



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CIIDIR- IPN- U. OAXACA

**“Producción de Jitomate *Lycopersicom esculentum*
Mill. cv en condiciones de invernadero y con fertiriego
en Zaachila, Oaxaca”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES CON
ESPECIALIDAD EN PRODUCCION VEGETAL

PRESENTA

GABRIEL CENOBIO PEDRO

DIRECTOR DE TESIS

DR. JAIME RUIZ VEGA

Santa cruz Xoxocotlan, Noviembre de 2006



IPN
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca siendo las 13.00 horas del día 22 del mes de noviembre de 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)**, para examinar la tesis de grado titulada:

PRODUCCIÓN DE TOMATE *Lycopersicon esculentum* EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y CON FERTIRIEGO EN ZAACHILA, OAXACA

Presentada por el alumno (a):

_____ Cenobio _____ Pedro _____ Gabriel
Apellido paterno materno nombre(s)

Con registro:

B	0	4	0	8	3	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACION Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

Dr. Jaime Ruiz Vega

Dra. Yolanda Domínguez Ortiz Hernández

Dr. Raul Nieto Ángel

Dr. Gabino Martínez Gutiérrez

Dr. José Luis Chávez Servia

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dra. María del Rosario Arnaud Viñas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez., Oaxaca, el 28 de noviembre de 2006, el que suscribe **CENOBIO PEDRO GABRIEL**, alumno del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B040833**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor del trabajo de Tesis: "**PRODUCCIÓN DE TOMATE *Lycopersicon esculentum* EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y CON FERTIRIEGO EN ZAACHILA, OAXACA**", realizado bajo la dirección del Dr. Jaime Ruiz Vega, por lo cual cede los derechos de dicho trabajo, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **Calle Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca** o e-mail ciidirox@ipn.mx o ing_cepega@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



CENOBIO PEDRO GABRIEL

I. RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero de 84 m², ubicado en el barrio San Pedro, en la Villa de Zaachila, Oaxaca. Ante la creciente erosión y pérdida de suelos, escasez de agua, abatimiento del manto freático, sequías recurrentes, cambios climáticos y una mayor presencia de plagas y enfermedades factores que limitan la producción en condiciones de campo abierto, se planteó este trabajo de investigación. El objetivo principal fue desarrollar una propuesta tecnológica de producción intensiva que incluya el uso de sustratos y fertiriego en la producción de jitomate bajo condiciones de invernadero, se evaluaron los sustratos: *tepetzil, arena y suelo natural y sin acolchado plástico*. Se usó como testigo un tratamiento que consistió en el manejo de jitomate con *suelo natural desnudo*.

El diseño experimental fue en franjas completamente al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue de 5 plantas por tratamiento. Se evaluó: rendimiento (por planta, m² y ton ha⁻¹), número de flores, racimos, frutos y hojas, peso promedio de fruto, altura de planta, firmeza de frutos y sólidos solubles. Además se efectuó un análisis de rentabilidad. Se encontró que el mejor tratamiento, por presentar el Índice de Eficiencia de Rentabilidad (IER) más alto, fue la arena seguido del tepetzil, suelo desnudo y suelo con acolchado plástico.

Palabras clave: tepetzil, arena, suelo, acolchado, fertiriego, invernadero.

ABSTRACT

The present study was carried out in a 84 m² greenhouse located in “Barrio San Pedro”, in the Villa of Zaachila, Oaxaca. Because of the growing erosion and loss of soils, shortage of water, depression of the phreatic levels, recurrent droughts, climatic changes and a bigger presence of pest and diseases which limit crop production under open field conditions, this investigation work was proposed. The main objective was to develop a technological proposal of intensive production through the use of substrates and fertirrigation for tomato production tomato under greenhouse conditions. The substrates that were evaluated were: tepetzil, sand, and natural soil and without plastic mulch.

A completely randomized strip design with four replicates was used. The experimental unit consisted of five plants per treatment. The variables that were evaluated were: yield per plant (m², ton ha⁻¹), number of flowers, flower clusters, fruits and leaves per plant, average fruit weight, height of plant, firmness of fruit and soluble solids.

An analysis of profitability was also made. It was found that the best treatment was sand, which showed the highest Index of efficiency of profitability (IER) followed by tepetzil, nude soil and soil with plastic mulch.

Key words: “tepetzil”, sand, soil, plastic mulch, fertirrigation, greenhouse.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	6
III. REVISION DE LITERATURA	7
3.1 Centro de Origen del jitomate.....	7
3.2. Clasificación y Descripción botánica.....	7
3.2.1. Raíz.....	8
3.2.2. Tallo.....	8
3.2.3. Hoja.....	9
3.2.4. Flor.....	9
3.2.5. Fruto.....	10
3.2.6. Semilla.....	10
3.3. Requerimientos climáticos y Edáficos.....	10
3.3.1. Temperatura de germinación.....	10
3.3.2. Crecimiento.....	10
3.3.3. Floración.....	11
3.3.4. Fructificación.....	12

3.3.5. Humedad.....	12
3.3.6. Luz.....	13
3.3.7. pH.....	13
3.4. Manejo del cultivo.....	14
3.4.1. Propagación por semilla.....	14
3.4.2. Densidad de plantación.....	15
3.4.3. Trasplante.....	16
3.4.4. Tutoreo.....	16
3.4.5. Poda de brotes laterales.....	17
3.4.6. Poda de brote apical.....	18
3.4.7. Poda de hojas.....	18
3.4.8. Poda de frutos.....	18
3.4.9. Riego.....	19
3.4.10. Cosecha.....	19
3.4.11. Fin del cultivo.....	20
3.4.12. Plagas y enfermedades.....	20
3.4.12.1. Mosquita Blanca.....	21
3.4.12.2. Araña Roja.....	22
3.4.12.3. Pulgones.....	22
3.4.12.4. Minador del tomate.....	23
3.4.12.5. Enfermedades.....	23
3.4.12.6. Marchitamiento.....	23
3.4.12.7. Cladosporiosis.....	24
3.4.12.8. Virosis.....	24
3.5. Invernaderos.....	25

3.5.1. Invernaderos.....	25
3.5.2. Selección de tecnología.....	32
3.5.3. Invernaderos de baja tecnología.....	33
3.5.4. Invernaderos de alta tecnología.....	34
3.6. Sustratos.....	36
3.6.1. Propiedades de los sustratos.....	38
3.6.2. Propiedades físicas.....	38
3.6.2.1. Capacidad de aireación.....	39
3.6.2.2. Tamaño de las partículas.....	39
3.6.2.3. Densidad aparente.....	40
3.6.3. Propiedades químicas.....	40
3.6.3.1. Capacidad de Intercambio cationico (CIC).....	41
3.6.3.2. pH.....	41
3.6.3.3. Relación Carbono / Nitrógeno.....	42
3.6.3.4. Disponibilidad de nutrientes.....	42
3.6.3.5. Salinidad.....	43
3.6.4. Elección de un sustrato.....	43
3.6.5. Sustratos inorgánicos.....	44
3.6.5.1. Lana de roca.....	44
3.6.5.2. Arena.....	46
3.7. Riego por goteo.....	47
3.8. Fertirrigación.....	49
3.9. Acolchados plásticos	52
3.10. Radiación solar.....	54

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	56
4.1. Localización Geográfica.....	56
4.2. Clima.....	56
4.3. Infraestructura.....	57
4.4. Material Vegetal.....	58
4.5. Diseño Experimental.....	59
4.6. Manejo Del Cultivo.....	60
4.6.1. Semillero.....	60
4.6.2. Preparación del suelo y llenado de bolsas.....	61
4.6.3. Instalación y prueba del sistema de riego.....	63
4.6.4. Transplante.....	64
4.6.5. Riego.....	64
4.6.6. Eliminación de brotes.....	66
4.6.7. Eliminación de hojas.....	66
4.6.8. Tutorio	67
4.6.9. Control de plagas.....	67
4.6.10. Cosecha.....	67
4.7. Determinación de las características físicas y químicas de los sustratos	68
V. VARIABLES EVALUADAS	70
5.1. Temperatura del suelo y/o sustrato.....	70
5.2. Temperatura ambiental interior y exterior.....	70
5.3. Temperaturas máximas y mínimas.....	70
5.4. Medición de la Radiación fotosintéticamente activa.....	70
5.5. Altura de plantas.....	71
5.6. Altura de la primera inflorescencia.....	71
5.7. Numero de hojas	71
5.8. Numero de racimos	72

5.9. Numero de flores.....	72
5.10. Numero de frutos.....	72
5.11. Peso del fruto.....	72
5.12. Grados Brix.....	72
5.10. Prueba de firmeza.....	73
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	74
6.1. Radiación fotosintéticamente activa.....	74
6.2. Temperaturas de sustratos y suelo.....	79
6.3. Características físicas y químicas de los sustratos y suelo.....	81
6.3.1. Textura.....	81
6.3.2. Densidad aparente.....	82
6.3.3. Densidad real.....	83
6.3.4. Espacio poroso.....	83
6.3.5. Capacidad de aireación.....	84
6.3.6. Agua retenida.....	85
6.3.7. Disponibilidad de agua.....	85
6.3.8. pH.....	86
6.3.9. Conductividad eléctrica.....	87
6.3.10. CIC.....	87
6.3.11. Materia orgánica.....	88
6.4. Variables de desarrollo y crecimiento.....	89
6.4.1. Altura de plantas.....	89
6.4.2. Altura de la primera inflorescencia.....	91
6.4.3. Numero total de hojas.....	92
6.4.4. Numero de racimos por planta.....	94
6.4.5. Numero total de flores.....	95
6.4.6. Numero de frutos por planta.....	96

6.4.7. Peso por fruto	98
6.4.8. Producción por planta	100
6.5. Valor de la producción.....	104
6.6. Sólidos solubles.....	106
6.7. Firmeza del fruto.....	107
6.8. Análisis económico.....	109
6.9. Beneficios netos.....	113
VII. CONCLUSIONES.....	115
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	118
IX ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación del jitomate <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill, según Garza (1985), citado por Gutiérrez (1997).....	7
Cuadro 2.	Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, 2005.....	60
Cuadro 3.	Compuestos a utilizar para preparar 1000 litros de solución nutritiva.....	65
Cuadro 4.	Cantidad de micronutrientes utilizados para preparar un litro	

	de solución madre.....	65
Cuadro 5.	Intervalo y duración de riego en el invernadero de Zaachila Oaxaca.....	66
Cuadro 6.	Porcentaje de arcilla, arena y limos en sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en Zaachila, Oaxaca 2005.....	81
Cuadro 7.	Propiedades físicas de los sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.....	82
Cuadro 8.	Propiedades químicas de los sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.....	86
Cuadro 9.	Altura de plantas, en diferentes sustratos y suelo, a los 90 días después del trasplante en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	91
Cuadro 10.	Altura de la primera inflorescencia, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	92
Cuadro 11.	Numero de hojas, en diferentes sustratos y	

	suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	93
Cuadro 12.	Numero de racimos por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	95
Cuadro 13.	Numero de flores por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	96
Cuadro 14.	Numero de frutos por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	98
Cuadro 15.	Peso promedio del fruto (g), en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	100
Cuadro 16.	Prueba de rango múltiple Tukey al 5% para producción por planta, producción en kg m ⁻² , producción en ton ha ⁻¹ , en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	100
Cuadro 17.	Prueba de rango múltiple Tukey al 5% el valor de la producción por planta, en kg m ⁻² , y en ton ha ⁻¹ , en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	106

Cuadro 18.	Concentración de Sólidos solubles por sustrato, en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	107
Cuadro 19.	Gastos de inversión y Costos fijos para la producción de jitomate en dos sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.....	110
Cuadro 20.	Análisis económico de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, considerando costos variables, en Zaachila, Oaxaca.....	111
Cuadro 21.	Beneficios Netos en la producción de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Semillero de jitomate cv Tequila (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill).....	61
Figura 2.	Preparación del terreno para el tratamiento testigo.....	62
Figura 3.	Colocación de acolchado Plástico.....	62

Figura 4.	Llenado y acomodo de bolsas con sustratos.....	62
Figura 5.	Prueba del sistema de riego en suelo.....	63
Figura 6.	Prueba de sistema de riego en bolsas.....	63
Figura 7.	Plántulas listas para ser trasplantadas.....	64
Figura 8.	Trasplante de jitomate cv Tequila, en Zaachila, Oaxaca.....	64
Figura 9.	Radiación fotosintéticamente activa (PAR; $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en el exterior e interior del invernadero: en los sustratos en diferentes fechas del cultivo de jitomate bajo invernadero y fertiriego en Zaachila, Oaxaca, 2005.....	77
Figura 10.	Radiación fotosintéticamente activa (PAR; $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en el exterior e interior del invernadero: en los sustratos en diferentes fechas del cultivo de jitomate bajo invernadero y fertiriego en Zaachila, Oaxaca, 2005.....	78
Figura 11.	Temperaturas ambientales (interior y exterior), Temperaturas de los sustratos y suelo.....	80
Figura 12.	Prueba de firmeza en frutos de jitomate en diferentes estados de madurez.....	108

INDICE DE ANEXOS

Cuadro 1A.	Análisis de varianza para altura de plantas en m..	136
Cuadro 2A.	Análisis de varianza para altura de la primera inflorescencia en cm.....	136
Cuadro 3A.	Análisis de varianza para numero de hojas.....	136
Cuadro 4A.	Análisis de varianza para numero de racimos.....	136
Cuadro 5A.	Análisis de varianza para numero de flores.....	137
Cuadro 6A.	Análisis de varianza para numero de frutos.....	137
Cuadro 7A.	Análisis de varianza para peso en gramos por fruto.....	137
Cuadro 8A.	Análisis de varianza para rendimiento promedio en kg /planta.....	137
Cuadro 9A.	Análisis de varianza para rendimiento promedio en kg m ⁻²	137
Cuadro 10A.	Análisis de varianza para rendimiento promedio en ton ha ⁻¹	138
Cuadro 11A.	Análisis de varianza para el valor de la producción en kg por planta.....	138
Cuadro 12A.	Análisis de varianza para el valor de la producción en kg m ⁻²	138

Cuadro 13A.	Análisis de varianza para el valor de la producción en ton ha ⁻¹	138
Cuadro 14A.	Análisis de varianza para sólidos solubles.....	139
Cuadro 15A.	Costos de producción en a producción de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, considerando los costos variables, en Zaachila, Oax.....	139
Cuadro 16A.	Análisis de varianza para Beneficio Neto Por planta en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.....	139
Cuadro 17A.	Análisis de varianza para Beneficio Neto Por m ² en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.....	140
Cuadro 18A.	Análisis de varianza para Beneficio Neto Por ha en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.....	140

II. INTRODUCCION

El jitomate es la hortaliza número uno en consumo; por lo tanto el volumen de este producto es el más grande y el más importante en los diferentes mercados nacionales e internacionales. A nivel de norte y Centroamérica, el consumo per cápita/año es alrededor de los 26.9 kg por persona, mientras que a nivel mundial es de 12.6 kg, en México se estima de 18 kg (AGROPRODUCE, 2005).

El aumento continuo de la demanda de jitomate ha provocado en las últimas dos décadas el ir cambiando las tecnologías de producción de cielo abierto a sistemas protegidos, para obtener así un mejor resultado en los rendimientos, calidad y rentabilidad.

La producción mundial de hortalizas bajo invernadero con o sin hidroponía se encuentra en constante expansión. Holanda cuenta con 8 900 has. de invernadero, Italia con 25 000, España con 29 000, estados Unidos con 450, Canadá con 550, México con 650 tecnificadas y 335 en proceso de construcción hasta el año 2003 (AGRIBOT, 2003 citado por AGROPRODUCE, 2005). Estos países con los que cuentan con una mayor superficie de cultivo bajo invernadero, dedicando una parte importante al cultivo de jitomate.

En México, el desarrollo de la agricultura protegida va en crecimiento. Los estados que más sobresalen son Baja California Norte y Sur, Sinaloa y Jalisco, por mencionar algunos, y están en manos de la iniciativa privada especialmente de los consorcios industriales que se dedican a la producción y venta, ya sea interna o de exportación de hortalizas frescas o envasadas (ASEA 2003).

El aumento de las exportaciones de jitomate mexicano debe explicarse no tanto por la entrada en vigencia del tratado de libre comercio, sino por el aumento de su competitividad tecnológica en este cultivo, el cual representa el 16 % del valor de las exportaciones agropecuarias.

En México la mayor parte de su demanda se abastece con la producción a cielo abierto; existen algunos picos de mercado en los meses de julio – septiembre y diciembre – enero en los cuales no hay suficiente producción; así mismo, es posible propiciar hábitos de consumo de los jitomates producidos en invernadero, buscando que el consumidor pague un sobreprecio. El mercado de jitomates en invernadero sigue siendo una opción atractiva que vale la pena intensificar, aunado a que la agricultura a campo abierto conlleva más riesgos e incertidumbre; la crítica situación del agua en nuestro país también exige un sistema que eficiente su uso; y esta forma de producir constituye una opción viable.

En México, hasta el mes de mayo, se habían establecido alrededor de 42231 has. a cielo abierto correspondiendo al ciclo Otoño – Invierno 2005, cultivándose en 26 estados siendo los de mayor importancia Sinaloa, Sonora, Jalisco, Nayarit, Baja California Norte – Sur, San Luís Potosí. Con rendimientos promedio de 29 ton ha⁻¹ en la última década.

En el estado de Oaxaca hasta mayo del 2005, en el ciclo Otoño – Invierno 2004 – 2005, se habían cosechado 442 hectáreas a cielo abierto obteniendo una producción de 7,080 toneladas con un rendimiento de 16 toneladas por hectárea (SIAP 2005). En el estado

se produce el 97 % en superficies a cielo abierto con una muy baja tecnificación de los sistemas.

Durante mucho tiempo la producción de jitomate de tipo determinado, buscaba la máxima concentración de producción precoz, para llegar primero al mercado. Hoy la situación es diferente debido a que los nuevos cultivos de jitomate de desarrollo indeterminado han cambiado los patrones de comercialización al aumentar los rendimientos a 20 kg m^{-2} , lo que representa una producción de 200 ton ha^{-1} , además de mejorar la calidad, tamaño del fruto y ajustarse a las condiciones de clima y mercado en invernadero y/o campo a cielo abierto (BANCOMEXT, 1998).

El tomate es el cultivo más explotado en condiciones de invernadero en el mundo debido principalmente a su alto consumo y su capacidad de producción. En otras regiones, la capacidad potencial de producción de este cultivo en invernadero rebasa las 400 ton ha^{-1} (Cotter y Gómez, 1981; Jonson et al., 1975; Romero, 1979).

Uno de los problemas más significativos que se ha observado en la producción de esta especie a campo abierto, es la dificultad en el manejo de los factores que influyen en el desarrollo del cultivo, entre los que se pueden mencionar están, cambio climático, sequías recurrentes, abatimiento de mantos freáticos, pérdida de humedad relativa, temperaturas extremas, incremento de la radiación solar, los cambios extremos de temperatura, la deficiencia o excesos de agua como resultado de altas precipitaciones, y suelos mal drenados, los que generalmente propician la presencia de enfermedades y consecuentemente, un abuso en el uso de fungicidas para su prevención y control (Rodríguez *et al.*, 2001) citado por (Velasco,

2004). Una alternativa son los cultivos sin suelo, realizados bajo condiciones protegidas utilizando fertirrigación.

Los cultivos sin suelo son aquellos sistemas que hacen crecer a las plantas fuera de su ambiente natural: el suelo. En los cultivos de sustrato (sin suelo), son menos frecuentes los problemas de hipoxia radical, por lo que el uso de sustrato supone la solución a uno de los principales problemas de los cultivos en agua. En España cada vez más aumenta la superficie de cultivo sin suelo, utilizando diferentes tipos de sustratos, tales como: arena, fibra de coco, perlita, lana de roca mineral.

La clasificación de los cultivos sin suelo esta en función del uso del drenaje de la disolución (disolución pérdida o recirculante). Los sistemas abiertos son aquellos en donde al disolución sobrante drena, percola, se infiltra en el subsuelo o simplemente sufre escorrentía fuera del suelo fértil o contenedor del cultivo, sin que el cultivo vuelva a tener ningún contacto con la misma. En cambio los sistemas cerrados son aquellos en los que la disolución sobrante vuelve a incorporarse total o parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo (Urrestarazu, 2000).

El uso de materiales plásticos en las actividades agrícolas a partir de los 40's y 50's inició una modificación profunda en el curso de la producción de frutas, frutas y plantas ornamentales. En los años siguientes se lograron notables mejoras tecnológicas que ampliaron la durabilidad y rango de aplicación de los materiales plásticos. El acolchado se usa para acolchado de suelo y para la construcción de invernaderos, principalmente. En la actualidad, se manejan con

técnicas de agroplasticultura más de 300 mil hectáreas de cultivos de alto ingreso económico en todo el mundo (Soltani *et al*, 1995).

El principio de la fertirigación reside en conseguir la máxima adecuación de nutrimentos a las necesidades reales de los cultivos mediante soluciones nutritivas equilibradas iónicamente, de modo que contenga todos los elementos nutritivos que demanda la planta. Por lo que el uso eficiente de fertilizante es importante para la producción de cultivos, y especialmente de jitomate en invernadero (Papadopoulos, 1996).

El propósito de este trabajo es encontrar el mejor sustrato para el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero y fertiriego y así ofrecer una alternativa viable para zonas donde los factores suelo, plagas y agua de riego limitan la producción de este cultivo.

OBJETIVOS

- ❖ Determinar las características físicas y químicas de los sustratos.

- ❖ Evaluar el efecto de los sustratos en la producción y calidad del fruto de jitomate.

- ❖ Evaluar el efecto del acolchado plástico de doble cara en el desarrollo del cultivo de jitomate, producción y calidad de frutos.

- ❖ Evaluar la rentabilidad de la producción de jitomate utilizando fertiriego en condiciones de invernadero

REVISION DE LITERATURA

Centro de Origen

El tomate es una planta originaria de la región andina del Perú, en donde se encuentran, a lo largo y ancho, numerosos parientes silvestres y cultivados del jitomate, también en Ecuador y Bolivia, así como en las islas Galápagos. Sin embargo, también se ha considerado a Centroamérica como posible centro de diversidad (Duke, 1978). El cultivo y la domesticación del jitomate, parece ser que ocurrió fuera de su centro de origen, por los primeros pobladores de México. Fue introducido a Europa en el siglo XVI. Al principio, el tomate se cultivaba como una planta de adorno. y a partir de 1900 se extendió el cultivo como alimento humano (Guenkov, 1980) citado por Ordeñana (1994).

CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Cuadro 1. El jitomate *Lycopersicon esculentum* Mill se clasifica, según Garza (1985), citado por Gutiérrez (1997).

División	Spermatophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Grupo	Metachlamydae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>esculentum</i>
Nombre científico	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill

Raíz

La planta originada de semilla presenta una raíz principal que crece hasta 2.5 cm diarios y alcanza una profundidad de 60 cm. Cuando la planta se propaga mediante trasplante, como sucede generalmente, la raíz principal se ve parcialmente detenida en su crecimiento, en consecuencia, se favorece el crecimiento de raíces secundarias que se desenvuelven entre los 5 y 70 cm de la capa del suelo (Garza, 1985) citado por Gutiérrez (1997).

Tallo

Los tallos son cilíndricos en plantas jóvenes y angulosos en plantas maduras; alcanzan alturas de 0.40 a 2.0 m., presentado un crecimiento Simpódico (Valadez, 1994). Está cubierto de finos vellos; unos más largos que otros, otros más cortos. Los últimos segregan una sustancia de color verde oscuro y olor específico para el tomate (Guenkov, 1980) citado por Ordeñana (1994).

