



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

EN DOSELES ESCALERIFORMES COMPARANDO TRES

SUSTRATOS Y DOS INTERVALOS DE RIEGO

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

QUIRINO HERNÁNDEZ SANTIAGO

Chapingo, México. Diciembre de 2003



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

**PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN
DOSELES ESCALERIFORMES COMPARANDO TRES SUSTRATOS Y DOS
INTERVALOS DE RIEGO**

Tesis realizada por Quirino Hernández Santiago, bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____



Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR: _____



Dr. Aureliano Peña Lomelí

ASESOR: _____



MC. Domingo Montalvo Hernández

Chapingo, México. Diciembre de 2003.

DEDICATORIA

A mis padres Medardo Hernández Morales y Lambertina Santiago Cruz por el apoyo incondicional y por sus sabios consejos que han logrado ser un estímulo en mi formación personal y profesional.

A mis hermanas Dora Alicia Hernández Santiago, Isabel Hernández Santiago, Magdalena Hernández Santiago por el apoyo y la confianza que siempre me han brindado.

A mis hermanos Ambrosio Hernández Santiago, Fabio Hernández Santiago por ese apoyo que me han brindado durante mucho tiempo lo cual nos lleva a que sigamos siempre unidos.

A mi esposa Berenice García Juárez y a mi hijo que ahora también son fuente de estímulo para mi superación personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al departamento de fitotecnia por contribuir a mi desarrollo humano y a mi formación profesional.

A CONACYT por haberme brindado el apoyo económico para poder realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez Del Castillo por ese apoyo incondicional para el desarrollo de ésta investigación y sobre todo por esa calidad humana que lo lleva a compartir sus conocimientos.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por haber colaborado de manera muy humanista y así mismo por su valioso tiempo invertido en la revisión de esta investigación.

Al M.C. Domingo Montalvo Hernández por su valioso asesoramiento y participación en la revisión de esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Esta tesis fue realizada por Quirino Hernández Santiago, originario de Tantoyuca Veracruz, donde nació el 30 de marzo de 1971; realizó estudios de Educación Superior en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz lugar donde cursó la Carrera de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia de la cual egresó en el año 2000.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	7
1.2. Hipótesis	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1. Origen del jitomate	9
2.2. Clasificación Taxonómica	9
2.3. Importancia del jitomate	10
2.4. Hidroponía	10
2.5. Invernaderos	12
2.6. Factores que influyen en la fotosíntesis	12
2.7. Estructura del dosel e intercepción de la luz	15
2.8. Eficiencia en el uso del agua	19
2.9. Necesidades hídricas	21
2.9.1. Riego	22
2.9.2. Necesidades hídricas y respuesta al riego	24
2.10. Características de los sustratos	25
2.11. Características físicas de los sustratos	27

2.11.1. Propiedades físicas	27
2.12.2. Espacio poroso total	27
2.12.3. Agua fácilmente disponible	28
2.12.4. Agua de reserva	28
2.12.5. Capacidad de aireación	29
2.12.6. Distribución del tamaño de las partículas ó granulometría	29
2.12.7. Densidad aparente	30
2.12.8. Mojabilidad	30
2.13. Características químicas de los sustratos	31
2.13.1. Capacidad de intercambio catiónico	32
2.13.2. Disponibilidad de nutrientes	33
2.13.3. Salinidad	34
2.13.4. pH	34
2.13.5. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	35
2.14. Otras propiedades	36
2.15. Perlita o agrolita	36
2.16. Tezontle	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Ubicación del experimento	40
3.2. Material vegetal	40
3.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental	41
3.4. Variables estudiadas	44
3.4.1. Variables morfológicas	44
3.4.2. Variables de rendimiento	45

3.5. comparación general de los tratamientos	46
3.6. Manejo del cultivo	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Análisis estadístico por tratamientos	52
4.1.1. Caracteres morfológicos	52
4.1.2. Rendimiento y sus componentes	55
4.2. Análisis estadístico considerando la ubicación o nivel de cada hilera de plantas de jitomate establecidas es dosel escaleriforme	57
4.2.1. Caracteres morfológicos	57
4.2.2. Rendimiento y sus componentes	60
V. CONCLUSIONES	63
VI. LITERATURA CITADA	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Dosis de riego en función del porcentaje de evapotranspiración del cultivo y su efecto en rendimiento y calidad de fruto.	25
Cuadro 2. Nutrientes, concentraciones y fertilizantes usados en la preparación de la solución nutritiva para jitomate en hidroponía.	48
3. Cuadrados medios para los caracteres morfológicos altura de planta, diámetro de tallo y área foliar para riegos y sustratos, medido a los 86 dds en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	52
Cuadro 4. Comparación de medias para las variables diámetro de tallo, altura de planta y área foliar para el factor riegos, medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	53
Cuadro 5. Comparación de medias para las variables morfológicas diámetro de tallo, altura de planta y área foliar por planta, en función de tres tipos sustratos, medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	54
Cuadro 6. Cuadrados medios para los componentes del rendimiento para riegos y sustratos en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	55

Cuadro 7. Comparación de medias de los componentes de rendimiento para el factor riego en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	56
Cuadro 8. Comparación de medias para el rendimiento y sus componentes con relación a sustratos en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	57
Cuadro 9. Cuadrados medios para las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo y área foliar por planta medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	58
Cuadro 10. Comparación de medias para los caracteres morfológicos altura de planta, diámetro de tallo y área foliar en las distintas hileras de plantas de jitomate en dosel escaleriforme en doseles escaleriformes.	60
Cuadro 11. Comparación de cuadrados medios para las variables rendimiento por planta, número de frutos, rendimiento por planta, peso medio de fruto y diámetro de fruto.	60
12. Comparación de medias para las variables rendimiento por planta, número de frutos, peso medio de fruto y diámetro de fruto.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Contenedores en los que se establecieron los tratamientos para la producción de jitomate en doseles escaleriformes.	42
Figura 2. Distribución de los tratamientos en cada repetición en el estudio de tres sustratos y dos intervalos de riego en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.	43

RESUMEN

En la Universidad Autónoma Chapingo se trabaja una línea de investigación encaminada a desarrollar un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (escaleriformes); el presente trabajo es parte de esa línea y su objetivo fue evaluar el efecto de tres diferentes sustratos (arena de tezontle rojo, agrolita y una mezcla de los dos anteriores 50:50 en base a volumen) en combinación con dos intervalos de riego (dos y cuatro riegos por día) en algunos caracteres morfológicos y en el rendimiento por planta y sus componentes primarios en el cultivar Gironda. El experimento se realizó bajo un diseño en parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde en parcelas grandes se ubicaron los intervalos de riego y en las subparcelas los sustratos. La unidad experimental fue de tres hileras de plantas ubicadas a distinta altura (40 cm entre hileras contiguas) en contenedores de 10 cm de ancho y 40 cm de profundidad. La distancia horizontal entre hileras contiguas fue de 10 cm y la distancia entre plantas de 16.6 cm. Las plantas fueron podadas a un tallo y despuntadas tempranamente para cosecharles sólo tres racimos. Las plantas en arena de tezontle rindieron significativamente más que las cultivadas con agrolita (1728 vs 1212 g) y ello se debió principalmente a un mayor peso por fruto en el primer caso (123 vs 92 g). La distribución de la solución nutritiva en cuatro riegos al día produjo un mayor rendimiento por planta que en dos riegos (1668 vs 1394 g). Las plantas ubicadas en la hilera superior rindieron significativamente más, tuvieron más frutos y de mayor peso que las plantas ubicadas en las hileras intermedia e inferior, lo que indica un cierto grado de sombreado a pesar del arreglo escaleriforme. El rendimiento de las plantas obtenido en arena de tezontle en la densidad de 20 plantas/m² equivale a 340 t·ha⁻¹ en un periodo de tres meses, por lo que este sistema de producción es muy promisorio.

Palabras clave: dosel escaleriforme, despunte, hidroponía, sustratos.

ABSTRACT

At the *Universidad Autónoma Chapingo* there is a line of research that is oriented toward developing a system of soilless, greenhouse tomato production based on the formation of canopies in stairway form. The present research is part of that line and its objective was to evaluate the effect of three different substrates (sand from a red volcanic ash called *tezontle*, perlite, and a 50/50 mixture of both of these, based on volume), in combination with two irrigation intervals (two or four irrigations per day), on some morphological characteristics and on yield per plant and its primary components in *Gironda* cultivation. The experiment was carried out under a split plot design with four replications, in which the two irrigation intervals were located in the large plots and the three substrates in the subplots. The experimental unit was made up of sets of three rows of plants located at different heights (with 40 cm difference among contiguous rows) in containers 10 cm wide and 40 cm deep, filled with substrate. The horizontal distance among contiguous rows was 10 cm and the distance among plants was 16.6 cm. The plants were pruned to leave one stem and were stopped early in the crop cycle to harvest only three clusters per plant. The plants in *tezontle* yielded significantly more than those cultivated in perlite (1728 g vs. 1212 g) and this was mainly due to the greater fruit weight in the first case (123 g vs. 92 g). the distribution of the nutrient solution applied in four irrigations per day produced a higher plant yield than in two irrigations (1668 g vs. 1394 g). The plants located in the superior row yielded significantly more, had more fruit and greater fruit weight than the plants located in intermediate and inferior rows, which indicates a certain degree of shade on these rows, in spite of the stair form arrangement. The yield of the plants obtained in *tezontle* sand, in a density of 20 plants/m² is equivalent to 340 t·ha⁻¹ in a period of only three months from transplanting to end of harvest, for which this production system based on stair form canopies looks promising.

Key words: stair form canopies, stopping, soilless culture, substrates

I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en México muestra un crecimiento reducido, tanto en cantidad como en calidad. Esto se debe a varios factores, entre los cuales se puede mencionar que una gran parte de su territorio presenta limitaciones para incorporarse a la producción agrícola, ya que en su mayoría es demasiado montañoso o muy delgado como producto de la erosión. En los trópicos los suelos presentan problemas de acidez, mientras que en zonas áridas irrigadas se presentan problemas de salinidad. El 80% de la superficie de cultivo es de temporal, que generalmente es errático e insuficiente, lo que ocasiona que la obtención de cosechas sea difícil y con rendimientos por superficie muy bajos (Valdez, 1995).

A todo lo anterior se agrega, en la mayor parte del norte y centro del País, un régimen de lluvias tardías combinadas con heladas tempranas, lo que limita el calendario agrícola y las especies que pueden cultivarse. Por ende el reto es generar tecnología adecuada a las condiciones señaladas y que sea factible de llevarse a la práctica por los productores del país (Valdez, 1995).

El uso de invernaderos en conjunción con el sistema hidropónico permite reducir al mínimo las restricciones de clima, agua y nutrientes, logrando un eficiente control de plagas, enfermedades y maleza. Por ello, es importante la búsqueda de arquetipos que, en altas densidades de población, tengan gran potencial de rendimiento por unidad de superficie en ese ambiente no

restrictivo. Debido a la fuerte inversión que requiere la instalación y operación de éstos 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).

