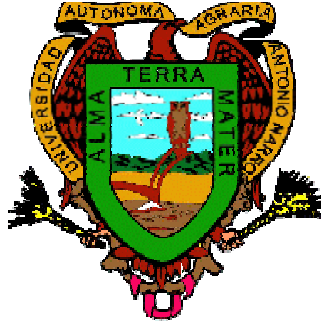


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISION DE AGRONOMIA



**Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos
sustratos hidropónicos a solución perdida y recirculada**

Por:

Jorge Jiménez Arteaga

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Producción

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2005.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos sustratos
hidropónicos a solución perdida y recirculada**

Realizado por:

Jorge Jiménez Arteaga

TESIS

**Presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo
en Producción**

Aprobado por:

M.C. Leticia Escobedo Bocado
PRESIDENTE DEL JURADO

M.C. Arnoldo Oyervides García
COORDINADOR DE LA DIVISIÒN DE AGRONOMIA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2005

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos sustratos
hidropónicos a solución perdida y recirculada**

Realizado por:

Jorge Jiménez Arteaga

TESIS

**Presentado como requisito parcial para obtener el título de ingeniero Agrónomo
en producción**

Aprobado por:

M.C. Leticia Escobedo Bocardo

PRESIDENTE DEL JURADO

M.C. Ricardo Requejo López
SINODAL

Dr. Sergio Javier García Garza
SINODAL

M.C. Arnoldo Oyervides García

COORDINADOR DE LA DIVISIÒN DE AGRONOMIA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2005

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor. Por darme lo más hermoso que anhela el ser humano, la vida. Por estar conmigo en todos los momentos y por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

A mi **“ALMA MATER”** por darme la oportunidad de formarme a lo largo de cuatro años y medio. Gracias a todos los maestros de esta Universidad que me dieron los mejores conocimientos.

Al **MC. Ricardo Requejo López**, por darme la oportunidad de trabajar en su proyecto, brindarme su amistad, paciencia y confianza para poder terminar mi tesis. Por esto y mucho más mil, gracias.

Al **Dr. Sergio Javier García Garza**, por su gran apoyo, consejos, sugerencias y revisión en la elaboración de este trabajo.

A la **MC. Leticia Escobedo Bocardo**, por su amistad y sugerencias en la realización de este trabajo.

A todos mis amigos de la Universidad, en especial a Omar, Betsy, Yeny, Araceli, Claudia, Alma, Meza, Sagrario, Ñonthe, Baxcajay, Fernando, polio, Samuel, Jorge, Carlos, Edén, Pablo, Benjamín y José. Porque convivimos momentos muy especiales. En las buenas y en las malas siempre supieron estar conmigo y fueron piezas importantes en la realización de este trabajo.

Por todo y de todo corazón muchas gracias les deseo lo mejor de esta vida

DEDICATORIA

El presente trabajo representa la culminación de mis estudios profesionales, por lo que deseo dedicarlo con todo mi amor, respeto, cariño y admiración a quienes se esforzaron por brindarme su apoyo y comprensión.

A mis padres:

Sr. Damian Jiménez Hernández

Sra. Jaqueline Arteaga de Jiménez

Muchas gracias por haberme dado la vida, por su comprensión, cariño y amor; pero sobre todo, por enseñarnos a mis hermanos y a mí a luchar en la vida con humildad y respeto para quien lo merece y ser un hombre de bien. Muchísimas gracias por los sacrificios, sin importar el sufrimiento, por darme una educación digna, pero sobre todo por la enorme fortuna de tenerlos a mi lado.

A mis Hermanos:

Efraín	Marina
Erasmus	Marianita
Arnoldo	Laura
Damián	

A mis cuñados y cuñadas

Marcial, Margarita, Gabriela e Isidra.

A mis sobrinos

Enrique, Efraín, José, Francisco, Netzi, Juan Luís, Mari Cruz, Marcial, Cristian, Vladimir, Ariel, Aidé, Ulises, Ángel, Diana y Guillermo

Con todo mi cariño, respeto y admiración por esos momentos inolvidables que hemos pasado juntos y seguiremos pasando, gracias por todo su apoyo, cariño, comprensión, consejos brindados durante mi formación profesional y como persona, muchas gracias hermanos, los quiero mucho.

INDICE DE CONTENIDO

Páginas

INDICE DE CONTENIDO.....	i
INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	v
I. INTRODUCCION.....	1
<u>OBJETIVOS.....</u>	<u>3</u>
HIPOTESIS.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
Origen e historia.....	4
Características botánicas.....	4
Características morfológicas.....	5
Plántula.....	5
Raíz.....	5
Tallo.....	5
Hojas.....	5
	6
Flor.....	6
Fruto.....	6
Clasificación taxonómica.....	7
Requerimientos de clima.....	8
Humedad relativa.....	8
Iluminación.....	9
Tamaño del fruto tipo bola.....	
Principales plagas y enfermedades del cultivo del	10
Tomate.....	
Mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood	10
y <i>Bemisia tabaci</i>).....	10
Minador de la hoja (<i>Liriomyza Laidobriensis</i> Blanchard).....	

Damping off (<i>Phytium sp</i> , <i>Phytophthora sp</i> , <i>Rizoctonia sp</i> , <i>Fusarium sp</i> , <i>Botritis sp</i> , <i>Phoma sp</i> , <i>Aphanomyces sp</i> , y <i>Sclerotium sp</i>).....	10
Tizón temprano .(<i>Alternaria solani</i>).....	11
Producción en invernaderos.....	12
Técnica hidropónica.....	13
Sustratos empleados en hidroponia.....	14
Características de los sustratos como medio de crecimiento.....	15
Perlita.....	15
Peet.....	16
moss.....	17
Aserrín.....	17
Solución nutritiva.....	
Sistema recirculante de solución nutritiva.....	18
Sistema de solución nutritiva descargada al drenaje.....	18
Preparación y manejo de las soluciones nutritivas.....	19
Conductividad eléctrica.....	20
pH.....	20
.	22
Eficiencia en el consumo del agua y de los fertilizantes.....	22
	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Aspectos generales del invernadero.....	23
Material vegetativo.....	23
Semillero.....	24
Fabricación de sacos de cultivo.....	24
Descripción de los tratamientos.....	25
Trasplante.....	25
Establecimiento de sacos de cultivo.....	25
Distribución de sacos en el área experimental.....	25

Colocación de la bandeja de drenaje.....	28
Saturación de los sacos de cultivo.....	28
Preparación de la solución nutritiva.....	29
Costo de solución nutritiva.....	30
Tutoreo, poda y polinización.....	
Control de plagas y enfermedades.....	31
Características e instalación del equipo de riego.....	
Instalación del sensor de temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica (Boxcar pro4).....	31
Características del instrumental utilizado en el experimento.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
Factores ambientales medidos durante el desarrollo del cultivo.....	35
Temperatura dentro del invernadero.....	36
Humedad relativa dentro del invernadero.....	37
Intensidad lumínica dentro de invernadero.....	38
Potencial hidrógeno de la solución nutritiva.....	39
Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	40
Costos de las soluciones nutritivas.....	42
Cálculo de los nutrimentos que se utilizaron para la elaboración de la solución nutritiva de tomate.....	44
Consumo de agua y solución nutritiva.....	45
Análisis de agua.....	46
Diámetro ecuatorial del fruto de tomate.....	47
Diámetro polar del fruto de tomate.....	48
Altura de planta de tomate al final de ciclo.....	49
Diámetro del tallo de tomate al final del ciclo.....	50
Peso fresco de planta de tomate al final del ciclo.....	51
Peso seco de planta de tomate al final del ciclo.....	53
Rendimiento de tomate por metro cuadrado.....	55

V. CONCLUSIONES.....	7
VI. RESUMEN.....	9
VII. LITERATURA CITADA.....	9

INDICE DE CUADROS

CUADRO	Página.
	9
2.1 Temperaturas óptimas para el cultivo del tomate, Morato (1992).....	26
2.2 Clasificación de frutos de tomate para exportación (USA).....	26
2.3 Clasificación de frutos de tomates tipo bola.....	27
3.4 Solución nutritiva ideal para tomate (Urrestarazu, 2000).....	27
3.5 Cálculo para macroelementos.....	28
3.6 Cálculo para microelementos.....	29
3.7 Modificación de la solución nutritiva ideal para tomate.....	37
3.8 Precios M/N de fertilizantes actualizados al mes de Marzo del 2004.....	37
3.9 Control de plagas y enfermedades del cultivo de tomate en estudio.....	38
4.10 pH registrado antes de modificar la solución nutritiva.....	39
4.11 pH registrado después de modificar la solución nutritiva.....	39
4.12 C.E. registrada antes de modificar la solución nutritiva.....	40
4.13 C.E. registrada después de modificar la solución nutritiva.....	41
4.14 Precios de los fertilizantes que conforman la solución nutritiva para tomate Marzo 2004.....	42
4.15 Cálculo de costo de la solución nutritiva.....	43
4.16 Cálculo de fertilizantes adicionales para corregir bajas concentraciones de algunos elementos y sus costos en 200 L de solución.....	44
4.17 Volumen de solución nutritiva en la botella durante el cultivo.....	45
4.18 Solución drenada durante el ciclo del cultivo de tomate.....	
4.19 Composición química de agua de riego y la disolución nutritiva inicial en meq/L.....	

4.20	Análisis de varianza para diámetro ecuatorial del fruto de tomate UAAAN 2004.....	45
		46
4.21	Comparación de medias (Tukey) para diámetro ecuatorial del fruto de tomate UAAAN 2004.....	46
4.22	Análisis de varianza para variable de respuesta diámetro polar de fruto de tomate UAAAN 2004.....	47
4.23	Comparación de medias (Tukey) del factor diámetro polar. UAAAN, 2004.....	48
		48
4.24	Análisis de varianza para variable de respuesta altura de planta de tomate UAAAN 2004.....	49
4.25	Análisis de varianza para diámetro de tallo de tomate UAAAN 2004.....	
4.26	Análisis de varianza para peso fresco de planta tomate UAAAN 2004.....	49
4.27	Comparación de medias (Tukey) para peso fresco de planta de tomate UAAAN 2004.....	50
4.28	Análisis de varianza para peso seco de planta de tomate UAAAN 2004.....	
4.29	Comparación de medias (Tukey) para peso seco de planta de tomate UAAAN 2004.....	
4.30	Análisis de varianza para variable de respuesta rendimiento de tomate.....	
4.31	Comparación de medias (Tukey) del factor rendimiento.....	

	22
	24
	29
INDICE DE FIGURAS	30

FIGURAS.	Página. 34
----------	------------

3.1 Estructura física del invernadero del Departamento de Suelos.....	35
3.2 Distribución de los tratamientos en el área del experimento.....	36
3.3 Tutoreo y poda de planta de tomate.....	
3.4 Cabezal de riego.....	
4.5 Temperaturas registradas dentro del invernadero durante el periodo de 03/29/04 al 05/08/04.....	
4.6 Humedad relativa registrada dentro del invernadero durante el periodo de 03/29/04 al 05/08/04.....	
4.7 Intensidad lumínica durante los días 03/29/04 al 05/08/04.....	