La capacidad de ramificar de las diferentes variedades es distinta, unas ramifican más, otras menos. En una de las variedades el tallo principal y todas sus ramificaciones terminan en racimo. El crecimiento vertical de las plantas es limitado y por eso este grupo de variedades se denomina determinado. En el otro grupo de variedades, el racimo ya terminado en el seno de la última hoja forma un hijo que prosigue el crecimiento vertical, no está limitado por las características morfológicas de la planta. Según las condiciones ambientales y el modo de cultivo, el tallo puede alcanzar una altura de 2 a 3 m. Este grupo de variedades se denomina indeterminado (Guenkov, 1980) citado por Ordeñana (1994).

Hojas

Las dos primeras hojas son simples y luego aparecen las compuestas (sectadas) hasta llegar a las típicas compuestas imparipinadas que tienen de siete a nueve foliolos. Se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. Su longitud total es de 10 a 40 cm, de los cuales de 3 a 6 cm corresponden al pecíolo. Entre los foliolos se intercalan foliolillos (de 4 a 6). Al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de la sustancia aromática (Torres, 1989).

Flor

El jitomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple (base de la planta), o ramificado (parte superior). Las flores aparecen unidas al eje principal o a las ramificaciones secundarias originándose en las axilas de las hojas de estos; cada flor se compone de 6 sépalos y 6 pétalos los que se unen entre sí y con los estambres en su porción filamentosa, el ovario es súpero con 2 – 10 carpelos, y con estigma corto, de tal manera que, las anteras por ser alargadas, envuelven al estigma y al estilo, (Garza, 1984) citado por Valdivia (1989).

La polinización es directa o autógama en aproximadamente 95 % - 99 %, la polinización cruzada varía de 0.5 – 5 % y se favorece principalmente por los insectos. El estigma es receptivo desde 1 a 2 días antes de que ocurra la dehiscencia y permanece así, hasta los 8 días después de que ocurre la antesis favoreciéndose la polinización mediante la caída directa de los granos de polen sobre el pistilo, (Garza, 1984) citado por Valdivia (1989).

Fruto

El fruto de jitomate se constituye por una baya lisa de forma deprimida, alargada y lobular, redondeada, periforme, etc. Tamaño variable; coloración (epicarpo mas mesocarpio), rojo o rosa y en algunas ocasiones amarillo, (Guenkov, 1973), citado por González (1991).

Semillas

Son numerosas de tamaño pequeño (3 a 5 mm de largo por 2 a 4 mm de ancho) discoidales o reniformes, aplastadas pubescentes.

Requerimientos climáticos

Temperatura de germinación

El intervalo de temperatura del suelo recomendado para jitomate es de 12 a 16°C (mínima 1°C y máxima 30°C). La temperatura óptima para la germinación de jitomate está comprendida entre los 25 a 30 °C, por debajo de los 10 °C la semilla no germina (Serrano, 1978).

Crecimiento

Según Guenkov, citado por Salinas (2002), la temperatura óptima para el crecimiento es de 15 °C a 30°C. Una temperatura permanente menor a 15°C detiene la floración y si la temperatura llega a 10°C la planta detiene su crecimiento.

En caso de elevarse la temperatura a más de 35°C repercute en una disminución en la actividad fotosintética; es decir, es mayor la respiración que la fotosíntesis, lo cual ocasiona poco follaje, tallos delgados y plantas cloróticas. Por tal razón es difícil obtener plantas con tallos gruesos, ocasionando desprendimiento de ramas.

El crecimiento máximo (producción de materia seca) se obtiene con la temperatura diurna de 25°C y nocturna de 17°C. Estos factores fluctúan en relación con la intensidad de luz, la edad y el balance de agua en la planta (Folquer, citado por Salinas, 2002).

Floración

En esta etapa la planta requiere en el día de 23 °C a 26 °C y en la noche de 15 °C a 18 °C. Temperaturas inferiores a 15 °C y superiores a 25 °C ocasionan problemas fuertes en el número de flores y de racimos por planta. Asimismo temperaturas e 30 °C ,35 °C o superiores en el ambiente ocasionan (además de deshidratación) una elongación del pistilo de la flor, reduciéndose con eso la autopolinización provocando la caída de flores y con ello la disminución en el rendimiento.

La ramificación de los racimos esta influenciada por la temperatura; con temperaturas bajas se promueve a que los racimos ramifiquen, también existe un período de temperatura sensitiva para cada inflorescencia durante la cual bajas temperaturas promueven una producción más grande de flores; de igual manera, la producción de flores disminuye al incrementarse la temperatura por arriba de 27 °C y se aumenta el numero de flores por racimo a una temperatura de 12 – 15 °C.

Fructificación

Las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y cuajado del fruto según Luang citado por Salinas (2002), se puede establecer entre los 14 °C a 17 °C durante la noche y de 23 °C a 25 °C durante el día, poniendo especial atención en la temperatura nocturna, ya que ésta tiene mayor influencia sobre estos dos procesos. Durante la etapa de llenado de frutos, las altas temperaturas redundan en la disminución del tamaño de frutos cuajados.

La coloración deseada en el fruto es de roja a rosa o azul propiciada por el licopeno, el cual se manifiesta mejor en temperaturas que van de los 15 a 29 °C de lo contrario aparecen colores verdes, amarillos, o rozados propiciados por los carotenos y las xantofilas. La temperatura óptima diaria para el mejor desarrollo del color rojo del jitomate está entre 18 °C y 24 °C; cuando la temperatura pasa los límites de 26 °C a 29 °C considerados así como desfavorables, se acentúan el color amarillo del fruto. La maduración puede ser anormal cuando ocurre una temperatura promedio de 15 °C durante 95 horas en la semana anterior a la cosecha.

Humedad

La humedad relativa más favorable es de 50 a 60 %, cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no forman fruto.

Humedades muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas (enfermedades a nivel raíz, tallo, hojas, flores, frutos), se

presentan rajaduras del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en el exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

Luz

El jitomate es una planta sensible al fotoperíodo, en lo que concierne a su floración, sin embargo, para el caso de todas las plantas con semilla (incluyendo el jitomate) se muestran respuestas del crecimiento, determinada por un control fotoperiódico. Es conveniente que la luminosidad sea intensa cuando la planta de jitomate está en producción (coloración de fruto), 12 horas de luz es el mejor fotoperíodo, si es menor, el desarrollo es lento y, si es mayor, la síntesis de proteínas se dificulta y los carbohidratos se acumulan en exceso (Mendoza, 1995 y Rodríguez *et al.*, 1997).

Radiación solar

Las hojas están sometidas a la radiación de un amplio espectro, pero no absorben toda la radiación que cae sobre ellas; su color verde se debe a que reflejan o transmiten la luz verde ($\lambda = 500\text{--}600\text{ nm}$) del rango visible, de hecho, solo cerca de la mitad de la luz visible incidente se absorbe. Las plantas no absorben mucho de la luz infrarroja de onda corta; sin embargo, todos los objetos despiden radiaciones infrarrojas de onda muy larga (superiores a los 2000 nm) o calor, y la planta puede absorber una gran cantidad de calor de su entorno (Bidwell, 1979). La radiación solar que llega a la tierra

abarca una amplia franja del espectro radiactivo electromagnético y dentro de ella, una parte significativa (aproximadamente un 40%) es la radiación luminosa normalmente llamada luz. La radiación luminosa ocupa una pequeña franja del espectro, que va desde los 400 a los 700 nm, y se sitúa entre las radiaciones ultravioletas y las infrarrojas y constituye la llamada radiación fotosintéticamente activa, la cual se abrevia en inglés PAR (De las Rivas, 2000 b).

La radiación útil para las plantas es la llamada radiación fotosintéticamente activa (PAR), comprendida en la banda de longitudes entre los 400 y 700 nm, es decir, el espectro de luz visible que tiene influencia sobre el proceso fotosintético; cuando se habla en términos de fotones se habla de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF). Casi todas las mediciones de la irradiancia se reportan en términos de radiación fotosintéticamente activa (PAR); sin embargo, hay que considerar que se puede estar hablando de irradiación total o radiación solar incidente total, que es aproximadamente el doble de la primera (Gardner *et al.*, 1990; Nobel, 1999 y Lawlor, 1987).

La Unidad de medida que se utiliza en la PAR es micromoles de fotones, esto se debe a que la energía de un fotón es un número muy pequeño. Para expresar la cantidad de energía radiante se utiliza una unidad molar de fotones llamada Einstein que representa la energía existente en el número de fotones que existe en un mol de radiación electromagnética. El número de fotones por mol es el número de Avogadro, es decir, un mol de radiación electromagnética tiene 6.023×10^{23} fotones (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

De acuerdo a Langhans y Tibbits (1997), una irradiancia de $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, es adecuada para la mayoría de los cultivos,

considerando valores mayores de $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, con muy altos.

pH

El jitomate es una especie que demanda un pH de 6.5 a 6.9, poniendo especial cuidado en los niveles de acidez, ya que tales niveles tienen repercusiones en el rendimiento. El pH óptimo está entre 6 y 6.6 si baja de 5 debe encalarse y cuando es mayor de 6.8 provoca una disminución en el rendimiento, sobre todo porque la asimilación de los nutrientes es deficiente (Torres, citado por Salinas, 2002).

Manejo del cultivo

El material recomendado por su buen rendimiento y fácil manejo es la variedad tequila de crecimiento indeterminado pudiéndose propagar por semillas y por esquejes, cabe señalar que éste último reduce el costo de producción.

Propagación por semilla

Para la propagación por semilla se ocupa como sustrato una mezcla de tierra de monte y arena de río en una proporción de 50 % de cada uno de los sustratos. Para la esterilización del sustrato, se somete en agua hirviendo a una temperatura aproximada de 90 °C.

El sustrato mezclado y esterilizado se coloca en charolas de unicel o de plástico de 200 cavidades presionando levemente; luego se coloca una semilla en cada cavidad a una profundidad de 0.5 cm,

posteriormente se tapan las semillas con 5 ó 7 mm del mismo sustrato (y nuevamente se presiona ligeramente el sustrato con el fin de que las semillas no salgan al aplicar el riego).

La germinación, dependiendo de la temperatura del aire tendrá lugar de 3 a 10 días después de la siembra (Sánchez, 1999). Se debe regar diariamente con agua de la llave antes que nazcan las plántulas y, una vez que éstas han formado las dos primeras hojas verdaderas se inicia el riego con solución nutritiva.

Densidad de la plantación

La densidad de plantación dependerá de la distancia entre surcos que se tenga, el número de tallos que se vayan a dejar y si se hará a hilera doble o sencilla, también del ciclo de cultivo (Sandoval, 2001).

Surcos de 1.80-2.0 m doble hilera y un tallo. La distancia entre planta se sugiere un promedio de 50 cm y zig-zag (tresbolillo), con distancia promedio entre hilera de 40 – 45 cm. El estacado puede ser de T a cada hilera con su estacon. Puede llevarse colgado o cinchado (Sandoval, 2001).

Surco de 1.60 m hileras sencillas y un tallo. Se sugiere una distancia promedio entre planta de 30 cm. Si se desea a dos tallos. Dejar distancia entre planta de 50 cm (Sandoval, 2001)..

Surcos de 2.50 m doble hilera y un tallo. Distancia entre planta de 50 cm. Distancia entre hilera de 50 cm (Sandoval, 2001).

Surcos de 1.60m doble hilera doble tallo (capado). Esta densidad se pudiera utilizar en ciclos de producción cortos, ya que a esta densidad, para la altura del último hilo o altura del estacon se tendrá un promedio de 9 a 11 ramilletes con promedio de 8 a 10 frutos por ramillete. El capado o determinismo incluido se sugiere para que la planta concentre toda la carga en un ciclo más corto, donde las heladas y las lluvias son demasiado problema o cierto caso la predicción del mercado.

***Para cada densidad que se prefiera, siempre es aconsejable que la distancia entre planta y gotero (riego por goteo) estén a una distancia uniforme y consistente, para que haya crecimiento y nutrición pareja, que finalmente se refleja en la cosecha.

***En caso que se utilice riego por gravedad, que la planta este lo más cerca del valle del surco, y que el cultivo de Tequila este lo más cerca del canal de riego, para efectuar riegos más frecuentes ya que este necesita un buen requerimiento de agua debido al exceso de producción que tiene, comparado con la variedad Cada o Toro (Sandoval, 2001).

Trasplante

El trasplante se lleva a cabo a los 28 – 35 días después de la siembra y se hace en bolsas de polietileno negro de preferencia deben ser de calibre 700 tratado con rayos ultravioleta para garantizar que duren al menos cuatro ciclos de producción, y sus dimensiones serán de 50 cm por 50 cm, 40 cm por 45 cm o en su defecto de 40 cm por 40 cm. En la base de las bolsas se deben hacer perforaciones para que drene el exceso de agua o solución nutritiva.

Tutoreo

Es una práctica necesaria para el cultivo del jitomate, cuando este se desarrolla en condiciones de invernadero y el tipo de crecimiento es indeterminado, el cual se deberá iniciar 15 días a un mes después del trasplante, la planta tendrá una altura aproximada de 30 cm o bien cuando éstas tienen seis hojas verdaderas y antes de que empiecen a doblarse (Sánchez, 1999). Esta actividad tiene como objetivo que las plantas no estén en contacto con el sustrato, una vez que se inicia la floración o fructificación, así mismo facilita las labores de poda, aplicación de agroquímicos y la cosecha.

El sistema de tutores para las plantas que se conducen con un solo tallo consiste en una serie de estructuras (porterías) metálicas, alambre galvanizado calibre 10 y rafia. El tutores se realiza, amarrando la parte basal del tallo con rafia y sujetando el alambre colocado previamente sobre cada hilera de plantas. El nudo de rafia no debe ser corredizo para evitar el estrangulamiento de las plantas; se sugiere utilizar rafia suave para evitar la fricción de las plantas con esta. En la medida en que la planta crece, debe ser guiada colocando la rafia en espiral sobre el tallo a cada tres hojas sobre éste.

Poda de brotes laterales

Esta consiste en la eliminación manual de los brotes laterales o chupones que nacen en las axilas de las hojas del tallo, esta actividad se lleva a cabo cuando los brotes alcanzan una longitud entre 3 y 5 cm, ya que si se hace cuando han alcanzado un mayor tamaño se puede provocar a la planta mayor susceptibilidad al ataque

de las enfermedades, pero sobre todo se debilita el crecimiento de los frutos, ya que estos demandan nutrientes y azúcares para su crecimiento.

Poda de brote apical

Los materiales de crecimiento indeterminado tienen una yema vegetativa en la parte apical del tallo principal que permite el crecimiento continuo de la planta, por lo que es necesario eliminar la yema apical dejando dos o tres hojas arriba del último racimo, esto se hace una vez que la planta alcance 6, 7, 8 o hasta 10 racimos, ya que posteriormente se hace más complicado el manejo.

Al eliminar el ápice del tallo principal en las plantas de jitomate, se favorece el desarrollo de flores en la primera inflorescencia debido a que se elimina la competencia existente con las hojas en desarrollo, tallos e inflorescencias presentes en el ápice.

Poda de hojas

Otra práctica que eventualmente se hace es la poda de hojas, con ello la distribución de la radiación incidente y se mejora la ventilación, favoreciendo mayor floración y mejor cuajado de frutos, mejor calidad de cosecha y mejor control de plagas y enfermedades. Cabe señalar que si en algún momento se detectan hojas inferiores enfermas deben eliminarse inmediatamente. Si las hojas no se eliminan puede retardar la maduración de los frutos.

Poda de frutos

Para conseguir calidad de la producción se pueden eliminar uno o dos últimos frutos (generalmente los que están en el extremo Terminal del racimo) puesto que éstos frutos generalmente suelen madurar chicos y son de poco valor comercial, pero como también demandan azúcares compiten con los demás frutos del racimo; al eliminarlos los azúcares destinados a ellos se reparten entre los demás frutos favoreciéndose así con un mayor tamaño.

Riego

La duración y frecuencia del riego varia dependiendo de factores como la temperatura, intensidad de iluminación, tipo de sustrato utilizado y la fase fenológica del cultivo.

Conforme la planta va creciendo y desarrollándose aumenta su demanda de solución nutritiva. Durante los primeros treinta días después del trasplante, el jitomate requiere 0.4 litros por planta al día, los siguientes cuarenta días el consumo se incrementa a 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo demanda de 1 a 1.5 litros por planta por día (Velasco, 2004).

Cosecha

Los catálogos de proveedores de semillas indican la potencialidad de la variedad; en la actualidad existen plantas con rendimiento que van de los 15 a los 35 kilogramos por planta. La recolección empieza aproximadamente a los tres meses de la siembra y lleva de tres a cuatro meses esta etapa.

Fin del cultivo

Se detiene el suministro de agua y nutrientes; se saca la raíz del contenedor y se deja deshidratar la planta para que de esta manera su peso disminuya y pueda existir mayor facilidad para desalojar el invernadero que se limpia y sanitiza.

El cultivo de tomate presenta las mismas necesidades mediante el sistema tradicional con respecto al hidropónico. Las variables son la cantidad de agua o solución nutritiva que se ahorra a causa del menor espacio dedicado al sistema radicular en el caso del sistema hidropónico; esto permite utilizar menos cantidad de agua y espacio, y como resultado mayor productividad por área cultivada.

Plagas

El cuidado de una temperatura adecuada dentro del invernadero (16 a 25°C) es determinante para evitar la incidencia de plagas, puesto que estas en su ciclo acumulan horas-calor y condiciones óptimas como humedad para hacer su aparición.

Para predecir el desarrollo de un cultivo y el comportamiento de sus plagas dentro de los programas de manejo integrado de plagas se usa un sistema que considera la acumulación de calor con el paso del tiempo. Este sistema se basa en el concepto de tiempo fisiológico y se mide en unidades-calor (UC).

Una unidad-calor diaria (dependiendo del organismo: unidad-calor diario, unidad-calor hora, unidad-calor minuto, etcétera) es la cantidad de calor que se acumula durante un periodo de 24 horas

cuando la temperatura promedio es de un grado arriba de la temperatura umbral de desarrollo. El término grados-días algunas veces se usa en lugar de unidades-calor diario.

La temperatura, el principal factor ambiental, determina la rapidez desarrollada de los insectos y plantas. El desarrollo de estos organismos empieza solamente cuando la temperatura alcanza un cierto punto crítico. El uso del control biológico en plagas es utilizado ampliamente y existen centros especializados en la reproducción de insectos benéficos en lugares donde la explotación agrícola es una actividad preponderante.

Mosquita blanca (*Bemisia argentifolli*). La mosquita blanca abarca un ciclo de vida de cuatro a cinco semanas, periodo en el que sufre una serie de cambios en su estado de ninfa. Es la plaga más común del tomate; polífaga y ataca a más de 500 especies de plantas hospedantes correspondientes a 74 familias. Sin embargo, no todas estas plantas desarrollan poblaciones elevadas del insecto. Las especies de plantas preferidas por la mosquita blanca en la son calabaza, pepino, melón, sandía, algodón, repollo, coliflor, brócoli y tomate (Sánchez, 1996). La mosquita blanca puede causar los siguientes tipos de daño a sus plantas hospederas:

1. Daño directo por alimentación, el cual reduce el vigor de la planta y, por lo tanto, su producción.
2. Daño por excreción de mielecilla.
3. Daño por transmisión de enfermedades virales.
4. Daño por inyección de toxinas e inducción de desórdenes foliares.

El control biológico puede lograrse a partir de la *Encarsia formosa* (avispa chalcidoide); sus hembras adultas colocan sus huevos dentro

de las ninfas de la mosca blanca y también se nutren del contenido de estas durante los primeros estados larvarios (Rodríguez, 2003).

Araña roja *Tetranychus urticae*, *Tetranychus cinnabarinus*. Su ciclo de vida dura entre 10 y 14 días, dependiendo sobre todo de la temperatura. Por ejemplo, a 26 °C su ciclo alcanza diez días, pero a temperaturas más bajas dura mucho más, por ejemplo uno o dos meses. Viven en los restos de las plantas y en los rincones del invernadero. Si el número es muy elevado ataca a los tomates, produce amarillamiento en las hojas, que comienza con unos pocos puntos amarillos y termina con una apariencia bronceada. Los ataques muy fuertes pueden producir un blanqueado total de las hojas, ya que las arañas succionan el contenido de las células hasta vaciarlas (Guía Productores de hortalizas 2006).

Pulgones *Aphis gossyoi*, *Myrzus persicae*. Su ciclo de vida oscila entre siete días y tres semanas dependiendo de la temperatura. Los afidos se agrupan en grandes colonias sobre cultivos jóvenes y suculentos, en el envés de las hojas y en la base de los brotes; segregan una mezcla pegajosa por el abdomen que sirve de alimento a las hormigas, por lo que la presencia de hormigas sobre las plantas indica la existencia de pulgones. Estos se alimentan de la savia de las plantas, que extraen con su aparato bucal. Cuando los pulgones se alimentan de brotes jóvenes, las hojas se deforman y quedan enrolladas. Las mariquitas representan un buen control biológico; también pueden utilizarse las crisopas, ya que la hembra coloca de 100 a 200 huevecillos en el envés de las hojas cerca de la colonia de los pulgones. Las moscas adultas se alimentan de la melaza que segregan los pulgones, pero las larvas se alimentan de estos últimos. Cada larva mata de cuatro a 65 pulgones (Resh, 1997).

Minador del tomate *Liriomyza sativae*, *Liriomyza trifolii*. Los adultos alados son de color negro y amarillo y miden unos dos milímetro de longitud. La hembra deposita sus huevos en el interior de la hoja. Cuando se eclosionan las larvas, estas se alimentan haciendo túneles sobre la epidermis del haz y del envés de las hojas que reciben el nombre de minas. La unión de túneles ocasiona grandes daños que termina por secar las hojas. Los insectos *Dacnusa sibirica* y *Diglyphus isaea* y el *Opius pallipes* son una buena opción para contrarrestar la acción del minador. El último solo parasita al minador del tomate, mientras que los primeros lo hacen también con minadores hospedados en otros cultivos (Guía Productores de hortalizas 2006).

Enfermedades

El tomate es susceptible a una gran variedad de hongos, bacterias y virus. A continuación enumeramos los más comunes.

Marchitamiento. Es producido por *Fusarium* y *Verticillium*. Al principio, las plantas se marchitan en los días muy cálidos, después presentarán este aspecto de manera continua; las hojas se vuelven amarillas; si las plantas se cortan justo por encima de la superficie del suelo se podrá observar un anillo oscuro; en estos casos no queda otra opción que la esterilización del medio de cultivo y volver a empezar, ya que no existe manera de controlar la enfermedad.

Cladosporiosis. La cladosporiosis la produce el *Cladosporium fulvum*. Sobre el lado inferior de la hoja se presentan pequeñas manchas grises hasta aparecer también en la parte superior. Una manera de

prevenirlo será la limpieza en el invernadero, así como un buen control sobre la temperatura y ventilación. Algunos fungicidas e insecticidas naturales contrarrestan su proliferación (Guía Productores de hortalizas 2006).

Virosis. Varios virus atacan al tomate; el más común, el virus del mosaico del tabaco (TMV). Reduce la cosecha porque limita el desarrollo de la planta, ya que ataca a las hojas. La difusión de los virus se propaga por medio de los insectos chupadores que succionan la savia en donde se encuentra el virus. Existe la prevención de esta enfermedad con una especie de vacuna, con la que las plantas se inoculan, con una raza menos virulenta que el TMV. Proliferan ya muchas variedades resistentes (Guía Productores de hortalizas 2006).

Invernaderos

Un invernadero se concibe como un conjunto formado por una estructura ligera y cubierta que permite la protección y/o crecimiento de la planta mediante el uso de la energía solar y la defensa contra el frío y otras condiciones climáticas adversas (Matallana y Montero, 1995).