En México el jitomate es la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada. Esta hortaliza se le 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. Se cuenta con cultivares altamente rendidores, por lo que es la especie que más se cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo (SAGARPA, 2002).

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha definido una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponia que consiste en manejar altas densidades de población de plantas para dejar uno, dos o tres racimos por planta, además la eliminación mecánica de todos los brotes laterales que surgen de las axilas de las hojas de las plantas antes y después del despunte, con el único propósito de establecer altas densidades de población. Así, mediante prácticas de manejo se ha logrado un arquetipo de jitomate que, a diferencia de las plantas bajo sistemas convencionales (bajas densidades de población y varios racimos por

planta), incorpora varias características adecuadas para el logro de altos rendimientos en un ambiente no restrictivo, invernadero y condiciones hidropónicas (Cancino *et al.*, 1990.; Sánchez y Corona, 1994 ; Sánchez y Ponce, 1998). La principal ventaja de estos sistemas de despuntes tempranos y altas densidades es la obtención de cosechas muy concentradas (menos de un mes contra más de cuatro meses en los sistemas convencionales) y, por lo tanto, se pueden programar para las ventanas en donde estadísticamente se obtienen los precios más altos del año en el mercado, logrando mejor precio de venta y niveles más altos de rentabilidad económica (Sánchez, 2001).

A pesar del éxito de estos "Paquetes tecnológicos", existen todavía limitaciones que podrían superarse para incrementar aún más los rendimientos de fruto por unidad de superficie por año. Por ejemplo, cuando se manejan plantas a dos o tres racimos, se manejan de cuatro a cinco hileras de plantas por tina y se ha observado que las hileras de plantas que se ubican a lo largo del centro de las tinajas de cultivo rinden de 20 a 30 % menos que las ubicadas en las hileras exteriores, lo que se debe a una menor cantidad de radiación interceptada por planta, debido al sombreado ocasionado por las plantas de las hileras exteriores, las cuales están mejor iluminadas por los espacios de los pasillos (Ucán, 1999).

Según Gardner *et al.* (1990), si se mejora la distribución de la radiación solar en todo el dosel (distribución más equitativa entre las hojas que lo conforman) se podría lograr una mayor producción de materia seca por día y, por lo tanto,

un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo; para una misma irradiancia diaria se produce más biomasa en aquellos doseles en que la radiación incidente se distribuye más uniformemente entre todas las hojas; es decir, hay mayor producción con la mayoría de las hojas medianamente iluminadas que con la mitad de las hojas muy iluminadas y la otra mitad muy sombreadas.

Basándose en la flexibilidad de manejo de las plantas de jitomate y en la ubicación y movimientos diarios y estacionales del sol, Vázquez y Sánchez (2000) proponen buscar formas y disposiciones de plantas que mejoren la distribución de radiación solar (directa y difusa) en cada una de las hojas del dosel, permitiendo un incremento en la tasa de asimilación neta (gramos de materia seca producida por cada metro cuadrado de hoja por día), que se refleje en una mayor producción de biomasa por unidad de superficie por día. De esta manera, se podría obtener más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin detrimento significativo del número de frutos por racimo ni del peso medio de los frutos, con el cual se incrementaría el rendimiento y la productividad anual.

Méndez (2002), con la idea de mantener la ventaja de concentrar la cosecha en las ventanas donde el precio del producto es mayor, evaluó un sistema escaleriforme basado en plantas de la misma edad y nivel de despunte (tres racimos por planta), pero con hileras de plantas colocadas en tinas a distintos niveles (formando cuatro escalones) con orientación este-oeste. La diferencia

de altura entre escalones fue de 30 cm; la distancia entre pasillos fue de 70 cm. Utilizó el cultivar Pick Ripe de hábito semideterminado, encontrando que la diferencia en altura entre escalones fue suficiente para evitar el sombreamiento entre hileras de plantas, pues las plantas despuntadas a tres racimos no sobrepasaron los 50 cm. Obtuvo que el rendimiento por unidad de superficie fue estadísticamente superior a los testigos con doseles uniformes, superando los 25 kg m^{-2} , lo cual representa un avance importante en el paquete tecnológico desarrollado, pues al permitir concentrar una alta producción en un periodo de tiempo muy corto, es posible programar la cosecha en las ventanas de mercado donde los precios son altos, maximizando las ganancias de los productores.

No obstante lo anterior, existe el problema que los cultivares que actualmente tienen preferencia en el mercado selecto de los productos de invernadero, por el tamaño y la calidad de los frutos que producen (y que reflejan en el costo unitario), son los de tipo bola de hábito indeterminado y de alto costo (Gironda, Attention, Gabriela, Alcudia, Trust, etc.). Estos cultivares despuntados a tres racimos alcanzan alturas de 80 cm a más de 1 m (Regalado, 2002) lo que dificulta su manejo en sistemas escaleriformes como el propuesto por Méndez (2002), pues con 30 cm de diferencia de altura entre tina y tina, una buena parte del follaje de cada hilera se sombrearía, perdiéndose en gran medida el beneficio que supuestamente aporta este sistema. Una forma de atacar este problema sería incrementar la diferencia de altura entre tinajas de 30 cm a unos 70 cm, lo cual ocasionaría un encarecimiento del sistema por los soportes de las tinajas y la mayor altura que se necesitaría para el invernadero; se tendría una

mayor dificultad de operar, pues las plantas en el nivel superior llegaría a mas de 3 m de altura y hacia el invierno proyectaría una banda de sombra mas ancha, lo que afectaría las tinajas del nivel inferior después del espacio dejado por los pasillos.

Las técnicas culturales aplicadas en la producción de plantas y hortalizas han experimentado cambios rápidos y notables durante las tres últimas décadas. La utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas sencillos de control climático, equipos de riego y fertilización automatizados, se ha difundido ampliamente, con el fin de ofrecer nuevos productos, aumentar la productividad de los cultivos e incrementar la calidad de las cosechas. Unido a estos cambios tecnológicos, se viene produciendo una sustitución gradual del cultivo tradicional en el suelo por el cultivo fuera del suelo (Jensen y Collins, 1996).

El riego localizado presenta numerosas ventajas con respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y el ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema de riego se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. Es decir, que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y una agua de riego determinados para unas condiciones ambientales definidas. Por consiguiente, el impacto del sistema de fertirrigación es hoy por hoy el método mas racional para realizar una fertilización optimizada y respetando el medio ambiente dentro de la denominada Agricultura

Sostenible (Cadahía, 2000). Para lograr las ventajas de la fertirrigación es necesario manejar en forma integral el cultivo, sustrato, agua, nutrición y labores culturales, entre otros factores de la producción. El manejo racional de la nutrición de los cultivos exige un dominio de los principios fisiológicos y edáficos de la nutrición y de los aspectos relativos de los sistemas de producción (Wolf, 1997).

Actualmente en la Universidad Autónoma Chapingo se está trabajando en investigación con la meta de desarrollar un sistema o paquete tecnológico de producción de jitomate basado en la formación de doseles escaleriformes (Jorge, 1999; Vázquez 2000, Méndez 2002). En el presente trabajo se busca contribuir al desarrollo de este sistema mediante la evaluación de diferentes sustratos que pudieran ser apropiados para su manejo en tinas a distinta altura y mediante la evaluación del efecto de diferentes intervalos de riego sobre el rendimiento del cultivo.

1.1. Objetivo

Evaluar el efecto de tres sustratos (Arena de tezontle rojo, Agrolita y una mezcla de ambas) y dos intervalos de riego (2 y 4 riegos por día) sobre el rendimiento por unidad de superficie de plantas de jitomate cultivar Gironda despuntadas a tres racimos y manejadas en hileras a distinta altura y en orientación este-oeste, formando doseles en forma de escalera.

1.2. Hipótesis

El uso de la arena de tezontle como sustrato proporciona el mismo rendimiento que la agrolita, aún en condiciones de poco volumen de sustrato por planta, siempre y cuando se manejen riegos frecuentes.

Los intervalos de riego más cortos proporcionan un mayor rendimiento por unidad de superficie bajo condiciones de poco volumen de sustrato por planta, independientemente del sustrato que se maneje.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del jitomate

El jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) se produce en las regiones tropicales de América del Sur y montañas de los andes. En Perú, Bolivia, Ecuador y México se encuentran en estado natural las variedades de las cuales procede el jitomate cultivado (Guenkov, 1974). Picken *et al.* 1986. Señalan que probablemente el jitomate sea originario de la costa oeste seca de Sudamérica tropical; consecuentemente, aunque puede crecer bajo un amplio rango de condiciones no es tolerante al frío ni a condiciones de exceso de humedad en el suelo.

2.2. Clasificación Taxonómica

La clasificación taxonómica según Nuez (1995) es la siguiente:

Clase:	<i>Dicotyledoneas</i>
Orden:	Solanales (Personatae).
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia:	<i>Solanoideae</i>
Tribu:	<i>Solaneae</i>
Género:	<i>Lycopersicon</i>
Especie:	<i>Esculentum</i>

2.3. Importancia del jitomate

En nuestro país, la preferencia por el consumo por el jitomate en fresco es predominante; además es utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsas, puré, jugos, etc. Renglones que han cobrado importancia en los últimos años gracias a los avances tecnológicos logrados para su procesamiento, así como los gustos y costumbres de las nuevas generaciones. Esta generación conlleva a mayores exigencias en la calidad para su distribución y venta en fresco, que a su vez determina renovados nichos y condiciones de mercado (ASERCA, 1998).

El cultivo de jitomate actualmente tiene una enorme importancia a nivel mundial, ya que es la hortaliza mas extensamente cultivada después de la papa. Comercialmente se producen 68.8 millones de toneladas métricas de jitomate en 2.58 millones de hectáreas (Villareal, 1989). En México se encuentra dentro de las primeras cuatro hortalizas mas importantes, debido a la superficie cultivada y a las divisas que genera por concepto de las exportaciones principalmente a los estados unidos (SAGARPA, 2000).

2.4. Hidroponía

Sánchez y Escalante (1989) definen a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en el agua y en el que, en vez de

suelo, se 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 más adecuadas para el desarrollo vegetal.

Jensen (1999), menciona que la hidroponia es una tecnología para producir planta 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, un medio sólido inerte da apoyo a las plantas. Entre los más comunes destacan la arena, la grava, la vermiculita, la turba de musgo o cualquier otro material típico de la región que permite 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 referente a los cultivos hidropónicos realizados en todo el mundo; en la mayoría de los casos se señalan más altos rendimientos en promedio (100 a 400 toneladas por hectárea por año) y más calidad cuando se les compara con los sistemas convencionales de cultivo en suelo (20 a 30 toneladas por hectárea por cosecha y con mucho más riego). Esto constituye un atractivo comercial

para agricultores con poca extensión de terreno, con poco agua o con serias limitantes del suelo (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; Resh, 2001).

2.5. Invernaderos

Mutschler *et al.*, 1992. 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 jitomate recomendadas para el cultivo al aire libre, otras para cultivos protegidos y, en algunos casos, 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 tales como baja luminosidad y frío o calor en sus efectos negativos sobre el cuajado. En este sentido se han impuesto los híbridos F_1 por su aptitud para cuajar en condiciones difíciles. Bajo invernadero a menudo la temperatura y luminosidad están por debajo del óptimo.