I. INTRODUCCION

El incremento de la población mundial ha hecho necesario en el sector agropecuario la generación de nuevas tecnologías (plasticultura, riego por goteo, hidroponia, sistemas computarizados aplicados a la agricultura, etc.) con la finalidad de aumentar el rendimiento por unidad de superficie y la calidad de productos alimenticios para el mercado demandante. Los principales obstáculos que se han tenido en el proceso de producción agrícola son los efectos negativos del clima (frío, sequías, lluvias excesivas, plagas, enfermedades, poca disponibilidad de agua, etc.), así como la superficie cada día más reducida destinada a la agricultura debido a la creciente utilización de ésta en la construcción de viviendas. El relieve tan accidentado en gran parte de la República Mexicana ha sido otro factor importante, al impedir el uso de tierras para la agricultura.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las plantas de más fácil manejo en los trabajos de laboratorio y especialmente en los invernaderos de ambientes controlados. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), ocupa el tercer lugar, en cuanto al volumen de producción mundial, solo es superado por la papa y la batata que son de origen americano.

En México el tomate es la segunda especie hortícola más importante por superficie sembrada, se encuentra en los mercados durante todo el año; su fruto se consume tanto fresco como procesado y es una fuente rica de vitaminas. A pesar de cultivarse en 27 Estados de México, solo cinco concentran en promedio el 74.2% de la producción, destacándose Sinaloa como el principal productor, seguido de Baja California, San Luis Potosí, Jalisco y Nayarit. Es uno de los cultivos de mayor valor económico e importancia social por la cantidad de mano de obra que demanda. Actualmente se cuenta con cultivares de tomate altamente rendidores, por lo que es la especie que más se

cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo (SAGARPA, 2002).

El uso de invernaderos en conjunto con sistemas hidropónicos permite reducir al mínimo las restricciones de clima, agua y nutrientes, logrando un eficiente control de plagas, enfermedades y malezas, por ello es importante la búsqueda de arquetipos que en altas densidades de población, tengan gran potencial de rendimiento por unidad de superficie en ambiente no restrictivo. Debido a la fuerte inversión que requiere la instalación y operaciones de estos sistemas la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, teniendo como requisito un manejo eficiente del espacio y tiempo para lograr una alta productividad (Sánchez, 2001)

Dentro de la hidroponia en agregado destaca el cultivo en sacos de polietileno en forma de salchicha, rellenos de una mezcla de turba y vermiculita o turba y perlita, entre otros sustratos, el riego y la nutrición se efectúan de forma automática por medio de un sistema de goteo por microtubo que se coloca en la parte superior de cada saco y que percolará a través de éste. Es muy importante monitorear la solución nutritiva en sus parámetros pH, CE, relación aniones cationes y temperatura (Lara, 2000). Por lo anterior en el presente estudio se presentan los siguientes objetivos e hipótesis.

OBJETIVOS

- a) Comparar la producción de tomate bola variedad FLORA-DADE en dos sustratos (peat moss más perlita y aserrín).
- b) Comparar la producción de tomate bola variedad FLORA-DADE bajo dos manejos de fertirriego, (solución perdida y solución recirculada).
- c) Evaluar el costo de la nutrición para cada sistema de producción.

HIPÓTESIS

- 1) La producción de tomate bola en sistema recirculante, tiene ventajas sobre solución perdida, ya que el gasto de agua y fertilizante se minimiza.
- 2) Es posible manipular la solución nutritiva recirculante sin tener problemas de nutrición y sanidad de plantas.
- 3) El sistema de producción en aserrín compite con los sustratos a base de perlita y peat moss.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen e historia

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), miembro de la familia de las solanáceas, es una planta nativa de la América tropical cuyo centro de origen se localiza en la región de los andes, integrada por Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, donde existe la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. (León y Arosemena, 1980)

La evidencia histórica favorece a México como el centro más importante de domesticación del tomate, ya que la utilización de formas domésticas en nuestro país tiene bastante antigüedad y sus frutos eran bien conocidos y empleados como alimento por las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México.

Características botánicas

Morato (1992), reporta que el género *Lycopersicon* contiene una pequeña cantidad de especies, todas ellas herbáceas que crecen en forma y tamaño diferente, esto es de acuerdo con los métodos de cultivo, existiendo variedades que llegan a alcanzar hasta tres metros de altura o un poco más, esta depende de la velocidad de crecimiento. Es una planta hermafrodita, autógama, con tres a cinco por ciento de polinización cruzada debido a los insectos.

Anderlini (1979), señala que la planta de tomate es muy sensible a las heladas, es un cultivo anual, cuya altura de la planta joven esta procedida por desarrollo del tallo, que después de haber producido hojas sobre sus diversos nudos acaba en una inflorescencia apical o un racimo estéril. El retoño que aparece en la axila en la última hoja prosigue su alargamiento produciendo hojas y terminado en una inflorescencia.

Características morfológicas

Plántula

El término plántula se le designa a aquella planta pequeña producida por semilla de pocas semanas de edad y que se utiliza en los cultivos de transplante, se recomienda hacer primero un almácigo, pues éstas tienen la propiedad de reproducir sus raicillas y pelos absorbentes rápidamente (Cásseres, 1981).

Raíz

El sistema radicular del tomate está constituido por la raíz principal, raíces secundarias y raíces adventicias, haciendo que el tomate tenga sistema radical muy extenso (Picken, *et al.*, 1986).

Valadéz (1993), reporta que el sistema radical del tomate es fibroso y robusto, pudiendo llegar a medir hasta 1.8 metros de profundidad.

Tallo

Los tallos en tomate son cilíndricos en plantas jóvenes y angulosos en plantas maduras, con un diámetro de 2 a 4 cm en la base; alcanzan alturas de 2 a 4 m; presentado un crecimiento simpódico. Están cubiertos por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Debajo de la epidermis se encuentra el cortex cuyas células más externas tienen clorofila y son fotosintéticas, mientras las internas son de tipo colénquima y ayudan a soportar al tallo (Valadéz, 1993 y Picken, 1986).

Hojas

Las hojas son grandes de 15 a 20 cm de largo con poco menos de ancho, compuestas de un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales, divididas de diferentes tonalidades de color verde y distintas formas, según la variedad. En las axilas de las hojas se forman las yemas que producen los tallos secundarios (Coleman y Greyson, 1976).

Flor

El racimo floral “inflorescencia” está compuesto de varios ejes en los cuales tienen una flor de color amarillo brillante. El cáliz y corola están compuestas de cinco sépalos respectivamente, las anteras contienen el polen y se encuentran unidas en forma de tubo, de arreglo angosto que rodea y cubre el estilo y estigma, dicho arreglo asegura el mecanismo de autofecundación. La inflorescencia se forma a partir del sexto o séptimo nudo y cada una o dos hojas se encuentran las flores en plantas de hábito determinado (Anderlini, 1979 y León, 1980).

Fruto

Valadéz (1993), señala que el fruto del tomate es una baya compuesta por varios lóculos, pudiendo constar desde dos lóculos (bilocular) o más (multi o plurilocular). El color más común es el rojo y existen amarillos, naranjas y verdes, siendo su diámetro comercial desde 10 cm, su peso final a la madurez oscila entre los 5 y los 500 gramos, éste estará en función de la variedad y condiciones de desarrollo.

Clasificación Taxonómica

El tomate ha sido clasificado de la siguiente manera: (Flores, 1980).

Reino.....Vegetal
 División.....Tracheophyta
 Subdivisión..... Peteropsidae
 Clase.....Angiospermae
 Subclase.....Personatae
 Familia.....Solanaceae
 Género.....*Lycopersicon*
 Especie.....*esculentum*

Actualmente se conocen seis especies de *Lycopersicon*:

1. *Lycopersicon esculentum*
2. *Lycopersicon pimpinellifolium*
3. *Lycopersicon hirsutum*
4. *Lycopersicon cheesmani*
5. *Lycopersicon pervianum*
6. *Lycopersicon glandulosum*

Requerimientos de clima

La planta de tomate está considerada como termoperiódica esto significa que crece mejor con temperaturas variables que constantes esto puede variar de acuerdo a la edad de la planta. Las diferencias térmicas óptimas de noche y día pueden estar entre los 6° a 7° C (Verkerk, 1975). El rango de temperaturas mínimas y máximas puede estar entre 10° C a 30° C, siendo así su óptima entre 21° a 24° C, cabe señalar que cuando se llega a temperaturas mayores de la máxima la planta detiene su crecimiento (Valadéz, 1993).

CUADRO 2.1. Temperaturas óptimas para el cultivo del tomate. Morato (1992).

Fases fisiológicas	Temperatura diurna (° C)	Temperatura Nocturna (° C)
Germinación	18 a 20	-----
Crecimiento	18 a 20	15
Floración	22 a 25	13 a 17
Fructificación	25	18

Humedad relativa

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: en tomate, pimiento y berenjena la HR ideal es de 65 – 70 %. La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los comunes problemas del mal cuajado (Alpi y Tognoni, 1999).

Iluminación

La energía solar radiante es seguramente el factor ambiental que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento de las plantas cultivadas en el interior de un invernadero, la luz actúa sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas como fuente de energía para la asimilación fotosintética del CO₂, así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo.

Sánchez (2001), menciona que el rango óptimo de iluminación es de 10,000 a 15,000 luxes, o 926.78 – 1390.17 lm/ft².

El principal objetivo con miras al logro de altos rendimientos por unidad de superficie es interpretar tanto radiación solar como sea posible y la distribución homogénea de plantas es la que da la más temprana y máxima interpretación de luz (Gardner et al., 1990).

Tamaño de fruto tipo bola

La clasificación de tomates por tamaño se hace de acuerdo a las normas americanas que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.2 Clasificación de frutos de tomate para exportación (USA).

Tamaño	Diámetro de fruto (mm)	Peso promedio de fruto (g)
4 x 4 } 5 x 4 } Extra grande	92	300
	88 a 92	280
5 x 5 } 6 x 5 } Máximo grande	80 a 88	240
	73 a 80	185
6 x 6 Grande	64 a 73	150
6 x 7 Mediano	58 a 64	136
7 x 7 Chico	54 a 58	70
7 x 8 Extra grande	48 a 54	50

En 1991 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica reformó las reglas de calibración que se usan para clasificar los tamaños de tomates. En vez de usar el antiguo sistema (Cuadro 2.2), ahora se usarán solo cuatro categorías (Cuadro 2.3), de acuerdo al diámetro del fruto (Aguilera, 1996).

Cuadro 2.3 Clasificación de frutos de tomates tipo bola.

Tamaños	Diámetro (cm)
Pequeños	De 5.4 a 5.8
Medianos	De 5.8 a 6.4
Grandes	De 6.4 a 7.0
Extra grandes	Mayor de 7.0

Principales plagas y enfermedades del cultivo del tomate

Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci*)

Existen dos especies de mosquita blanca que se presentan con mayor frecuencia, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci*, ambas pertenecen al orden homóptera y a la familia *Alceryrodidae*.

Esta plaga está ampliamente distribuida en los cultivos, su importancia radica en que es transmisora del virus del enchinamiento del tomate, que puede ocasionar un daño de hasta un 80%.

El adulto y la ninfa succionan la savia de las plantas y son vectores de enfermedades virales como el enchinamiento del tomate, que ocasiona un desequilibrio en la planta (Ortega, 1991). Generalmente para las plagas agrícolas, el método de control más utilizado es el control químico (Carrillo, 1992).