El polietileno trasmite cerca del 85 % de la luz del sol, lo cual es bajo comparado con el vidrio, pero en este pasan todas las ondas de luz requeridas para el crecimiento de la planta (Hartmann, 1990) citado por Sánchez (2004).

Según Serrano (1994), Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada con materiales transparentes para defender las plantas de la acción de los meteoros exteriores. El volumen interior del recinto permite el desarrollo de los cultivos en todo su ciclo vegetativo

Estas instalaciones están formadas por una estructura o armazón ligero (metálico, madera, hormigón, entre otros), sobre la que se asienta una cubierta de material transparente (polietileno, copolímero EVA, policarbamato, policloruro de vinilo, poliéster, cristal, etc.) con ventanas frontales y cenitales y puertas para el servicio del invernadero.

La siembra de hortalizas en invernadero, es una alternativa si se desea producir en un medio desfavorable o bien cuando se necesitan rendimientos elevados en determinadas épocas del año (Castaños, 1993). Otros e los objetivos que se consiguen con esta técnica de producción son: mejorar la calidad comercial de las cosechas y

obtener mejores precios en la comercialización del producto (Avitia, 1998).

Sánchez (1991) define al invernadero como una instalación que cuenta con paredes y techumbre cubierto con materiales traslúcidos, dentro del cual se suministran de manera racional todos los factores que intervienen en el desarrollo de las plantas (luz, agua, nutrientes, etc.) y cuenta además con posibilidad de regulación climática tanto en calefacción como en enfriamiento o ventilación, proporcionándoles las condiciones idóneas para el logro de los resultados económicos favorables. Su finalidad es proteger al cultivo de plagas, enfermedades y fenómenos meteorológicos, mejorando su rendimiento y calidad en el menor tiempo y espacios posibles.

El uso de materiales plásticos en la agricultura, y concretamente como cubierta de los invernaderos, significó un adelanto en la tipología o diseño de los mismos. Tradicionalmente, sólo se construía los invernaderos en forma de “capilla” (a dos aguas o a una sola vertiente adosados a una pared o en diente de sierra), ya que únicamente utilizaban en vidrio como material de cobertura. Sin embargo, el empleo de los materiales de síntesis (flexibles o placas) permitió adoptar la forma de curva. Otra de las modificaciones introducidas en el diseño de los invernaderos, por la utilización de materiales plásticos, fue la incidencia en la disminución del peso de la estructura resistente y, consecuentemente en el precio final del invernadero (Mantallana y Montero, 2001).

Aun cuando existen muchos tipos de invernaderos, algunas de las formas más comunes pueden ser: a) invernadero de capilla a una o dos aguas; b) invernadero curvo; c) invernadero parral; d)

invernaderos especiales: hinchables, torre, etc., indicando que para completar estos tipos se debe considerar la estructura de soporte, distinguiéndose en este sentido: a) invernadero con estructura de madera; b) invernadero con estructura de acero; c) invernadero con estructura de hormigón; d) invernadero con estructura de aluminio; e) invernadero mixto o combinación de algunas estructuras anteriores (acero y porta vidrios en aluminio) (Mantallana y Montero, 2001).

Al respecto, Avitia (1998) menciona dos tipos de invernaderos: a) sencillos o simples que comprenden a los de tipo capilla, semicilíndrico y semicircular y b) en grupos o de cámara plena o en batería, que incluyen a los tipos batería y diente de sierra.

Algunas de las condiciones más importantes que debe reunir un invernadero para su eficiente funcionamiento son:

a). Diafanidad. La luz es la fuente de energía, tanto para que la planta realice sus funciones vitales (fotosíntesis, respiración, crecimiento, reproducción, etc) como para su transformación en calor; los materiales que se utilizan como cubierta de invernadero deben tener una gran transparencia a las radiaciones lumínicas (Luna y Martínez, 1995).

b). Efecto invernadero. Las variaciones caloríficas infrarrojas como consecuencia de su longitud de onda, pueden encontrar un obstáculo al pasar a través del material de recubrimiento, puesto que éste, en relación con sus características contribuye a aumentar la temperatura de la atmósfera del invernadero, tanto más en cuanto es más impermeable a estas variaciones, esto es lo que se conoce como

“efecto invernadero” , que permite cultivar plantas en invernadero desprovistos de calefacción en zonas cuyas bajas temperaturas no les permitirían desarrollarse o que, por lo menos, les hará tener un ciclo vegetativo más largo (Alpi y Tognoni, 1991).

c) Dimensiones. La altura en la parte más baja (paredes laterales) del invernadero nunca debe ser menor a dos metros, pues se dificulta el control del ambiente y además el trabajo en el interior es incómodo para los trabajadores. La parte más alta, es decir, la cumbrera, conviene que tenga una altura comprendida entre 3 y 3.5m, pues con mayores alturas se presenta demasiada superficie a la acción del viento. Son aconsejables naves con una longitud entre 25 y 50 m, no son convenientes naves con longitudes mayores (Serrano, 1994).

A nivel mundial, el incremento en las superficies con cultivos protegidos está teniendo un desarrollo asombroso; así para el caso de Holanda se reporta actualmente una superficie total de invernaderos de 8900 ha, de las cuales el 40 % se destina a la producción de hortalizas, principalmente jitomate, pimiento y pepino. Italia cuenta con la superficie de invernadero con mayor diversificación en el mundo, destinando su producción para el consumo interno, actualmente tiene una superficie bajo invernadero de 25 000 ha, con un volumen de producción de 2.5 millones de toneladas, de las cuales el 15 % corresponde a productos hortícolas, de éstos sobresale el jitomate con un 31 % (7600 ha) (Randolh, 1999).

España, pionero en el desarrollo de la agricultura protegida registró una superficie de 29 000 ha en 1998, destacando que la provincia de Almería obtiene una producción de dos millones de toneladas de hortalizas, donde el jitomate, tiene un repunte con 600 mil toneladas, representando el 30 % de la producción total (García, 1999).

Israel es uno de los países en los que se ha dado un transición hacia los cultivos en invernadero, de 55 000 ha dedicadas a la producción de hortalizas, el 3 % (1650 ha) se cultivan bajo invernadero, aportando el 19 % del volumen total de la producción en invernadero, destacando por su importancia el jitomate, pimiento, pepino, melón y fresa. Específicamente para jitomate, se tiene una producción total de 174 000 toneladas para consumo en fresco y de éstas, el 60 % es producido en invernaderos, en los que se tienen rendimientos de 200 y hasta 300 tona ha⁻¹ (Chávez y Bringas, 1999).

La construcción de invernaderos para la producción de hortalizas en los Estados Unidos, ha tenido un crecimiento anual de hasta un 30 % en los últimos años, reportando un total de 450 ha, de las cuales el 90 % se dedica a la producción de jitomate considerada la hortaliza de mayor importancia (Van Dongen y Bringas, 1999).

Canadá cuenta con una superficie de 550 ha de invernaderos dedicadas a la producción de hortalizas, destinado el 57 % de dicha superficie a la producción de jitomate, alcanzando valores de la producción de hasta 79 millones de dólares. La situación de la horticultura Argentina ha mostrado una magnífica evolución en los últimos 10 años al pasar de una producción extensiva hacia una intensiva bajo invernadero, actualmente con una superficie de 2200 ha de invernaderos dedicadas a la producción hortícola, con un valor

de la producción de 100 millones de dólares, siendo el cultivo de jitomate el más importante con rendimientos de hasta 150 ton ha⁻¹ (Bringas, 1999a).

En México actualmente la superficie bajo invernadero es de 520 ha, distribuidas en Jalisco 156, Sinaloa 146, Baja California Sur 78, Baja California Norte 3839, Yucatán 35, Sonora 33, Querétaro 11, Morelos 8 como las principales entidades; de esta superficie, el 72 % se dedica a la producción de jitomate. Bajo este contexto, las cifras muestran que aún existe mucho campo para extenderse, ya que los jitomate de invernadero únicamente representan el 3.3 % de superficie dedicada a este cultivo (Bringas, 1999b).

Respecto a las técnicas de producción de jitomate bajo invernadero, la mayoría se han desarrollado en países como Holanda, Bélgica, Reino Unido, Alemania y Francia, por lo tanto su adopción para nuestras condiciones requiere revisarse detalladamente (González, 1991).

Los principales estados productores de jitomate en México, utilizan en mayor proporción los invernaderos para la producción de plántulas en charolas de poli estireno expandido para el trasplante. Esto permite obtener plantas sanas libres de plagas y enfermedades, de rápido crecimiento y con cepellón para las producciones tempranas, así mismo, se hace un uso intensivo del terreno (González, 1991), sin embargo, se ha observado un incremento constante de la producción bajo invernadero a nivel nacional (Castaños, 1993).

El jitomate es un cultivo que presenta susceptibilidad a las heladas, que limitan su producción en zonas templadas (como las de una gran parte de México) a tal grado que se hace necesaria la utilización de invernaderos que aunque sean sencillos, permitan controlar en gran medida aquellos factores ambientales que más limitan el desarrollo de esta hortaliza. Sánchez *et al* (1986) subrayan que para México no es necesaria la construcción de invernaderos sofisticados al estilo de los países desarrollados, pues además de que serían muy caros, se debe tomar en cuenta que las condiciones climáticas del país son menos drásticas, sobre todo en lo a bajas temperaturas se refiere.

La producción en invernadero requiere de muchos cuidados, ya que deben realizar diversas labores y normalmente no son llevadas a campo abierto. Debe regularse la temperatura y la cantidad de energía luminosa, la ventilación, el riego, la fertilización y en ocasiones facilitar la polinización. Periódicamente la estructura debe ser limpiada y fumigada y el suelo debe cuidarse. Las enfermedades de las plantas son particularmente serias en un invernadero, ya que es un sistema cerrado, requiriéndose de constante atención (Rodríguez, 1995).

Steta (2004), señala la industria de invernaderos crece a un ritmo tan rápido que se difícil encontrar datos actualizados, aunque estadísticas no oficiales estiman del 10 al 15% anual. Esta industria cuenta con un impresionante potencial en México, no sin riesgo de fracaso. Una tecnología de producción en invernadero enfocada puede desembocar en desastre económico, debido en parte a desproporcionadas expectativas de calidad y rendimiento. Entre los problemas que abundan en industrias de rápido crecimiento se encuentran, gerencia y mano de obra con formación insuficientes, y

tecnología y financiamiento inadecuados o mal empleados. Un entendimiento de expectativas potenciales de productividad envase al nivel de tecnología escogido, ayuda en los inversores en la toma de decisiones, lo cual aumenta sus oportunidades de éxito (Ocaña, 2006)

Selección de tecnología

Los factores en la selección de tecnología son: requerimiento del cultivo, condiciones climáticas, capital disponible para invertir en tecnología, y calificación del personal. Esto deberá tenerse en cuenta en el plan de negocio, junto con consideraciones sobre mercado objetivo, conocimiento de tendencias y fluctuaciones de precios. El cambio de campo abierto a invernadero conlleva a una serie de retos y necesidades de producción, donde formación de trabajadores y desarrollo de la experiencia práctica del productor en cultivo de ambiente controlado son máximas prioridades. El productor debe asegurarse de que el empaque tecnológico que elija incluye el nivel deseado de apoyo técnico. La industria de tomates de invernaderos en México se caracteriza por un variado rango de niveles tecnológicos con varios tipos de ambientes climáticos. Algunos de los factores climáticos más importantes son la intensidad y distribución anual de radiación solar, las mejores ubicaciones para la producción en invernadero durante todo el año en México son las regiones desérticas del norte y las tierras altas del centro; mientras que las regiones costeras tienen una temporada más corta debido al frío en invierno y a la niebla. Sin embargo, cada clima posee ventajas e inconvenientes que pueden tratarse con la elección de la tecnología adecuada. El nivel tecnológico de un invernadero es la combinación de sistemas que al ser incorporados en su interior

controlan el ambiente tanto en la mata como en las raíces de la planta. Se definen tres niveles de tecnología de invernaderos (Pardossi et al., 2004).

Que permite un rendimiento rentable: 1) baja tecnología, con mínima alteración de ambiente suficiente para modificar apenas el microambiente; 2) alta tecnología, con máxima alteración que crea el microambiente necesario para el crecimiento y rendimiento óptimo de la planta, y 3) tecnología intermedia, con diferentes combinaciones de las dos anteriores. A continuación se presentan las características de los invernaderos de tecnología alta, intermedia y baja (Costa y Giacomelli, 2005).

Invernaderos de baja tecnología

Cualquier zona con buen tiempo a través de tres estaciones es potencialmente apropiada para invernaderos de baja tecnología. En México, se pueden encontrar este tipo en las regiones costeras de BC, BCS y mar de Cortés. En la zona meridional de Sinaloa y Sonora, la suavidad de los inviernos permiten extender la temporada de producción a lo largo del invierno (otoño-invierno-primavera), mientras que en Baja California (al igual que en el centro de México) los veranos frescos permiten la producción en verano (primavera-verano-otoño). Sin embargo al carecer de sistema de calefacción/refrigeración artificial, estos invernaderos no permiten la producción a lo largo del año, y pueden presentarse dificultades con la calidad del fruto. En general un invernadero de este tipo carece de automatización. Muchos proyectos son creados y construidos por el productor, en vez de adquiridos al fabricante. La protección contra las condiciones climáticas exteriores se ofrece temperaturas diurnas

más altas, protección contra vientos y cierta exclusión de insectos, en comparación con campo abierto. Las condiciones ambientales típicas de invernadero de alta tecnología son: grandes fluctuaciones de temperatura del aire, con bajas temperaturas nocturnas y altas diurnas; ventilación limitada o excesiva, por ausencia de sistemas de control adecuados, depleción de CO₂ que causa reducción en desarrollo de cultivo, rendimiento y calidad del fruto. La combinación de estos factores tiene un impacto negativo en el crecimiento de la planta y desarrollo del fruto debido a la reducción de transpiración, enfriamiento de hoja, absorción de agua y nutrientes, y ritmo fotosintético. A menudo resulta el incremento de pudrición apical, cuarteo del fruto y otras enfermedades, a si como incapacidad de controlar el equilibrio vegetativo/reproductivo de la planta es común el uso de tecnología de España, Israel y México (Costa y Giacomelli, 2005)

Invernaderos de alta tecnología

El invernadero holandés modificado ha sido considerado como estándar de alta tecnología. Se compone de estructuras de aluminio, cubierta de vidrio, y control ambiental que mejora las condiciones de cultivo en cuanto a crecimiento óptimo, máxima productividad y calidad del fruto. Hoy estas características son comunes en invernaderos de polietileno franceses y españoles con control de clima holandés. Los controles automatizados pueden proporcionar al máxima productividad y calidad de fruto a largo del año. El ambiente es optimizado en la mata de la planta (temperatura del aire y humedad relativa y en la raíz mediante sistemas de calefacción radicular, y control de agua y nutrientes. la temperatura se mantiene mediante sistemas de calefacción radicular, control de agua y

nutrientes. La temperatura se mantiene mediante calefacción y ventilación forzada por enfriamiento por evaporación; además de fertirrigación y sombreado según los niveles de radiación, y aporte continuo de CO₂ casi con independencia total de las condiciones exteriores. Puede lograrse una reducción significativa en costos de producción y un mínimo impacto económico mediante la instalación de un sistema cerrado de irrigación en el que agua y nutrientes son reciclados y reutilizados. Los sistemas de recirculación deben de contar con un equipo de esterilización de la solución (ozono o radiación UV). La escasez de recursos de agua de buena calidad junto con la preocupación creciente sobre impacto medio ambiental son fuertes argumentos para adoptar estos sistemas. Procedimientos de MIP con productos no insecticidas son comunes en este nivel tecnológico la mejor manera de compensar los altos costos de inversión inicial, sobre \$200 USD/ m², es producir todo el año fruto de la mas alta calidad y ofrecerlos a precios superiores. Los costos de personal aumentan, debido ala necesidad mano de obra altamente calificada y productores/ gerentes de cultivo con experiencia. Sin embargo, un diseño adecuado del invernadero optimiza la utilización del espacio, con lo que se consigue superficie, ahorros en energía, y utilización más eficaz de recursos humanos. Además, se mantiene la carga de trabajo alo largo del año, lo que permite puestos de trabajo permanentes en la consecuente reducción de movimiento de personal posee condiciones climáticas bajo las cuales es suficientes el nivel intermedio de protección del cultivo. Estos invernaderos cuentan con un nivel tecnológico intermedio. es común la utilización de tecnología de Canadá, EE.UU., España, Francia e Israel. Se utilizan sistemas de ventilación pasiva, con ventilas en techo o laterales, o sistemas de control ambiental activos con enfriamientos y calefacción mediante abanicos y ventiladores.

Pueden incluir sistemas computarizados básicos y cortinas de sombreo mecanizadas para mejorar el control del clima. Para control radicular se utiliza varias clases de sustratos. La fertirigación computarizada es práctica común por que ofrece una distribución consistente en tiempo y uniformidad en la riego (Costa y Giacomelli, 2005).

Sustratos

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material distinto del suelo, natural o sintética, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado permite el anclaje del sistema radicular. El sustrato desempeña, por tanto, un papel de soporte para la planta. Puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el proceso de nutrición (Abad, 1995).

Las técnicas aplicadas en la producción vegetal han experimentado cambios rápidos y notables durante las últimas décadas. A estos cambios tecnológicos se suma una sustitución gradual de los cultivos tradicionales en el suelo por el cultivo sin suelo. La principal razón de este relevo la originan factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas. Por otro lado, el cultivo de las plantas con base en un sustrato permite un control más efectivo del medio ambiente de la radícula, sobre todo en los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes. De esta manera se intensifica el cultivo (Abad, 1995) y por lo tanto aumenta la producción por área cultivada.

Es obvio que utilizar materiales diferentes al suelo como soporte para albergar a la raíz se basa en los conceptos de hidroponía, aunque la utilización de estas técnicas sea tan antigua casi como la propia horticultura, tomando como ejemplo los jardines colgantes de Babilonia, aunque su uso actual se popularizó hasta finales del siglo XX como consecuencia de los avances en nutrición vegetal. Los sustratos pueden tener algunas de las propiedades presentes en el suelo, como pudiera ser la capacidad de cambio, y por esto se les conoce como sustratos activos, ya que tienen la capacidad de interaccionar con la solución nutritiva modificando la composición y las propiedades de esta. Por el contrario, existen otro tipo de sustratos que no cuentan con la capacidad antes señalada y que por lo tanto no alteran la naturaleza de la solución nutritiva.

El medio en que se desarrolla el sistema radicular de la planta determina la productividad y la calidad de los frutos obtenidos, puesto que de este depende la mayor o menor disponibilidad de agua y oxígeno que la planta utiliza para realizar sus funciones vitales. Afortunadamente, en casi todo lugar existe un sustrato o sustratos naturales que solos o mezclados sirven para obtener altos rendimientos a bajo costo.

Desde los inicios mismos de la hidroponía como disciplina científica, allá por el año 1860, se comprendió la importancia de contar en el sistema con la presencia de un sustrato sólido que además de proveer el sostén mecánico para las raíces de las plantas (Sutcliffe y Baker, 1979) facilitara la movilización y distribución del aire del agua y de la solución nutritiva (Penningsfeld y Kurzmann, 1983), con lo cual se logra una relación aire-agua más favorable en el espacio radical (Sutcliffe y Baker, 1979). Para cumplir con estas funciones

conviene que el sustrato sea relativamente liviano, presente cierto grado de porosidad, tamaño apropiado, ausencia de bordes cortantes y que sea químicamente inerte (Resh, 1988). Algunos de los sustratos sólidos más utilizados en el cultivo hidropónico son la arena de río, arena de mar, grava, vidrio molido, ladrillo triturado, fibra de coco, aserrín, vermiculita, perlita, fibra de roca y materiales plásticos (Penningsfeld y Kurzmann, 1983).

Propiedades de los sustratos

Las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de un sustrato o mezclas de sustratos deben determinarse para su manejo posterior; por ejemplo, duración del riego y horario del mismo. Una vez que el sustrato está en uso, no es posible cambiar las propiedades físicas, mientras que las químicas sí se pueden modificar con cierta facilidad.

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas las más importantes, ya que si éstas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar una vez que se ha establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

La caracterización física de los sustratos estudia la distribución volumétrica del material sólido, el aire y el agua, determinando en volumen el espacio poroso total del medio de cultivo desocupado, es decir que en él no se encuentran situadas partículas de origen mineral u orgánico. Dicho espacio poroso se divide en poros pequeños, denominados capilares, que retienen el agua, y los

llamados macroporos, que permanecen vacíos después de que el sustrato ha drenado el agua y que de esta manera permiten la aireación.

El agua total disponible de un sustrato es el volumen de agua retenida a la tensión de 100 cm de c.a. y se divide en: a) agua de reserva; y, b) agua fácilmente disponible. La primera se define como el porcentaje en volumen que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de c.a. El nivel óptimo se sitúa del 4 al 10%. La segunda varía del 20% al 30% y es la diferencia entre el volumen del agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado y dejado drenar a 10 cm de tensión métrica, y el volumen de agua contenido en dicho sustrato a una succión de 50 cm de c.a.; su comportamiento en cuanto a una baja retención de agua puede deberse a que su porosidad total sea reducida, lo que puede tener relación con el tamaño de los poros: si estos son grandes el agua no es retenida y se pierde por gravedad, si son muy pequeños la planta no tiene capacidad para extraer el agua antes de marchitarse (Abad, 1996).

Capacidad de aireación. El nivel de la capacidad de aireación óptimo varía entre un 20% y un 30%; se define como la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua y ha terminado de drenar, regularmente a 10 cm de tensión.

Tamaño de las partículas. El tamaño de las partículas se relaciona directamente con el de los poros; esto determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato; por tanto, el tamaño de las partículas afecta la disponibilidad de oxígeno y agua para las raíces

de la planta; de ello depende, en parte, el crecimiento y la producción de la misma.

El mejor sustrato resulta del material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 milimicras, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm.

Densidad aparente. No debe superar los 0.4 g/cm^3 bajo condiciones de cultivo protegido y se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo. Esto significa que incluye el espacio poroso entre las partículas (Abad, 1996).

Propiedades químicas

A diferencia de las propiedades físicas iniciales de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser, y son, modificadas a lo largo de un ciclo de producción, en particular, cuando se recurre a programas intensivos de fertiriego y uso de fertilizantes de lenta liberación (Bunt, 1988 citado por García 2001; Cabrera, 1999). Así pues, la evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar más significativamente el cultivo en su fase de establecimiento, en especial pH y CE.

Las propiedades químicas caracterizan las transferencias de materiales entre el sustrato y la solución; el mecanismo de

intercambio de cationes se da entre los cationes absorbidos sobre las superficies cargadas y los cationes de la solución regulan en gran medida la disposición de nutrientes requeridos por la planta (Cepeda, 1991).