2.6. Factores que influyen en la fotosíntesis

El agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2), luz, nutrimentos y temperatura son los principales factores que afectan la fotosíntesis, así como la edad de la hoja (Salisbury, 1994).

Cuando el potencial hídrico se torna muy negativo (esto es, cuando el agua se constituye un factor limitante), de inmediato se retarda la expansión celular, por lo que el crecimiento disminuye. Con solo un poco mas de estrés hídrico, los estomas empiezan a cerrarse y la captación de CO_2 se restringe. Así, la fotosíntesis es limitada por el agua a causa del retardo en la expansión foliar y la restricción en la captación de CO_2 (Salisbury, 1994).

El CO_2 es la fuente del carbono para el alimento primario de la planta, a partir del cual se sintetizan los demás compuestos. El contenido de CO_2 en la atmósfera es de 0.03% y si bien casi siempre el factor limitante es otro. Si hay casos en que la fotosíntesis se ve limitada por la cantidad de CO_2 a su disposición; esto sucede cuando hay una población del cultivo muy densa, y el aire está muy quieto como suele suceder en plantas bajo invernadero (Raúl, 1998).

La máxima fijación de CO_2 se presenta hacia el mediodía, cuando la irradiancia esta en el punto mas elevado. El hecho de que la luz muchas veces limita la fotosíntesis también se demuestra por la disminución en las tasas de fijación de CO_2 cuando las plantas se exponen a sombras de corta duración por nubes.

El adecuado abastecimiento de nutrimentos minerales permite que tanto las hojas viejas como las nuevas, satisfagan sus requerimientos nutrimentales; sin embargo, si los nutrimentos son limitados éstos se distribuyen preferencialmente entre las hojas jóvenes, reduciendo la tasa de fotosíntesis en

las hojas viejas. Incluso, se sabe que cuando hay deficiencias de nutrimentos como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, estos son translocados de las hojas viejas a las nuevas causando que senescan mas rápido. Otros nutrimentos que son poco móviles, como el calcio y el fierro pueden reducir la fotosíntesis en las hojas jóvenes al no translocarse adecuadamente. La reducción de la tasa de fotosíntesis en condiciones de bajos niveles de nutrimentos es debida principalmente a la afectación del aparato fotosintético. Por ejemplo, la clorofila contiene tanto nitrógeno como magnesio; si estos son limitantes, se disminuye la síntesis de clorofila, así mismo, nutrimentos como el fierro son precursores para la formación de este pigmento por lo que su deficiencia también afectará su síntesis (Azcon-Bieto y Talón, 1993).

Salisbury, (1994), establece que el efecto de la temperatura sobre la fotosíntesis depende de la especie, las condiciones ambientales en que ha crecido la planta y las condiciones ambientales imperantes durante la medición (Grimstad, 1995), indica que la temperatura es un factor importante en la fotosíntesis, pues si bien en la parte fotoquímica no tiene efecto, si lo tiene y grande en la reacción oscura así como en la movilización de los azúcares, y no debe olvidarse que la falta de remoción del producto o uso, trae consigo la detención de la reacción. En general, el mínimo para la fotosíntesis se encuentra 0° C, el optimo a 40° C y el máximo a 50° C. en realidad, al ir elevando la temperatura, el optimo se encuentra a 40° C, pero si se mantiene esta temperatura largo tiempo, decrece la producción de fotosintetizado, de

modo que el óptimo real, que se sostiene indefinidamente, se encuentra de 26 a 30° C.

A medida que las hojas crecen, su capacidad para fotosintetizar se incrementa hasta que se desarrollan por completo; entonces esta capacidad empieza a disminuir con lentitud. Las hojas viejas, senescentes, terminan por tornarse amarillas e incapaces de fotosintetizar a causa de la degradación de la clorofila y la pérdida de cloroplastos funcionales, sin embargo, aun hojas aparentemente saludables de coníferas, que persisten por muchos años, suelen presentar una disminución gradual en sus tasas fotosintéticas en veranos sucesivos. Diversos factores controlan la fotosíntesis durante el desarrollo de la hoja (Sestak, 1981).

2.7. Estructura del dosel e intercepción de la luz

Las modificaciones de la estructura del dosel, con su influencia sobre la intercepción de radiación, mejoran notablemente los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, cuando se analiza la fotosíntesis a nivel del dosel, surge el problema de la gran diversidad que existe entre varios tipos de vegetación. Cada comunidad vegetal tiene su patrón espacial característico para exponer superficies fotosintéticas, y por lo tanto para interceptar fotones en las longitudes de onda de 400 a 700 nm). La presencia de muchos estratos de hojas y la disponibilidad y dirección del flujo de fotones que cambia directamente complican el análisis. Por lo tanto, aun las descripciones aproximadas de la intercepción de radiación dentro de las poblaciones

regulares monocultivos, implican cálculos basados en muchos supuestos (Warren Wilson *et al.*, 1992).

Los cultivos a escala de población o comunidad, interceptan tanto la radiación directa como la radiación difusa. Las hojas superiores reciben ambos tipos de radiación mientras que las hojas en el interior del dosel reciben una porción bastante menor de radiación directa. La radiación indirecta se vuelve dominante debido a la radiación transmitida a través de las hojas y reflejada de las superficies de las hojas y del suelo. Tanto la cantidad como la calidad de la radiación cambian con la profundidad en el dosel debido a que la radiación transmitida y reflejada por las hojas es predominantemente infrarroja. Dado que las plantas absorben energía principalmente entre los 400 y 700 nm, las longitudes de onda más largas se tornan más prominentes en los estratos inferiores del dosel (Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Nederhoff, 1984, menciona que la fotosíntesis de un cultivo no solo depende de la distribución del flujo fotonico entre los estratos, sino también de la cantidad total de fotones absorbidos por el dosel. La absorción depende del ángulo de la hoja, la elevación del sol con respecto al horizonte. En consecuencia debemos centrar más nuestra atención en la distribución de las hojas en el espacio que en relación a la superficie del suelo.

Syvertsen (1984), menciona que la razón principal de las diferencias en las respuestas lumínicas de las hojas individuales y plantas completas o grupos de

plantas es que las hojas de la porción superior absorben gran parte de la radiación incidente, dejando poca para las hojas inferiores. La exposición a una mayor irradiancia puede saturar las hojas de arriba, pero en este caso más radiación se transmite y refleja hacia las hojas de abajo, las cuales no están saturadas. Como resultado, es probable que las plantas individuales, cultivos o bosques como un todo rara vez reciban luz suficiente para maximizar la tasa fotosintética.

Según Gardner *et al.* (1990) la fotosíntesis de la hoja es más eficiente a bajos niveles de radiación. Por lo general las hojas expuestas a la radiación solar directa se encuentran arriba de su punto de saturación por luz. Teóricamente un dosel podría ser más eficiente si la radiación estuviera distribuida mas homogéneamente entre todas las hojas. En un dosel planofilo y en ausencia de otros factores limitantes, las hojas de arriba realizan fotosíntesis máxima por estar saturadas por luz, mientras que las de abajo tienen una fotosíntesis reducida debido al sombreamiento, esto limita el aumento de la fotosíntesis total del dosel.

Pendleton *et al.* (1968), mencionan que las hojas pueden variar en los distintos estratos del dosel. Los doseles con las hojas verticalmente inclinadas en la parte superior del dosel y que gradualmente van siendo más horizontales hacia el interior del mismo se han considerado como los follajes mejor arreglados para la máxima fotosíntesis del dosel, sobre todo con índices de área foliar elevados.

Nobel (1983), menciona que en contraste con la inclinación de la hoja, la orientación o azimut de la hoja (el ángulo que forma con el norte, contado en el sentido de las manecillas del reloj, la proyección horizontal al eje foliar), en casi todos los doseles es aleatorio y ha recibido menos atención. Sin embargo la orientación es importante para determinar la intercepción del flujo cuántico de fotones. La orientación de las hojas se puede determinar con fotografías tomadas desde la base del dosel con un lente “ojo de pez” o simplemente con una brújula. Algunas hojas alteran su orientación durante el día siguiendo al sol o con movimientos nactinásticos siendo esto notable en ciertas especies de las familias Malvaceae y Papilionaceae (Coombs, *et al.*, 1998).

Gardner *et al.* (1990), indica que generalmente los estudios de intercepción de la radiación solar asume que las plantas están uniformemente distribuidas en el terreno y que sus hojas están distribuidas homogéneamente en el dosel. Sin embargo, cuando se manejan cultivos agrícolas muy rara vez las plántulas se siembran en hileras discretas. Entre mayor es el espacio dejado entre hileras se tiende a una mayor distancia entre plantas en una misma hilera para mantener la misma densidad por unidad de superficie. El principal objetivo con miras al logro de altos rendimientos por unidad de superficie es interceptar tanta radiación solar como sea posible y la distribución homogénea de plantas es la que da la más temprana y máxima intercepción de luz. Conforme las hileras se separan más y el espacio de plantas en la misma hilera se vuelve menor la competencia interplantas ocurre mas temprano. La altura de las plantas afecta la densidad optima. La densidad debe aumentar y la distancia entre hileras

debe disminuir en plantas de poca altura para una intercepción óptima de la radiación fotosintéticamente activa y alcanzar así el potencial de rendimiento del cultivo.

2.8. Eficiencia en el uso del agua

El funcionamiento de un cultivo depende de la medida en que los diversos factores limitantes afecten al mismo. El agua es uno de los más importantes factores limitantes del desarrollo vegetal, determina en gran medida el rendimiento económico de los cultivos. El nivel productivo, depende en primer lugar de la forma en que queden cubiertas las necesidades de agua de dichos cultivos en cada una de las fases de su desarrollo y muy en especial, en aquellos periodos considerados como críticos por su influencia en el desarrollo subsiguiente del cultivo y que son específicos de cada especie (ahijamiento, brotación, yemas florales, floración, cuajado, maduración, etc.). Se comprende por tanto, la importancia económica del suministro de agua mediante la aplicación a través de la práctica de riego. Cada día el agua es más escasa y los riegos ya no siguen una pauta según las necesidades de riego. Por lo que en muchas zonas de riego, si requieren mantenerse, tendrán que adoptar técnicas de mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Cada vez se busca la mayor eficiencia de utilización del agua, y para conseguir este objetivo es absolutamente necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos, así como también las características del suelo o sustrato. Las técnicas modernas de determinación de las necesidades hídricas de los cultivos por un

lado y la correcta aplicación y programación de los riegos, de acuerdo a las condiciones del suelo o sustrato, permiten aumentar la productividad del agua en un 40-50 % o más (Domínguez, 1993).

Se entiende por eficiencia el porcentaje de agua que aprovecha la planta del total suministrado. En el riego tradicional de gravedad, la eficiencia calculada en el mejor de los casos, es del 60%, en aspersión la eficiencia se estima en un 80%, en el riego por goteo y microtubos se calcula una eficiencia del 90%, que se puede aceptar siempre y cuando haya un buen diseño del sistema de riego (Maya, 1994).