Minador de la hoja (*Liriomyza Laidobriensis* Blanchard)

Está considerada como plaga primaria en el tomate, pero cuando se recurre a una calendarización de control de algunos lepidópteros con insecticidas de amplio espectro esta plaga se elimina (Alvarado, 1988).

Los daños producidos se localizan tanto en el limbo como en el pecíolo de las hojas (plántula o planta adulta), afectando un sin número de hortalizas y ornamentales; en tomate el mayor daño lo hace en las hojas, poco antes de la formación de los ramilletes florales (Alvarado, 1988).

Damping off (*Phytium sp*, *Phytophthora sp*, *Rhizoctonia sp*, *Fusarium sp*, *Botrytis sp*, *Phoma sp*, *Aphanomyces sp* y *Sclerotium sp*.)

Esta enfermedad es típica en el estado de plántula, ya que crecen en condiciones de alta humedad y temperatura adecuada para el desarrollo de los géneros antes mencionados, situación que prevalece durante el primer mes de

vida de las plantas de tomate establecidas bajo invernaderos principalmente durante los meses de agosto y septiembre.

Del 20 al 50% de plántulas son las pérdidas que puede causar el damping off, en el caso de siembra directa, a esto se deben aunar los gastos de replante, diferencias en maduración y reducción en rendimiento.

La mayoría de las plantas son susceptibles al damping off en el estado de plántula. Aún aquellas que crecen en condiciones de invernadero se ven severamente afectadas, no obstante si se mantienen las medidas sanitarias (Agrios, 1985).

Los síntomas característicos del damping off se observan después de la germinación, poco antes de que el hipocotilo emerja de la semilla o que la plántula sobresalga del suelo o sustrato.

El término damping off o secadera de plántula se caracteriza por que se presenta en la fase postemergente de la enfermedad en la cual el tallo de la plántula se constriñe al nivel de la base, posteriormente la porción atacada se reblandece, la plántula se dobla y muere (León, 1980).

Los patógenos causantes de la enfermedad crecen tanto intercelularmente como intracelularmente en el tejido de la planta hospedera donde es posible observar unos micelios delgados y ramificados en el proceso de infección, además están involucradas toxinas y enzimas que aumentan el daño de los hospederos.

Existen condiciones que favorecen la presencia y severidad del damping off. Como exceso de humedad y temperaturas entre 15° a 16° C, la lluvia y riego por inundación (Agrios, 1985).

Tizón temprano (*Alternaria solani*)

A esta enfermedad se le conoce también como “Roya”, se presenta en la mayoría de las regiones productoras de tomate y otras solanáceas como papa y

berenjena, afectando tallos o frutos durante todos los estados de desarrollo de la planta.

Los síntomas se presentan en las hojas viejas como pequeñas lesiones irregulares de color café oscuro, con anillos concéntricos que se extienden hasta 1.25 cm de diámetro. El tejido foliar se torna amarillento en los márgenes y si hay condiciones favorables para la enfermedad, se desarrolla hasta defoliar la planta, lo cual afecta la calidad del fruto debido a quemaduras.

El tizón temprano es más frecuente en temporadas de precipitaciones prolongadas, intensas y humedad relativa alta; en estas condiciones las plantas se debilitan debido a la destrucción de follaje y por falta de aireación en las raíces (Agrios, 1985).

Producción en invernaderos

Alpini (1999) comenta que la implantación generalizada de los invernaderos ha impulsado el desarrollo de nuevos cultivares especialmente adaptados al cultivo protegido, entre los cuales se encuentran variedades de tomate recomendadas para uso mixto. Nuez (1995), menciona que un aspecto relevante de esta mejora dirigida a una mayor adaptación ha sido realizada frente a las condiciones ambientales adversas sobre el cuajado tales como baja luminosidad y frío o calor.

Según Sánchez y Escalante (1989), definen al invernadero como una construcción agrícola traslúcida que tiene por objeto reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y distribución de plantas en su interior, con cierta independencia del medio exterior.

Según Sánchez y Escalante (1989) y Serrano (1989), los objetivos principales del uso de los invernaderos son los siguientes;

- Proteger a la planta de plagas y enfermedades.

- Producir en zonas en que se produce normalmente al aire libre pero en época distinta de la habitual, con el fin de obtener las ventajas de marcado por presentar productos fuera de temporada.
- Forzar la producción al aumentar la producción por unidad de superficie, acortar los ciclos de las plantas permitiendo un mayor número de ciclos por año y obtener producciones en condiciones de clima adverso.

Técnica hidropónica

Sánchez y Escalante (1989), definen la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y que en vez de suelo utiliza como sustrato un material generalmente inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva, con el objeto de proporcionar las condiciones físicas, químicas y sanitarias mas adecuadas para el desarrollo vegetal.

Jensen (1996), menciona que la hidroponia es una tecnología para producir plantas en soluciones nutritivas de agua y fertilizantes, donde las raíces se desarrollan en agua o en un sustrato inerte en vez de suelo. Los sistemas hidropónicos se categorizan en sistemas hidropónicos líquidos y con agregados. En los sistemas líquidos las raíces están directamente expuestas a la Solución nutritiva, sin ningún otro medio de crecimiento y la solución es reutilizada o reciclada. En los sistemas con agregados, se utiliza un medio sólido inerte que da apoyo a las plantas, entre los más comunes destacan la arena, grava, vermiculita, turba de musgo o cualquier otro material típico de la región que permita reducir los costos. En ambos sistemas la solución se suministra directamente a las raíces.

El jitomate es la hortaliza que con más frecuencia se cita en la bibliografía sobre cultivos hidropónicos realizados en todo el mundo; en la mayoría de los casos se señalan rendimientos promedio de 100 a 400 ton/ha/año con más calidad, mientras que con los sistemas convencionales de cultivos en suelo se reportan rendimientos de 20 a 30 ton/ha la hidroponia constituye un atractivo comercial

para agricultores con poca extensión de territorio, con poca agua o con serias limitaciones del suelo (Sánchez y Escalante, 1989).

Sustratos empleados en hidroponia

La elección del material a emplear como sustrato es de gran importancia, ya que pueden influir directa o indirectamente en el crecimiento de las plantas.

Características de los sustratos como medio de crecimiento

En los sustratos se suelen distinguir tres tipos de propiedades: físicas, químicas y biológicas. La importancia del conocimiento de estas propiedades radica en que de ellas dependerá el manejo adecuado de la fertilización y del riego (Lamaire, 1985).

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, que pueden estar llenos de agua o aire y que corresponden a espacios situados entre las partículas del sustrato o dentro de las mismas partículas.

Según Martínez y García, (1993) para tener buenos resultados en el crecimiento y en el desarrollo de la planta de jitomate, se requieren las características del medio de cultivo que a continuación se menciona.

Propiedades físicas

Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, que oscile entre el 20% y 30% del volumen total, suficiente densidad de aireación que oscile entre 30% y 40% del volumen total, baja densidad aparente, elevada porosidad alrededor del 85% del volumen total, estructura estable que impida la compactación del medio.

Propiedades químicas

Baja o moderada capacidad de intercambio catiónico, suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón, aptitud para mantener constante el pH (5.5 – 6.8) y mínima capacidad de descomposición.

Otras propiedades deseables

Libre de semillas de malas hierbas, nemátodos y otros patógenos, disponibilidad, bajo costo, fácil de mezclar, fácil de desinfectar, resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

Perlita

La perlita es un mineral silíceo de color blanco grisáceo muy ligero de origen volcánico que se extrae de escurrimientos de lava, similar a la pómez. Su baja densidad de partículas (PD) facilita la homogeneidad de las mezclas, incluso utilizando tamaños gruesos (2-6 mm). Al no presentar minerales de alteración es muy poco activa, químicamente inerte, presentando un pH de 6.0 a 8.0 neutro y retención iónica (c.i.c) inapreciable, no contiene nutrientes minerales pero es mas útil para incrementar la aireación

(http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos3.asp)

La perlita es un buen sustituto de la arena, sobre todo para promover una buena aireación en la zona radical, una ventaja importante es un peso ligero alrededor de 6lb / pie cúbico (Nelson, 1984).

Peet Moss

Este tipo de material es conocido como "Turba" o Spagnum Moss, el cual es un nombre genérico que se aplica a diversos materiales que proceden de la descomposición de los vegetales, dependiendo su naturaleza, su origen botánico y las condiciones climáticas predominantes durante su formación, determinan a su vez el estado de descomposición.

La turba es el Fertilizante Orgánico Natural de más alta calidad, que ayuda a retener a los nutrientes presentes en los suelos, almacenándolos y dispersándolos gradualmente a través del suelo, es un excelente acondicionador orgánico de suelos, enriquece la tierra y facilita que los nutrientes sean asimilados por las plantas.

La turba de musgo esfagnaceo es un material que se desarrolló como resultado de un lento proceso de descomposición sin oxígeno de la vegetación durante varios miles de años. Este proceso evolutivo ha producido una planta de células grandes cuya estructura favorece la aireación y absorbe fácilmente agua como si fuera una esponja.

La turba, es de forma líquida o sólida, pueden mezclarse con otros fertilizantes (orgánicos o químicos), tanto en agricultura comercial como para uso doméstico en horticultura o jardinería.

(<http://www.biofertilizer.com/turba.htm>)

Aserrín

Es un sustrato muy barato y abundante en México, su capacidad de retención de agua así como su espacio poroso varía de acuerdo al tamaño de sus partículas o mezclando el aserrín con viruta.

El aserrín fue adoptado como medio de cultivo a causa de su bajo costo, ligereza y disponibilidad. Un aserrín moderadamente fino, o mezclado con una buena proporción de viruta, suele ser el más adecuado, a causa de que la humedad se difunde lateralmente mejor con éstos que con el aserrín grueso. (Resh, 1987).

El aserrín es un sustrato orgánico rico en carbono y pobre en nitrógeno, se debe considerar que cuando se le irriga con la solución nutritiva, se presenta frecuentemente un proceso de descomposición por bacterias, que utilizan

principalmente el nitrógeno de la solución para su crecimiento y reproducción, fijándolo temporalmente, lo que puede dar lugar a una deficiencia de este elemento en las plantas cultivadas en el aserrín.

Solución nutritiva

El agua es el principal elemento que interviene en el crecimiento, pero la porción mayor, generalmente el 90% de la materia seca de casi todas las plantas, está constituida por tres elementos químicos: carbono, oxígeno e hidrógeno.

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Uno de los puntos decisivos para el éxito del cultivo hidropónico es la composición de las soluciones nutritivas; deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en las dosis convenientes (Duray, 1973 y Penningsfeld, y Kurzmann, 1975)

La especificación de la concentración de los nutrientes se ha expresado de varias maneras tales como: gramos por litro, miligramos equivalentes por litro, átomos microgramos, soluciones normales, solución molares y partes por millón, siendo las últimas tres las más usadas (Durany, 1973 y Harris, 1977).

Se ha probado que los siguientes elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas: C, H, O, N, P, K, Ca, S, Mg, Mn, Bo, Cu, Zn, Mo, Fe. Existen evidencias de que al Al y Cl tienen marcada importancia en el crecimiento de ciertas especies vegetales (Sánchez, 1989).