Capacidad de intercambio de cationes (CIC). Es la suma de cationes cambiables que pueden ser absorbidos por unidad de volumen o peso del sustrato y que por lo tanto están usualmente disponibles para la planta. Cabe aclarar que estos cationes quedan retenidos de esta manera frente al efecto lixivante del agua. El valor óptimo de la capacidad de intercambio de cationes se relaciona con la frecuencia de la fertilización, puesto que si esta se aplica de manera permanente, la CIC no representa ninguna ventaja y conviene utilizar sustratos con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico; si se aplica de manera intermitente, el uso de sustratos con moderada o elevada capacidad de intercambio catiónico es importante y se recomienda mayor a 20 m.e. por 100 gramos (Rodríguez, 2002).

pH. El pH es un factor de vital importancia en el desarrollo de las plantas, ya que la solución nutritiva con que se alimentan es básicamente agua, compuesta de hidrógenos (H^+) y oxhidrilos ($-OH$), que unidos la forman ($H-OH$ o H_2O); sin embargo, existe una concentración constante de iones hidrógeno y oxígeno en libertad, denominada constante de ionización del agua ($K_w = 1 \times 10^{-14}$), de ahí que si no existe influencia de otros iones, el pH del medio sea neutro y su valor sea 7, resultado de una concentración de iones hidrógeno y oxhidrilos igual a 1×10^{-7} . Cuando esta cantidad varía debido a la captura de iones hidrógeno por algunos aniones presentes en el medio, el pH es básico, es decir mayor de siete; si por el contrario la cantidad varía por la captura de iones oxhidrilo por algunos cationes,

el medio será ácido. Existe un rango entre 5.5 y 6.8 óptimo para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, pues en este rango tanto aniones como cationes están disponibles para la planta en cantidades adecuadas (Rodríguez, 2003).

Relación carbono nitrógeno (C/N). Esta relación se usa frecuentemente como un índice del origen de la materia orgánica, de su estabilidad y madurez. Una relación menor o igual a cuarenta se considera óptima para el cultivo en sustrato, ya que indica que el material orgánico se encuentra estable y maduro; por lo tanto, tiene la capacidad de albergar en su interior el sistema radicular de una planta con buenos resultados.

Disponibilidad de nutrientes. En general, los sustratos minerales no se descomponen ni química ni biológicamente, y desde un punto de vista práctico se les puede considerar desprovistos de nutrientes. Como experiencia personal se puede comentar que una mezcla de arena y granzón (1 Kg en un recipiente de poliestireno) se utilizó para albergar una plántula de fresa. El trasplante se aplicó el dos de marzo y hasta el catorce de agosto le fue administrada solo agua; se observó el tamaño de las hojas pequeñas en comparación con plántulas fertirigadas y mientras que estas ya produjeron plantas hijas, la primera solo había logrado subsistir; sin embargo, no se aprecian síntomas de deficiencia severos (Rodríguez, 2000).

En los sustratos minerales se pueden determinar los nutrientes asimilables en la disolución del sustrato con el fin de planear la fertirigación correcta y después se compara la disolución nutritiva del riego con la del sustrato y se complementa la información con análisis foliares.

Salinidad. Cantidad de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. La salinidad puede incrementarse a niveles no adecuados cuando las sales disueltas en el agua de riego o en la solución de fertirrigación superan a las necesidades de absorción de la planta y a las pérdidas por lixiviación. En los cultivos hidropónicos, además de la fertirrigación, se utilizan los riegos de agua sola para evitar la acumulación de sales, tan frecuentes en el cultivo tradicional cuando es fertilizado en exceso.

Elección de un sustrato

No existe un sustrato que reúna todas las características deseables. El mejor medio de cultivo ante la versatilidad de los mismos puede solucionarse según varios criterios: disponibilidad, finalidad de la producción, costo y experiencia en su utilización. El Programa de Vinculación, Investigación y Validación Tecnológica en Hidroponía de la Facultad de Ciencias Químicas demostró que una mezcla de arena de río y granzón es el sustrato con mayor productividad y más bajo costo, en comparación con otros nueve, de los diez sustratos probados en cultivo de tomate (Rodríguez *et al.*, 2000).

El factor más importante en la elección de un material como sustrato es la ausencia de sustancias que sean tóxicas para la planta, tales como ácidos alifáticos de cadena corta, compuestos fenólicos, salinidad elevada. Dentro de las herramientas con que se cuenta en la actualidad están los bioensayos de germinación.

Sustratos inorgánicos

La hidroponía utiliza con más frecuencia los sustratos inorgánicos: la lana de roca, la perlita, el granzón y la arena.

Lana de roca. Básicamente es un silicato de aluminio que además contiene algo de calcio y magnesio en poca cantidad y en menor proporción manganeso y hierro. Medio manufacturado por fusión de la roca. Después es hilado en fibras y usualmente presentado en bloques y planchas.

Su principal característica: contiene muchos espacios vacíos, usualmente 97%. Esto le permite sostener niveles muy altos de agua disponible y también un buen contenido de aire. El 57% del área hidropónica total utiliza este tipo de sustrato.

La lana de roca también es usada con frecuencia como pequeños bloques iniciadores para ser transplantados en otros sustratos o en sistemas basados en agua. Se desarrolló en Dinamarca en 1969; ahora lo producen aproximadamente veinte fábricas alrededor del mundo. Es el principal medio usado donde existe una fábrica cerca. Resulta costoso transportarlo de un lugar a otro, por su volumen; por lo tanto, su importación presenta dificultades cuando se compete localmente con medios disponibles más baratos.

Se prepara a partir de una mezcla de rocas basálticas, piedra caliza y carbón de coque en relación de 3-1-1 y se funde a 1,600°C, aunque el material de partida utilizado a veces puede ser la escoria de los altos hornos. La masa fundida se lanza sobre unas ruedas que giran a gran velocidad y se forman las fibras de alrededor de unos 0.005

mm de grueso y son enfriadas por una corriente de aire; las fibras se comprimen en bloques o planchas de diferentes tamaños; para formarlos y obtener más estabilidad se utilizan resinas que unen de mejor manera a las fibras y dentro de las que comúnmente se utilizan están las de urea- formaldehído y fenólicas.

Dentro de las características que presenta la lana de roca están su baja densidad aparente menor a 0.1 g/cm³, una alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible mayor al 48 por ciento (se relaciona con el espesor y forma de la plancha) y una alta capacidad de aireación mayor al 35 por ciento, todo esto producto de una alta porosidad que supera al 95 por ciento; este material, por lo tanto, no retiene prácticamente agua de reserva de difícil disponibilidad que en condiciones adversas atenúan las deficiencias de agua. Desde el punto de vista químico, su capacidad de intercambio iónico y regulador de pH son prácticamente nulos, lo que implica en el cultivo un perfecto manejo de las condiciones hídricas y de nutrición.

A través del tiempo, el cultivo hidropónico utilizando lana de roca ha demostrado ser un sistema seguro, rentable y altamente productivo; por lo tanto, la superficie cultivada utilizando este sustrato se ha extendido en diferentes países dentro de los cuales destaca Canadá, Australia, España, Francia y Holanda, no obstante que su duración es limitada (2-3 años), su resistencia mecánica es baja y la eliminación de residuos presenta problemas ambientales.

Arena. Las arenas proceden de diferentes fuentes, destacando las de río, que son depósitos de materiales heterogéneos transportados por el agua a partir de la erosión de diferentes materiales de naturaleza silíceo con más de un 50% de SiO₂ y de otros constituyentes de

naturaleza variable que depende de la roca original. Las arenas para uso hidropónico permitirán el óptimo desempeño del cultivo cuando están exentas de limos, arcillas y carbonato cálcico; estos últimos pueden provocar un incremento significativo en el pH del medio, lo que puede originar desórdenes nutricionales que afectan fundamentalmente a los elementos fierro y boro, aparte de que la liberación de calcio y magnesio en exceso, debido a la naturaleza del sustrato, puede desencadenar la precipitación de fosfatos y sulfatos en el contenedor provocando la deficiencia de los mismos (Resh H., 1997), por lo que no deben utilizarse arenas que contengan niveles elevados de carbonato cálcico, lo que se considera cuando estos son superiores a un 10%, esto de acuerdo a la cantidad de iones carbonato y de calcio que pueden estar presentes en la solución y a la constante de producto de solubilidad de los compuestos que intervienen como receptores, lo que provoca la reacción de precipitación de acuerdo a valores tomados de las tablas de constantes de productos de solubilidad; las arenas, en este caso, pueden lavarse utilizando soluciones con ácidos diluidos con lo que los carbonatos forman un compuesto soluble que sale del sistema quedando de esta manera la arena libre de los iones carbonato (Rodríguez, 2000).

Su densidad aproximada en g/cm^3 es de 1.555; el espacio poroso total alcanza el 45.2%; la porosidad susceptible a ser cubierta por aire en porcentaje por volumen es de alrededor de 6.2, mientras que el espacio para agua fácilmente disponible es de 15.8 (Martínez, 1992). Sustrato barato y abundante en muchos países. Su uso se difundió a comienzos de los años setenta, especialmente en los EEUU, donde fue desarrollado y utilizado en camas largas y

profundas. También se establecieron unidades en varios países desérticos del Medio Oriente (Rodríguez, 2003).

Riego por goteo

El uso eficiente del agua (WUE) de un cultivo puede ser expresada por el rendimiento (Y) entre el agua utilizada (W) durante el ciclo ($WUE = Y/M$ en $kg\ m^{-3}$). También, se puede considerar como la biomasa del cultivo (materia seca) entre agua utilizada. De acuerdo a los diferentes estudios, resulta más eficiente el uso del agua cuando se utiliza el sistema de riego por goteo aplicado en forma parcial al sistema radicular, esto quiere decir, aplicarle un riego durante un tiempo en una parte y alternarlo en la otra mitad del sistema radicular, que fijo en la zona radicular (Shaozhong, 2001) citado por Carrillo (2003).

Uno de los riegos con mayor eficiencia lo constituye el riego localizado, del cual el riego por goteo es una variante, y que consiste en la aplicación del agua en una zona restringida del volumen radicular. Al no mojar el agua la totalidad del suelo ni encharcarse, y utilizar pequeños gastos con la frecuencias necesaria, permite obtener eficiencias muy superiores a las utilizadas con los sistemas de riego tradicionales, como: gravedad, compuertas, aspersión y otros; además de facilitar el acceso a los cultivos, reducir el enhierbamiento y permitir la aplicación de agroquímicos utilizando a la misma agua como medio (Etchevers, 1998).

Es un método que consiste en la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo a través de goteros, este método se caracteriza porque generalmente humedece la zona radical y de manera constante, y se diseña para trabajar a duraciones cortas y altas frecuencias de riego (Goldberg, 1974; Zazueta, 1989; Castaño, 1993; Velásquez, 1994).

El riego localizado, se considera como la aplicación del agua al suelo en una zona más o menos restringida del volumen radicular, dentro del cual se encuentra el riego por goteo, miniaspersión y/o difusores. El riego por goteo, se define como aquel sistema que aplica el agua con un caudal no superior a 20 L ha^{-1} , por punto de emisión o metro lineal de manguera para goteo (Martínez, 1991). La gran eficiencia se debe a la alta frecuencia de riego, en cambio la eficiencia en el uso del agua se define como el rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada (García 1997). En realidad lo que deseamos implícitamente es aumentar la eficiencia del agua en la producción; esto es un parámetro mensurable: “producción entre agua utilizada” (Aiziezon, 1999).

Estos sistemas de riego por goteo generalmente tienen una uniformidad de emisión que excede el 80% que proporciona el sistema que ha sido diseñado correctamente. el sistema de goteo opera a eficiencias entre el rango de 85 a 90% comparado con los sistemas de aspersión que solo tienen una eficiencia del 75%. Estos últimos son superiores en la aplicación de fertilizantes y agroquímicos sistémicos (Wilson, 1999).

Fertirigacion

Es un termino referido a la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego y cuyo propósito es mejorar las propiedades químicas del suelo y crecimiento del cultivo (Samani, 1996).

El fertiriego se define como la modalidad de riego que consiste en distribuir o suministrar los nutrimentos minerales que la planta necesita mediante la disolución de estos en el agua de riego (Urrestarazu, 2000); (Domínguez, 1996); (Peña, 1997).

El objetivo central de la fertirigación es crear y mantener un ambiente óptimo en la zona de raíces del cultivo, en término de disponibilidad de agua y nutrimentos, acorde con los requerimientos reales de cada especie y variedad, para cada condición edafoclimática; este ambiente óptimo es diferente en cada etapa del desarrollo fenológico de los cultivos, por lo que las alternativas técnicas de fertigación posibles de llevar a cabo son prácticamente infinitas (Gurovich, 1999).

En la fertirigación el agua se considera como el insumo principal del sistema; sin un óptimo micro – ambiente hídrico en el volumen de suelo ocupado por las raíces (rizosfera), ninguna combinación de los otros nutrimentos requeridos por la planta podrá ser absorbida y metabolizada adecuadamente. Mantener en el volumen de suelo ocupado por las raíces un ambiente hídrico que asegure siempre una disponibilidad de agua sin restricciones no es una tarea fácil, pero el éxito de cualquier programa de fertirigación depende en gran medida de mantener esta condición en todo momento y al interior de la rizosfera (Kramer, 1995) citado por Carrillo (2003).

Las ventajas que presenta este sistema son: Ahorro de fertilizantes, agua de riego y mano de obra, ya que las labores y requerimientos de maquinaria son reducidos; las pérdidas de fertilizantes son mínimas por efecto de la lixiviación, incrementando así una fertilización más eficiente; existe un mejor control en cuanto a la fertilización, por lo cual se realiza según lo que requiera el cultivo; permite el incremento del cultivo en una gran variedad de condiciones de suelo; es más económico y reduce la contaminación, recibiendo la planta los nutrientes en forma directa (Haman, 1996; Samani, 1996; Etchevers, et al, 1998; López, 1998).

También se define como la posibilidad de hacer llegar a las plantas las dosis necesarias de fertilizantes para una mayor explotación de los cultivos, factibilidad de mecanización y control de fertilización por períodos cortos (Tal, 1998). Etchevers et al (1998) menciona que la fertirrigación es una de las mejores opciones tecnológicas para manejar el agua de riego y la fertilización que se ofrece a los productores que tiene la posibilidad de incorporar esta practica a sus explotaciones; además, de que tiene las siguientes ventajas: permite el ahorro del agua de riego, fertilizante y mano de obra, y simultáneamente hacer un control adecuado de su aplicación y distribución; posibilita se establecimiento en cualquier tipo de topografía y en suelos delgados; tolera el uso de agua con contenidos salinos y mayores a los que se aceptan tradicionalmente; hace casi imposible la ocurrencia de un estrés hídrico o nutricional debido a que se riega continuamente con cantidades adecuadas de agua y se aplica fertilizantes frecuentemente; permite una mejor dosificación y distribución más uniforme del agua y los nutrientes. Lo anterior, repercute en un aumento de la productividad de la tierra y

de los cultivos debido a la sincronización de las necesidades de estos últimos con la oportunidad de las aplicaciones de los fertilizantes.

El principio de la fertirrigación reside en conseguir la máxima adecuación de los nutrimentos a las necesidades reales de los cultivos, mediante soluciones nutritivas equilibradas iónicamente, de modo que contenga todos los elementos nutritivos que demanda la planta. Por lo que el uso eficiente de fertilizantes es importante para la producción de cultivos, y especialmente del jitomate de invernadero (Ruiz, 1999).

Para el fertiriego es importante considerar las características de los fertilizantes, seleccionar correctamente el tipo de fertilizante y su cantidad, dependiendo de las necesidades del cultivo, debido a que se pueden utilizar fertilizantes líquidos o sólidos solubles (Lazcano, 1997). La fertilización exige que estos fertilizantes sean: solubles en el agua de riego, con un mínimo de impurezas; que sean compatibles entre ellos para que no reaccionen formando precipitados que pudiesen obturar los emisores; que sean compatibles con los iones contenidos en el agua de riego y con su pH, que no sean corrosivos sobre los componentes de la instalación de riego y que finalmente sean de manejo no peligroso.

Como método de fertirrigación se define la forma escogida para enviar la orden del comienzo de riego (salto de riego) y la orden de dejar de regar (final del fertiriego); ambos determinarán el volumen del fertiriego para cada instalación por unidad de contenedor de cultivo (tres plantas por saco) (Salas, 2001). Los métodos de fertiriego que se utilizan en los cultivos sin suelo se clasifican de acuerdo con la asociación con el sustrato, el clima, el sistema (abierto o cerrado),

cultivo, y algunos integrales (sustrato – planta – clima). Además, deben de cumplir con algunas de las siguientes consideraciones: suministrar la cantidad conveniente de nutrimentos, garantizar un adecuado equilibrio nutricional para un desarrollo óptimo de las plantas, mantener las cantidades correctas de agua fácilmente disponible para la raíz, finalmente mediante el fertiriego se debe mantener lo anterior y considerarse como una herramienta de manejo del cultivo, igual que otras técnicas.

Los métodos de fertiriego tienen que responder básicamente a dos cuestiones: cuando regar (frecuencia) y cuanta cantidad de agua aplicar (dotación). La mayoría de los métodos de fertiriego actúan sobre la frecuencia/dotación de riego y es posible combinarlos con consignas de CE (conductividad eléctrica) y pH, las que normalmente son fijas y solo permiten variaciones generales dentro de un período de tiempo. En algunos casos, corrigen la CE del riego semanalmente y en función de la CE del drenaje y de la solución suministrada en la semana anterior (Salas, 2001).

Acolchado plástico

El acolchado es una técnica que en sus inicios consistió en la colocación de residuos de cosecha sobre el suelo y que en la actualidad se realiza utilizando plásticos (Ibarra y Rodríguez, 1991). De tal manera que el acolchado actual puede ser definido como la colocación de una lámina de plástico, de polietileno o PVC, total o parcialmente sobre el suelo del cultivo (Villa, 1982).

Un sistema de agroplasticultura bien diseñado y manejado resulta en ventajas inmediatas como es el uso eficiente del agua de fertilizantes, producción precoz, aumento en el rendimiento, disminución en la aplicación de pesticidas y obtención de más calidad del fruto. Todas las ventajas mencionadas deben balancear favorablemente a corto y largo plazo dado el mayor costo de inversión inicial que implica el uso de agro plásticos. Por ello estos sistemas productivos requieren de un manejo y un control mucho más intensivo que los sistemas tradicionales (López *et al.*, 1999). Las características microambientales son definidas por los intercambios de energía y materia que se llevan a cabo entre las superficies de suelo desnudo o con vegetación y la atmósfera y espacio circundantes (Zermeño, 2001).

Dichos intercambios dan lugar a un balance energético cuya dinámica depende de la radiación incidente, la temperatura y la humedad del aire, la velocidad del viento y el grado de cobertura por vegetación.

Al colocar una película plástica entre el suelo y la atmósfera esta actúa como una barrera amortiguadora disminuyendo las variaciones en los factores ambientales (Cenobio, 2002).

Las características de la película tales como el color, grosor y transparencia a la radiación influyen sobre el intercambio energético en la superficie de la cubierta plástica y consecuentemente sobre el balance energético del suelo bajo ella. Adicionalmente la presencia de la película restringe la difusión de vapor de agua y CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera consiguiéndose de esa manera un microambiente adecuado para el crecimiento de las plantas (Ghawi y Battikhi, 1986).

MATERIALES Y METODOS

Localización Geográfica

El experimento se llevó a cabo de Diciembre del 2004 a Junio del 2005 (ciclo primavera – verano 2005), en un Invernadero de 84 m² ubicado en el barrio San Pedro en la Villa de Zaachila, Oaxaca, ubicada en las coordenadas 16° 56' latitud norte y 96° 45' longitud oeste, a una altitud de 1,520 msnm. Colinda al norte con Jalpan y San Pedro la Reforma, al oriente con la Hacienda de Tlanichico y Noriega, al sur con Trinidad Zaachila, y al este con San Pablo la Raya y Mantecón. En donde se evaluó el efecto que tiene el acolchado plástico de doble cara, los diferentes sustratos, en la producción de jitomate *Lycopersicom esculentum* Mill, bajo condiciones de invernadero y fertiriego.

Clima

Pertenece a un clima (A)c (w_o), semicálido con lluvias en verano, sufriendo variaciones en los meses de marzo a junio, siendo la temperatura media anual de 17.5° C. Las lluvias máximas se dan en los meses de junio septiembre. La precipitación varía de 480 a 650 mm con un promedio de 520 mm anuales, mientras que la evaporación es del orden de los 1800 mm. La dirección del aire dominante es el del Norte.

Infraestructura

El experimento se realizó en un invernadero de 84 m², dicha unidad consta de un túnel modificado, en batería de 6.0 metros de ancho por 14 metros de largo y 4.6 m de peralte, separación entre armaduras de 3 m.

Estructura de fierro que consta de base poste de tubular galvanizado cuadrado de 1 ¾" calibre 14 de 1.0 m de altura enterrados a 50 cm en base de cemento, poste mas arco de perfil galvanizado de 1 ½" calibre 14 unidos con niple de lamina galvanizada calibre 14. Largueros perimetrales de tubular galvanizado de 1" calibre 14.

Ventanas laterales a todo lo largo del invernadero por 2.15 m de altura cubierta con malla antiinsectos de 25x25, mecanismos de apertura y cierre a base de un sistema de enrollamiento con malacate, Cubierta de polietileno calibre 720 tratado contra rayos UV, para tres años de duración. Total de la superficie cubierta igual a 84 m². Incluye suministro de materiales habilitados de perfil, placas, tornillos, malacates.

Travesaño y poste a base de tubular galvanizado (PTR) de 1 ½ " en calibre 14, separadas a cada 3 metros cada una, base de PTR galvanizado calibre 14 de 1.50 m enterradas a 50 cm en base de cemento; alambre galvanizado calibre 13 a lo largo de la unidad para sistema de carga del cultivo.

Suministro e instalación de un sistema de riego por goteo con cintilla, un filtro de malla al inicio del sistema. La red principal del sistema consta de: una bomba eléctrica de 0.75 HP de fuerza, línea principal de PVC hidráulico de 32 mm de diámetro, dos juegos de llaves de

paso de cierre rápido o de compuerta, red secundaria con poliducto de ½", un tinaco para solución nutritiva.

Material Vegetal

Se sembró la variedad Tequila que es un material muy recomendado por su buen rendimiento y fácil manejo, además es de crecimiento indeterminado y se puede propagar por semilla y por esquejes, cabe mencionar que éste último reduce los costos de producción. Generalmente el hábito de la planta indeterminada va alterada de la siguiente manera; tres hojas, un racimo floral y en cada foliolo (hoja) sale un brote. Después del transplante la planta de Tequila tiene varios brotes, antes de su primera floración del tallo(s) principal(es). Tequila es una variedad bastante fértil y potencial muy elevado, durante los 4 años de cultivo se ha observado las siguientes características:

Plantas

Son de color verde claro, con crecimiento muy uniforme y bien equilibrado; distancia entrenudos es corta, que a la altura del estacon normal tiene entre 6 – 8 ramilletes; foliolos los tiene bien distribuidos, que proveen una buena cobertura del ramillete; producción de multiramilletes en alto porcentaje; bastante producción y amarre de flor; se ha observado racimos hasta de 40 flores, con 30 frutos logrados; después de 20 ramilletes la planta tiende a producir entre 40 a 50%; alto porcentaje de doble y triple ramillete (racimo), con frutos de 8 – 15 por racimos.

Fruto (Larga vida de anaquel)

Muy firme en color rojo que depuse de corte mantiene su firmeza por 15 – 20 días; tolerancia a la pudrición apical y a pared gris; forma ovalada y plano de parte superior; peso de 100 a 150 grs; con pared muy gruesa de 7.5 – 10.5 cm; maduración muy pareja a rojo intenso; sin hombro verde; homogeneidad en todo su ciclo de cosecha.

Formación de un tallo

Se quita cada brote que va saliendo de cada axila del foliolo después que haya aparecido la flor (abierta). El cultivo de tequila a un tallo es lo mas sencillo y lo mas sugerido para los agricultores que van a experimentar esta variedad por primera vez, ya que facilita las labores a los podadores, rinde mas el trabajo y hay mejor tamaño de fruto prometiando buenos resultados con producciones altas y prolongadas.

Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño experimental de franjas al azar, con cuatro repeticiones. Los sustratos que se utilizaron en este experimento fueron: tepetzil, arena de río y suelo desnudo y con la variante de acolchado plástico doble cara.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, 2005

Tratamiento	Descripción
1	<i>Tepetzil</i>
2	<i>Arena</i>
3	<i>Acolchado doble cara</i>
4	<i>Suelo desnudo (testigo)</i>

Manejo del cultivo y tratamientos

Semillero

La siembra se realizó el 6 de diciembre de 2004 en charolas de unicel de 60 cm de largo por 30 cm de ancho y 8 cm de profundidad de 200 cavidades. Se les colocó sustrato comercial (peat moss) a cada charola, y se le dio un riego antes de sembrar. Se sembró 1 semilla por cavidad. El riego se realizó 2 veces por día, solo con agua, hasta el transplante (Figura 1).



Figura 1. Semillero de jitomate cv Tequila (*Lycopersicon esculentum* Mill)

Preparación de suelo y llenado de bolsas

En la preparación de suelo, se utilizó como herramienta, el talacho, la pala y azadón. Las camas se hicieron de 13 m de largo por 1 m de ancho y 0.5 m de profundidad. La preparación consistió en barbechar y rastrear el suelo, esto con el fin de eliminar terrones y que el terreno estuviera lo más plano posible (Figura 2). Para el tratamiento con acolchado se utilizó un plástico doble cara (negro hacia abajo y blanco hacia el exterior) para lo cual se usaron las mismas herramientas que en la preparación de suelo (Figura 3). Las bolsas que se utilizaron eran de polietileno calibre 700 tratado contra rayos UV color negro de 40 x 40 con capacidad de 15 litros; el llenado de estas bolsas se efectuó con ayuda de una pala (Figura 4).



Figura 2. Preparación del terreno para el tratamiento testigo.



Figura 3. Colocación de acolchado Plástico



Figura 4. Llenado y acomodo de bolsas con sustratos

Instalación y prueba del sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo (localizado) el cual constó de una cinta 15 mil. T-Tape, con un gasto de 3.1 litros por hora por metro lineal a una presión de operación de 0.8 kg cm^{-2} , con goteros a 30 cm. Antes del trasplante se hizo una prueba del sistema de riego para verificar que los goteros de la cinta T-Tape tuvieran un gasto uniforme, esto en el caso de los tratamientos 3 y 4. En el caso de las bolsas la prueba consistió en observar de que la gota de agua cayera en el centro de la bolsa para que la planta aprovechara el agua aplicada (Figuras 4 y 5).



Figura 5. Prueba del sistema de riego en suelo



Figura 6. Prueba de sistema de Riego en bolsas

Trasplante

El trasplante se llevó a cabo a los 43 días (18 de enero 2005) después de la siembra en charolas, cuando las plantas tenían entre 8-12 cm de altura (Figura 7). La densidad total de plantación fue de 284 plantas dando en promedio una densidad de 3.38 plantas m^{-2} , separadas 35 cm entre plantas, 80 cm entre hileras y pasillos de 60 cm de ancho (Figura 8).



Figura 7. Plántulas listas para ser trasplantadas



Figura 8. Trasplante de jitomate cv Tequila, en Zaachila, Oaxaca.

Riego

Para la preparación de 1000 litros de agua con solución nutritiva se utilizaron las fuentes de nutrimentos y concentraciones mostradas en el Cuadro 3. Debido a que los micronutrientes son requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas y se hace un poco complicado el pesarlos, se optó en preparar un litro de solución madre, en donde estarían más concentrados.

En el Cuadro 4 se observan, las fuentes, sus cantidades y el orden de disolución. Se aplicó 100 ml de esta solución por cada 1000 litros de agua. En el Cuadro 5 se muestran los intervalos y duración de los riegos durante la etapa de crecimiento y fructificación.

Cuadro 3. Compuestos a utilizar para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

Orden de Dilución	Compuesto	Dosis
1	Ácido fosforico	175 ml
2	Nitrato de potasio	650 g
3	Sulfato de magnesio	950 g
4	Nitrato de calcio	1230 g
5	Solución micronutrientes	100 ml

Cuadro 4. Cantidad de micronutrientes utilizados para preparar un litro de solución madre

Fuente	Cantidad (g)
Sulfato ferroso (FeSO ₄ .7H ₂ O)	70.0
Sulfato de manganeso (MnSO ₄ .5H ₂ O)	20.0
Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	28.0
Sulfato de Cobre (CuSO ₄ .5H ₂ O)	2.0

Cuadro 5. Intervalo y duración de riego en el invernadero de Zaachila Oaxaca.

HORA DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO (MIN) PRIMERA ETAPA (CRECIMIENTO)	TIEMPO DE RIEGO (MIN) SEGUNDA ETAPA (PRODUCCION)
9:00 AM	10	15
12:00 AM	10	15
14:00 PM	15	20
16:00PM	15	20

Eliminación de brotes

Esta práctica se realizó desde los 15 días después del trasplante (1° de febrero 2005) hasta el fin del cultivo, dicha actividad se efectuó 2 veces por semana, para que los brotes no crecieran mucho y evitar heridas mayores a las plantas que pueden ser una fuente de infección, y además facilita el manejo de cultivo y ayuda a tener un óptimo desarrollo de la planta. Cabe mencionar que en los tratamientos 3 y 4 fue en donde primero se empezó la eliminación de brotes.

Eliminación de hojas viejas

La eliminación de hojas viejas se realizó 5 ocasiones con la única finalidad de mejorar la ventilación del cuello de la planta, además de sacar del invernadero un posible inóculo de infección y con ello tener un mejor y mayor aprovechamiento de la radiación. Después de cada eliminación de hojas se aplicó captan, con el fin de evitar posibles infecciones y/o entradas de enfermedades.

Tutoreo

Conforme el cultivo desarrollaba, la planta requería de ser tutorada, para lo cual se empleo rafia UV, se hizo un nudo corredizo para evitar el estrangulamiento de las plantas; y es por esto que se sugiere utilizar rafia suave no permitir la fricción de las plantas con esta. La forma de guiar a la planta en medida que esta crece es haciendo un espiral sobre el tallo a cada tres o cuatro hojas sobre éste.

Control de plagas

La principal plaga encontrada en el invernadero fue la mosquita blanca, para su erradicación se aplicó 2.5 ml de Confidor en una mochila aspersora de 15 litros, se efectuaron dos fumigaciones para este problema. Es importante mencionar que también se colocaron trampas amarillas, las cuales consistían en bolsas amarillas embarradas con grasa y estas también lograron captar moscas blancas y otros insectos. No se presentaron problemas de enfermedades.

Cosecha

La cosecha se realizó de manera manual, en ocasiones con ayuda de una tijera para podar y unos canastos o cajas de plástico para evitar dañar la calidad del fruto.

Determinación de las características físicas y químicas de los sustratos

La determinación de la textura del suelo se realizó a través del método AS-09 "Bouyoucos". La textura del suelo define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo.

La determinación de la densidad real se realizó a través del método AS-04 (método del picnómetro). La densidad real de un suelo puede ser calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa y el volumen de una cierta cantidad del suelo. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo.

La densidad aparente de una muestra de suelo se calculó con el método AS-03 método del terrón parafinado a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso.

En el caso de la masa, ésta se conoce pesando la muestra y en el caso del volumen, éste es determinado de manera directa midiendo el volumen en una probeta.

La determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría, se realizó a través del método AS-05 (método gravimétrico). El método se basa en la medición o determinación de

la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se referencia de la masa de suelo seco de la muestra.

Para determinar el porcentaje de espacio poroso se utilizó la metodología de campo de (Landis, 1990), citado por (Aldana y Aguilera, 2003).

Para determinar el porcentaje capacidad de aireación se utilizó la metodología de campo de (Landis, 1990), citado por (Aldana y Aguilera, 2003).

Para determinar el porcentaje agua retenida se utilizó la metodología de campo de (Landis, 1990), citado por (Aldana y Aguilera, 2003).

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se realizó a través del método AS-07, de Walkley y Black. (1973)

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo se realizó a través del método AS-12, con acetato de amonio.

Para la determinación de pH y la conductividad eléctrica se utilizó el método AS-02 con un potenciómetro (Hanna 991300)

La relación C/N se determinó a partir del porcentaje de materia orgánica que se encontró en los sustratos y suelo.

Variables evaluadas

Temperatura del suelo y/sustrato

La temperatura se evaluó cada dos horas, de 10 de la mañana a 18:00 horas de la tarde, cada 15 días; después del trasplante, y se efectuó hasta el fin de la cosecha. Los intervalos de medición fueron cada dos horas: 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas. Para ello se están utilizando geotermómetros, los cuales están enterrados a una profundidad de 15 cm.

Temperatura ambiental interior y exterior

Estas se midieron con termómetros comunes, cada 15 días después del trasplante en los mismos intervalos de tiempo que la temperatura de los sustratos.

Temperaturas máximas y mínimas

Esta se midió mediante termómetros de máximas y mínimas, cada 15 días.

Medición de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) dentro y fuera del invernadero

Estas mediciones se hicieron cada 15 días a partir del 21 de marzo hasta el 19 de julio casi terminado el ciclo del cultivo. Para la medición se utilizó un fotómetro marca LI-COR modelo LI-189 SERIE LM1833 (Quantum / Radiómetro / Photometro). Inc. USA), que consta de un sensor. Con el fotómetro se

tomaron tres tipos de datos: a) PAR incidente, en cada tratamiento, b) PAR reflejada, en cada tratamiento, y c) PAR exterior. Para la PAR incidente se colocó el sensor del fotómetro en la parte superior de las plantas, tomando tres lecturas y obteniendo su promedio. En caso de la PAR reflejada se utilizó el mismo procedimiento sólo que el fotómetro se colocó sobre el sustrato. Por último la PAR exterior se midió fuera del invernadero a una altura de un 1 ½ m del suelo, tomando tres lecturas y sacando el promedio. Los datos se tomaron cada dos horas durante el día, es decir a las 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas.

Altura de planta

Los datos se tomaron cada 15 días, después del trasplante hasta el día 18 de abril que fue cuando las plantas alcanzaron alturas superiores a 2.50 m, teniendo como tamaño de muestra 5 plantas por repetición dando un total de 20 plantas por tratamiento, se midieron desde la base hasta la punta del ápice. Para estos datos se utilizó un flexómetro.

Altura de la primera inflorescencia

Se llevó a cabo haciendo uso de un flexómetro. Se midió del sustrato al raquis de la primera inflorescencia.

Número de hojas

Para el conteo de las hojas se llevo un control desde el trasplante hasta el despunte del ápice, esto con el fin de tener un mayor y mejor control del conteo sobre todo cuando se eliminaban las hojas viejas.

Número total de Racimos

Para esta variable el registro y conteo de los racimos se hizo de manera manual. Se fue realizando conforme la planta iba desarrollando.

Número de flores

Se hizo de manera manual, en cada inflorescencia se coloco una tarjetita en donde se anoto el número de inflorescencia y el número de flores que esta tenia. El conteo se llevo a cabo una vez que la inflorescencia presentara todas o un 90 % de flores abiertas.

Número de frutos

Después del conteo de las flores, se anotaba en la misma tarjeta, el número de frutos una vez que este había cuajado.

Peso del fruto

Con la finalidad de conocer el rendimiento por tratamiento, se contaron y pesaron los frutos cosechados por planta y por tratamiento, utilizando una balanza granataria.

Grados Brix

Se efectuaron tres pruebas por repetición de sólidos solubles, haciendo un refractómetro de mano (ATAGO, MOD HSR-500). La evaluación se realizó en diferentes cortes.

Prueba de firmeza

Para efectuar esta prueba se cortaron los tomates en varios estados: verde, verde –naranja, naranja – verde, rojo y rojo fuerte, posteriormente se les sometió a una prueba con el texturometro digital (INSTROM). Se trabajo a una distancia de 3 mm de distancia a una velocidad de 5 mm /seg. Se tomaron dos muestras por fruto y después se obtuvo el promedio en Newtons.

RESULTADOS Y DISCUSION

Radiación Fotosintéticamente activa (PAR) dentro y fuera del invernadero.

El día 21 de marzo la PAR exterior alcanzo su valor más alto a las 12:00 horas, dando como promedio $980.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en el exterior La PAR incidente dentro del invernadero sobre cada tratamiento disminuyó 50.3 % para T₁, 41.7% para T₂, 46 % para T₃ y 42.6% para T₄, respecto a la PAR exterior; en otros términos la PAR incidente sobre cada tratamiento dentro del invernadero registraron valores promedio de 486.8, 570.8, 528.6, y $561.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para las plantas cultivadas en tepetzil, arena, suelo con y sin acolchado respectivamente (Figua 9). En esta fecha se observó el mayor valor de radiación reflejada sobre el sustrato de arena a las 14:00 horas.

El 5 de abril el comportamiento fue muy similar, pues la PAR exterior también alcanzó su máximo valor ($987 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a las 12:00 horas, en este caso se observa que en el T₁ fue donde se presentó de nuevo la mayor reducción, ya que la PAR pasó de 987 a $471.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que representa una disminución del 52.2 % con respecto a la PAR exterior. Contrario a esto se observó que en el T₄ registró la menor disminución ($695.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en relación a la PAR externa, lo que equivale a un 29.5 %. Para el caso del T₂ y T₃ se reportaron valores promedio de 682.8 y $640.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que representa una disminución de 30.8 y 35.1 respectivamente, con relación a la PAR externa (Figura 9).

El número de hojas (Cuadro 11) fue similar, en los tratamientos 2 – 4, observándose el menor número y probablemente la menor área foliar en el T₁. sin embargo este tratamiento estuvo del lado oeste del invernadero, por lo cual mostraba máximas de radiación solar después de las 12:00 horas (Figura 9). Una situación similar se observó por el T₂.

El día 18 de abril al igual que en las 2 fechas anteriores la PAR externa registró su punto más alto ($1024 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a las 12:00 horas. Para este día se observó en el T₃ un valor promedio de PAR incidente de $625.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que representa una disminución del 33.7 % con respecto a la PAR exterior. Para los T₁, T₂ y T₄ se reportaron valores promedio de 652.3 , 619.1 y $625.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente, lo que equivale a una reducción de 36.3%, 39.5% y 38.9 % para el tepetzil, arena y suelo desnudo respectivamente, con relación a la PAR exterior (Figura 9).

Para el 2 mayo el valor más alto de la PAR externa se registró a las 14:00 horas; en el interior del invernadero la radiación tuvo una reducción del 41.1%, sobre el tratamiento 2, es decir, la PAR externa ($937.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) pasó a PAR incidente ($552.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) sobre el cultivo establecido en arena. Para el caso de las plantas cultivadas en suelo con acolchado (T₃) la PAR tuvo un decremento de $937.9 - 621.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que equivale a un 33.71% con respecto a la PAR exterior. Para el caso de los tratamientos T₁ y T₄ se registraron valores de 568.5 y $595.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente; es decir la PAR se redujo en un 39.3 % para el caso de las plantas cultivadas en tepetzil

y 36.4 % para las plantas establecidas en suelo desnudo (Figura 10).

Para el día 25 de mayo el comportamiento de la PAR exterior fue similar su máximo valor fue de $974.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, el cual se registro a las 14:00 horas

Para el 25 de mayo la Par externa registro $974.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a las 14:00 horas, la PAR incidente sobre el tratamiento presentó un valor de $568.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que es igual al 41.6%, para los T_2 , T_3 y T_4 , se tuvieron valores de 436.4, 520.7 y 470.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, valores que representan el 55.2%, 45.6% y 51.67 % respectivamente.

Durante el mes de junio la PAR externa se comportó de manera similar al mes de mayo, ya que su valor máximo ($961.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) se presentó a las 14:00 horas; la PAR incidente sobre cada tratamiento registró los siguientes valores 579.9, 521.2, 560.2 y 575.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , es decir la PAR externa tuvo una disminución de 31.5%, 38.4 %, 33.8% y 32 % respectivamente.

Para el final del cultivo en el mes de julio la PAR externa se mantuvo en el mismo rango de valores, y presentó un comportamiento parecido a los meses de mayo y junio, alcanzó su punto más alto ($973.4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a las 14:00 horas, al interior del invernadero la PAR incidente sobre cada tratamiento presento valores de 735.2, 756.4, 687.6 y 698.1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para tepetzil, arena, suelo con y sin acolchado, lo que indica

que la cubierta de plástico redujo la PAR externa en 24.4%, 22.2%, 29.3% y 28.2% respectivamente.

De manera general se concluye que la PAR disminuyó en el interior del invernadero debido a la cubierta de plástico, pero en cada tratamiento la variación de la disminución de la PAR se debió principalmente a la ubicación del invernadero y la época del año. Los valores obtenidos de la PAR reflejada en las siete fechas fueron mínimos, aunque cabe mencionar que estos fueron disminuyendo conforme se incrementaba el crecimiento y desarrollo del cultivo. Dichos valores presentaron su máximo entre 16:00 y 18:00 horas, especialmente en tepetzil y arena.

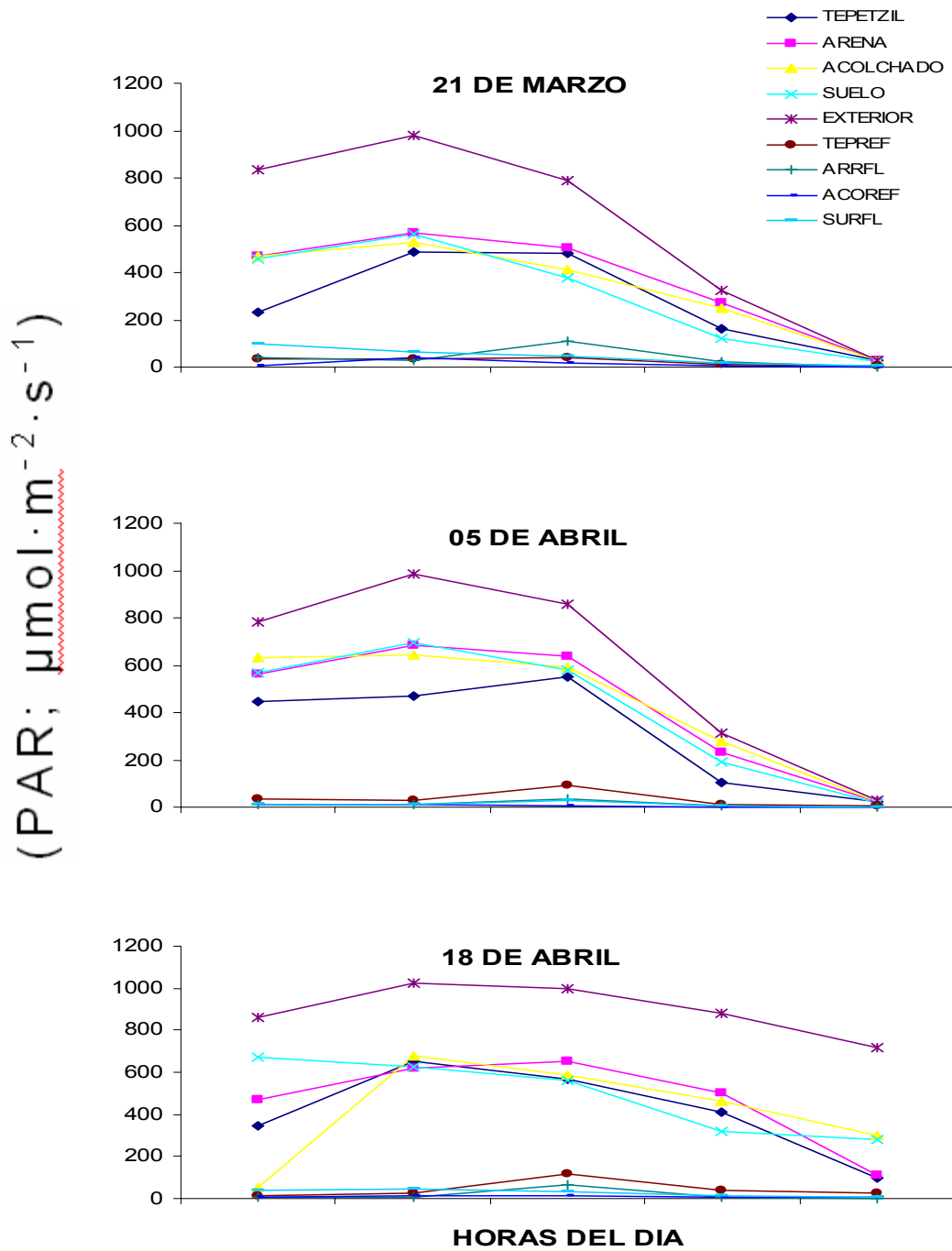


Figura 9. Radiación fotosintéticamente activa (PAR; $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) en el exterior e interior del invernadero en Zaachila, Oaxaca, 2005.

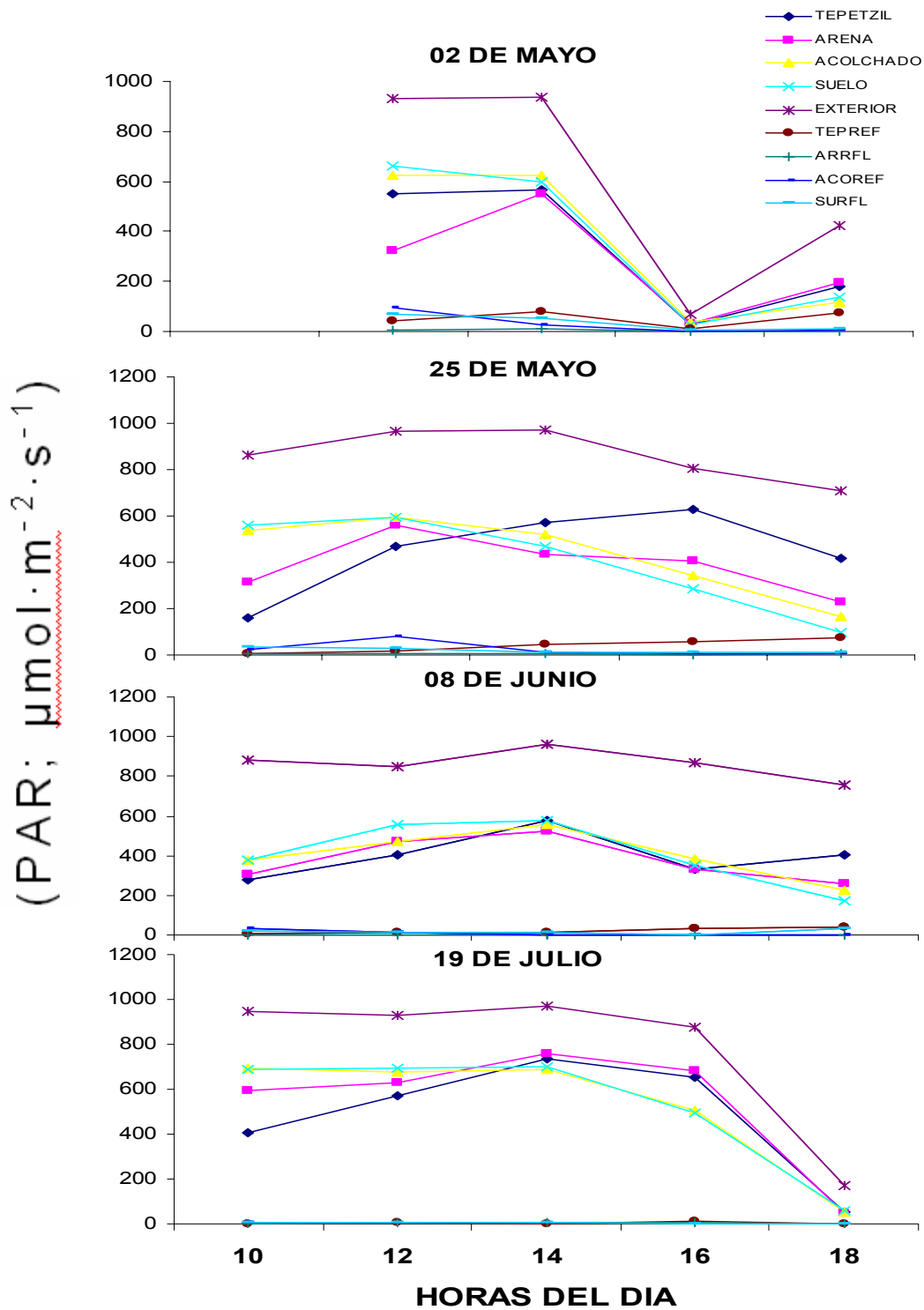


Figura 10. Radiación fotosintéticamente activa (PAR; $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en el exterior e interior del invernadero en Zaachila, Oaxaca, 2005.

