls, South Dakota. Miami Florida.

Bretones, Castillo F. 1991. Producción de hortalizas en invernadero. Conferencia Internacional sobre plásticos en la Agricultura; Proyección y usos en las zonas áridas. Saltillo, Coahuila, México.

Cadahia, L. C. 2000. Definición y Calculo de Disoluciones Nutritivas. Curso Internacional de: Ingeniería, Manejo y Operación de invernaderos Para la Producción Intensiva de Hortalizas. pp. 177-189

Casas, C. Antonio 1993. Formulación de la Solución Nutritiva. Parámetros de Ajuste. Características de la Zona que Condicionan la Solución Nutritiva: Ajustes Específicos. Curso Superior de Especialización. Cultivo sin Suelo. Almería España.

Cerdá, C. A. 1993. Solución Nutritiva. Principios Básicos: Comportamiento e Interacción de los Distintos Elementos. Curso Superior de Especialización. Cultivo sin Suelo. Almería España.

Chávez, B. G. 1980. El Cultivo del Tomate para Consumo Fresco en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México

Correa, M. M., 1997. Que es la Hidroponía. http://www.monografias.com/trabajos13/hidropo/hidropo.shtml#top

De Santiago, J. 1999. Que Significa la Globalización. Productores de Hortalizas.

Díaz, G. R. V., y Pierna, I. E., 2001. Recirculación de soluciones nutritivas en cultivos sin suelo. Revista AGRICULTURA No. 826. pp. 246-250.

Duran, J. M. y Martínez, E., 2000. Los cultivos Hidropónicos y la Desinfección de Sustratos. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Art. No. 114 Vida Rural.

Escudero, E. J. 1993. Cultivo Hidropónico del Tomate. Curso Superior de Especialización Almería, España.

Guzmán, M., Sánchez A. 2000. Sistemas de Explotación y Tecnología de Producción. Curso internacional de: Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos Para la producción Intensiva de Hortalizas. Guadalajara, Jalisco.

Harris, S. S., Dudzinski D. and R. S. Miners 1987. The effects of nutrient solution sterilization on the growth an yield ot hydroponicalli grown lettuce. Complex Systems Research Center, University of New Hampshire 22 (5) pp. 873-874.

Harris, D., 1977. Hydroponics: The Gardening Without Soil. Fifth (Revised) Edition. Editorial Purnell. Johannesburg; London

Hoterwal, G.O., 1983. Hidroponía Cultivo de Plantas sin Tierra. Editorial Albatros. Buenos Aires Argentina.

Infoagro, 2004. Los Plásticos en la Agricultura. materiales de cubiertas para invernaderos. Librería Agrícola. http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos4.asp

Jean-Pierre J. 2003. Situatión de la Plasticulture Dans le Mode. International Congress for Plastics in Agriculture.

López, F. F. J., 1988. Evaluación de Seis Especies Forrajeras Bajo la Técnica de Hidroponía. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Magán, C. J., 2004. Sistemas de Cultivo en Sustrato: a Solución Perdida y con Recirculación de Lixiviado. Estación Experimental Palmerillas. Almería España. http://www.infoagro.com/abonos/9917-2.asp.

Martín, V. L., P. Robledo 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Ediciones Mundi Prensa.

Martínez, C. Evaristo y García L. Matías 1993. Cultivo sin suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus

Messiaen, C. M. 1979. Las Hortalizas. Colección Agrícola Tropical. Primera Edición Mexicana. Editorial Blume Distribuidora S. A.

Mortensen, E. E. B. 1986. Horticultura Tropical y Subtropical. Segunda Edición. Editorial PAX-MEXICO, México DF.

Noguera, G. V. 1993. Sistemas de Solución Perdida y Recirculante. Descripción, Análisis y Valoración. Curso Superior de Especialización Almería, España. pp.102-103

Penningsfeld, F., y P. Rurzmann, 1975. cultivos hidropónicos y en Turba Ediciones Mundi Prensa, España.

Quezada, M. Ma. R. 2001. Producción en Invernadero. Centro de Investigación en Química Aplicada. pp. 36-38

Randolph, A.2000. El Potencial de la Nuevas Tecnologías. Productores de hortalizas.

Randolph, A. 2002. Guerra de Castas. Productores de hortalizas.

Raviv, M.; Chen, Y., y Invar., , Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container – grown plants. In: The Role of Organic Matter in Modem Agriculture. Eds. Y. Chen Y. Avnimelech. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

Rodríguez, L., J. L. García y R. M. Benavente, 1999. Fertirrigación de Invernaderos. Departamento de Ingeniería Rural, Universidad Politécnica de Madrid. Art. Vida Rural No. 91.

Sánchez, del C. F. y E. R. Escalante, 1988. Hidroponía, Principios y Métodos de Cultivo. Universidad Autónoma de Chapingo. Tercera Edición. México DF.

Serrano, C. Z. 1980. Invernaderos, Instalación Y manejo. Publicaciones de Extensión Agraria. S. L. España.

Tecnociencia, 2003. Cultivos Hidropónicos. Fundación Española Ciencia y Tecnología (FECYT). http://www.tecnociencia.es/especiales/cultivos_hidroponicos/1.htm

Tognoni, F. 2000. Radiación. Memorias del Curso Internacional de : Ingeniería, Manejo y Operación de invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. pp. 38-39

Trevor, V. S. y M. Cantwell, 2001. Recomendaciones para Mantener la Calidad Poscosecha. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA.

Valades L. A. (1996). Producción de hortalizas. 5ª reimpresión. Editorial Limusa S. A. De C. V. Grupo Noriega Editores. México D. F.

Valdez L. A. 1998. Producción de Hortalizas. Editorial Noriega. México DF.