Sistema recirculante de solución nutritiva

Podemos distinguir dos tipos de sistemas de cultivo sin suelo que integran la recirculación como forma de trabajo.

El primero es el NFT (Nutrient film technique) que, dentro de estos sistemas recirculantes, es el más típico por ser el que en primer lugar se empezó a utilizar allá por los años 70. Consiste en mantener las raíces del cultivo inmersas en una corriente de solución nutritiva, continua o intermitente de muy alta frecuencia, sin que exista ningún sustrato de sostén.

En cuanto al segundo, se trata del cultivo en un sustrato cualquiera (perlita, lana de roca, arena, etc.) con recogida del drenaje, para su posterior mezcla con agua de aporte exterior e inyección de fertilizantes hasta alcanzar un nivel nutricional concreto. En este último sistema, a diferencia del primero, el riego no es continuo y ni siquiera intermitente a intervalos periódicos, sino puntual, en función de las necesidades del cultivo a lo largo del día, aportando una determinada dosis de agua cada vez para conseguir la rehidratación del sustrato y la renovación de la solución en él contenida. Se controla el drenaje para que no se produzcan incrementos bruscos de la conductividad eléctrica y el pH y para saber que se mantienen unos niveles adecuados de los distintos iones que eviten la competencia de unos sobre otro. (<http://www.infoagro.com/abonos/docs/9803-3.asp>)

Sistema de solución nutritiva descargada al drenaje

Burgueño (2001), evaluando el cultivo en sustratos con solución perdida, considera que la cantidad de agua drenada deberá oscilar entre 30 y 40 por ciento de las aportaciones; en zonas con escasez de recursos hídricos se recomienda el uso de solución recirculada, ello supondría poner a punto una técnica de recirculación que fuese económicamente viable.

Preparación y manejo de las soluciones nutritivas.

La preparación de soluciones nutritivas puede dividirse en dos pasos generales:

1. Adición de los macronutrientes
2. Adición de los micronutrientes

Para la adición de los macroelementos se utilizan generalmente tres métodos:

- a) Método de la solución madre. Las sales se disuelven en agua para hacer una solución concentrada, que se va diluyendo a medida que se emplea.
- b) Método de las sales en seco. Después de que las cantidades de sales son pesadas, se añaden separadamente al agua.
- c) Método de las sales mezcladas en seco. Las sales son mezcladas como un fertilizante comercial y después son añadidas al agua.

Para la adición de los microelementos, las sales son disueltas en agua, lo que permite la preparación de una solución madre.

Penningsfeld y Kurzmann (1975), recomiendan para la preparación de las soluciones, a partir de compuestos simples, hacer su disolución por separado agregando al depósito de la solución nutritiva primero los más solubles y ácidos. Ellis y Swaney (1963), indican que los microelementos deberán disolverse al último y por separado.

Conductividad eléctrica

Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. La respuesta de la planta del tomate a la salinidad depende de la edad de ésta, de las condiciones ambientales y de las prácticas de manejo del cultivo (ASCE, 1990). En el cultivo sin suelo del tomate, el nivel óptimo de salinidad, determinada en la solución del sustrato oscila entre 3 y 5 ds/m (Escudero, 1993).

Las causas que provocan un incremento en la salinidad del sustrato después de estar colocado en el contenedor son: (Lemaire et al., 1985) la presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se degradan para producir nitratos, o bien cuando liberan sales mediante difusión, en cantidades superiores a las absorbidas o lixiviadas; cuando la cantidad de sales aportadas

por el agua de riego y los fertilizantes es superior a las cantidades absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación; cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico y al mismo tiempo, se descompone con el transcurso del cultivo, liberando nutrientes.

Según Resh (1987), las plantas toman mucho más agua y a mucho más velocidad que los elementos minerales, esto da lugar a un incremento en la concentración total de la solución, así como en la concentración de los iones, por lo anterior, un medidor de conductividad eléctrica deberá utilizarse para determinar el momento en el cual la solución de nutrientes empieza a concentrarse demasiado. Las mediciones se harán al momento de agregarse la solución nutritiva y se repetirán en cada aplicación.

pH

Nuez (1995) indica que el pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido. La planta de jitomate puede sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desordenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma asimilable; no obstante, el crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidéz o y de alcalinidad extremas. Escudero (1993), menciona que en el cultivo sin suelo del tomate el pH debe ser de 5.5 a 6.8.

Eficiencia en el consumo del agua y de los fertilizantes

Los incrementos en el gasto de agua y fertilizantes asociados a esta técnica de cultivo y el efecto ambiental negativo sobre suelos y acuíferos derivados de la lixiviación de la solución nutritiva, inducen la necesidad de abordar el estudio de sistemas cerrados en cultivos sin suelo que permitan resolver problemas de disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas, o en aquellas donde el riesgo de contaminación resulta elevado, como es el caso de algunos países

del centro y norte de Europa, en los que ya se han desarrollado normas que obligan a implementar sistemas de rehuso de la solución nutritiva drenada.

La recirculación tiene otro aspecto de interés, que es el ahorro de agua y fertilizantes que conlleva. Sin embargo esto no quiere decir que sea más rentable desde un punto de vista económico pues, lógicamente, la acumulación de ciertos iones en el drenaje puede afectar negativamente a la producción y, además, la instalación de un sistema de cultivo sin suelo recirculante resulta, en general, más cara, al tener que recoger el drenaje y desinfectarlo (Os, E.A. Van, 1995)

Raviv, et al. (1995), reportan que en los sistemas abiertos se utiliza de un 20 a 30 % más de agua para producir similar cantidad de tomate.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación encaminada a evaluar el potencial productivo del tomate se realizó en el invernadero del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México cuyas coordenadas geográficas son: 25° 22' 0" latitud norte y 101° 1" de longitud oeste, con una altitud de 1745 msnm.

Aspectos generales del invernadero

Las estructuras, cubiertas y equipos del invernadero utilizado son desarmables, es modelo semicircular con paredes rectas, 10 m y 5 m de ancho, es decir ocupa una superficie de 50 m², posee sistema de ventilación forzada, cuenta con un extractor con capacidad de HP ½ // ⅓ y con un sistema de enfriamiento a base de aire lavado (pared húmeda). El polietileno de la cubierta tiene vida útil de 2 años y las mallas de 5 años, los perfiles al carbón usados en las estructuras son calibre 6, que en combinación con las estructuras de soporte aumentan la resistencia y capacidad de carga del cultivo. Su estructura esta diseñada para resistir vientos con velocidad de hasta 100 km/h y una carga de cultivo de 18 kg/m².



Figura 3.1. Estructura física del invernadero del Departamento de Suelos.

Material vegetativo

Se utilizó una variedad de polinización libre FLORA-DADE hábito de crecimiento determinado, que produce frutos redondos, lisos, muy firmes y de color rojo intenso uniforme. La variedad es resistente a las cepas R₁ y R₂ de Fusarium y a Verticilium.

Semillero

Con la finalidad de generar las plántulas necesarias para el transplante se estableció el semillero.

La siembra se realizó el 3 de febrero del 2004, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades de la siguiente manera: se llenaron las charolas con peat moss húmedo y se depositó una semilla por cavidad a una profundidad de tres veces el tamaño de la semilla, posteriormente las charolas se colocaron dentro del invernadero en una cama flotante con la solución nutritiva ideal para tomate al 50% de concentración de la solución.

Fabricación de sacos de cultivo

Se fabricaron los sacos de un metro de longitud y capacidad de 30 L para lo cual se utilizó plástico de color negro, con cubierta blanca. Los sacos se llenaron con las mezclas de sustratos: perlita más aserrín y perlita más turba, finalmente se perforaron a una distancia de 0.25 metros donde se llevaría a cabo el transplante, también se perforó en la base del mismo para drenar la solución nutritiva.

Descripción de los tratamientos

Para evaluar el potencial productivo del tomate en cultivo sin suelo se utilizaron dos mezclas de sustratos (perlita más aserrín y perlita más turba) en dos sistemas de solución (perdida y recirculada), dando un total de tres tratamientos que se describen a continuación:

T1.- Perlita más aserrín con solución recirculada (sacos con 22.5 L de perlita y 7.5 L de aserrín).

T2.- Perlita más turba con solución recirculada (sacos con 22.5 L de perlita y 7.5 L de turba).

T3.- Perlita más turba con solución perdida (sacos con 22.5 L de perlita y 7.5 L de turba).

Cada tratamiento estuvo conformado por tres líneas de cinco sacos, teniendo un total de 30 plantas por tratamiento.



Figura 3.2. Distribución de los tratamientos en el área del experimento.

Trasplante

40 días después de la siembra se efectuó el trasplante en los sacos (previamente saturados con solución nutritiva) se colocaron dos plantas por orificio para lograr un mayor aprovechamiento de solución, teniendo 6 plantas por saco y 5 sacos por cada línea.

Establecimiento de sacos de cultivo

Se preparó el área en donde se colocaron los sacos, con una pendiente del 1%, con el fin de controlar el drenaje y evitar la acumulación de la solución nutritiva.

Distribución de sacos en el área experimental

Los sacos se colocaron de la siguiente manera:

- Entre sacos 0.20 m
- Entre fila 1.5 m
- Tres goteros por saco.
- Tres perforaciones por saco.
- Dos plantas por perforación.
- Una bandeja de drenaje por línea.
- Un gotero a la botella.

Colocación de la bandeja de drenaje

La bandeja de drenaje se ubicó en el último saco de la línea y se instaló un gotero a la botella con el fin de colectar solución nutritiva y posteriormente, en el laboratorio analizar pH, CE y macroelementos, (NO_3 - P - K) cuyos resultados permitieron tomar decisiones de manejo.

Saturación de los sacos de cultivos

El proceso de saturación de los sacos de cultivo fue importante, pues de ello dependió el buen o el mal inicio del cultivo

1. Saturar con solución nutritiva, pH 6 y CE $2 - 3 \text{ dsm}^{-1}$.
2. Saturar a impulso (no de golpe, lógicamente dependiendo de la granulometría de la perlita que define la curva de retención).
3. Reposar 24 hrs para homogeneizar la concentración nutricional en él.

La saturación se realizó con un equipo de riego por goteo tipo espagueti con piqueta de 2 l / hr, todo esto manejado por una bomba eléctrica de 1/3 HP.

Preparación de la solución nutritiva

Se consideró la solución propuesta por Urrestarazu (2000) especial para tomate (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Solución nutritiva ideal para tomate (Urrestarazu, 2000).

Meq/L	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Aniones
NH₄	1.5			1.5
K⁺	2.45	1.25	3.0	6.7
Ca⁺⁺	6.5			6.5
Mg⁺⁺	5.0			5.0
Cationes	15.5	1.25	3.0	19.70

A partir de la solución nutritiva ideal para tomate se llevaron a cabo los cálculos para los macroelementos y microelementos (Cuadros 3.5 y 3.6).

Cuadro 3.5. Cálculo para macroelementos.