Temperatura del sustrato y suelo

En la figura 11 se muestran las temperaturas ambientales (interior y exterior) y las temperaturas para los sustratos y suelo. Se observa que la temperatura ambiente interior se mantuvo en un rango de 24 a 31 °C, aunque en el mes de junio tuvo un decremento notablemente visible, lo cual se debió a la ocurrencia de una granizada el 13 de Junio. Según Guenkov, citado por Salinas (2002), la temperatura óptima para el crecimiento es de 15 °C – 30°C, por lo que se dieron las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Por otra parte se observa que la temperatura exterior promedio oscilo entre 22 y 29 °C, dos a tres grados menos que la temperatura interior.

Cuando se presentan temperaturas altas (mayores de 38 °C) durante 5 a 10 días antes de la antesis, hay poco amarre de fruto debido a que se destruyen los granos de polen, si las temperaturas elevadas prevalecen durante 1 a 3 días después de la antesis, el embrión es destruido (después de la polinización). El amarre de fruto es bajo cuando las temperaturas nocturnas son altas (25 a 27 °C) antes y después de la antesis. A temperaturas menores de 10 °C, un alto porcentaje de flores abortan, debido a la muerte del polen (Valadez, 1993).

Para la temperatura de sustratos y suelo se observa que el tratamiento T₄ presentó los valores más altos (por arriba de 22 °C; seguido del T₁ y de la T₂ con valores promedio que oscilan entre 20 y 22 °C. En cuanto al T₃ concierne, este presentó un

rango de oscilación menor (20 a 20.8 °C) en comparación con a los demás tratamientos, situación que proporciona a la raíz de la planta un ambiente más estable lo que permite un rápido desarrollo de las raíces con lo que se logra mayor precocidad y esto se traduce a un mejor crecimiento y desarrollo del cultivo (Castillo, 1998).

Según Fernández *et al.* 2001 que la temperatura optima del sustrato para el cultivo del jitomate es de 15 – 20 °C, por lo que de manera general se considera que las temperaturas registradas en este trabajo son adecuadas para el desarrollo cultivo.

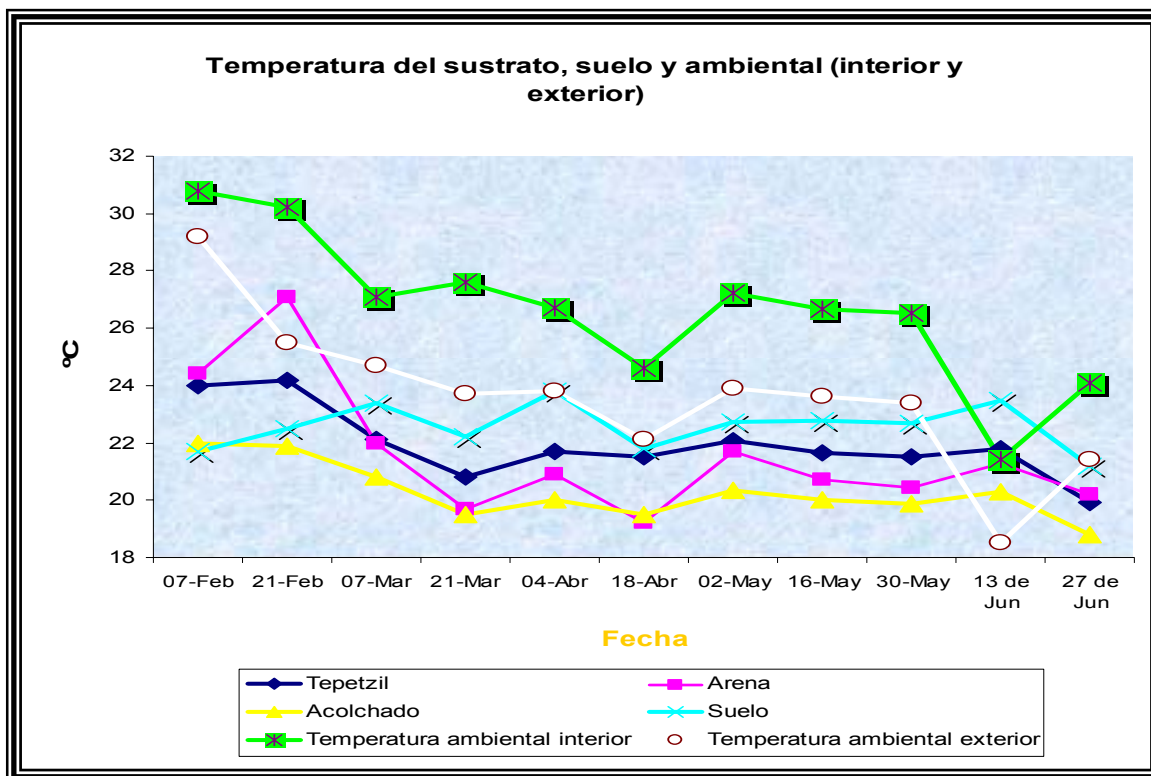


Figura 11. Temperaturas ambientales (interior y exterior), Temperaturas de los sustratos y suelo,

Características físicas y químicas de los sustratos y suelo.

Textura. Utilizando los porcentajes obtenidos de arcilla, limo y arena para el caso del suelo, y haciendo uso del triangulo de texturas, se determinó que este ultimo esta clasificado como franco arenoso. Para el caso del tepetzil y de la arena estos sustratos se ubican dentro del grupo Arenoso. En el cuadro 6 se muestran los valores obtenidos en porcentaje de arcilla, arena y limos.

Cuadro 6. Porcentaje de arcilla, arena y limos en sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en Zaachila, Oaxaca 2005.

	Tepetzil	Arena	Suelo
%Arcillas	1.3	1.3	5.3
% Arenas	86.04	98.04	82.04
% Limos	12.66	0.66	12.66

En el cuadro 7 se muestran los valores obtenidos para las propiedades físicas de los sustratos. A continuación se discuten cada una de ellas.

Cuadro 7. Propiedades físicas de los sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.

	TEPETZIL	ARENA	SUELO
Densidad aparente (g/cm³)	0.44	1.11	1.51
Densidad Real (g/cm³)	1.69	2.69	2.46
Espacio Poroso (%)	63	56	54
Capacidad de aireación (%)	47	7.3	4.6
Disponibilidad de agua (%)	7.6	8.9	25.7
Agua retenida (%)	15.9	48.6	49.4

Densidad aparente. La densidad aparente se expresa (g/cm³) y se ve afectada por el grado de compactación, descomposición (Martínez y García, 1993). Los resultados de este trabajo muestran que el suelo tiene el valor más alto de la densidad aparente (1.51 g/cm³) seguido de la arena y el tepetzil con valores de 1.11 y 0.44 g/cm³ (Cuadro 7). En el cuadro 7 se observa que al incrementarse la densidad aparente, disminuye el espacio poroso. Henríquez, Pérez, Gasco *et al*(2005) mencionan que la densidad aparente debe ser baja, ya que de esta manera las raíces tienen facilidad para penetrar a través del mismo. Bajo este contexto y corroborando con los valores obtenidos, observamos que el tepetzil es el que cumple de mejor manera con este requerimiento de los sustratos, seguido de la arena.

Abad (1996) menciona que el valor de la densidad aparente no debe superar 0.4 g/cm^3 bajo condiciones de cultivo protegido.

Densidad real. La densidad real (o de partícula) que corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo, se expresa en g/vol de las partículas. Su valor varía según el material de que se trate y suele oscilar entre 2.5 a 3 para la mayoría de los de origen mineral (Gil, 2005). De acuerdo a los a los resultados encontrados en este estudio se observa que coinciden con los reportados para los sustratos de origen mineral en la revisión de literatura con valores de 2.69, 2.46 g/cm^3 para la arena, suelo, respectivamente. Para el caso de tepetzil este mostró un valor bajo en comparación a estos y al reportado en la revisión de literatura.

Espacio poroso. El tepetzil es el material que mostró mayor espacio poroso con un 63%, seguido de la arena y suelo con un 56 y 54 % respectivamente (cuadro 7). Lemaire (1995) describe a la porosidad total como el volumen de los espacios vacíos ocupado por los fluidos en el total del volumen del sustrato, y menciona que esta alcanza valores e 75 – 90 % en los sustratos 75 y 90%, contra un promedio de 50% en los suelos naturales. El espacio poroso total encontrado en esta investigación es un poco bajo comparado con lo que reportan Martínez y García Lozano (1993) y Abad *et al.* (1993) quienes encontraron que el espacio poroso de un sustrato óptimo para el desarrollo de un cultivo debe presentar alrededor del 85% de su volumen total. Por su parte Minero (2005) coincide con estos autores el menciona que el valor óptimo para diferentes sustratos debe oscilar alrededor de 85%.

Capacidad de aireación. Para el caso de la capacidad de aireación de los sustratos utilizados en esta investigación, los resultados indican que el tepetzil es el que presenta el valor más alto con un 47%, seguido de la arena y el suelo con porcentajes de 7.3 y 4.6 % respectivamente. Se observa una relación directa con el porcentaje de espacio poroso (cuadro 7). Para el caso de la arena estos resultados difieren un poco de los reportados por Velasco (2004) en donde se encontró un valor de 16.79 %. Martínez y García Lozano (1993) y Abad *et al.* (1993) mencionan que la capacidad de aireación deseable en un sustrato para el buen crecimiento y desarrollo del cultivo de jitomate, oscila entre el 30 y 40% del volumen total. Minero (2005) menciona que en la producción de jitomate el rango óptimo de aireación oscila entre el 20 y 40%. Comparando los resultados de esta investigación con los citados por los autores ya mencionados se observa que el tepetzil fue el sustrato que mas se apegó a los valores citados con un 47 % aunque se encuentra ligeramente superior. Para el caso de la arena y el suelo los valores obtenidos están por debajo del óptimo.

Agua retenida (Capacidad de campo). Considerando que la retención de humedad se refiérela volumen del sustrato ocupado por agua después de ser saturado y dejado drenado libremente, esta retención está en función de la cantidad de los poros capilares que contenga el sustrato (Boodt *et al.* 1974), en este contexto el suelo presentó el valor más alto de retención de humedad con un 49.4%, en segundo lugar quedó la arena con un 48.6% y por ultimo el tepetzil con un 15.9% del espacio poroso

total (cuadro 7). Para el caso de la arena el resultado obtenido en este trabajo es superior y difiere de lo reportado por Velasco (2004) en donde encontró un valor de 23.98 % de agua retenida.

Disponibilidad de agua (Humedad aprovechable). Esta variable se refiere al porcentaje de agua que se libera del sustrato hacia la planta entre el 10 y 50 cm de tensión de columna de agua; en la presente investigación se encontraron valores de 25.7% para el caso del suelo que presentó mayor disponibilidad de agua, seguido de la arena y el tepetzil con un 8.9 y 7.6% respectivamente (cuadro 7). Estos resultados están dentro de los valores del rango óptimo mencionado por Minero (2005), en indica estos oscilan 4 y el 25%, esto nos indica que al menos en este parámetro los sustratos y el suelo cumplen están en el rango óptimo.

En el cuadro 8 se presentan las propiedades químicas, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, % de materia orgánica, relación Carbono / Nitrógeno; a continuación se discuten cada una de ellas.

Cuadro 8. Propiedades químicas de los sustratos y suelo, utilizados en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.

	TEPETZIL	ARENA	SUELO
pH	8.45	8.5	6.7
C.E. (dS/m)	.047	.062	1.34
CIC [Cmol(+) Kg⁻¹]	13	12.6	24.2
Materia orgánica (%)	0.28	0.048	2.94
Relación C/N	11.42	8.3	11.56

pH. Los valores de pH obtenidos en los sustratos y suelo se encuentran clasificados en medianamente alcalinos con valores de 8.45 y 8.5 para el caso de tepetzil y arena respectivamente (cuadro 8). En lo que se refiere al suelo, esta clasificado como un suelo neutro con un valor de 6.7. La clasificación se realizó de acuerdo a la NOM-021-REC-NAT-2000. De acuerdo a los resultados el suelo es el único medio que proporciona el pH demandado por el jitomate que se ubica en un rango que oscila de 6.5 a 6.9 según (Torres, citado por Salinas, 2002).

C.E. Se refiere a la concentración de sales solubles en la solución de un sustrato. Se puede ver afectada por la CIC. Según (Nuñez, 1995) citado por Minero (2005) para el jitomate con fertiriego en cultivos sin suelo la CE debe oscilar entre 3 y 5 dS/m. En el presente trabajo se encontró que el suelo tiene la mayor CE con un valor de 1.34 dS/m seguido de la arena y tepetzil con valores de 0.062 y 0.047 dS/m (cuadro 8). De acuerdo a estos resultados y a la NOM-021-REC-NAT-2000 el suelo tiene efectos muy ligeramente salinos y para el caso de la arena y el tepetzil estos presentan efectos despreciables de la salinidad. La conductividad eléctrica es una limitante para la producción de los cultivos, mientras mayor sea la conductividad eléctrica menor será el rendimiento y viceversa (Mass y Hoffman, 1977).

CIC. Los resultados obtenidos indican de acuerdo a la NOM-021-REC-NAT-2000 que los sustratos tepetzil y arena están ubicados dentro de la clase de baja de CIC con valores de 13.0 y 12.6 (Cmol(+) Kg⁻¹) respectivamente; para el caso del suelo este se

ubica dentro de la clase de media con un valor de 24.2 (Cmol(+) Kg⁻¹) (cuadro 8). Rodríguez (2002) menciona que el valor óptimo de la capacidad de intercambio de cationes se relaciona con la frecuencia de la fertirrigación, puesto que si esta se aplica de manera permanente, la CIC no representa ninguna ventaja y conviene utilizar sustratos con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico; si se aplica de manera intermitente, el uso de sustratos con moderada o elevada capacidad de intercambio catiónico es importante y se recomienda mayor a 20 m.e. por 100 gramos. De acuerdo a la revisión de literatura y a los resultados obtenidos se puede determinar que conviene utilizar el tepetzil y la arena como sustratos. Estos resultados coinciden con Minero (2005), el cual indica que para cultivos con fertiriego se recomienda utilizar sustratos de baja CIC o inertes, para evitar la acumulación de sales.

Materia orgánica. De acuerdo al porcentaje de materia orgánica que presentaron los sustratos y suelo, la NOM-021-REC-NAT-2000 indica que para el caso del tepetzil y de la arena presentan valores muy bajos de materia orgánica, 0.28 y 0.048 % respectivamente para el caso del suelo de acuerdo al valor obtenido y comparándolo con el valor de tablas de la norma ya mencionada este se encuentra en la clase media con un 2.94 % de materia orgánica (cuadro 8). En los sustratos inorgánicos no es importante el % de materia orgánica, pero sí en el suelo, ya que determina su fertilidad y estructura.

Variables de desarrollo y crecimiento

Altura de plantas. En el anexo Cuadro 1A, se presenta el análisis de varianza, el cual nos indica que hubo diferencia significativa entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 9.20 % por lo tanto se procedió a realizar una prueba de medias de rango múltiple (Tukey, al 0.05 de probabilidad).

En el Cuadro 10 se muestran los resultados de la prueba de rango múltiple Tukey con una $P \leq 0.05$, para la altura de plantas en diferentes sustratos, a los 90 días después del trasplante. El cuadro nos indica que el tratamiento 1 (tepetzil) presentó las plantas de porte más bajo y por lo tanto es estadísticamente diferente al tratamiento 3 (acolchado plástico); fue aquí donde se encontraron a las plantas de mayor porte hasta el 18 de abril que fue el último día en que se midió esta variable. En relación a los demás tratamientos no se presentó diferencia. Este efecto se debe a que el acolchado plástico al tener una temperatura y humedad constantes inducen precocidad en el cultivo. Estos resultados coinciden con Ibarra y Rodríguez, (1991) los cuales mencionan que el acolchado plástico puede acelerar la madurez de los cultivos desde 10 hasta 30 días. Canchola (2001) reportó que existieron diferencias significativas en la altura de la planta cv Gabriela de crecimiento indeterminado al utilizar un sustrato con dos niveles de composta, con valores promedio de 160.22 cm y 145.33 cm.

Estos resultados difieren con lo reportado por González 2005, el cual menciona que la altura no dependió del sustrato utilizado.

Por su parte Vargas en el 2003 quien reportó valores de 1.60 m a los 120 días después del trasplante para el híbrido Gabriela de crecimiento indeterminado.

Flores en el 2001 menciona que debido a las dificultades de manejo y de acuerdo a las características del lugar en ocasiones es conveniente suspender el crecimiento del tallo principal al aparecer la tercera hoja por encima del sexto racimo, eliminando el meristemo apical. Este autor reportó alturas de 2.17m a 2.26 m para el híbrido Verónica de crecimiento indeterminado.

El crecimiento en altura se inicia con cierta lentitud, de manera que la altura de la planta esta en función del tiempo según lo señalado por Salisbury y Ross (2000) para diferentes cultivos. El tipo de crecimiento del cultivo en los tratamientos es característico de las plantas anuales, sin embargo, las velocidades y las cantidades finales de crecimiento varían (Barraza, 2000).

Cuadro 9. Altura de plantas, en diferentes sustratos y suelo, a los 90 días después del trasplante en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Sustrato	Media (m)	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	2.35 (± 0.04)	b
Arena	2.47 (± 0.02)	ab
Acolchado	2.62 (± 0.06)	a
Testigo	2.50 (± 0.04)	ab

Tukey al .05%

Altura de la primera inflorescencia. En el anexo se observa el análisis de varianza para esta variable (cuadro 2A), los resultados arrojados de este análisis indican que existe diferencia entre tratamientos, por lo cual se efectuó una prueba de medias Tukey con una $P \leq 0.05$.

En el cuadro 10 se observa que la altura de la primera inflorescencia presentó valores con diferencia estadística significativa, el tratamiento que presentó mayor rango de altura fue el tratamiento 1 (tepetzil), por lo tanto es estadísticamente diferente al tratamiento 2 (arena) que fue el tratamiento en donde se tuvieron las inflorescencias a menor altura.

Cuadro 10. Altura de la primera inflorescencia, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Sustrato	Altura (cm)	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	44.47 (± 2.70)	a
Arena	36.41 (± 2.45)	b
Acolchado	37.92 (± 0.85)	ab
Testigo	36.75 (± 1.89)	ab

Numero total de hojas. En el estudio de esta variable se realizó un análisis de varianza (cuadro 3A anexo), en el cual se observó que existieron diferencias entre tratamientos, por lo que se procedió a efectuar la prueba de medias de Tukey con una $P \leq 0.05$. Se obtuvo un coeficiente de variación de 10.39 % el cual es adecuado.

En cuanto al número de hojas por planta, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento 1 en donde se tuvo el menor número de hojas, y los tratamientos 3 y 4 que presentaron el mayor número de hojas y que fueron estadísticamente iguales. Esto nos indica que esta variable fue afectada por los sustratos y/ suelo (cuadro 11).

González en el 2005 evaluó sustratos y soluciones nutritivas orgánicas en la producción de jitomate cv. Reserva, en sus resultados reportó que no existe diferencia significativa entre el número de hojas al utilizar un sustrato o alguna posible combinación de estos, el número de hojas promedio reportado por este autor oscila entre 25.9 a 26.7.

En este trabajo se encontró que el sustrato influyó en el número de hojas por planta, lo cual es una característica favorable en la producción, ya que la actividad fotosintética laminar y el crecimiento están íntimamente relacionados (Barraza, 2000).

Cuadro 11. Número de hojas, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Sustrato	Número de hojas	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	33.5 (± 0.92)	b
Arena	34.4 (± 0.59)	ab
Acolchado	36.6 (± 0.80)	a
Testigo	36.45 (± 0.75)	a

Numero de racimos por planta. En relación al número de racimos por planta, los datos estadísticos indican que los tratamientos 3 y 4 (suelo con acolchado y suelo desnudo) son estadísticamente iguales y presentaron el mayor numero de racimos, ambos con un promedio de 9.6 racimos en promedio y son diferentes a los tratamientos 1 y 2 (tepezil y arena). El tratamiento 1 presentó el promedio más bajo y es estadísticamente diferente a los otros tratamientos seguido del T2 (arena) con un promedio de racimos de 7.75 y 8.85 racimos en promedio. De acuerdo al cuadro 12 se observa que el sustrato y/o suelo influye en el numero de racimos por planta. En el cuadro 4A anexo se presenta el análisis de varianza para esta variable, de la cual se obtuvo un coeficiente de variación de 12.73%, considerado bajo y por tanto adecuado. Estos resultados difieren de Velasco (2004) el cual evaluó tres sustratos y tres cv de jitomate, menciona contrario a los resultados en este trabajo, que no existió diferencia significativa para el numero de racimos por efecto de los sustratos y/o el cultivar.

Cuadro 12. Numero de racimos por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertirriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Sustrato	Numero de racimos	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	7.75 (± 0.14)	c
Arena	8.85 (± 0.13)	b
Acolchado	9.6 (± 0.25)	a
Testigo	9.65 (± 0.20)	a

Numero total de flores. En el anexo el cuadro 5A muestra el análisis de varianza para esta variable el cual nos indica que hay diferencia entre tratamientos. En el numero de flores por planta se observo que existió una diferencia estadística significativa entre los tratamientos 1 y 3 que en promedio obtuvieron 83.9 y 113.1 flores por planta respectivamente, lo cual representa el valor más bajo de flores (T1) y el valor más alto (T3). No se presentó diferencia estadística con los otros dos tratamientos, pero en el suelo (con y sin acolchado) el numero de flores fue mayor (cuadro 13). Se sugiere que el numero de flores y por lo tanto el numero de frutos según (Fátula 1972; citado por Ponce, 1995) esta asociado a el tipo de inflorescencias que posean los cultivares, bien sean simples o compuestos (Rodríguez *et al.*, 1997).

Cuadro 13. Numero de flores por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Sustrato	Numero de flores por planta	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	83.9 (± 3.19)	b
Arena	95.1 (± 4.74)	ab
Acolchado	113.1 (± 5.25)	a
Testigo	100.5 (± 4.71)	ab

Numero de frutos por planta. En esta variable se observo que el tratamiento 3, presentó mayor numero de frutos con un promedio 110.75 por lo tanto es estadísticamente diferente a los otros tres tratamientos, entre los cuales no hay diferencia significativa, teniendo promedios de 96.05, 92.25, 81.6, frutos por planta que corresponden al testigo, a la arena y al tepetzil respectivamente (cuadro 14). Se observó una relación directa entre el numero de flores y el numero de frutos. En el cuadro anexo 6A se observa el análisis de varianza para esta variable.

Los resultados de esta variable coinciden con lo reportado por González (2005), dicho autor reportó que existe diferencia significativa en el número de frutos por planta como efecto de los sustratos y de la solución nutritiva, los valores promedio del numero de frutos por planta oscilaron de 36.0 a 45.5.