La óptima relación es donde se tiene la menor aplicación de agua por unidad producida. Usando esta óptima aplicación se minimizan las perdidas de agua de riego, se minimizan los costos y se maximiza el potencial de riego en áreas de donde el agua es limitada. La eficiencia del uso de agua por la planta es usada para entender la relación entre el uso del agua y su productividad (Burke *et al.*, 1999).

Eficiencia de riego (ER), es la relación del volumen de agua que es tomada por el cultivo y el volumen de agua aplicado (American Society of Civil Engineers, 1978). El riego por goteo tiene un potencial para incrementar la eficiencia de riego, porque se pueden aplicar cantidades pequeñas y frecuentes de agua para conocer la Et de los cultivos. La ER varía del 80 al 91% cuando el cultivo

es establecido en campo usando riego por goteo superficial (Chimonides, 1995).

La eficiencia de uso del agua de riego (EUAR), se define como la relación que existe entre el rendimiento o materia seca producida y la cantidad de agua consumida que proviene del riego (Febeiro *et al.*, 2001). Castellanos *et al.* (2001) la determina como el kilogramo de rendimiento comestible producido por m³ de agua aplicado.

La eficiencia de uso del agua (EUA), se define como la relación entre la biomasa producida y la cantidad de agua evapotranspirada (Gianquinto *et al.*, 1997). Al Jamal *et al.* (2001) la determina como el peso seco dividido por la ET.

2.9. Necesidades hídricas

La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la cantidad de agua que los mismos utilizan para su desarrollo optimo, sin limitaciones ni excesos, es al igual que el de los elementos nutritivos, un aspecto básico para la planificación del riego, aunque lo es también para una buena comprensión del desarrollo vegetal y del cultivo agrícola (Domínguez, 1993).

Se suele estimar que el clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los

cultivos. Prescindiendo de los factores climáticos, la evapotranspiración correspondiente a un cultivo dado queda también determinada por el propio cultivo. (Doorenbos y Pruitt, 1990).

La cantidad de agua retenida por la planta en sus tejidos es insignificante comparada con la absorbida. Una gran parte del agua consumida por los cultivos, es liberada a la atmósfera mediante el proceso fisiológico de la transpiración, por el que se evapora el agua a través de los estomas de las hojas y de la epidermis (Aguilera y Martínez, 1990). Domínguez (1993) Menciona que el gasto de agua, dependiente en gran parte de la radiación solar y de la temperatura, entre los más factores mencionados, resulta ser una determinación compleja.

2.9.1. Riego

Stegman *et al.* (1980) Mencionan que el riego es uno de los factores de producción que mas influyen sobre el resultado del cultivo del tomate, tanto en lo que se refiere a la cantidad de cosecha obtenida como a su calidad.

La idónea programación de los riegos es crucial para conseguir resultados satisfactorios en el cultivo intensivo de tomate. La programación de riegos implica determinar la frecuencia de los riegos y la cantidad de agua a aplicar en cada uno de ellos (Castilla *et al.*, 1990).

Las necesidades de agua vienen determinadas por los procesos de evaporación desde el suelo y de transpiración a través de la superficie foliar; el agua extraída desde el suelo por estos dos procesos, que en su conjunto reciben el nombre de evapotranspiración (ETc), es la que se debe restituir por medio del riego (Baselga, 1993).

La frecuencia mínima de los riegos dependerá de: El tamaño de las partículas del agregado; La superficie de las partículas del agregado; La naturaleza de la cosecha ; El tamaño de la cosecha; Los factores climáticos; La hora del día.

Agregados lisos de forma regular y relativamente gran tamaño deberán regarse mas frecuentemente que los porosos con forma irregular y finos, puesto que estos últimos tienen una mayor superficie. Las cosechas de porte elevado y con frutos necesitaran mas frecuentemente los riegos que las más bajas y con mayor superficie foliar, al mediodía, cuando la intensidad de la luz y la temperatura es más elevada, deberá reducirse el periodo entre los ciclos de riego (Cadahía, 2000).

Una vez conocido el volumen de agua que necesita el cultivo y los momentos en que se debe aplicar cada riego, las técnicas de riego que se utilicen deben garantizar que el agua, en la cantidad prevista, llague a todos los puntos de la parcela (Nuez, 1995).

Castaños (1993) Establece que el riego por goteo consiste en la aplicación lenta y frecuente de agua a través de emisores o goteros, los cuales se localizan a lo largo de una línea de distribución. Los emisores disipan la presión que adquiere el agua al ser bombeada, mediante vértices, orificios y la longitud de la línea de distribución. (Santoyo, 2000) menciona que es como aquel sistema para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización mas favorables para las plantas, en el que se aplica el agua gota a gota el cual es conducida por conductos cerrados hasta la misma planta por medio de dispositivos que se conoce como goteros o emisores.

2.9.2. Necesidades hídricas y respuesta al riego

En la fase de engrosamiento y maduración del fruto, el déficit hídrico provoca una reducción de su peso unitario, que afecta a la producción final obtenida; paralelamente a este efecto se produce un efecto contrario sobre el contenido de sólidos del fruto, que disminuye de forma significativa cuando aumenta la dosis de riego. El exceso de riego, más allá de los valores de la ET_c, sobre todo en la fase de engrosamiento y maduración de los frutos, favorece un desarrollo vegetativo excesivo de las plantas, prolonga el periodo de cuajado de los frutos y aumenta su peso unitario. Por otra parte, el exceso de riego en la fase final del cultivo aumenta la fragilidad del fruto a los golpes sufridos durante la recolección y el transporte y el porcentaje de frutos podridos (Baselga, 1993).

En el Cuadro 2.1 se muestran los resultados medios de un ensayo realizado durante tres años, en el que se compararon tres dosis de riego que representaban tres porcentajes diferentes de la ETc. La primera de las dosis (54% de la ETc) significa un déficit hídrico severo, la segunda (85% de la ETc) un déficit mas ligero, y la tercera (118% de la ETc) suponía un exceso de riego no demasiado importante.

Cuadro 1. Dosis de riego en función del porcentaje de evapotranspiración del cultivo y su efecto en rendimiento y calidad de fruto.

Agua de riego % ETc	Agua de riego m ³ ha ⁻¹	Número de frutos recolectados/m ²	Peso medio del fruto (g)	Producción t·ha ⁻¹	% sólidos solubles (° brix)	Sólidos solubles (kg/ha ⁻¹)
54	2.100	55.9	30.0	16.6	8.6	1.428
85	3.525	84.9	47.7	39.3	7.3	2.869
118	5.028	81.2	58.8	47.7	6.0	2.862

Etc= Evapotranspiración

2.10. Características de los sustratos

En la caracterización de 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 y por lo tanto del éxito del cultivo (Lamaire *et al.*, 1985).

La estructura física de un sustrato esta 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 de sustrato o dentro de las mismas partículas.

Para obtener 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 mencionan (Martínez y García, 1993).

Propiedades físicas. Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible que oscila entre el 20% y 30% del volumen total, suficiente capacidad de aireación que oscila 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, dependiendo de la fertirrigación que se aplique permanentemente o modo de intermitente, suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tapón y aptitud para mantener constante el pH 5.5-6.8, mínima capacidad de descomposición.

Otras propiedades deseables, libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos, disponibilidad, bajo costo, fácil de mezclar, fácil de desinfectar, resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

2.11. Características físicas de los sustratos

2.11.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son de primerísima importancia. Una vez que el sustrato esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. Esto contrasta con el status químico de los sustratos, que puede ser modificado mediante técnicas de cultivo apropiadas, realizadas por el propio agricultor (Cadahía, 2002).

2.12.2. Espacio poroso total

Abad *et al.* (1993) mencionan que el espacio poroso total deseable en un sustrato para obtener buenos resultados de crecimiento y desarrollo del jitomate, debe ser de alrededor del 85% del volumen total.

El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) poros capilares, de pequeño tamaño ($< 30\mu\text{m}$), que son los que retienen el agua, y 2) poros no

capilares o macroporos, de mayor tamaño ($> 30\text{:m}$), que son los que se vacían después de que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Bunt, 1991).

2.12.3. Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de Columna de agua, el valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y el 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993).

2.12.4. Agua de reserva

Raviv *et al.* (1986) indican que el agua de reserva es la cantidad de agua (%en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua. El nivel óptimo se sitúa entre el 4% y el 10% en volumen. No se recomienda para plantas ornamentales cultivadas en sustrato, que la tensión del agua supere los 100 cm de columna de agua durante el cultivo. En el caso de las plantas hortícolas, se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm. Sin afectar el modo significativo al crecimiento vegetativo.

2.12.5. Capacidad de aireación

Abad *et al.* (1993) y Cadahía (2000) la definen como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión. La capacidad de aireación deseable en un sustrato para obtener buenos resultados de crecimiento y desarrollo en plantas de jitomate oscila entre 30% y 40% del volumen total.

2.12.6. Distribución del tamaño de las partículas ó granulometría

Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos varían en función de la distribución del tamaño de sus partículas, siendo por tanto de importancia fundamental la caracterización granulométrica de los materiales. Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0.9 mm, con poros grandes, superiores a 100 μ m, retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0.25 mm y tamaño de poros inferior a 30 μ m, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 μ m y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 mm y 2.5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente

1994).

2.12.7. Densidad aparente

Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas (Cadahía, 2000).

En los invernaderos en donde el viento no es un factor limitante, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0.15 g/cm^3 (Abad *et al.*, 1993). Las plantas que crecen al aire libre deben ser cultivadas en sustratos mas fuertes, con densidades aparentes comprendidas entre 0.50 g/cm^3 y 0.75 g/cm^3 .

2.12.8. Mojabilidad

Algunos materiales orgánicos pueden presentar dificultades tanto para ser humedecidos inicialmente como para ser rehumectados una vez que se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y la contracción que experimenta al secarse. La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10 ml de agua destilada, a través de la

superficie de una muestra de sustrato seco a 40 ° C. el tiempo óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Handreck y Black, 1991).

2.13. Características químicas de los sustratos

Ansorena (1994) menciona que la reactividad de un sustrato se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo. La reactividad química de los sustratos es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar por la interacción del agua con el material (reactividad química principalmente por disolución e hidrólisis), por interacción de las cargas electrostáticas en la superficie del material que dan lugar al intercambio de iones entre la fase sólida y la fase líquida (reacciones de origen físico-químico). Y por la biodegradación de la materia orgánica (reacciones de tipo bioquímico). Estos tres tipos de reactividad constituyen los parámetros químicos fundamentales en la caracterización de sustratos y permiten definir dos tipos extremos de sustratos desde el punto de vista químico (Burés, 1997).

1.- Sustratos químicamente inertes, son aquellos que no se descomponen química o bioquímicamente, no liberan elementos solubles de forma notable ni tienen capacidad de adsorber elementos añadidos a la solución del sustrato. En los sustratos inertes no existe transferencia de materia entre el material sólido y la solución.

2.- Sustratos activos químicamente ó no inertes, reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución o reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato o bien adsorbiendo elementos en su superficie que pueden intercambiar con los elementos disueltos en la fase líquida.