Fertilizantes	Meq/L	Pe	Factor g/L	P/200 L
NH₄NO₃	1.5	80	0.080 x 1.5	24g
KNO₃	2.45	101	0.101 x 2.45	50g
Ca(NO₃)₂·4H₂O	6.50	118	0.118 x 6.50	154g
Mg(NO₃)₂·6H₂O	5.0	128	0.128 x 5.0	128g
KH₂PO₄	1.25	136	0.136 x 1.25	34g
K₂SO₄	3.0	87	0.087 x 3.0	52g

Cuadro 3. 6. Cálculo para microelementos

Fertilizante	Cálculos	Para 200 L de agua
EDDHAFe (5%)	0.84 mg / L 100 mg / 5= 16.8 mg / L	3.36
MnSO₄	1.30 mg / L 151 / 54.94 mg = 3.5 mg / L	0.70
CuSO₄	0.05 mg / L 249.7 / 63.5 mg = 0.20 mg / L	0.04
ZnSO₄ 5H₂O	0.05 mg / L 287.5 mg / 65.4 mg = 0.22 mg / L	0.04
H₃BO₃	0.04 mg / L 61.8 mg / 10.8 mg = 0.22 mg / L	0.04
(NH₄)₆Mo₂O₂₄ 4H₂O	0.006 mg / L 1235.9 / 67 mg = 0.11 mg / L	0.02

Se pesaron los macroelementos y microelementos, se mezclaron en seco y se depositaron en tres toneles de 200 L de agua. Durante el desarrollo del trabajo se monitoreó el pH y CE de la solución nutritiva para mantenerla en los niveles óptimos.

El 31 de mayo del 2004 se modificó la solución nutritiva en los tres tratamientos, porque se presentó una deficiencia de calcio, agregando 7.4 miliequivalentes de calcio, 7.9 miliequivalentes de potasio y 5.9 miliequivalentes de magnesio para balancear la solución. (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Modificación de la solución nutritiva ideal para tomate.

Meq/L	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Aniones
NH₄	1.5			1.5
K⁺	2.45	2.5	3.0	7.95
Ca⁺⁺	7.4			7.4
Mg⁺⁺	5.9			5.9
Cationes	17.25	2.5	3.0	22.75

A partir del 31 de mayo del 2004 se mantuvo un pH 6.1 en la solución nutritiva y una conductividad de 2.9 dsm⁻¹.

Costos de solución nutritiva

Se determinaron costos de nutrición por metro cuadrado mediante un sondeo de precios de fertilizantes en las diferentes casas comercializadoras de la región de Saltillo (Cuadro 3.8)

Cuadro 3.8. Precios M/N de fertilizantes actualizados al mes de Marzo del 2004.

Nutrimento	Precio en pesos / kg
NH_4NO_3	6.00
KNO_3	6.00
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	6.00
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10.00
KH_2PO_4	5.00
K_2SO_4	8.00
EDDHAFe	168.00
MnSO_4	5.00
CuSO_4	16.00
$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	8.30
H_3BO_3	10.00
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_2\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	12.00

Nota: Paridad Peso/Dólar = a \$11.20

Tutoreo, poda y polinización

Las plantas se tutoraron individualmente con rafia, podando los brotes laterales para conducirla a un solo tallo. Se podaron las hojas inferiores conforme los racimos maduraban. Para favorecer la polinización se movían diariamente las plantas manualmente.



Figura 3.3. Tutoreo y poda de planta de tomate.

Control de plagas y enfermedades

En el Cuadro 3.9 se describen los productos y dosis utilizadas para el control de plagas y enfermedades presentes en el cultivo de tomate.

Cuadro. 3.9. Control de plagas y enfermedades del cultivo de tomate en estudio.

Enfermedad	Organismo causal	Producto utilizado	Dosis	Numero de aplicaciones
Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	Mancozeb	1.5 g L ⁻¹	2
Cenicilla	<i>Leveillula taurina</i>	Cupravit Mix	1 g L ⁻¹	2
Plagas				
Mosquita blanca	<i>Trialeurodes vaporarorum</i>	Thiodan	1 g L ⁻¹	2
Minador de la hoja	<i>Liryomiza sp</i>	Agrimec	1g L ⁻¹	1

Características e instalación del equipo de riego

En la instalación del cabezal de riego, se colocaron tres bombas con capacidad de 1/3 HP para cumplir con las demandas hídricas y de transporte de nutrientes al sistema radical de las plantas.

El abastecimiento de la solución nutritiva se llevó a cabo a través de un sistema de riego (espagueti) por goteo de polietileno flexible con piqueta 100 a 150 ml / minuto manejando una presión 15 PSI en manómetro y filtro para evitar taponamiento. Se aplicaron diariamente riegos de 6 a 8 veces por día con una duración de aplicación de 2 a 3 minutos de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes, tratando de mantener el sustrato a su máxima capacidad de retención ($4 \text{ a } 8 \text{ Lm}^{-2} \text{ día}^{-1}$).



Figura 3. 4. Cabezal de riego.

La programación de los riegos se llevó a cabo utilizando tres timers digitales programables marca LLOYDS, modelo LR – 912 cuyas especificaciones se indican a continuación:

- Voltaje 120 ~ 60 Hz.
- Potencia máxima 10 A, 100 W.
- Tiempo mínimo de programación 2 minutos.

- Tiempo máximo de programación 6 minutos.
- Temperatura de operación -10° C a 40° C.
- Batería de respaldo NIMH1, 2V>100hr.

Instalación del sensor de temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica (Boxcar Pro4).

El sensor se colocó en la parte central del experimento, dentro de una estructura metálica con libre paso de luz.

Se instaló el boxcar Pro4 en la memoria de la computadora para programarlo, de tal manera que registrará temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica cada 15 minutos durante todo el desarrollo del experimento.

Características del instrumental utilizado en el experimento

Potenciómetro Conductivímetro HANNA HI 98129

Se utilizó para medir pH de la solución en drenajes y en la solución del gotero, así como para monitorear y regular con ácido fosfórico el pH de la solución nutritiva en un rango de 5.8 – 6.2

Características

- temperatura 0 – 60° C
- pH 0 – 14
- CE 0 – 20
- Aparato de bolsillo
- Digital

Lo cual permite tener resultados rápidos en campo.

Cardy: (HORIBA)

Es un aparato que se utiliza para cuantificar la cantidad de nutrientes en sistemas de cultivo sin suelo y en suelo. Son instrumentos portátiles y fáciles de manejar en campo.

Cardy para determinación de nitratos y potasio.

Modelo japonés

- Posee un electrodo selectivo.
- Realiza medidas de D-9999 ppm.

Medidor portátil de fósforo

Medidor portátil de fósforo.

- Marca HANNA.
- Modelo HI 93706.
- Fabricación U. S. A.
- Mide fósforo en ppm en un rango de 0 – 15ppm con una resolución de 0.1ppm.
- Puede leer a 470 nanómetros (fuente de luz).
- El método que utiliza es el método de aminoácidos que tiene un detector de luz a base de fotoceldas de silicona.
- Puede leer en un medio ambiente de 0 – 50° C y con una humedad relativa de 95%.
- Batería de 9 volts
- Dimensiones de 18.0cm x 8.3 x 4.6cm.
- Peso de 290g.

Medidor de humedad (Water mark)

- Sensores y dispositivos a base de arenas.
- Electrodo terminales para conectarse al medidor digital.
- Da lecturas en centibares.
- Utiliza baterías de 9 volts.
- Rango de 0 – 105 cb.
- Fabricación U. S. A.

Boxcar Pro 4

- Diseñado para trabajar con Hobo (receptor) y data logger (compatible con Windows).
- Mide temperatura, humedad relativa, luz (intensidad lumínica).
- Fabricación Japonesa.

Vernier o pie de rey

Instrumento con el cual se midieron diámetros polares y ecuatoriales

Características

- Graduado en cm y pulgadas.
- 15 cm de longitud.
- Mide diámetros interiores.
- Fabricación Alemana.

Balanza digital granataria (OHAUS)

- Capacidad de 610 g.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores ambientales medidos durante el desarrollo del cultivo

Se tomaron datos de temperatura (máximas y mínimas), iluminación y humedad relativa, durante el desarrollo del experimento.

Temperatura dentro del invernadero

En la Figura (4.5), se muestran las temperaturas registradas, encontrándose temperaturas mínimas de 5 °C, principalmente durante la noche y durante las primeras horas del día, mientras que la temperatura máxima registrada fue de 45 °C, con la cual se podía provocar que la planta detuviera su crecimiento; lo cual no ocurrió. Los valores mostrados no se encuentran dentro del óptimo, el rango de temperaturas mínimas y máximas puede estar entre 10° C a 30° C, siendo así su óptima entre 21° a 24° C, cabe señalar que cuando se llega a temperaturas mayores de la máxima la planta detiene su crecimiento (Valadéz, 1993).

Temperatura en el interior del invernadero

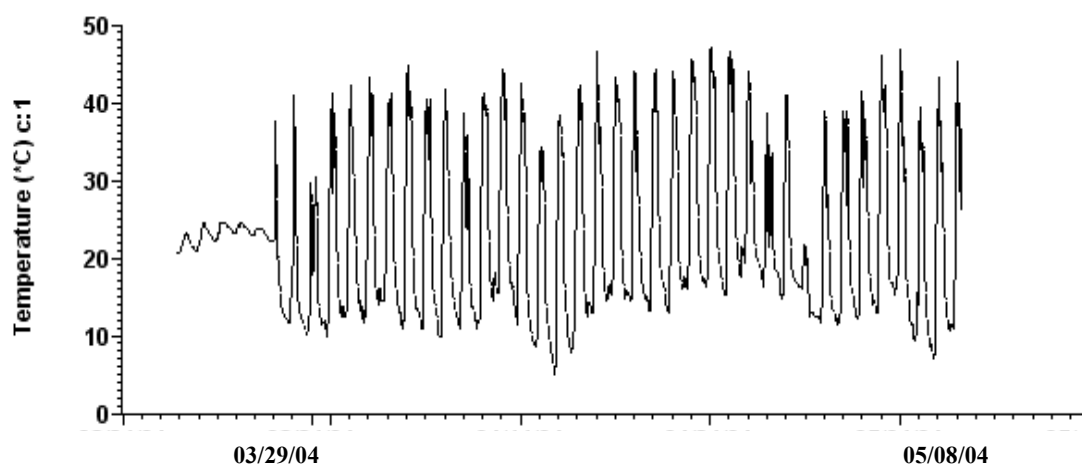


Figura 4.5. Temperaturas registradas dentro del invernadero durante el período de 03/29/04 al 05/08/04.

Humedad relativa dentro del invernadero

La Figura 4.6 muestra los valores de humedad relativa registrada durante el desarrollo del cultivo, observándose variaciones que oscilan entre un 65 - 70 % con humedad ambiental alta durante la noche y baja durante las horas del medio día. Este factor fue de gran importancia en el desarrollo del cultivo por los efectos que causó como descenso en el crecimiento de las plantas, una alta transpiración por hojas y tallos, lo que provocó problemas de traslocación de elementos como calcio, observándose síntomas de deficiencias en los frutos. Lo anterior coincide con lo reportado por (Alpi y Tognoni, 1999).