Por su parte Velasco (2004) evaluó tres sustratos y encontró que no existe diferencias estadísticas en cuanto al número de frutos por planta al utilizar algún tipo de sustrato, lo cual no coincide con lo que se está reportando en el presente trabajo.

Flores (2001) reportó que no existe diferencia significativa en cuanto a número de frutos por planta se refiere, encontrando valores promedio que están dentro del rango de 25.90 y 28.25 frutos por planta para el cv Verónica.

Los cultivares con hábito de crecimiento indeterminado, muestran mayores rendimientos, esto se debe principalmente a que producen el mayor número de frutos (Hanna, 1999).

Los racimos compuestos poseen un mayor número de flores y consecuentemente un mayor número de frutos, incluyendo en este componente el porcentaje de frutos cuajados. Los resultados encontrados por Regalado (2002) indican que el cultivar Big beef, a pesar de poseer un racimo simple, manifestó el mayor número de flores y también el mayor número de frutos.

Cuadro 14. Numero de frutos por planta, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005

Sustrato	Numero de frutos por planta	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	81.6 (± 2.33)	b
Arena	92.25 (± 4.00)	b
Acolchado	110.75 (± 4.16)	a
Testigo	96.05 (± 4.78)	b

Peso por fruto. El peso por fruto se vio favorecido en el tratamiento 1 (tepezil), seguido del tratamiento 2 (arena), tratamiento 4 (testigo) y por ultimo el tratamiento 3 (acolchado) con un peso promedio de 74.82, 70.77, 64.86 y 60.40 g respectivamente. De acuerdo a estos datos y a la prueba de rango múltiple Tukey con una $P \leq 0.05$, existe diferencia estadística significativa entre todos los tratamientos (cuadro 15). Aquí se tiene una relación lineal inversa con el numero de frutos (Cuadro 14). En el cuadro 7A anexo se muestra el análisis de varianza para el peso promedio del fruto.

Los resultados mostrados difieren a los reportados por Gómez (1999), el cual encontró que no existió diferencia significativa en el peso del fruto de jitomate cv Solarset caracterizada por ser de hábito determinado, el peso promedio del fruto osciló de 120.00 a 146.80 g, debido posiblemente a que este cultivar se llevó a un solo racimo.

Por su parte Regalado (2002) evaluó 10 cultivares de jitomate y encontró que existen diferencias estadísticas significativas entre los pesos promedios de los 10 cultivares teniendo como menor y mayor promedio un peso de 78.29 g y 106.48 g respectivamente. El peso de los demás cultivares osciló en este rango.

Velasco (2004), encontró diferencia significativa en cuanto a peso por fruto en tres variedades de jitomate y tres sustratos, reportando valores promedio de 35.09 g, 40.38 g y 42.46 g para los cultivares Lobo, Super Río Grande y HMX2861F1 respectivamente. Menciona que este dato puede deberse al carácter que cada variedad presenta, por lo que es un factor muy importante a considerar para la producción de variedades de jitomate de hábito determinado en hidroponía e invernadero.

González (2005) en su trabajo evaluó sustratos y soluciones nutritivas y en sus resultados reportó que existe diferencia estadística significativa en el peso del fruto con valores promedio que oscilan de 86 g a 101 g.

Los datos obtenidos por Muñoz (2000) muestran que existieron diferencias significativas del peso promedio del fruto del híbrido Conteza, que es de hábito determinado, con valores promedio que están en el rango de 87.45 g a 107.39 g, concluyendo que el peso del fruto se ve afectado y/o beneficiado por la densidad de plantación así como el despunte del cultivo de jitomate.

Cuadro 15. Peso promedio del fruto (g), en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005

Sustrato	Peso por fruto g	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	74.82 (±0.08)	a
Arena	70.77 (±0.41)	b
Acolchado	60.40 (±0.54)	d
Testigo	64.86 (±1.22)	c

Producción por planta

Cuadro 16. Prueba de rango múltiple Tukey al 5% para producción por planta, producción en kg m⁻², producción en ton ha⁻¹, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005

Sustrato	Producción		
	Kg / Planta	kg m⁻²	Ton ha⁻¹
Tepetzil	6.10 a	20.63 a	206.3 a
Arena	6.52 a	22.04 a	220.4 a
Acolchado	6.68 a	22.60 a	226.0 a
Testigo	6.48 a	21.91 a	219.1 a

En cuanto a la variable producción por planta, los resultados indican que no existió diferencia estadística significativa. Sin embargo, se puede observar una ligera tendencia del tratamiento 3, que es el de acolchado plástico, a una mayor producción (6.68 kg por planta), seguido del tratamiento 2 (arena), con una producción promedio de 6.52 kg por planta. El tratamiento 3 había producido el mayor número de frutos por planta. En el cuadro 16 se muestra la producción promedio por planta, por metro cuadrado y por ha de los diferentes tratamientos. En los cuadros anexos (8A, 9A y 10A) se presentan los análisis de varianza para esta variable con coeficientes de variación de 18.4 %.

Rivera *et al.* 2005 evaluó dos densidades de plantación del cultivar SUN 7705 de crecimiento indeterminado y reportó valores promedio de producción por planta de 2205.4 y 2067.7 g para densidad alta (6.6 plantas m⁻²) y densidad baja (4 plantas m⁻²) respectivamente, es importante mencionar que no existieron diferencias significativas en la producción.

Los resultados previamente mencionados y los reportados en el presente trabajo coinciden con Velasco (2004) quien menciona que en la producción por planta no encontró diferencias significativas entre las variedades. También indica que en las variedades que presentaron mayor número de frutos, el peso de los mismos fue menor. Cabe mencionar que este autor concluye que aunque en la producción final por planta de cada variedad, fue igual estadísticamente, existieron diferencias, sobre todo, en el tamaño de frutos, situación que se presentó en este trabajo; esto debido a hay plantas que tienen menos frutos por planta

pero más desarrollados y otras plantas presentan mayor número de frutos pero más pequeños, que finalmente se compensa un carácter con el otro, obteniendo la misma producción pero cada tamaño con diferente calidad, lo que puede representar mayor o menor preferencia para el mercado.

Relacionando los rendimientos con el número de frutos se obtienen los resultados parecidos a los de Saglam y Yazgan (1999) quienes mencionan que mientras el número de frutos por racimo se incrementa, el rendimiento por planta aumenta, pero hay una tendencia hacia frutos más pequeños. También indican generalmente, un número más altos de frutos incrementa el rendimiento pero reduce el peso promedio del fruto. Un número bajo de frutos incrementa el tamaño del fruto y la calidad, pero reduce el rendimiento.

En un estudio donde se evaluaron sustratos y soluciones nutritivas efectuado por González (2005), los resultados del rendimiento por planta indicaron que existe diferencia significativa entre tratamientos, teniendo valores promedio los cuales oscilaron entre 3259 g a 4629 g por planta, promedios que se encuentran por debajo de lo reportado en el presente trabajo.

En cuanto a la variable producción kg m^{-2} tampoco se presentaron diferencias significativas, ya que se utilizó una densidad de siembra constante resultados que son similares a los reportados por Juárez (1998). Por su parte Rivera *et al.* (2005) reportó de igual manera que no existe diferencia

significativa en cuanto al rendimiento en kg m^{-2} , teniendo valores promedio de 7.68 y 6.48 kg m^{-2} .

En un trabajo donde se evaluó la respuesta de las plantas de jitomate a diferentes densidades de plantación, Carrillo, (2003) reporta rendimientos de 17.99, 14.32 y 9.91 kg m^{-2} .

Contrario a lo anterior Regalado (2002), menciona que existen diferencias significativas en cuanto al rendimiento de frutos del jitomate expresado en kg m^{-2}

Por su parte Rodríguez (1981) evaluando la variedad de tomate ACE 55VF bajo acolchado de suelo en invernadero, reportó que el rendimiento por m^2 fue de 9.44 kg, lo cual está por debajo de los resultados obtenidos en donde la producción por m^2 fue de 21.795 kg.

Se concluye que es más frecuente obtener diferencias en estudios de variedades y fertilización que en estudios de sustratos.

Las medias de los rendimientos estatal y nacional a cielo abierto están alrededor de 19.293 ton ha^{-1} y 30.480 ton ha^{-1} (SIAP, 2005), respectivamente. Comparando estos datos con el rendimiento promedio de esta investigación que fue de 217.95 ton ha^{-1} , se observa que el incremento en el rendimiento es bastante notable, tanto que el producir bajo las condiciones de este experimento representa obtener 11.29 veces más, que bajo condiciones a cielo abierto, esto para el caso de la producción estatal, y con respecto al rendimiento promedio nacional se

obtiene una diferencia de 7.15 más, lo cual nos indica que al producir en condiciones de invernadero con fertiriego, se pueden obtener volúmenes de cosecha superiores a los que representa la producción a cielo abierto.

Por otra parte, comparando los resultados obtenidos con la media nacional producida en invernaderos se observa que el rendimiento en este experimento (217.95 ton ha⁻¹) es inferior a lo reportado para la media nacional la cual tiene un rendimiento de 276.025 ton ha⁻¹ (SIAP, 2005). Esta diferencia se puede deber al nivel de tecnificación de los invernaderos.

Cotter y Gómez, (1981) mencionan que para una producción exitosa bajo invernadero se deben de producir 100 ton / acre por año. Rodríguez, *et al.* (2000) obtuvo un rendimiento promedio de 100.1 ton ha⁻¹ en solo 5 meses. En el presente trabajo el rendimiento promedio obtenido fue de 217.95 ton ha⁻¹ en 6 meses lo cual concuerda con dichos autores. Sin embargo dicho rendimiento esta por debajo del potencial de 400 ton ha⁻¹ obtenidos en otros estudios en condiciones de invernadero (Jonson et al., 1975; Romero, 1979).

Valor de la producción

En el análisis de varianza para esta variable anexo (cuadros: 11A, 12A y 13A) se observa que hay diferencias estadísticas altamente significativas, por lo que se procedió a hacer la prueba de rango múltiple de (Tukey al 5%). Los resultados arrojados por la prueba de medias indican que el T₂ es el que ofrece los mayores beneficios en cuanto al valor de la

producción, seguido del T₁ pero, dichos tratamientos son estadísticamente iguales. Los T₃ y T₄ estos son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes de los tratamientos T₁ y T₂. El valor de la producción por m², y por ha, presentan la misma tendencia y existen las mismas diferencias e igualdades entre los tratamientos en estudio (cuadro 17).

De acuerdo al SIAP (2005), los promedios del valor de la producción (en miles de pesos / ha) en condiciones de campo abierto a nivel nacional y estatal son de \$ 3,672,754.41 y \$ 34,091.00 respectivamente; comparando estos resultados con el promedio encontrado en el presente trabajo que es de \$ 3042837.5 se nota una gran diferencia en comparación a la media estatal, esto debido a la superficies cultivada en el Estado de Oaxaca. En comparación con el valor de la producción de la media nacional, el valor que se esta reportando en este estudio se encuentra por debajo, esto es debido a la gran cantidad de superficie cultivada con jitomate a campo abierto que se encuentran en estados como Sinaloa, Baja California, San Luís Potosí, entre otros.

Cuadro 17. Prueba de rango múltiple Tukey al 5% el valor de la producción por planta, en kg m⁻², y en ton ha⁻¹, en diferentes sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005

Sustrato	Valor de Producción		
	\$ / Planta	\$ m⁻²	\$/ha
Tepetzil	97.68 a	330.17 a	3,301,720a
Arena	104.37 a	352.79 a	3,527,940 a
Acolchado	80.23 b	271.20 b	2,712,020 b
Testigo	77.80 b	262.96 b	2,629,670 b

Sólidos solubles

En el caso de esta variable, no hubo diferencia estadística significativa como efecto de sustratos (cuadro 18), sin embargo existió una ligera tendencia al incremento de sólidos solubles (Grados Brix) en los tratamientos 1 y 2, que corresponden al tepetzil y a la arena. Esto se debió a que a menor producción de frutos mayor concentración de azúcares (Mendoza, 2001). La concentración de sólidos solubles depende del estado de madurez en que se corte el fruto. En el cuadro 14A anexo se observa el análisis de varianza para esta variable.

Para el caso de esta variable (° Brix) es importante mencionar que los resultados son similares a los que reportó Thompson (2000) en frutos de tomate de los cultivares “Agriset” con 4.9 °Bx, FL7692B con 5.0 °Bx, y FL7692D con 5.0 °Bx.

Por su parte Gallegos (2002) reportó valores que oscilan de 4.7 a 5.3 °Bx, este autor al igual que el anterior cita que no se presentó diferencia estadística entre tratamientos, lo cual, como ya se mencionó, concuerda con los datos obtenidos en este trabajo.

Cuadro 18. Concentración de Sólidos solubles por sustrato, en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005

Sustrato	Sólidos Solubles	Diferencia significativa Honesta (Tukey, 0.05)
Tepetzil	5.66 (±0.27)	a
Arena	4.82 (±0.23)	a
Acolchado	4.71 (±0.40)	a
Testigo	4.73 (±0.18)	a

Firmeza del fruto

En la figura 12 se observan los datos de esta variable los indican que la consistencia del fruto varía de acuerdo al estado de coloración del fruto, no hay un comportamiento estable o una tendencia que nos indique que el sustrato influya en la firmeza del fruto, pero en tres de los cinco casos los frutos de las plantas cultivadas en arena tuvieron mayor consistencia, para los parámetros de verde - naranja y naranja – verde, se observa que los frutos de las plantas cultivadas en suelo desnudo tuvieron el valor más alto. En general se puede decir que los

frutos tuvieron buena consistencia, la cual perdura durante el tiempo de vida de anaquel. De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con la NMX-FF-031-1997-SCFI se determina que los frutos producidos en este trabajo cumplen con dicha norma, por lo que fueron de buena calidad.

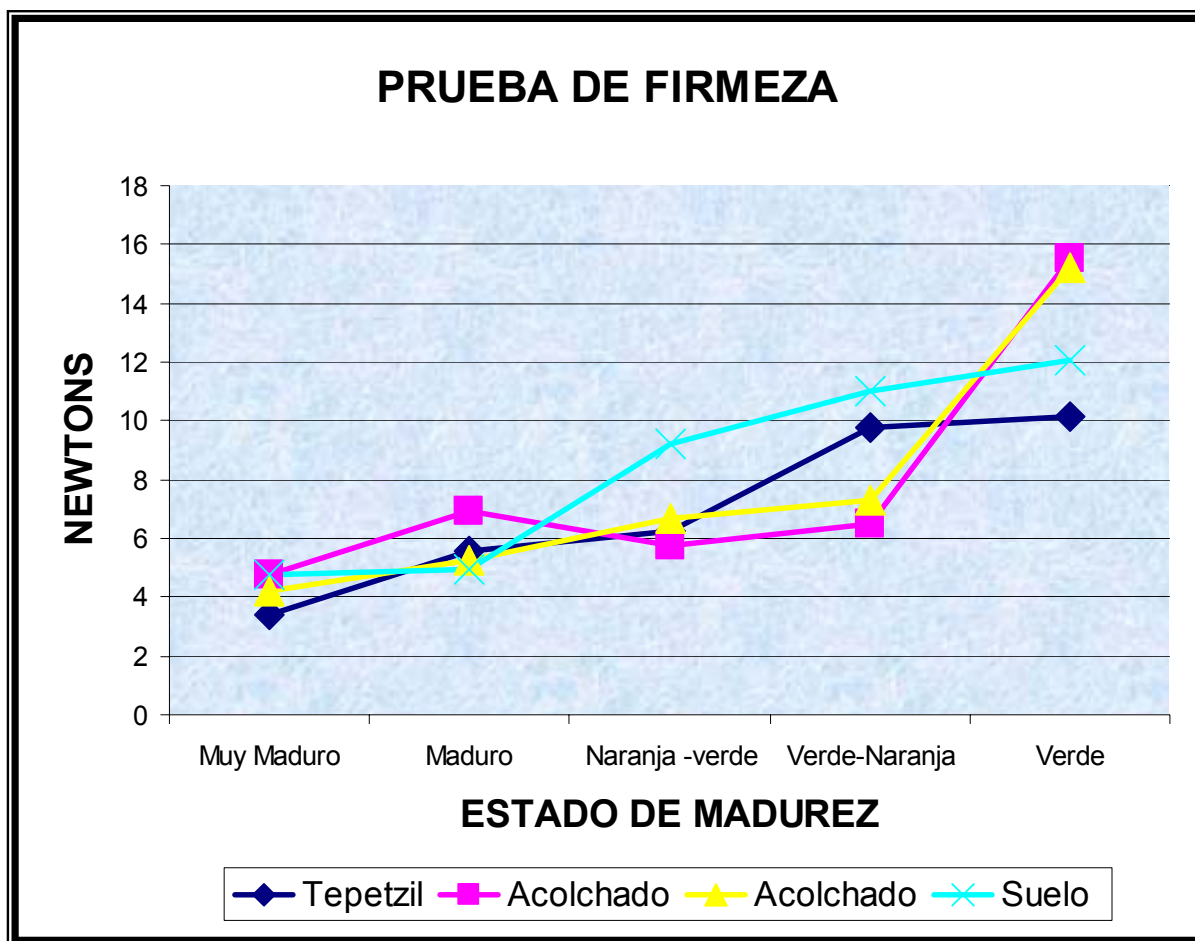


Figura 12. Prueba de firmeza en frutos de jitomate en diferentes estados de firmeza

Análisis económico

Las bolsas negras que se utilizaron fueron de de 15 litros (40X40 cm), por lo tanto si toda la superficie del invernadero se cultivará en bolsas llenas de arena se ocuparían 4.26 m³ de arena y si el costo por m³ de arena es de \$116.00 entonces el costo total de este sustrato utilizado es de \$ 494.16.

Para el caso del tepetzil se hace el mismo análisis, solo que ahora el precio se eleva, el m³ de tepetzil es de \$ 210.00 y se ocupan 4.26 m³, por lo que el costo total de este sustrato fue de \$ 894.6

En cuanto al acolchado plástico de doble cara se tiene un costo de \$1400.00 el rollo (1.20 m X 900 m), del cual se utilizarían únicamente 112 m en el invernadero de 84 m², dando un costo del plástico de \$ 174.22 (\$ 2.07/ m²).

En este trabajo el rendimiento total fue 433.23 kg, 462.84 kg, 474.6 kg y 460.11 kg para los tratamientos T₁, T₂, T₃, T₄ respectivamente, en 21 m² por lo que los rendimientos unitarios fueron de 20.63 kg m⁻², 22.04 kg m⁻², 22.60 kg m⁻², y 21.91 kg m⁻² para T₁, T₂, T₃, T₄, respectivamente. Con estos resultados se obtuvo el índice de eficiencia de rentabilidad (IER), definido como el valor total de la producción entre el costo de la producción (Baca, 1991). Aquí solo se consideró la utilidad total de la producción y los costos de producción del primer ciclo (cuadros 19 y 20), pero se debe considerar un año completo y más de un ciclo incluir el período de vida útil del plástico del invernadero y de las bolsas.

Cuadro 19. Gastos de inversión y Costos fijos para la producción de jitomate en dos sustratos y suelo en condiciones de fertiriego e invernadero en Zaachila, Oaxaca 2005.

Materiales e insumos	Costo (\$)
Invernadero (84m ²)	18060
1 Tinaco de 1000 L	1000
Sistema de riego	1500
Bomba de 1 HP	1000
Accesorios	500
Total de inversión de infraestructura	24560
Total de inversión de infraestructura	24560
Fertilizantes	1000
Semilla	250
Insumos	1000
Mano de obra	1500
Total de costos variables	3750
Total	28310
Costo por m ² de invernadero \$292.00	

Cuadro 20. Análisis económico de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, considerando costos variables, en Zaachila, Oaxaca

Tratamiento	Rendimiento (Kg m ⁻²)	Precio por Kg (\$)/m ²	Utilidad total (\$)	Costo del sustrato por m ²	Costo de producción (\$)	IER
Tepetzil	20.63	16	330.08	10.65	55.29	5.96
Arena	22.04	16	352.64	5.88	50.52	6.98
Acolchado	22.60	12	271.2	2.07	46.71	5.80
Suelo desnudo	21.91	12	262.92	0	44.64	5.88

Para el caso del tepetzil el índice de eficiencia de rentabilidad (IER) fue de 5.96; lo que indica que por cada peso que el productor invierte en el cultivo, recupera 4.96 veces más, es decir, en el primer ciclo recupera los costos de producción más 4.96 por cada peso invertido, que puede destinar como utilidad o para recuperar los costos de inversión fijos del invernadero.

En lo que se refiere a la arena como sustrato para la producción de jitomate y bajo este contexto se obtuvo una IER superior a la del tratamiento 1 con un valor de 6.98, lo cual nos indica que es más rentable producir utilizando la arena como sustrato ya que por cada peso que se invierte se obtiene 5.98 de utilidad, lo cual indica que es preferible producir en arena, esto debido a que este es un material disponible de la región y el costo de adquisición de este material es mas económico.

Para el caso del suelo cubierto con acolchado plástico doble cara se determinó una IER de 5.80, aunque sigue siendo rentable producir de esta manera, este tratamiento representa el IER más bajo.

En el tratamiento de suelo desnudo (testigo), el IER fue de 5.88, resulta más rentable producir en condiciones normales de suelo, que utilizando la variante de suelo con acolchado plástico. Esto se debe a que los costos de producción en condiciones de suelo normal son menores.

Es importante tomar en cuenta los materiales existentes disponibles en cada región, para que los costos de producción disminuyan y el IER se incremente. En este trabajo se encontró que al utilizar la arena como sustrato para el cultivo del jitomate se obtiene el IER más alto seguido del tepetzil, suelo desnudo y por ultimo el suelo con acolchado plástico.

En el anexo (cuadro 15A) se observa el procedimiento para el calculo de los costos de producción tomando en cuenta los costos variables así como el costo de los sustratos.

Beneficios Netos

Cuadro 21. Beneficios Netos en la producción de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, en Zaachila, Oaxaca.

Sustrato	Beneficios Netos		
	\$ / Planta	\$ m ⁻²	\$/ha
Tepetzil	81.33 a	274.90 a	2,749,060 a
Arena	89.43 a	302.29 a	3,022,980 a
Acolchado	66.42 b	224.51 b	2,245,160 b
Testigo	64.60 b	218.35 b	2,183,510 b

En los cuadros anexos (16A, 17A, 18A) se muestra el análisis de varianza para beneficios netos, los resultados de esta variable indicaron que existió diferencia altamente significativa entre tratamiento con un coeficiente de variación de 25.29 %. Se realizó la prueba de rango múltiple Tukey al 5% de significancia, con la cual se determinó que el T₂ fue el que arrojó el mayor beneficio neto seguido del T₁, pero a su vez estos tratamientos son estadísticamente iguales entre sí y diferentes de los tratamientos T₃ y T₄ que no presentan diferencia estadística entre ellos, pero si se observa una tendencia de que es más rentable producir en un suelo cubierto con acolchado plástico doble cara.

De acuerdo a los Beneficios Netos ($BN = \text{Valor de la producción} - \text{Costos de producción}$), es obvio que los resultados presentan el mismo comportamiento que los datos arrojados por el Índice de Eficiencia de Rentabilidad y con base a los resultados obtenidos en este trabajo y en muchos otros trabajos de hidroponía en varias especies, en instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, entre otras, la arena es un material excelente por su precio accesible y a las características físicas y químicas que posee (inerte y estéril).

Para los productores de jitomate, podrá recomendarse la utilización de este material, solo o mezclado con algún material orgánico, que ayude a mejorar propiedades físicas y químicas del sustrato con el único fin de conseguir el “sustrato ideal” (González, 2005).