2.13.1. Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de cationes cambiabiles que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixiviante del agua y están usualmente disponibles por la planta (Burés, 1997).

El valor optimo para la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lamiere *et al.*, 1985). Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja ó nula capacidad de intercambio catiónico. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada ó elevada capacidad de intercambio catiónico, en todo caso superior a 20 meq/100 g (Ansorena, 1994).

Algunos autores han indicado que los materiales para el cultivo hidropónico de hortalizas, como el tomate, deberían presentar una bajísima ó nula capacidad de intercambio catiónico, es decir, deberían ser químicamente inertes, con objeto de permitir un mejor control nutricional de las plantas (Canovas, 1993; Martínez y García, 1993).

2.13.2. Disponibilidad de nutrientes

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen biológica ni químicamente y, desde el punto de vista práctico, se puede considerar desprovistos de nutrientes.

Por el contrario, los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido en nutrientes asimilables. Así, algunos (turba rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost, p. ej.) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen del compost y del proceso de compostaje (Nuez, 1995).

La cuantía y la fertilización dependen de la capacidad de intercambio catiónico del sustrato y del régimen de riego. Una capacidad de intercambio catiónico elevada aumenta la eficiencia de la aplicación de fertilizantes de base durante el proceso de fabricación del sustrato. Cuando se usan sustratos con baja capacidad de intercambio catiónico, los fertilizantes se aplican usualmente a través del sistema de riego (Cadahía, 2000).

2.13.3. Salinidad

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 practicas de manejo del cultivo (ASCE, 1990). En el cultivo sin suelo del tomate, el nivel optimo 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 éste 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 una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas; Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución fertilizante 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.

2.13.4. pH

Nuez (1995) indica que el pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad 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 del tomate 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 acidez o alcalinidad extremas. Escudero (1993) menciona que el nivel óptimo en el cultivo sin suelo del tomate el pH debe ser de 5.5 a 6.8.

2.13.5. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Burés (1997) menciona que la relación C/N se usa tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y su estabilidad. Los daños que aparecen sobre las plantas cultivadas en materiales orgánicos inmaduros son debidos tanto a una inmovilización del nitrógeno como a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizosfera. Esta situación está provocada por la actividad de los microorganismos, que descomponen los materiales orgánicos crudos y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares. El oxígeno es también consumido por la actividad microbiana. (Nuez, 1995) indica que una relación C/N inferior a 20 es considerada como optima para el cultivo en sustrato y es un índice de un material orgánico maduro y estable.

2.14. Otras propiedades

Además de las propiedades físicas y químicas hasta aquí señaladas, los materiales a utilizar como sustratos en hidroponía deberían reunir también las siguientes características (Sánchez, 1989): Libres de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos; Reproductividad y disponibilidad; Bajo costo; Fáciles de mezclar; Fáciles de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección; Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

2.15. Perlita o agrolita

Es un material salicáceo de color blanco grisáceo, de origen volcánico y que se extrae de escurrimientos de lava. El mineral crudo se tritura, criba y se calienta en hornos de 760 a 1100 C°, a cuya temperatura la pequeña cantidad de humedad que existe en las partículas se convierte en vapor, las partículas se expanden y forman pequeños granos esponjosos. Los cuales son livianos, pesando, solo de 80 a 130 kg·m³ (Resh, 1997).

Hermann y Kester (1992) mencionan que la alta temperatura de su procesamiento proporciona un producto estéril. Para usos hortícolas se utilizan partículas de 1.6 a 3.0 mm de diámetro. Absorbe de 3 a 4 veces agua con respecto a su peso. En esencia es neutra con un pH de 6 a 8, pero sin capacidad de amortiguamiento químico por la poca o nula capacidad de

intercambio catiónico, no contiene nutrientes minerales, es útil para aumentar la aireación en mezclas de sustratos o con suelo.

Wilson (1995) menciona que el material fino incrementa la cantidad de agua fácilmente disponible y el material grueso incrementa la capacidad de aireación. Burés (1997) indica que sus características de retención de agua y de aireación dependen de la granulometría por lo que es necesario determinar la granulometría para conocer las propiedades.

Wilson (1986) comparando diferentes sustratos (turba, corteza composteada, vermiculita, lana de roca, y perlita) concluye que el mejor medio de crecimiento para el jitomate y pepino es la perlita. Smith y may (1994) menciona que en un trabajo realizado en crisantemo y *ficus elástica*, concluye que la mezcla basada en perlita-vermiculita con una relación de 1:1 puede ser tan fácil de manejar y tan reproductiva como mezclas basadas en turba.

En un trabajo realizado por Ismail *et al.* (1993) en la evaluación de arena de río, aserrín y mezcla de suelo, encontraron que indiferentemente del volumen de sustrato, utilizando arena y aserrín, incrementan significativamente tanto el crecimiento vegetativo como el rendimiento en plantas de tomate comparando con la mezcla de suelo. Dicho incremento es atribuido a la mejor aireación en el medio.

Propiedades y características

La perlita conforma una estructura celular cerrada. Su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie. Debido a esta estructura celular cerrada, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas o en los poros existentes entre dichas partículas, siendo liberada a muy bajas tensiones. En consecuencia, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice ampliamente como componente de aireación en los sustratos de cultivo (Bunt, 1988).

Resulta evidente que las características físicas de la perlita van a verse afectadas de modo significativo por el tamaño y la densidad de sus partículas la densidad aparente varia entre 0.053 g/cm^3 y $0,143 \text{ g/cm}^3$, encontrándose los valores más bajos en los materiales más finos y menos densos. La porosidad total es elevada y oscila entre el 86% y el 97%, representándose los valores máximos en los tipos más finos.

La perlita es un material inerte que no se descompone biológica ni químicamente, desde un punto de vista práctico se puede considerar desprovista de nutrientes. Sin embargo, la utilización de soluciones nutritivas medianamente ácidas, en todo caso con pH 5, puede problemas de

fototoxicidad, debido a una a una excesiva solubilización del aluminio (Abad ,1995).

2.16. Tezontle

El tezontle es un material de origen volcánico de color rojizo o negro que se emplea como cubierta en los caminos rurales, pero puede ser utilizado en los sistemas hidropónicos ya que tiene características favorables como buena capacidad de retención de humedad, buena aireación es inerte y estéril y económicamente accesible. El tamaño adecuado de la partícula del tezontle para emplearse en la parte superior de la cama o de la bolsa debe ser, en promedio de 0.5 cm de diámetro, y empleado para drenaje en los contenedores debe ser de 1.0 a 1.5 cm (Pérez y Castro, 1999).

Burés (1997) menciona que los tezontles por sus características, se utilizan como aditivos o enmiendas físicas de materiales orgánicos. Las granulometrías gruesas, por tener muy poco agua fácilmente disponible, conviene mezclarlos con otros materiales con retención de agua mas elevada. De tres tipos de tezontle (rojo, negro y amarillo), el mas apreciado en horticultura es el rojo. El tezontle, a diferencia de la perlita, puede ser almacenado al aire libre por su elevada densidad aparente, se utiliza principalmente para cultivos de planta ornamental de exterior y de ciclo largo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se inicio el 17 de mayo y se concluyo el 15 de octubre del 2002 en un invernadero localizado en el campo experimental agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo ubicado a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a una altura de 2250 msnm. Las características del invernadero son: 23 metros de largo por 11 metros de ancho y una altura máxima de 4 metros, estructura metálica, cubierta de polietileno blanco translúcido calibre 720, ventilación con malla antiáfidos en los costados laterales, piso de ground cover blanco y orientación en dirección Este-Oeste.

3.2. Material vegetal

Para la realización del experimento se utilizo el híbrido de jitomate bola Gironda (Enza Zaden), el cual es de crecimiento indeterminado, teniendo un crecimiento fuerte y vigoroso con buen amarre de frutos en temperaturas moderadamente altas, sin hombros verdes, muy buena firmeza con una larga vida de anaquel, frutos redondos con excelente color rojo y un cierre apical de lo mejor, peso promedio de 200 gramos, presenta resistencia al virus mosaico del tabaco, *Verticillium alboatrum* y a *Fusarium oxisporum* raza 1+2 y larga vida de anaquel.

3.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental

Se estudiaron seis tratamientos arreglados en un diseño experimental con parcelas divididas en bloques al azar con cuatro repeticiones, en donde el factor riego fue asignado al azar dentro de cada parcela grande y el factor sustrato fue asignado al azar dentro de cada parcela chica, haciendo mención de que cada unidad experimental tenía 0.3 m^2 de superficie útil. Los niveles de riego con solución nutritiva fueron dos riegos al día y cuatro riegos al día. En ambos casos la cantidad de solución nutritiva aplicada por día era la misma.

De los seis tratamientos que fueron estudiados, ambos fueron formados por tres hileras de plantas (escaleriformes). El contenedor sobre el cual se transplantaron las plántulas de jitomate tenía 10 cm de ancho, 40 cm de profundidad y 1 m de largo orientadas en dirección Este-Oeste (figura 1); la altura que separaba de una hilera a otra era de 40 cm de altura con la finalidad de evitar el sombriamiento y aprovechar al máximo la luz, teniendo por cada hilera seis plantas por metro lineal así mismo cada una de las plantas de cada nivel fueron despuntadas a tres racimos por planta; la distancia horizontal entre hileras de plantas fue de 10 cm y la distancia entre planta y planta fue de 16.6 cm, considerando que los pasillos entre cada conjunto de contenedores era de 70 cm se obtuvo una densidad de 20 plantas por m^2 de invernadero (200,000 plantas por ha).



Figura 1. Contenedores en los que se establecieron los tratamientos para la producción de jitomate en doseles escaleriformes.

En parcela chica se evaluaron tres sustratos: Arena de tezontle rojo con la mayoría de partículas comprendida entre 0.5 y 3 mm de diámetro; Agrolita grado hortícola con partículas de 1 a 3 mm de diámetro; Una mezcla de arena de tezontle y Agrolita al 50% de cada material.

En general los tratamientos 1,2,3, (T_1, T_2, T_3), para las cuatro repeticiones se les aplicaron dos riegos durante el día y los tratamientos 4,5,6, (T_4, T_5, T_6) se les

proporcionó cuatro riegos diarios, en cuanto a la humedad, se trato de manejar la misma cantidad de agua para todos los tratamientos establecidos, cambiando solamente la frecuencia de riego, el cual se fue modificando conforme fue incrementando las necesidades hídricas del cultivo (Figura 2). Es importante señalar que dentro de esta investigación se manejaron tres sustratos que son: Tezontle rojo, Agrolita y Mezcla de ambos sustratos con una relación de 1:1.