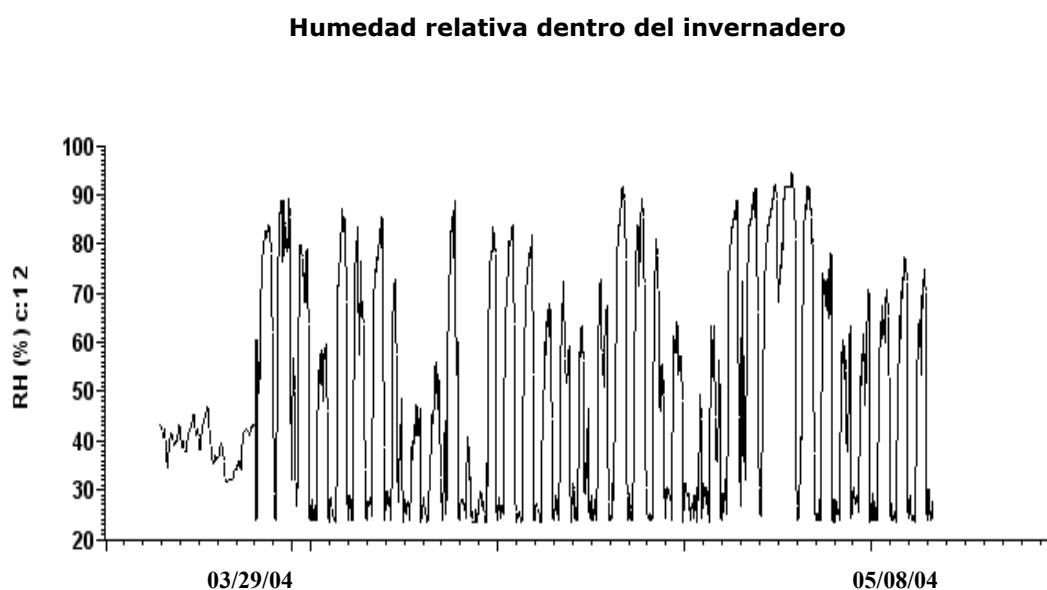


Figura 4.6. Humedad relativa registrada dentro del invernadero durante el período de 03/29/04 al 05/08/04.

Intensidad lumínica dentro del invernadero

La intensidad lumínica no presentó gran variación a excepción de los días nublados, en los días soleados se registraron 500 lum / ft² los cuales no coinciden con los valores óptimos (926.78 – 1390.17 lum / ft²), la razón por la cual se tuvieron valores bajos de luminosidad fue por que se colocó una malla sombra, para bajar la temperatura tan alta alcanzada al medio día, ya que Sánchez, (2001) menciona que estos factores afectan al rendimiento.

Intensidad lumínica dentro del invernadero

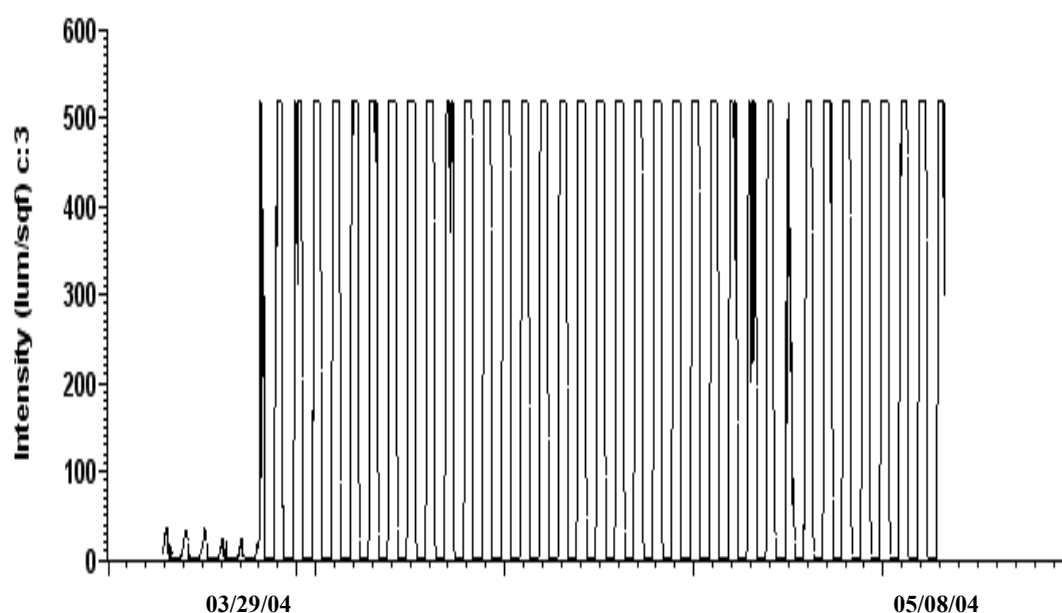


Figura 4.7. Intensidad lumínica durante los días 03/29/04 al 05/08/04

Potencial hidrógeno de la solución nutritiva.

En el Cuadro 4.10. Se observa que el pH fue ajustado a 5.8 para los tres goteros, añadiendo 100 mililitros de ácido fosfórico a la solución nutritiva. En cuanto a pH, en los drenajes aumentaron en comparación con el de los goteros, lo cual indica que las raíces de tomate asociadas con los sustratos influyeron en el aumento de este pH. Estos se encuentran dentro de valores razonables (5.5 – 6.8) Escudero (1993).

Cuadro 4.10. pH registrado antes de modificar la solución nutritiva.

Tratamientos	PH del gotero	pH de drenaje
Perlita más aserrín solución recirculada	5.8	6.8
Perlita más turba solución recirculada	5.8	6.7
Perlita más turba solución perdida	5.8	6.4

La solución nutritiva se modificó porque se presentó una deficiencia de calcio, ajustándose el pH de los goteros a 6.2. En el Cuadro 4.11 se muestra que los sustratos están directamente relacionados con el pH del drenaje, donde sobresalió el pH de 5.7 el cual corresponde a perlita más turba solución perdida, producido por el drenado de cationes ácidos en este tratamiento y asociado con el consumo de potasio y calcio por las plantas (Urrestarazu, 2000).

Cuadro 4.11. pH registrado después de modificar la solución nutritiva.

Tratamientos	PH del gotero	pH de drenaje
Perlita más aserrín solución recirculada	6.2	6.7
Perlita más turba solución recirculada	6.2	6.3
Perlita más turba solución perdida	6.2	5.7

Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

En el Cuadro 4.12 podemos observar que la conductividad eléctrica de los goteros se ajustó a 2 dsm^{-1} óptimo para el cultivo de tomate, al verificar la conductividad en los drenajes, se constató que la acumulación de sales en los sustratos fue moderada, resultando el tratamiento de perlita más turba solución recirculada con lavado de sales más alto.

Cuadro 4.12. C.E. registrada antes de modificar la solución nutritiva.

Tratamientos	C.E. del gotero (dsm^{-1})	C.E. de drenajes (dsm^{-1})
Perlita más aserrín solución recirculada	2	2.2
Perlita más turba solución recirculada	2	2.7
Perlita más turba solución perdida	2	2.4

Una vez modificada la solución nutritiva, la conductividad eléctrica de los goteros se ajustó a 2.9 dsm^{-1} , donde esto se puede apreciar en el Cuadro 4.13, donde la conductividad eléctrica de los drenajes se eleva casi al doble que la conductividad eléctrica de los goteros, lo cual nos indica que se están lavando las sales que se encuentran acumuladas en el sustrato, observándose que el tratamiento de perlita más aserrín solución recirculada, acumuló menor cantidad de sales comparado con los tratamientos perlita más turba solución recirculada y perlita más turba solución perdida; para lograr esto se mantuvo un drenaje del 30 al 40 % según fuera la conductividad eléctrica. Esto se llevó a cabo tomando en cuenta lo reportado por Resh (1987), quien afirma que las plantas toman mucho más agua y a mucho más velocidad que los elementos minerales, lo que da lugar a un incremento en la concentración total de la solución.

Cuadro 4.13. C.E. registrada después de modificar la solución nutritiva.

Tratamientos	CE del gotero	CE de drenaje
Perlita más aserrín solución recirculada	2.9	5.1
Perlita más turba solución recirculada	2.9	4.5
Perlita más turba solución perdida	2.9	4.3

Costos de las soluciones nutritivas

Se realizó un análisis económico para determinar el costo por metro cuadrado de solución nutritiva para producir tomate. Para ello se obtuvieron los costos por kilogramo de los fertilizantes que conformaron la solución nutritiva (Cuadro 4.14)

Cuadro 4.14. Precios de los fertilizantes que conforman la solución nutritiva para tomate Marzo 2004.

Fertilizantes	Precio en Pesos / Kg
NH_4NO_3	6.00
KNO_3	6.00
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_4\text{H}_2\text{O}$	6.00
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\text{6H}_2\text{O}$	10.00
KH_2PO_4	5.00
K_2SO_4	8.00
EDDHAFe	168.00
MnSO_4	5.00
CuSO_4	16.00
$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	8.30
H_3BO_3	10.00
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_2\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	12.00

Nota: Paridad Peso/Dólar = a \$11.20

Fuentes: KESWICK S.A. DE C.V., BIOCAMPO S.A. DE C.V.

Cálculo de los nutrimentos que se utilizaron para la elaboración de la solución nutritiva de tomate

En el Cuadro 4.15 se presenta los precios de cada producto utilizado en la formulación de 200 litros de solución.

Cuadro 4.15. Cálculo del costo de la solución nutritiva.

Nutrimento	Formulación para 200 L de solución	Precio en Pesos
NH₄NO₃	24 g	0.144
KNO₃	50 g	0.30
Ca(NO₃)₄H₂O	154 g	0.929
Mg(NO₃)₂6H₂O	128 g	1.28
KH₂PO₄	34 g	0.17
K₂SO₄	52 g	0.416
EDDHAFe	3.36 g	0.564
MnSO₄	0.70 g	0.0035
CuSO₄	0.04 g	0.00064
ZnSO₄ 5H₂O	0.04 g	0.00033
H₃BO₃	0.04 g	0.0004
(NH₄)₆Mo₂O₂₄ 4H₂O	0.02 g	0.00024
Total	446.2 g	4.40

Nota: Paridad Peso/Dólar = a \$11.20

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de solución nutritiva apoyados del equipo portátil (Cardy HORIBA y medidor de fósforo), esto con el fin de detectar bajas concentraciones de elementos en la planta, los que al dosificarlos para aumentar su concentración generaron un mayor costo de la solución (Cuadro 4.16).

Cuadro 4.16. Cálculo de fertilizantes adicionales para corregir bajas concentraciones de algunos elementos y sus costos en 200 L de solución.

Nutrimento	Formulación para 200 L de solución	Precio en Pesos
Ca(NO₃)₂ 4H₂O	175 g	0.924
Mg(NO₃)₂ 6H₂O	150 g	1.280
KH₂PO₄	68 g	0.170
Total	393 g	2.374

Nota: Paridad Peso/Dólar = a \$11.20

Los costos de fertilizantes para 20 m² no fueron los mismos para los sistemas solución perdida y solución recirculante. Para el caso de solución perdida se hicieron ocho aplicaciones de solución nutritiva durante el ciclo de cultivo. El costo de aplicación fue \$ 4.40 y de \$ 35.2 por las ocho aplicaciones.

Los adicionales para corregir bajas concentraciones de algunos elementos cuestan \$ 2.37 dando un total de \$ 37.57 pesos / 20 m².