REPETICIÓN 1					
Mezcla 2 Riegos	Tezontle 2 Riegos	Agrolita 2 Riegos	Tezontle 4 Riegos	Agrolita 4 Riegos	Mezcla 4 Riegos

REPETICIÓN 2					
Agrolita 4 Riegos	Tezontle 4 Riegos	Mezcla 4 Riegos	Mezcla 2 Riegos	Agrolita 2 Riegos	Tezontle 2 Riegos

REPETICIÓN 3					
Mezcla 4 Riegos	Tezontle 4 Riegos	Agrolita 4 Riegos	Tezontle 2 Riegos	Agrolita 2 Riegos	Mezcla 2 Riegos

REPETICIÓN 4					
Agrolita 2 Riegos	Tezontle 2 Riegos	Mezcla 2 Riegos	Tezontle 4 Riegos	Mezcla 4 Riegos	Agrolita 4 Riegos

Figura 2. Distribución de los tratamientos en cada repetición en el estudio de tres sustratos y dos intervalos de riego en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

3.4. Variables estudiadas

3.4.1. Variables morfológicas

La altura de planta se midió en cuatro fechas durante el ciclo del cultivo 39, 70, 86, 109 dds (días después de la siembra) con la ayuda de un flexometro en cada uno de los tratamientos establecidos y así mismo en cada una de los niveles estudiados, con una muestra que representa el 66.6% de plantas para cada tratamiento y así de esta forma determinar el comportamiento de las plantas en cada una de sus fases fonológicas en relación al tipo de sustrato usado y la frecuencia de riego practicado.

El diámetro de tallo se midió en cuatro fechas dentro del ciclo del cultivo mismas que coinciden con la variable anterior, se realizó debajo de primer racimo utilizando un vernier, que de igual forma se realizó con una muestra representativa del 66.6% de plantas para cada tratamiento escaleriforme manejado.

Para el caso particular del índice de área foliar para las cuatro repeticiones establecidas y para cada una de los niveles y tratamientos comparados, se determinó de manera destructiva con una muestra representativa del 44.4% de plantas para cada tratamiento con el apoyo de un integrador de área foliar (LI-3000) (Liquor Devices inc). Para poder estimar el área foliar se midió el largo y

ancho de todas las hojas de las plantas representativas y con el uso de la regresión lineal determinar el área foliar por planta.

3.4.2. Variables de rendimiento

El diámetro de fruto se determinó con el apoyo de un vernier, con una muestra que representaba el 66.6% de plantas de cada tratamiento escaleriforme evaluado, esta actividad se realizó conforme iban apareciendo frutos listos para cosecharse de cada uno de los niveles y tratamientos comparados. Para obtener el número de frutos por planta se realizó la suma los frutos de cada planta y de cada nivel por tratamiento, los cuales se dividieron entre el número de plantas evaluadas, que representaba el 66.6% de plantas por cada tratamiento evaluado.

La determinación del número de frutos por unidad de superficie de cada tratamiento se realizó de la siguiente manera, de los resultados que se obtuvieron del número de frutos por planta, se procedió a calcular el número de frutos por metro cuadrado multiplicando por 60 que son el número de plantas por metro cuadrado útil.

En cuanto al rendimiento por planta de cada tratamiento, se realizó sumando el rendimiento por planta de cada nivel, posteriormente se sacaron los promedios de las plantas evaluadas que representan el 66.6% de cada nivel, y por consiguiente, con los datos obtenidos se obtuvo un promedio de las 12 plantas

evaluadas de los tres niveles lo cual daba como resultado el rendimiento por planta.

3.5. Comparación general de los tratamientos

Se realizó una comparación global de los tratamientos de acuerdo al diseño en parcelas divididas y también un análisis estadístico por hilera o nivel ocupado por la planta considerando que cada hilera representaba un ambiente diferente en ambos casos se hicieron los análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05\%$) correspondiente. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

3.6. Manejo del cultivo

Siembra

La producción de plántula de jitomate (Gironda) se inició con la siembra el 17 de mayo del 2002 en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades, usando como sustrato turba vegetal preparada para semillero (Sunshine Mix). Se humedeció el sustrato a punto de saturación con la finalidad de que se pudiera trabajar sin alguna complicación, posteriormente se empezó a rellenar las charolas con sustrato a manera de que el sustrato no quede apelmazado dentro del orificio de la charola. Las semillas de jitomate con que se trabajo tienen un alto porcentaje de viabilidad, por que se coloco solo una semilla por cavidad con

una profundidad de no mas de 0.5 cm en el sustrato y así también cubrirlo con el mismo. Una vez terminado este proceso se prosiguió a estibar las charolas una arriba de otra y cubrirlo con plástico para mantener una temperatura adecuada y evitar la evaporación de agua con lo cual se favorecer la germinación. A los cuatro días se destaparon y se distribuyeron en bancales y cuando apareció su primera hoja verdadera se le aplico solución nutritiva al 50% de su concentración normal.

Transplante

El transplante se realizó el 20 de junio del 2002; a los 34 dds, momentos previos al transplante, los sustratos de los diferentes tratamientos se les aplico un riego pesado con agua pura e inmediatamente después se transplantó.

Solución nutritiva

La solución nutritiva se preparó con las concentraciones de nutrimentos y fertilizantes que se muestran el (Cuadro 2), en 1,000 litros de agua, siendo en estos el mismo orden para disolverlos. Por lo general siempre que se preparaba la solución nutritiva se media el pH, C.E. y la temperatura del la solución, para ello se utilizó un potenciómetro, un medidor de conductividad eléctrica y un termómetro.

Para preparar la solución nutritiva se llenaba un depósito con capacidad de 1,000 litros de agua, en seguida en una cubeta de veinte litros se disolvían en agua todos los macronutrientes por separado, de uno en uno para posteriormente vaciarlo al depósito antes mencionado. También es importante mencionar que los micronutrientes se mezclaron todos juntos en una sola cubeta, los cuales finalmente fueron agregados de la misma forma que los anteriores. Una vez que finalizado este proceso se adicionaba una válvula de retomo por 10 minutos agitar la solución nutritiva y se mezclara uniformemente.

Cuadro 2. Nutrientes, concentraciones y fertilizantes usados en la preparación de la solución nutritiva para jitomate en hidroponía.

Nutriente	Concentración (mg·L ⁻¹)	Fertilizante
Nitrógeno	250	Nitrato de calcio
Fósforo	60	Ácido fosfórico al 85%
Potasio	250	Sulfato de potasio
Calcio	300	Nitrato de calcio
Magnesio	60	Sulfato de magnesio
Azufre	200	Sulfato de potasio
Hierro	3	Sulfato ferroso
Manganeso	0.7	Sulfato de manganeso
Boro	0.5	Bórax
Cobre	0.1	Sulfato de cobre
Zinc	0.1	Sulfato de zinc

Podas y despuntes

Por general al realizar esta práctica se hizo de forma manual utilizando alcohol etílico como desinfectante para poder manipular a la planta sin un mayor riesgo al ataque de enfermedades. Todas las plantas se condujeron a un solo tallo y

para ello fue necesario realizar la poda de brotes laterales; estos son órganos que brotan en la axila de cada una de las hojas del tallo principal y su eliminación se realizaba periódicamente cuando estas se alargaban aproximadamente cuatro centímetros. El despunte de la yema apical se llevó a cabo dos hojas arriba de la tercera inflorescencia y se realizó entre los 75 y 85 dds por otro lado la practica de poda de hojas, se inició a los 60 dds, eliminando las hojas más viejas o senescentes dejando dos hojas debajo del primer racimo que conforme van madurando los frutos de los siguientes racimos las podas se van realizando.

Sistema de tutoraje

Se realizó la segunda semana después del transplante con la finalidad de darle un mayor soporte a las plantas, obteniendo con ello un mejor manejo fitosanitario y así mismo poder manipular a la planta. El sistema de tutoraje consistió en una serie de estructuras metálicas independientes al invernadero esta practica se inicio cuando las plantas tenían 60 días de edad, en donde fue necesario tirar tres hilos de alambre galvanizado calibre 10 de acuerdo a los tratamientos establecidos. Para guiar a la planta se utilizó rafia que conforme iba creciendo la planta se iba enredando en contra de las manecillas del reloj.

Riegos

Para proporcionar la solución nutritiva y el agua a las plántulas establecidas en el contenedor, se empleó un sistema de riego por goteo a través de manguera donde fue colocado un emisor por planta. Una de las características más importante en la práctica de riego es que la solución nutritiva que estaba llegando a las raíces, contenía en constante permanencia los elementos necesarios y en cantidades suficientes para las plantas. Cabe reiterar que para todos los tratamientos la cantidad de solución nutritiva que se aplicaba diario era la misma, pero distribuida en dos y cuatro riegos de tal forma que a tres tratamientos se les proporcionaban dos riegos durante el día y que a los otros tres tratamientos se les abastecía con cuatro riegos diarios. En general la cantidad de solución nutritiva que se le aportaba a la planta fue incrementando en relación al estado fonológico de la misma.

Polinización

Una vez que empezaron a aparecer los primeros racimos florales, la polinización se realizó cada dos días entre 11:00 a m y 12:30 p m de forma manual para favorecer una adecuada polinización y amarre de frutos.

Control de plagas y enfermedades

Para realizar el control de plagas y enfermedades se realizaron monitoreos constantes cada dos días, con la finalidad de detectar algún patógeno o enfermedad a tiempo y así de esta forma tomar las medidas necesarias para que esta no siguiera a su diseminación que de una u otra forma afectará el rendimiento del cultivo.

La plaga que es más común en jitomate y que se llegó a presentar en pequeñas poblaciones y en las últimas etapas del cultivo fue la mosca blanca, la cual fue controlada con aplicaciones de Thionex con una dosis de $1 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua. Para el caso de enfermedades fungosas se estuvieron aplicando una mezcla de preventivos como Captan e Intergusan con una dosis de $3 \text{ gr} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua, estos últimos productos se estuvieron aplicando constantes en las diferentes fases del cultivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis estadístico por tratamientos

4.1.1. Caracteres morfológicos

En relación con las pruebas de análisis de varianza (Cuadro 3) se muestra que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego para las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar ni para la interacción riego por sustrato para las variables anteriormente mencionadas. Por lo contrario, en el caso particular de los tratamientos de sustratos, para la variable diámetro de tallo si se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 3. Cuadrados medios para los caracteres morfológicos altura de planta, diámetro de tallo y área foliar para riegos y sustratos, medido a los 86 dds en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios		
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Área foliar
Riego (R)	1	88	0.01	4839088
Sustrato (S)	2	73	0.07*	884327
Bloque (B)	3	484	0.006	628571
BxR Error a	3	36	0.005	488669
RxS	2	8.5	0.0008	1570779
Error b	12			
C.V.		7.7	4.2	13.1
Media		133 (cm)	1.2 (cm)	6970 (cm ²)

F.V.= fuente de variación; G.L.= grados de libertad; C.V. =Coeficiente de Variación; *= significancia con $\alpha=0.05$.

Con base a los resultados que se ilustran en cuadro 4 se observa que para las dos frecuencias de riego establecidas (cuatro y dos riegos), las variables morfológicas diámetro de tallo, altura de planta y área foliar fueron estadísticamente iguales. Solamente en el caso del área foliar por planta hubo una fuerte tendencia a disminuir en el tratamiento de dos riegos por día. Esta tendencia se puede explicar en función de lo que señalan varios autores (Bannister, 1976; Gardner *et al.*, 1990; Hanan, 1998) en el sentido de una de las primeras manifestaciones de un estrés hídrico (aunque este sea pequeño) es la reducción en la elongación celular que se traduce en una reducción del crecimiento de órganos como las hojas. Hay que considerar que en general las plantas manejadas con poco volumen de sustrato, deben regarse muy frecuentemente con pequeños volúmenes de solución a fin de evitar variaciones fuertes en el contenido de humedad y de concentración de sales que dificultan la absorción de nutrimentos (Urrestarazú, 2000).