Para el caso de sistema recirculante, el suministro de solución se realizó al 50%, para los dos sustratos (peat moss más aserrín, peat moss más turba), dándonos un costo de \$ 2.20 por aplicación y un gasto total de \$ 17.60. Al sumar el costo de la nutrición adicional (\$ 19.97) para corregir bajas concentraciones de algunos elementos nos da un total de \$ 37.57 para los dos tratamientos durante todo el ciclo del cultivo.

En el manejo de la solución recirculante durante el experimento, el costo fue de \$ 0.266 / m², igual a \$ 2,660.00 pesos / ha. Para el caso de solución perdida fue de \$0.532 pesos / m², similar a \$ 5,320.00 pesos /ha, esto permite ver que

en el caso de solución recirculante se tiene un ahorro de 50% del gasto total sobre el sistema de solución perdida.

Estos resultados deben ser analizados detenidamente ya que autores como Os, E. A. Van (1995) y Urrestarazu (2000) afirman que la recirculación tiene aspectos de interés que se asocian con el ahorro de agua y fertilizantes, sin embargo, esto no quiere decir que sea más rentable desde el punto de vista económico, ya que la acumulación de ciertos iones en el drenaje puede afectar negativamente a la producción y, además, la instalación de un sistema de cultivo sin suelo recirculante resulta en general más cara, al tener que recoger el drenaje y desinfectarlo.

Consumo de agua y solución nutritiva

La plantación se realizó el 13 Marzo de 2004 y la toma de datos se extendió desde el 30 de Marzo hasta el 20 de Junio del 2004, recabando 72 lecturas de volúmenes.

En el sistema abierto (solución perdida) y cerrado (solución recirculante) se llevó á cabo un registro de volumen de solución nutritiva (Cuadro 4.17) inyectado al sistema y el volumen de solución de drenaje. Con estos valores se calculó el consumo de agua en el ciclo del cultivo, volumen de drenaje, eficiencia en el uso de agua y nutrientes.

Cuadro 4.17. Volumen de solución nutritiva en la botella durante el cultivo.

Tratamientos	Volumen total de botella / gotero (L)
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	136.28
T2 Perlita más turba solución recirculada	115.21
T3 Perlita más turba solución perdida	169.44

Cuadro 4.18. Solución drenada durante el ciclo del cultivo de tomate.

Tratamientos	Volumen total de drenado (L)
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	121
T2 Perlita más turba solución recirculada	150.51
T3 Perlita más turba solución perdida	113.90

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro 4.18 se puede notar que de acuerdo con Burgueño (2001), los valores de drenaje obtenidos se encuentran dentro del rango óptimo, entre 30% y 40%.

El tratamiento perlita más aserrín solución recirculada, fue el que tuvo mayor eficiencia en cuanto drenaje, con un valor de 29.68 % de drenaje, mientras que los otros tratamientos se mantuvieron más lejos con relación al óptimo, perlita más turba solución recirculada con 43.45 % y perlita más turba solución perdida con 22.41 %.

Para el factor solución dosificada se tuvo al T1 (Perlita más aserrín solución recirculada) con un volumen 2044.2 litros de solución, mientras que para T2 (perlita más solución recirculada) y T3 (perlita más turba solución perdida) se tuvieron los valores de 1728.15 y 2541.6 litros dosificados respectivamente.

En cuanto al gasto de agua y fertilizantes, resultan considerablemente menores en el sistema cerrado ya que sólo ha sido necesario eliminar el drenaje al final del ciclo de cultivo. En concreto el gasto de solución nutritiva en el sistema abierto fue de 2541.6 L, mientras que en el de solución recirculada ha sido de 2044.2 L, lo que supone un ahorro del 19.5 %, valores cercanos son citados por Raviv, Reuveni, Krasnovsky Y Medina. (1995), quienes encontraron que en sistemas abiertos se utiliza un 20 a 30 % más de agua para producir similar cantidad de tomate.

Las eficiencias en el aprovechamiento del agua son las siguientes:

T1 (perlita más aserrín solución recirculada) = $(3.79 \text{ kg/m}^2 \text{ de tomate producido})(6.66 \text{ m}^2 \text{ de cada línea de cultivo}) = 25.24 \text{ kg}$. Por lo tanto $2044.2 \text{ litros de agua} / 25.24 = 80.99 \text{ litros de agua para producir un kg de tomate}$.

T2 (perlita más turba solución recirculada) = $(5.29 \text{ kg/m}^2 \text{ de tomate producido})(6.66 \text{ m}^2 \text{ de cada línea de cultivo}) = 35.23 \text{ kg}$. Por lo tanto $1728.15 \text{ litros de agua} / 35.23 = 40.05 \text{ litros de agua para producir un kg de tomate}$.

T1 (perlita más turba solución perdida) = $(5.11 \text{ kg/m}^2 \text{ de tomate producido})(6.66 \text{ m}^2 \text{ de cada línea de cultivo}) = 34.03 \text{ kg}$. Por lo tanto $2541.6 \text{ litros de agua} / 34.03 = 74.69 \text{ litros de agua para producir un kg de tomate}$.

Análisis de agua

De acuerdo con el análisis químico del agua realizada en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Cuadro 4.19), los totales de nutrimentos aportados por el agua mas la solución nutritiva ideal son los siguientes:

Cuadro 4.19. Composición química de agua de riego y la disolución nutritiva inicial en meq/L.

	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Cl	NH ₄	K	Ca	Mg	Na
Agua de riego	----	-----	2.02	4.0	1.2	----	----	0.9	4.9	1.6
Solución nutritiva	1.5	1.25	3.0	-----	----	1.5	6.7	6.5	5.0	----
Total	1.5	1.25	5.02	4.0	1.2	1.5	6.7	7.4	9.9	16

Diámetro ecuatorial del fruto de tomate

El análisis de varianza para diámetro ecuatorial del fruto, reportó alta significancia para tratamientos, esto indica que los tratamientos provocaron respuestas diferentes del tomate en estudio.

Cuadro 4.20. Análisis de varianza para diámetro ecuatorial del fruto de tomate. UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	11.522217	5.761108	8.5305**	0.001	4.88	3.11
Error	87	58.756104	0.675358				
Total	89	70.27					

C. V. = 14.90 %

Donde: ** altamente significativo, * significativo, NS no significativo

Al realizar la prueba de medias (Tukey), manejando un nivel de significancia al 0.05 para la variable diámetro ecuatorial de los frutos, se observó que los mejores tratamientos fueron T2 (perlita mas turba solución perdida) con 5.86, mientras que el T1 (perlita mas aserrín solución recirculada) presentó el valor más bajo con 5.02 cm (Cuadro 4.21). De acuerdo a los resultados obtenidos pudimos clasificar a los frutos de acuerdo con Aguilera, (1996) como medianos. El tamaño del fruto se asoció con la nutrición, dado que al recircularla se incrementó el contenido salino repercutiendo en el menor tamaño de frutos.

Cuadro 4.21. Comparación de medias (Tukey) para diámetro ecuatorial del fruto de tomate. UAAAN 2004.

Tratamientos	Media (cm)
T2 Perlita más turba solución recirculada	5.86 A
T3 Perlita más turba solución perdida	5.66 A
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	5.02 B

Nivel de significancia = 0.05

Diámetro polar del fruto de tomate

El análisis de varianza para diámetro polar del fruto arrojó alta significancia para tratamientos (Cuadro 4.22).

Cuadro 4.22. Análisis de varianza para variable de respuesta diámetro polar de fruto de tomate. UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.1	0.05
Tratamientos	2	3.905762	1.95881	6.7008**	0.002	4.88	3.11
Error	87	25.355347	0.291441				
Total	89	29.261108					

C. V. = 11.46 %

Donde: ** altamente significativo, * significativo, NS no significativo

Al realizar la prueba de medias (Tukey), manejando un nivel de significancia al 0.05 el diámetro polar fue estadísticamente igual en los tratamientos de T2 (perlita más turba solución recirculada) que presentó una media de 4.90 centímetros, y el tratamiento T3 (perlita más turba solución perdida) con una media de 4.81centímetros, quedando como último el T1 (perlita más aserrín solución recirculante) con una media de 4.42 centímetros (Cuadro 4.23). De acuerdo a los resultados podemos clasificar según Aguilera, (1996) a los frutos como medianos.

Cuadro 4.23. Comparación de medias (Tukey) del factor diámetro polar. UAAAN, 2004.

Tratamientos	Media (cm)
T2 Perlita más turba solución recirculada	4.90 A
T3 Perlita más turba solución perdida	4.81 A
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	4.42 B

Nivel de significancia = 0.05

Altura de planta de tomate al final del ciclo

Al realizar el análisis de varianza para altura de planta, no se encontró diferencia significativa entre tratamientos por lo que no se realizó prueba de comparación de medias.

Cuadro 4.24. Análisis de varianza para variable de respuesta altura de planta de tomate. UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	0.801331	0.400665	2.2405 NS	0.110	4.88	3.11
Error	87	15.558403	0.178832				
Total	89	16.359734					

C. V. = 38.36 %

Diámetro del tallo de tomate al final del ciclo

Al realizar el análisis de varianza para diámetro del tallo, no se encontró diferencia significativa entre tratamientos por lo que no se realizó prueba de comparación de medias (Cuadro 4.25).

Cuadro 4.25. Análisis de varianza para diámetro de tallo de tomate UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	0.230881	0.115440	2.6416 NS	0.075	4.88	3.11
Error	87	3.802010	0.043701				
Total	89	4.032890					

C. V. = 18.48 %

Peso fresco de planta de tomate al final del ciclo

El análisis de varianza para peso fresco reportó alta significancia para tratamientos (Cuadro 4.26).

Cuadro 4.26. Análisis de varianza para peso fresco de planta tomate UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	1.076479	0.538239	9.0163**	0.001	4.88	3.11
Error	87	5.193567	0.054696				
Total	89	6.270046					

C. V. = 43.97 %

Al realizar la prueba de medias (Tukey), manejando un nivel de significancia al 0.05 se encontró que el peso fresco de la planta fue estadísticamente igual para los tratamientos T3 (perlita más tuba solución perdida) con una media de 0.65 centímetros, y T2 (perlita más turba solución recirculada) con 0.62 centímetros, mientras que el peor tratamiento fue el T1 (perlita más aserrín solución recirculada) con un diámetro 0.40 centímetros (Cuadro 4.27).

Cuadro 4.27. Comparación de medias (Tukey) para peso fresco de planta de tomate. UAAAN 2004.

Tratamientos	Media (cm)
T3 Perlita más turba solución perdida	0.65 A
T2 Perlita más turba solución recirculada	0.62 A
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	0.40 B

Nivel de significancia = 0.05

Peso seco de planta de tomate al final del ciclo

El análisis de varianza para peso seco reportó alta significancia para tratamientos (Cuadro 4.28).

Cuadro 4.28. Análisis de varianza para peso seco de planta de tomate. UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	26875.125000	13437.562500	10.5881**	0.00	4.88	3.11
Error	87	110413.687500	1269.122803				
Total	89	137288.812500					

C. V. = 46.20 %

Al realizar la prueba de medias (Tukey 0.05) se encontró que el peso seco de las plantas de tomate fue estadísticamente igual para los tratamientos T3 (perlita más turba solución perdida) con media de 94.84 gramos, y T2 (perlita más turba solución recirculada) con media de 82.82 gramos, quedando como último el T1 (perlita más aserrín solución recirculada) con una media de 53.68 gramos (Cuadro 4.29).