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables diámetro de tallo, altura de planta y área foliar para el factor riegos, medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

Riegos	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (cm)	Área foliar por planta (cm ²)
Cuatro	1.28 a	131 a	7419 a
Dos	1.23 a	135 a	6521 a
DMS	0.09	7.8	908

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Por otro lado dentro de los doseles escaleriformes como se muestra en el Cuadro 5 con relación a las variables altura de planta y área foliar por planta, las comparaciones de medias muestran que estadísticamente no se encontraron diferencias significativas usando como sustratos al tezontle, agrolita y mezcla de tezontle con agrolita. Sin embargo, para el caso particular de la variable diámetro de tallo el valor registrado usando como sustrato a la agrolita muestra estadísticamente una diferencia significativa, siendo menor el diámetro de tallo en las plantas crecidas en arena de tezontle o en la mezcla agrolita:tezontle, además numéricamente también los valores de altura de planta y área foliar por planta fueron menores en este sustrato; probablemente esto fue causado por una mayor retención de agua en la agrolita, que afectó los niveles de oxígeno disponible para la raíz originando un menor vigor en la planta.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables morfológicas diámetro de tallo, altura de planta y área foliar por planta, en función de tres tipos sustratos, medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

Sustratos	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (cm)	Área foliar por planta (cm ²)
Tezontle	1.32 a	136 a	7214 a
Agrolita	1.14 b	130 a	6591 a
Mezcla	1.30 a	134 a	7104 a
DMS	0.07	13	1219

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$), DMS= Diferencia Mínima Significativa.

4.1.2. Rendimiento y sus componentes

Con base a los resultados obtenidos en los análisis de varianza, el (Cuadro 6) muestra que no existe diferencia significativa en la aplicación de riegos, Así mismo, para la interacción riego por sustrato no se detectaron diferencias significativas. Para el factor sustratos si se encontraron diferencias significativas para las variables diámetro de fruto, peso medio de frutos y rendimiento por planta entre los tratamientos.

Cuadro 6. Cuadrados medios para los componentes del rendimiento para riegos y sustratos en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios			
		Diámetro de fruto	Número de frutos	Peso medio de frutos	Rendimiento por planta
Riego (R)	1	0.18	18.5	240.54	519571.94
Sustrato (S)	2	0.65*	1.4	2351.95*	651804.71*
Bloque (B)	3	0.10	18.4	181	399590
BxR Error a	3	0.038	2.6	85	36560
RxS	2	0.01	0.13	198.22	21423.10
Error	12				
C.V.		3.9	11.1	10.07	10.2
Media		5.86 (cm)	13	112 (g)	1541 (g)

F.V.=fuente de variación; G.L.=grados de libertad; C.V.= Coeficiente de Variación; *= significancia con $\alpha=0.05$.

En la prueba de comparación de medias para niveles de riego (Cuadro 7) se observa que los valores registrados para las variables diámetro de fruto,

número de frutos y peso medio de frutos no muestran de diferencias significativas, no así para el caso particular de la variable rendimiento por planta donde el mayor rendimiento por planta se obtuvo en el tratamiento de cuatro riegos por día, el cual equivale a un rendimiento de casi 34 kg por m² de invernadero o 340 toneladas por hectárea para un ciclo de cultivo que se puede lograr en tres meses después del trasplante (Sánchez *et al.*, 1998; Méndez, 2002).

Cuadro 7. Comparación de medias de los componentes de rendimiento para el factor riego en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

Riegos por día	Diámetro de fruto (cm)	Número de frutos	Rendimiento por planta (g)	Peso medio de fruto (g)
Cuatro	5.95 a	14.5 a	1688 a	115 a
Dos	5.77 a	12.8 a	1393 b	108 a
DMS	0.25	2.11	248.4	12

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). DMS= Diferencia Mínima Significativa.

En el Cuadro 8 se observa que los valores para las variables diámetro de fruto, rendimiento por planta y peso medio de fruto muestran claramente que existe un efecto significativamente superior utilizando como sustratos al tezontle y a la mezcla. En relación con la agrolita, se observa que los valores numéricos registrados son superados claramente por los anteriormente mencionados; sin embargo, para la variable número de frutos, los valores no presentan diferencias significativas. El rendimiento por planta alcanzado por el uso de arena de tezontle como sustrato, a la densidad usada de 20 plantas por m² de

invernadero, equivale a 34.5 kg m^{-2} o 345 toneladas por hectárea que como se mencionó podría producirse en tres meses y hacerse cuatro veces por año.

Cuadro 8. Comparación de medias para el rendimiento y sus componentes con relación a sustratos en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

Sustratos	Diámetro de fruto (cm)	Número de frutos	Rendimiento por planta (g)	Peso medio de fruto (g)
Tezontle	6.07 a	13 a	1727 a	123 a
Agrolita	5.53 b	13 a	1212 b	92 b
Mezcla	5.97 a	13 a	1683 a	120 a
DMS	0.31	2	209	15

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). DMS = Diferencia Mínima Significativa.

4.2. Análisis estadístico considerando la ubicación o nivel de cada hilera de plantas de jitomate establecidas es dosel escaleriforme.

4.2.1. Caracteres morfológicos

Con base a los resultados obtenidos en el análisis de varianza se puede observar en el Cuadro 9 que las variables altura de planta y diámetro de tallo presentan diferencias significativas, mientras que para el área foliar no se encontraron diferencias.

Cuadro 9. Cuadrados medios para las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo y área foliar por planta medidos a los 86 días después de la siembra en el cultivo de jitomate en doseles escaleriformes.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios		
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Área foliar
Nivel	2	736.4*	0.11*	390745
Bloque	3	242.4	0.005	327567
Error	11			
C.V.		3.5	3.1	5.9
Media		133 cm	1.2 cm	6962 cm ²

F.V.= fuente de variación; G.L.= grados de libertad; C.V. = Coeficiente de Variación
 *=significancia con $\alpha=0.05$.

Las plantas ubicadas en la hilera superior presentaron la menor altura a los 86 días después de la siembra, lo cual difirió estadísticamente de los niveles inferior e intermedio (Cuadro 10). La mayor altura de planta se debió a un efecto de etiolación por la menor radiación captada por las plantas de los niveles inferior e intermedio. El diámetro de tallo en las plantas del nivel superior medido a los 86 días después de la siembra, fue estadísticamente mayor al de las plantas situadas en los niveles inferior e intermedio. Lo cual probablemente se debe al sombreamiento mutuo entre las plantas, tal como lo indican Gardner *et al.*, (1990) quien menciona que el aumento de la densidad causa que las plantas disminuyan su área foliar, los tallos se vuelvan más delgados y débiles.

Por otro lado, Zahara y Timm (1973) encontraron que el diámetro de tallo disminuye al aumentarse la densidad de población arriba de un índice de área foliar crítico.

Benavides *et al.*, (1993) también mencionan que una disminución de la intensidad de radiación fotosintéticamente activa puede causar etiolación, cuyas principales manifestaciones son la elongación de los tallos y su adelgazamiento.

En el intento de incrementar el rendimiento por unidad de superficie mediante el aumento de la densidad de población en el cultivo de jitomate, en la investigación se planteó la formación de doseles en forma de escalera a partir del manejo de hileras de plantas a diferente altura y orientadas en dirección Este-Oeste, debido a que con ello se lograba una distribución mas homogénea de la radiación fotosinteticamente activa entre los distintos niveles de plantas. Así mismo debido a que Gironda es una variedad de jitomate muy vigorosa, la distancia entre plantas e hileras fueron muy estrechas, por lo que se recomienda evaluar para trabajos posteriores variedades menos vigorosas así como también de crecimiento determinado, así como evaluar otras distancias entre plantas e hileras, todos bajo el mismo contexto de riegos y sustratos.

En el mismo Cuadro 10 se observa que no hay diferencias significativas para área foliar a los 86 días después de la siembra. Esto se explica porque con densidades altas existe menor espacio y mayor competencia entre plantas, como lo expresan Salisbury y Ross (1994), al establecer que las plantas en presencia de sombra tienden a incrementar su área foliar y se hacen más delgadas como respuesta para adaptarse a las condiciones de baja intensidad luminosa.

Cuadro 10. Comparación de medias para los caracteres morfológicos altura de planta, diámetro de tallo y área foliar en las distintas hileras de plantas de jitomate en dosel escaleriforme en doseles escaleriformes.

Nivel	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Área foliar por planta (cm ²)
Inferior	144 a	1.07 c	7291 a
Intermedia	138 a	1.25 b	6928 a
Superior	118 b	1.41 a	6668 a
D.M.S.	10.3	0.08	895

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$), DMS= Diferencia Mínima Significativa.

4.2.2. Rendimiento y sus componentes

Para los componentes de rendimiento, peso medio de fruto, diámetro de fruto, numero de frutos y rendimiento por planta el análisis de varianza (Cuadro 11) muestra que existe diferencias significativas entre hileras de plantas.

Cuadro 11. Comparación de cuadrados medios para las variables rendimiento por planta, número de frutos, rendimiento por planta, peso medio de fruto y diámetro de fruto.

F.V.	G.L	Cuadrados medios			
		Número de frutos	Rendimiento por planta	Peso medio de fruto	Diámetro de fruto
Nivel	2	42.2 *	1190730.6 *	991.4 *	0.33 *
Bloque	3	6.8	201958.2	140.9	0.05
Error	11				
C.V.		10.3	7.0	4.3	1.1
Media		13.0	1531 g	109 g	5.8 cm

F.V.= fuente de variación; G.L.= grados de libertad; C.V.= Coeficiente de Variación *= significancia con $\alpha=0.05$.

En el cuadro 12 se observa que el rendimiento por planta y sus componentes (número de frutos por planta, peso medio de fruto y diámetro de fruto) fueron estadísticamente mayores en las plantas ubicadas en la hilera superior. Las plantas de esta hilera rindieron el doble de las ubicadas en la hilera inferior, mientras que el peso medio de frutos también fue superior casi en un 30 % y el número de frutos por planta en casi un 70 %.

Cuadro 12. Comparación de medias para las variables rendimiento por planta, número de frutos, peso medio de fruto y diámetro de fruto.

Nivel	Número de frutos	Rendimiento por planta (g)	Peso medio de fruto (g)	Diámetro de fruto (cm)
Inferior	9 c	1073 c	98.4 b	5.6 b
Intermedia	13 b	1385 b	101.7 b	5.7 b
Superior	16 a	2135 a	127.2 a	6.1 a
D.M.S.	2.9	232.8	10.1	0.1

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$), DMS= Diferencia Mínima Significativa.