Cuadro 4.29. Comparación de medias (Tukey) para peso seco de planta de tomate. UAAAN 2004.

Tratamientos	Media (g)
T3 Perlita más turba solución perdida	94.84 A
T2 Perlita más turba solución recirculada	82.82 A
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	53.68 B

Rendimiento de tomate por metro cuadrado

De acuerdo al análisis de varianza realizado para rendimiento por metro cuadrado, se encontró alta significancia para tratamientos (Cuadro 4.29).

Cuadro 4.30. Análisis de varianza para variable de respuesta rendimiento de tomate. UAAAN 2004.

F V	GL	SC	CM	F	P>F	FT	
						0.01	0.05
Tratamientos	2	20851.625000	10425.812500	12.67**	0.00	4.88	3.11
Error	87	71584.687500	822.812500				
Total	89	92436.312500					

C. V. = 29.14 %

Al realizar la prueba de medias (Tukey), manejando un nivel de significancia al 0.05 el rendimiento fue estadísticamente igual y más alto en los tratamientos T2 (perlita más turba solución recirculada) con un rendimiento de 5.29 kilogramos por metro cuadrado y T3 (perlita mas turba solución perdida) con rendimiento de 5.11 kilogramos por metro cuadrado, superando ambos tratamientos al T1 (perlita más aserrín solución recirculada) que presentó rendimiento medio de 3.79 kilogramos por metro cuadrado (Cuadro 4.31).

Cuadro 4.31. Comparación de medias (Tukey) del factor rendimiento de tomate. UAAAN 2004.

Tratamientos	Media (Kg / m ²)
T2 Perlita más turba solución recirculada	5.29 A
T3 Perlita más turba solución perdida	5.11 A
T1 Perlita más aserrín solución recirculada	3.79 B

Nivel de significancia = 0.05

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

El sustrato perlita más turba con solución recirculada, produjo los mayores diámetros ecuatoriales de fruto, mientras que perlita más turba a solución perdida y perlita más aserrín con solución recirculante, generaron los menores tamaños de tomate.

Los mayores diámetros polares de tomate los produjo perlita más turba con solución recirculada, superando a perlita más turba a solución perdida y a perlita más aserrín con solución recirculante.

No se encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta de tomate al final del ciclo y diámetro de tallo de tomate.

Se determinó que el tratamiento que produjo el mayor peso fresco de planta de tomate al final del ciclo fue perlita más turba a solución perdida, superando a perlita más turba con solución recirculada y a perlita más aserrín a solución perdida.

El mayor peso seco de planta de tomate lo produjo perlita más turba a solución perdida, superando a perlita más turba solución con recirculación y a perlita más aserrín con solución recirculante.

El mejor tratamiento en cuanto a rendimiento producido fue perlita más turba con solución recirculada, superando a perlita más turba a solución perdida y a perlita más aserrín con solución recirculada.

Los sistemas de solución recirculada presentan una menor inversión en fertilizantes que los sistemas de solución perdida, ya que cuestan \$2,660.00 / ha, mientras que los segundos tienen un costo de \$5,320.00/ha.

Los sistemas recirculados tienen un ahorro de líquido dosificado del 19 % sobre el sistema de solución perdida.

VI. RESUMEN

Se utilizó la variedad de tomate FLORA – DADE con hábito de crecimiento determinado, sus semillas se germinaron en invernadero utilizado para ello charolas en una cama flotante con solución nutritiva ideal para tomate al 50%, con la finalidad de generar las plántulas necesarias para el trasplante.

Las plántulas de tomate se establecieron en sacos que fueron fabricados de polietileno negro protegidos con un plástico blanco, con una capacidad de 30 litros y una longitud de 1 metro, se fabricaron 15 sacos, instalando 5 sacos con 6 plantas para cada tratamiento. El área donde se colocaron los sacos se niveló al 1% para evitar problemas de drenaje, los sacos se saturaron con solución nutritiva antes de transplantar. Se establecieron tres tratamientos: 1) perlita más aserrín solución recirculada 2) perlita más turba solución recirculada 3) perlita más turba solución perdida.

Para nutrir a las plantas se utilizó una solución hidropónica ideal para tomate la cual se suministró con un cabezal de riego, equipado con tres bombas de 1/3 HP para cada línea, el cual se controló con un timer. La eficiencia y el tiempo de riego se programó en base a los resultados del análisis de pH y CE.

Los parámetros evaluados fueron: diámetro polar y ecuatorial del fruto, altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de planta, peso seco de planta, rendimiento por metro cuadrado.

El sustrato perlita más turba con solución recirculada, produjo los mayores diámetros ecuatoriales de fruto, mientras que perlita más turba a solución

perdida y perlita más aserrín con solución recirculante, generaron los menores tamaños de tomate.

Los mayores diámetros polares de tomate los produjo perlita más turba con solución recirculada, superando a perlita más turba a solución perdida y a perlita más aserrín con solución recirculante.

No se encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta de tomate al final del ciclo y diámetro de tallo de tomate.

Se determinó que el tratamiento que produjo el mayor peso fresco de planta de tomate al final del ciclo fue perlita más turba a solución perdida, superando a perlita más turba con solución recirculada y a perlita más aserrín a solución perdida.

El mayor peso seco de planta de tomate lo produjo perlita más turba a solución perdida, superando a perlita más turba solución con recirculación y a perlita más aserrín con solución recirculante.

El mejor tratamiento en cuanto a rendimiento producido fue perlita más turba con solución recirculada, superando a perlita más turba a solución perdida y a perlita más aserrín con solución recirculada.

Los sistemas de solución recirculada presentan una menor inversión en fertilizantes que los sistemas de solución perdida, ya que cuestan \$2,660.00 / ha, mientras que los segundos tienen un costo de \$5,320.00/ha.

Los sistemas recirculantes tienen un ahorro de líquido dosificado del 19 % sobre el sistema de solución perdida.

VII. LITERATURA CITADA

- Abad, M., V. Noguera, M. D. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Horticulturae*.
- Agrios, N. G. 1985. Fitopatología. 1ª. Edición Limusa. México, D.F.
- Aguilera, C. J. 1996 Efecto de diferentes niveles de residuos celulósicos en calidad y rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coah. México.
- Alpini. A. 1999. Cultivos en invernadero. 3ª Edición. Mundi-prensa, Madrid, España
- Alvarado, R. B. 1988. El manejo integrado de plagas en el cultivo del tomate en Sinaloa. Boletín informativo de Campeche, México y el Dpto. de Entomología de la Universidad de California Riverside, E.U.A.
- Anderlini, R. 1979. El cultivo del tomate. 3ª. Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ASCE (American Society of Civil Engineers). 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. New York, New York.
- Bernat J. C., J. J. Andres y J. M. Ross. 1987. Invernaderos: construcción, manejo y rentabilidad. Ed. AEDOS.

- Bentley, M. 1987. Hydroponics. Plus. The Bentley System. 1^a. Edición. Editorial o Connors Printers. Sioux Falls, South Dakota.
- Bunt, A. C. 1991. The relationship of oxygen diffusion rate to the air-filled porosity of potting substrates. *Acta Horticulturae*
- Burgueño, C. H. 2001. Técnicas de producción de solanáceas en invernadero 1^{er} Simposio Nacional; técnicas modernas de producción de tomate, papa y otras solanáceas. UAAAN, Buenavista Saltillo, Coah. México.
- Carrillo, F. A., 1992. Efectos de distintos periodos de cobertura con tela de polipropileno sobre la incidencia de virosis y rendimiento del chile en Sinaloa. XIX Congreso Nacional de Fitopatología, SOMEFI, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cásseres, E. 1981. Producción de hortalizas. 3^a. Edición. Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Coleman, W. K; Greyson, R.I, 1976. The growth and development of the leaf in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Leaf ontogeny. *Can. J. Bot.*
- Durany, U. C. 1973. Hidroponía, Cultivo de Plantas sin Tierra. Editorial Sintet, S. A. España.
- Ellis, C. M. W. Swaney. 1963. Soilless Growth of Plants. Fifth Printing, Reinhold Corporation, U.S.A.
- Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería España.
- Flores. I. R. 1980. Cultivo del tomate. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León, México.

Gardner, P. F., R. B. Pearce y R. L. Mihtchel. 1990. Phisiology of Crop Plants. Second Printing. Iowa State University Press. Iowa, USA.

Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba.

Harris, D. 1977. Hydroponics: The Gardening Without Soil. 5^a. Edición. Editorial Purnell and Sons (S. A.). South Africa.

Jensen, M. H. And Collins W. L. 1996. Hidriponic Vegetable Production. In Horticultural Reviews. Volume 7. Ed. J. Janick. Tha AVI publishing.

Lamaire, F., A. Dartigues and L. M. Riviere. 1985. properties of substrate made with epent mushroom com-post. Acta Horitculturae.

Lara, H.A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía.

León G. H. M. y Arosemena D. M. 1980 El Cultivo del Tomate en el Valle de Culiacán para Consumo Fresco. INIA. Culiacán, Sinaloa, México.

Morato, J.V. 1992. Horticultura herbácea especial aplicación. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

Nelson W.R., J. Van staden 1984. The effect. Of seaweed concentrate on wheat culm. J. Physiol.

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.

- Os, E.A. Van.1995. Engineering and Environmental Aspects of Soilless Growing Systems. *Acta Horticulturae*.
- Ortega, A.I. 1991 Mosquita blanca (homoptera: Aleryrodidae) vectores de virus en hortalizas, plagas de hortalizas y manejo en México. Centro de Entomología y Acarologia. Colegio de Postgraduados y Soc. Méx. Entomol. Chapingo, México.
- Penningsfeld F., P. Kurzmann P. 1975. cultivos hidropónicos y en turba Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.
- Picken, A. J., F; Stewart, K; Klapwijk, D. 1986 Germans and vegetative development. The tomato crop chapman; New York, E.U.A.
- Raviv, M.; R. Reuveni.; A. Krasnovsky.; Sh. Medina. 1995. Recirculation of rose drainage water under semi-arid conditions. *Acta Horticulturae* 401, 427-433.
- Resh, H. M. 1987. Cultivos Hidropónicos. 2^a . Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- SAGARPA, 2002 Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Volumen 1. Centro de Estadísticas Agropecuarias. D. F. México.
- Sánchez Del C. F., 2001. Producción de hortalizas basada en doseles escaleriformes. Sexto symposium internacional de fertirriego. Morelia Michoacán.

Sánchez del C. F. y E. Escalante R. 1989 Hidroponía. Un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.

Serrano. C. Z. 1989. Cultivo de hortalizas en invernadero. Edición. Aedos. Imprenta Juvenil S.A. Barcelona, España.

Urrestarazu. G. M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España

Valadéz, L. A. 1993. Producción de hortalizas. 4^a. Edición, Editorial Limusa. México, D.F.

Verkerk, k. 1975. Temperatura, Light and the tomato mensa andbouw hogesschool wageningen.

Paginas web

<http://www.biofertilizer.com/turba.htm>

<http://www.infoagro.com/abonos/docs/9803-3.asp>

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos3.asp