El bajo rendimiento de las plantas ubicadas en los niveles inferior e intermedio fue provocado principalmente por el sombreado que causó el nivel superior y el costado de los contenedores que redujo en un 50 % la intercepción de luz difusa. Las plantas del nivel superior fueron las que presentaron el mayor valor numérico en cuanto a componentes de rendimiento; debido a la mayor intercepción de radiación fotosintéticamente activa, tanto directa como difusa ya que estas plantas no tenían incidencia de RFA en uno de los costados de los contenedores. Hamed y Mohamed (1987), mencionan que en alta densidad donde la radiación no penetra en los diferentes niveles de un dosel vegetal el

rendimiento por planta se ve disminuido. También Charles-Edwards *et al.* (1986), indican que el rendimiento se puede incrementar cuando existe mayor captación de radiación fotosintéticamente activa y una distribución más homogénea de la misma dentro del dosel para mantener activas las hojas superiores e inferiores.

V. CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó el presente trabajo con el cultivar Gironda manejado con plantas despuntadas a tres racimos y dispuestas en hileras orientadas en dirección este-oeste y a distinta altura para formar un dosel escaleriforme, se concluye que:

El uso de arena de tezontle como sustrato generó plantas que rindieron significativamente más que aquellas cultivadas con agrolita. También se obtuvo mayor rendimiento al distribuir la misma cantidad de solución nutritiva diaria, en cuatro riegos que aplicados en dos.

El mejor tratamiento de dosel escaleriforme en cuanto a rendimiento y calidad de fruto fue el que combinó arena de tezontle y aplicación de la solución nutritiva en cuatro riegos por día.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad, M., V. Noguera., M. D. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los Sustratos de Cultivo. *Acta Horticulturae*. 11: 141-154.
- Aguilera, C.M. y R. Martínez. 1990. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. 4ta edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 321 p.
- Alder, P. M. 1992. Porous media: Geometry and Transports. Butterworth-Heinemann, Stoneham, Massachusetts, Estados Unidos de America.
- Al-Jamal, M. S., S. Ball and T. W. Sammis. 2001. comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agricultural Water Management*. 46: 253-266.
- Anisko, T., D. S. Nesmith and O. M. Lindstrom. 1994. time-domain refleximetry for measuring water content of organic growing media in containers. *HortScience* 29(12): 511-513.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-prensa. Barcelona, España. 172 p.

- ASCE (American Society of Civil Engineers). 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. Manuals and Reports on Engineering Practice N° 71. New York, New York. 619 p.
- ASERCA. 1998. El jitomate. Hortaliza de excelencia de exportación. En: claridades agropecuarias. num. 64. pp. 3-18.
- Azcon, B. J. y Talon, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial McGraw-Hill. Interamericana. Madrid, España. 581 p.
- Bannister, P. 1976. Introduction to plant physiological plant ecology. Blackwell Scientific Publications. U.K. 273 p.
- Baselga, J., Prieto, M.H., Rodríguez, A. 1993. Response of processing tomato to there diferent levels of water and nitrogen applications. Acta Horticulturae. 335: 149-156.
- Bunt, A. C. 1991. The realtionship of oxigen difusión rate to the air-filled porosity of poting sibstrates. Acta Horticulturae 294: 215-224.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotecnicas S. L. Madrid, España. 17- 25 pp.

Burgueño, H. 2002. La Fertirrigación segundo Simposium Nacional de Horticultura. Nutrición de Cultivos Hortícolas. Saltillo, Coahuila.

Burke, S., M. Mulligan and J. B. Thornes. 1999. Optimal irrigation efficiency for maximun plant productivity and minimun water loss. *Agricultural Water Management*. 40: 377-391.

Cadahía, C. 2000. Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. Madrid España. 475 p.

Cancino, B. J., F. Sánchez Del C. y P. Espinosa R. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponia bajo invernadero. *Revista Chapingo*. Departamento de fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 73 (74):26-30.

Canovas, F., 1993. Principios básicos de hidroponia. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con o sin suelo. Almería, España. pp. 29-42.

Castaños, C. M. 1993. Horticultura manejo simplificado. 1ra Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 527 p.

Castellanos, R., J. L. Ojodeagua, F. Méndez, S. Villalobos, A. Sosa, P. Vargas y V. Badillo. 2001. Nutrición del ajo en condiciones de riego por goteo. 1er.

Foro Nacional en el cultivo del ajo, del 15 y 16 de marzo. Celaya Gto. Pp. 12.16.

Castilla, N., 1994. Greenhouse in the mediterranean area. Technological level and strategic management. *Acta horticulturae*. 361:44-56.

Coombs, J., Hall, D. O., Long, S. P. 1998. Técnicas Fotosintéticas y Bioproductividad. Colegio de posgraduados. Editorial Futura. Segunda Edición. Chapingo, Edo. De México. 258 p.

Chimonides, S. J. 1995. Irrigation management Under water shortage conditions. Balkema, Rotterdam. pp. 73-78.

Domínguez, V., 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 217 p.

Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1990. Las necesidades del agua de los cultivos. FAO Riego y drenaje No 24. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 194 p.

Eltez, R., A. GÜI and Y. TÜzel. 1994. Effects of various growing media on eggplant and pepper seedling quality. *Acta Horticulturae* 366: 257-264.

Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate.. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería España. pp. 263-270.

Fabeiro, C., F. Martín de Santa Olalla and J. A. de Juan. 2001. Yield and size of déficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*. 48: 255-266.

Gago, M. C. y O. Morales. 1996. influencia del volumen y características físicas de los sustratos en el desarrollo de plantas de jitomate. Trabajo final de carrera. Escuela Superior de Agrucultura de Barcelona, Barcelona, España.

Gardner, P. F., R. B. Pearce y R. L. Mihtchel. 1990. *Phisiology of Crop Plants*. Second Printing. Iowa State Univesity Press. Iowa , USA. 327 p.

Giaquinto, G., L. Dallas C. And G. Giovanardi. 1997. Yield , water use efficiency and nitrogen recovery in potato: influence of water table deoth. *Adv. Hort. Sci.* 11: 91-96.

Grimstad, S. O. 1995. Low-temperature pulse effects growth and development of young cucumber and tomato plants. *Journal of Hort. Sci.* 70(1): 75-80.

Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la horticultura cubana. Instituto cubano del libro. La habana, cuba. pp. 123-143.

- Hanan, J. J. 1998. Greenhouses advanced technology for protected agriculture. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA: 648 p.
- Handreck, K. A. y Black, N. D., 1991. Growing Media for Ornamental Plants and Turf. New South Wales University Press Kensington. 401 p.
- Harmann, H. T. y D. E. Kester. 1992. Propagación de Plantas. Principios y Prácticas. Editorial CECSA . D. F., Mexico. pp. 31-57.
- Helyes, L. 1990. Relations among the water supply, foliage temperature and the yield tomato. Acta horticulturae. 277: 115-119.
- Ismail, M. R., M. S. Halimi., K. Juson. 1993. Growth and yield of tomatoes as influenced by diferent substrates, subtrate volumes and irrigation frequencies. Acta Horticulturae. 342: 143-147.
- Jensen, M. H. And Collins W. L. 1996. Hidroponic Vegetable Production. In Horticultural Reviews. Volume 7. Ed. J. Janick. The AVI publishing., pp. 483-558.
- José, A. M. S. J. 2000. Riego por goteo. Ediciones Mundi-Prensa. Edición. Madrid España. 302 p.

Lemaire, F., A. Dartigues and L. M. Riviere. 1985. properties of substrate made with spent mushroom com-post. *Acta Horticulturae* 172: 13-29.

Martínez, C. y M. García Lozano. 1993. Cultivos Sin Suelo. Hortalizas de Clima Mediterráneo. Compendio de Horticultura Número 3. Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 123 p.

Merle, H. J., 1999. Hidroponia. Hortalizas, Frutas y Flores. Año dos mil, México, Distrito Federal. pp. 6-8.

Milks, R. R., W. C. Fonteno and R. A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114: 48-52.

Moya, T. 1994. Riego localizado y Fertirrigación. Ediciones mundi-Prensa. España. pp 78-82.

Nederhoff, E. M. 1984. Light interception of a cucumber crop at different stages of growth. *Acta Horticulturae*, 148: 525-534.

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.

- Papadopoulos, A. P. And Ormrod, D. P. 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. *Can. Journal Plant Science*. 70: 565-573.
- Pendleton, J. W., Smit, G. E., Winter, S. R. And Johon, T. J. 1968. Leaf inclination variation within maize canopies. *Agronomy Journal* 60: 422-424.
- Pérez, G. M., R. C. Brindis. 1997. Guía para la Producción Intensiva de Jitomate en Invernadero. Boletín de Divulgación Número 3. Departamento de Fitotecnia: Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- Picken, A. J. F., K. Stewart and D. Klopwijk. 1986. Germination an vegetative development. In: the tomato Crop. Atherton, J. G. And J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. London, Englsnd. pp. 110-166.
- Puustjärvi, V. 1994. La Turba y su Manejo en Horticultura. Ediciones de Horticultura S. L., Reus. 123 p.
- Raúl, N. A. 1998. Fisiología Vegetal. Auxiliares Didacticos. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 235 p.
- Raviv, M., Chen, Y., and Invar, Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. In: the role of organic matter in modern agriculture. pp. 257-287.

- Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos: Quinta Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 357-390.
- SAGARPA, 2002. Anuario estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Volumen 1. Centro de Estadística Agropecuaria. D. F. México. pp. 598-617.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamericana. México, D.F. 759 p.
- Sánchez Del C. F., 2001. Producción de hortalizas basada en doseles escaleriformes. Sexto symposium internacional de fertirriego. Morelia, Michoacán.
- Sánchez Del C. F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 1(2): 109-114.
- Sánchez del C. F. y E. Escalante R. 1989. Hidroponia un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.

- Syvertsen, J. P. 1984. Light acclimation in citrus leaves. II. CO₂ assimilation and light, water and nitrogen use efficiency. *Journal American Society Horticultural Science* 109: 912-917.
- Seniz, V. 1994. Seedling production in solanacea crops. *Acta Horticulturae* 366: 243-250.
- Sholto, D. J. 1976. Advanced guide to hydroponics. Drake Publishers, inc. New York. Estados Unidos. 333 p.
- Silva, F. M. 1991. Static and dynamic characterization of container media as a basis for irrigation management. Tesis de Master, the Hebrew University of Jerusalem, Israel.
- Stegman, E., Musick, J., Stewart, J. 1980. Irrigation Water management. Design and operation of farm irrigation system. Michigan, USA. pp. 763-779.
- Tüzel, I. And M. A. Ul. 1994. Effect of different irrigation intervals and rates on spring-season glasshouse tomato production. *Acta Horticulturae*. 366: 381-385.
- Urrestarazú. G. M. 2000. manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España. 648 p.

- Villareal, R. L., 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. Pp. 9-21.
- Warren, W. J., Hand, D. W. and Hannah, M. A. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *Journal Experimental Botany*, 43: 363-373.
- Wilson, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Horticulturae*. 172: 151-156.
- Wilson, G. C. S. 1986. Tomato production in different growing media: *Acta Horticulturae*. 178: 115-119.
- Wolf, B., Fleming J. and Batchelor, J. 1997. National Fertilizer Manual. Vol 1. Fertilizer Solutions Association. USA.