CONCLUSIONES

- Los mejores sustratos para el desarrollo de plantas de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero fueron la arena y el tepetzil, puesto que presentaron los mejores resultados en cuanto a tamaño de frutos, situación que les permite alcanzar precios más altos en el mercado; la arena presentó mejores características físicas en cuanto a mayor capacidad de aireación y retención de agua.
- El sustrato denominado “tepetzil”, presenta excelente porosidad, sin embargo presenta baja retención de humedad, por lo que se sugiere que en caso de utilizarlo como sustrato, se apliquen los riegos con mayor frecuencia y menor duración.
- La PAR varió con respecto a la ubicación del invernadero y a la época del año, por lo que se debe tener especial cuidado en este punto al instalar un invernadero para que las plantas reciban la misma cantidad de PAR incidente.
- En los tratamientos 1 y 2 se obtuvo el mayor peso de fruto con medias de 74.32 y 70.77 g respectivamente.
- El rendimiento de tomate no presentó diferencias significativas entre tratamientos.
- El acolchado plástico incrementó la precocidad del cultivo.

- Los tratamientos en suelo con y sin acolchado tuvieron mayor número de inflorescencias.
- El número de flores se vio ligeramente favorecido en el tratamiento con acolchado doble cara.
- El tratamiento con acolchado plástico produjo el mayor número de frutos.
- Para alcanzar un mayor tamaño de frutos en tratamientos con acolchado, es recomendable hacer una poda de frutos, con ello se puede incrementar el tamaño de fruto y elevar el costo de este.
- En cuanto a sólidos solubles no hubo diferencia estadística entre tratamientos.
- De acuerdo a los resultados de la prueba de firmeza y del contenido de sólidos solubles y comparando estos con la NMX-FF-031-1997-SCFI los frutos obtenidos en este trabajo fueron de buena calidad.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, es más rentable producir usando arena como sustrato.
- Con base en la rentabilidad económica, se recomienda utilizar como sustrato, a la arena, material fácilmente disponible en la región, la cual al final puede reciclarse para otros usos.

BIBLIOGRAFIA

Abad, B. M. 1996. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: f. Nuez El cultivo del tomate. Ed. Mundi-prensa. Barcelona, España. Pp. 132-166

Abad, M. Noguera, V.; Martínez, M. D.; Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura 11:141-154.

Abad, M.: "Sustratos para el cultivo sin suelo", en: *El cultivo de tomate*, Madrid, Mundi-Prensa, pp. 131-166. *Agrícola*, 1994.

Aldana B.R; Aguilera R. M. 2003. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. CONAFOR. Guadalajara. Pp 17 – 20

Alpi, A.P. y F. Tognoni, 1991. Cultivo en invernadero. Tercera edición. Editorial Mundi – Prensa. Madrid, España, 172 p.

Anónimo. 2005. El cultivo de jitomate. Revista AGROPRODUCE. Numero 10 Año 01. Fundación Produce Oaxaca. 48 p.

Anónimo. Guía de Identificación y Manejo. Plagas y Enfermedades del Tomate. Revista Productores de Hortalizas E.U.A. Marzo 2006. Pp. 46.

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

Avitia, G.E. 1998. Esquemas para el curso de propagación de plantas. Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. pp 45 – 72.

Baca, U.G. ,1991 Evaluación de Proyectos. Análisis y Administración del Riesgo. 2ª Ed. M. C., Gran Hill, México. Pp 284

Barraza, A.F.V. 2000. Crecimiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 143 p.

Bastida Tapia A. 2002. Sustratos Hidropónicos. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.

Bidwell R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. Editorial A.G.T. California, Estados Unidos 784p.

Bojórquez F. Sustratos de Cultivo Intensivo (Densidad, Drenaje y Calidad del Agua) Revista Productores de Hortalizas. E.U.A. Julio 2005. Pp. 54 - 56.

Bringas G. L., Sustratos: Nuevas Tendencias en el Uso de Sustratos. Revista Productores de Hortalizas. E.U.A. Febrero 2005. Pp. 56 - 58.

Bringas, G.L. 1999a. Canadá. Investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 5, Mayo 1999. México pp 18-20

Bringas, G.L. 1999b. Invernaderos Globales. Argentina y México. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 4, Abril 1999. México pp 36-37.

Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura. 5: 5-11.

Cadahía, C. 1996 "El sistema de fertilización para una fertilización racional de los cultivos en sustratos y suelos" (mimeo, curso-taller "Una esperanza para Latinoamérica"), Lima (Perú), Universidad Agraria La Molina.

Cadahía, C. 1991 "La horticultura española en la CE", España, SECH, , pp. 258-265.

Canchola R. J.J.2001. Efectos de MM2001 en el cultivo de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de hidroponía e invernadero. Tesis de Licenciatura. Depto. de Fitotecnia. Chapingo, México. p 50

Carrillo R. J. C. 2003. Sistema Protegido en Producción de Tomate: Alternativa Tecnológica Para el Uso Eficiente del Agua en el Desarrollo Agrícola. Instituto Tecnológico de Oaxaca. Oaxaca. Pp 157

Castaño, C.M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Dirección General de Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 527 p.

Castillo, M. 1998. Efecto de diversos tipos de acolchados plásticos sobre la temperatura del suelo y su influencia sobre el desarrollo de malezas, precocidad y rendimiento de un cultivo de brócoli. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Fac. Ciencias Agronómicas.

Cenobio P.,G. 2002 Respuesta de la Sandía (*Citrullus lanatus* T) a diferentes colores de acolchado plástico y riego por goteo – cintilla. Depto. URUZA .Revista serie Zonas Áridas Chapingo. Pp 89 – 97.

Cepeda, J. 1991 Química de suelos, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Trillas. Chemical Abstract.

Chávez, R. C. y L. Bringas. 1999. Invernaderos de Israel. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No.4, Abril, 1999. México pp 50 -55.

Costa P., Giacomelli G. Los planes del éxito. Agricultura Protegida: Productividad Basada en el Nivel Tecnológico. Revista Productores de Hortalizas. E.U.A. Febrero 2005. Pp. 48 - 53.

Cotter D.J. y E. Gómez R. 1981. Cooperative extensión service 400 H-11 pp 4 U. New Méx. U.S.A. E.U.A. Febrero 2005. Pp. 58 - 60.

De las Rivas, J. 2000. La luz y el Aparato Fotosintético. pp.131- 153. *In*: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcón – Bieto, J.; M., Talón. Mc Graw – Hill Interamericana. Ediciones Universidad de Barcelona. Madrid, España.

Etchevers B.J.D., Leonardo T. Ch., Jesús M.H., Gabriel A.g., Rafael A.H., Roberto N.E., David R.D. (1998). Aportaciones del Colegio de Postgraduados a los programas de Fertirrigación. León, Guanajuato. México.

Fernández Fernández M. M.; Aguilar Pérez M. I.; Carrique Pérez J. R.; Tortosa Domingo j.; García García C.; López Rodríguez m.; Pérez Morales J.M. Suelo y medio ambiente en invernaderos, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla España, 29001, pp 107-108

Flores, B. D. 2001. Sustancias húmicas y concentración de macronutrientes en la solución nutritiva en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponía. Tesis profesional. Depto de Suelos. Chapingo, México. 104 p.

Gallegos, G. F. A. 2002 Caracterización fisiológica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) hidropónico sometido a diversas atmósferas controladas. Tesis de licenciatura. Depto. de Agroindustrias. Chapingo, México. 85 p.

García, F. 1999. Invernaderos globales. España. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 5, Mayo 1999. México 1999. México. pp 12 – 14.

Gardner, F. P.; R. B. Pearce; R. L. Mitchell. 1990. Physiology of Crop Plants. Second printing. Iowa State University Press. In the United States of America. 327p.

Ghawi, I y A. M Battikhi. 1986. Watermelon (*Citrullus lanatus*) production under mulch and trickle irrigation in the Jordan Valley. J. Agron. 165 (4): 225 -236.

Gil Rodolfo. El Comportamiento Físico-Funcional de los Suelos Instituto de Suelos. INTA Argentina 2002.. Pp 3-10.

Gómez H.T. 1999. Soluciones hidropónicas de baja concentración en la producción de jitomate a un racimo. Tesis de maestría. Depto. de Fitotecnia. Chapingo, México. p 105

González C. A. 2005. Sustratos y soluciones nutritivas orgánicas en la producción de jitomate (*Lycoersicum esculentum* Mill) bajo invernadero. Tesis de Maestria. Depto. de Fitotecnia. Chapingo, México. p 166.

González, I. A. 1991. El jitomate (*Lycopersicum esculentun*, Mill) Aspectos relevantes para su cultivo en México. Tesis profesional. Depto. de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 708 p.

Gutiérrez Aguilar A. 1997. Producción de Esquejes de Jitomate (***Lycoersicon esculentum*** Mill) Var. Daniela. Tesis. Depto. De Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. p. 48

Haman Z.D. (1996). Microirrigation and fertilization of vegetables. Ponencia presentada durante el primer Simposium International de Fertirrigación. Hermosillo, Sonara. México

Hanna H. Y. 1999. Assisting natural wind pollination of field tomatoes with an air blower enhances yield. *HortoScience* 34 (5):846-847.

Hartmann H. T.; D. E. Kester; F. T. Davies, Jr. 1990. *Plant Propagation Principles and Practices*. Prentice – Hall, Inc. New Jersey. 647 p.

Henríquez, Manuel, Pérez Juana, Gasco, José M. *et al.* Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro*, ene. 2005, vol.17, no.1, p.59-62. ISSN 1316-3361.

Ibarra, L. y A. Rodríguez. 1991. *Manual de agroplásticos 1*. Centro de investigaciones en Química aplicada (CIQA). CONACYT. México. 20 pp

Juárez, L. G. 1998. Reproducción vegetativa de jitomate bajo el sistema de altas densidades, en hidroponía. Tesis de licenciatura. Depto. De Fitotecnia. Chapingo, México. P 58.

Lawlor D. W. 1987. *Photosynthesis: metabolism, control and physiology*. Longman Scientific & Technical. New York. 261p.

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

López N. A. S. (1998). La fertirrigación como instrumento para lograr la seguridad alimentaria. Ponencia presentada durante el

tercer Simposium Internacional de Fertirrigación. León, Guanajuato. México.

López, E.J.; Z.A. Samani; F.A. Preciado; A.A. Álvarez y C.P. Valenzuela 1999. Evaluación de dos coeficientes de tina en sandía, bajo acolchado plásticos. In: Memoria del IX congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas de Irrigación. Culiacán, Sinaloa, México. Pp 11 -16.

Luna, R. M. y Martínez. 1995. automatización del sistema de calefacción y ventilación en invernaderos. Tesis profesional. Depto. De Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Mantallana G., A.; J. I. C. Montero. 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. 209 p.

Matallana G., A.; J. I. C. Montero. 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. 209 p.

Martínez Caldevilla, E.; García Lozano, M. 1993 Cultivo sin suelo: Hortalizas en clima Mediterráneo. Compendio de Horticultura Num. 3 Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 123 p.

Martínez, P. y M. Abad. 1992. "Soilless Culture of Tomato in Diferent Mineral Substrates, Soil & Soilless Media Under Protected Cultivation", Acta Horticulturae, n. 323.

Mass, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. J. Irrig. Drainage Div., Am. Soc. Civ. Eng. 103:115–134.

Matallana, G. A. y J. I. Montero C. 2001. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Segunda Edición. Edición Mundi-prensa. Madrid, España. 209 p.

Mendoza, L. U. A. 1995. Evaluación de 15 Variedades Precoces e Intermedias de Jitomate (*Lycoersicon esculentum* Mill) en Chapingo, México. Tesis. Depto. Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 74 p.

Mendoza, M. F. S. 2001. Interacción agua – nutrimentos en tres sistemas de producción en sandía con riego por cintilla y acolchado plástico”. Informe final de proyecto clave: SIVILLA – 19990401025. Centro Nacional De Investigaciones en la Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera (CENID RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Gómez Palacio Durango. 55 p.

Minero A. Producción Hidropónica. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 5, Mayo 1999. México pp 18-20

Miranda Velázquez I.; J. Hernández Ortiz. 2002. Hidroponía. Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 73 p.

Muñoz. B.P. 2000. Densidades, despunte y tutoreo en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponía bajo condiciones de

invernadero. Tesis profesional. Depto de Fitotecnia. Chapingo, México. 86 p

Nobel, Park S. 1999. Physicochemical & Environmental, Plant Physiology. Department of Organismic Biology, Ecology, and Evolution. University of California, Los Angeles. Academic Press. Second Edition. Los Angeles, California. 474 p.

O. García C., G. Alcántar G.†, R.I. Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Publicado en Terra volumen 19 numero 3, 19: 249-258.

Ocaña Romo C.R.. Tendencias mundiales de la agricultura protegida. Revista "Productores de hortalizas" Marzo 2006, pp 50

Ordeñana Lampallas J.O. 1994. Producción de Jitomate (*Lycoersicon esculentum* Mill), en Hidroponía Orgánica Bajo Invernadero: Usando Efluentes Líquidos de Digestor Anaeróbico como Solución Nutritiva en Tres Sustratos. Tesis. Depto. De Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. p 92.

Papadopoulos A.P. 1996. Seasonal fertigation schedules for freenhouse tomatoes concepts and delivery systems. In: book of abstracts, International Simposium on Water Quality and Quantity in Freenhouse Horticulture. November, 5-8, Puerto de la Cruz, Canary Islands, p.25

Penningsfeld, F. y P. Kurzmann. 1983 Cultivos hidropónicos y en turba, Madrid, Mundi-Prensa, 2a. ed., 343 pp.

Ponce, O.J. 1995. evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponía. Tesis profesional. Depto de Fitotecnia. Chapingo, México. p 96.

Randolph, A. Tips de producción intensiva: análisis de los diferentes sistemas producción. Productores de hortalizas Abril de 1999, No. 4 pp 16 -18

Regalado O. M.C. 2002. Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Tesis de maestría. Depto de Fitotecnia. Chapingo, México. 161 p

Resh, H. 1988. *Cultivos hidropónicos*, Madrid, Mundi-Prensa, 287 pp.

Resh, H. M. 2001. *Cultivos Hidropónicos*. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 558 p.

Rivera, A.A., Carrillo R.J.C., Perales S.C., Ruiz V. J., Mendoza E. M. 2005. Rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) Mill en dos sistemas de producción con fertiriego. *Naturaleza y desarrollo* ISSN 1665-853. Vol. 3 num. 2. Oaxaca. p 55

Rodríguez de la R. S. 2003. *Manual de cultivos hidropónicos* Universidad Autónoma Chihuahua. Chihuahua, México.

Rodríguez P. A. 1981. *Manuales agropecuarios*. LIMUSA, pp 80.

Rodríguez R.R.; J. M. Tavares, R. y J.A. Medina S.J. 1997. Cultivo moderno del tomate. 2ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.

Rodríguez, C. A. E. 1995. Efectos de la poda y densidad de población en el rendimiento y calidad de frutos de jitomates (*lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 79 p.

Rodríguez, C.A. Efecto de la poda y densidad de población en el rendimiento y calidad del fruto de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 79 p.

Rodríguez, D.N., Cano R. P., Chávez G.J.F, Sánchez, L.A. 2000. Producción de tomate bajo condiciones de invernadero en Otoño – Inverno en la Laguna. Memorias XVII Congreso Nacional de Citogenética. Irapuato, Gto. p. 392

Rodríguez, S 1999. Hidroponía agricultura y bienestar, Chihuahua (México), Doble Hélice-Universidad Autónoma de Chihuahua, 23 pp.

Rodríguez, S. 2000. Creatividad en química analítica, Chihuahua (México), Doble Hélice-Universidad Autónoma de Chihuahua. Textos universitarios.

Rodríguez, S.; J. Franco y C. Gabaldón 2000 “Cultivo hidropónico de tomate de la variedad Gabriela en diez sustratos diferentes” Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Romero F. E. 1979 CENAMAR. Boletín No. 5 pp 20. Gómez Palacio, Dgo.
Ruíz V., J. 1999. Fisiotecnia vegetal. Instituto Politecnico Nacional (CIIDIR U.OAXACA). p. 103

Saglam, N. y Yazgan A. 1999. Effect of fruit number per truss on yield and quality in tomato. Acta Horticulturae No. 486. Pp 261-264.

Saglam, N. y Yazgan A. 1999. Effect of fruit number per truss on yield and quality in tomato. Acta Horticulturae No. 486. Pp 261-264.

Salinas, S.A. 2002 El cultivo de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Como una Alternativa de Producción en el Municipio de Pluma Hgo, Oaxaca. Editorial UACH – Fitotecnia. México.

Salisbury, B.F. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas 3: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Grupo Editorial Thomsom Learning, Madrid, España, 469 p.

Samani A. Z. (1996). Chemical injection into irrigation systems. Ponencia presentada en el primer Simposium International de Fertirrigación. Hermosillo, Sonara. México

Sánchez Del C. F. 1991. Apuntes para el curso de sistemas especiales para la producción de hortalizas y flores I. Depto. Fitotecnia. Chapingo, Méx. 116p.

Sánchez del C.F. 1999. Proyecto de Evaluación Tecnológica de una Unidad de Producción Intensiva de Flores y Hortalizas. Chapingo, México.

Sánchez P. A. M. 2004. Tesis. Influencia de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el desarrollo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en hidroponia bajo invernadero. Depto. de Fitotecnia. Chapingo, México. 57 p.

Sánchez, Del C.F.; Espinoza R. y E. Hernández R. 1986. Producción superintensiva de jitomate en hidroponia bajo invernadero rústico. Depto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 1 – 18 (mimeógrafo).

Sánchez, G; H.P.; R. Cano; G. De Ávila D. y G. Rodríguez L. 1996. Informe de actividades, Campaña contra la mosquita blanca de la hoja plateada, *B. argentifolii* B. & P., México, Comité coordinador de la campaña contra la mosquita blanca, SAGAR.

Sandoval C. J. (2001) Tomate Saladette Indeterminado de Larga Vida de Anaquel. Saltillo, Coahuila. Pp 2-9.

Serrano, C. Z. 1978. Tomate, Pimiento y Berenjena en Invernadero. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España. Pp. 7 – 159.

Serrano, C. Z. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. 445 p.

Soltani N., J.L. Anderson, and A.R. Masón, 1995. Growth analysis of watermelon plants grow with mulches and rowcovers. J. Amer. Hort. Sci. 120 (6). Pp 1001 – 1009.

Steta Mario. De AGROS, S.A. de C.V. 2004. IV foro de expectativas del sector agroalimentario y pesquero en México, D.F..

Sutcliffe, J. y D. Baker. 1979 Las plantas y las sales minerales, Barcelona, Omega, col. Cuadernos de biología, 67 pp.

Tal U. (1998) Riego por goteo, Microaspersión y fertirrigación. Tecnología avanzada aplicada en los campos mexicanos. Plastro Internacional. Israel. Memoria. III Simposium Internacional de Fertirrigación. León, Guanajuato. México.

Torres Guerrero M.S.. 1989. Evaluación de Siete Soluciones Nutritivas en el Cultivo de Jitomate (*Lycoersicon esculentum* Mill), en Invernadero Bajo Invernadero Rústico. Tesis. Depto. De Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México p. 136

Urreztarazu G.M. 2000. Manual De Cultivo sin suelo, Universidad de Almería, Ed. Mundi-Prensa, Almería, España, p. 327.

Valadez, L.A. 1993. Producción de hortalizas. Editorial Limusa – México. pp 197 – 212

Valdivia Valentín M. A. 1989. Prueba de Diferentes Sustratos Para la Producción de Jitomate en Hidroponía Bajo Invernadero Rústico. Tesis. Depto. De Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Van Dongen, S. y L. Bringas. 1999. Producción de invernaderos en estados Unidos. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No.5, Mayo 1999. p 17.

Vargas, V.A. 2003. Evaluación de un paquete hidropónico en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) de invernadero. Tesis de Licenciatura. Depto de Fitotecnia. Chapingo, México 68p.

Velasco Hernández E. 2004. Evaluación de Sustratos y Variedades en la Producción Protegida de Jitomate. (***Lycopersicon esculentum*** Mill). Depto. De Fitotecnia. Revista Chapingo Serie Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. pp 237 – 244.

Velásquez D.D. (1994). Alternativas de diseño y selección de los sistemas de riego localizado. Ponencia en el segundo Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías Alternativas. Nuevo Vallarta, Nayarit. México.

Zazueta R. F. S. (1989). Selección de sistemas de riego. Ponencia presentada en el Seminario Internacional sobre Tecnificación de Riego y Uso Racional de la energía. Comarca Lagunera.

Zermeño, G., A. 2001. Métodos micrometeorológicos para medir flujos de calor y vapor de agua entre los cultivos y la atmósfera.

In: XIII Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango.

ANEXOS

ANALISIS DE VARIANZA PARA LAS DIFERENTES VARIABLES ESTUDIADAS EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE *Lycopersicum esculentum* Mill. CV. TEQUILA EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y FERTIRIEGO EN EL BARRIO SAN PEDRO, ZAACHILA, OAXACA

Cuadro 1A. Análisis de varianza para altura de plantas en metros

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	7706.19	2568.73	5.77	0.0013
Repetición	76	33824.6	445.06		
Total	79	41530.8			

C.V. 9.20%

Cuadro 2A. Análisis de varianza para altura de la primera inflorescencia en cm

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	855.457	285.152	3.22	0.0272
Repetición	76	6719.98	88.4207		
Total	79	7575.43			

CV 25.17%

Cuadro 3A. Análisis de varianza para número de hojas

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	140.937	46.9792	3.88	0.0122
Repetición	76	919.55	12.0993		
Total	79	1060.49			

CV 10.39 %

Cuadro 4A. Análisis de varianza para número de racimos

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	47.2375	15.7458	21.50	0.0000
Repetición	76	55.65	0.732237		
Total	79	102.888			

C.V. 12.73%

Cuadro 5A. Análisis de varianza para número de flores

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	8788.54	2929.51	7.10	0.0003
Repetición	76	31336.3	412.32		
Total	79	40124.9			

CV 22.98 %

Cuadro 6A. Análisis de varianza para número de frutos

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	9306.84	2326.71	7.62	0.0000
Repetición	76	22906.0	305.414		
Total	79	32212.9			

CV 21.21%

Cuadro 7A. Análisis de varianza para peso en gramos por fruto

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	2427.64	809.213	82.09	0.0000
Repetición	76	749.217	9.85812		
Total	79	3176.86			

CV 9.36%

Cuadro 8A. Análisis de varianza para rendimiento promedio en kg por planta

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	3.62548	1.20849	0.85	0.4709
Repetición	76	108.07	1.42197		
Total	79	111.695			

CV 18.43%

Cuadro 9A. Análisis de varianza para rendimiento promedio en kg m⁻²

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	41.42	13.80	0.85	0.4709
Repetición	76	1234.72	16.24		
Total	79	1276.14			

CV 18.43%

Cuadro 10A. Análisis de varianza para rendimiento promedio en Ton ha⁻¹

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	4141.91	1380.64	0.85	0.4709
Repetición	76	123462.0	1624.5		
Total	79	127604.0			

CV 18.43%

Cuadro 11A. Análisis de varianza para el valor de la producción en kg por planta

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	10197.4	3399.14	12.79	0.0000
Repetición	76	20192.2	265.687		
Total	79	30389.6			

CV 21.7864%

Cuadro 12A. Análisis de varianza para el valor de la producción en kg m⁻²

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	116500.0	38833.2	12.79	0.0000
Repetición	76	230680.0	3035.27		
Total	79	347180.0			

CV 21.7864%

Cuadro 13A. Análisis de varianza para el valor de la producción en Ton ha⁻¹

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	1.87	0.62	2.55	0.1293
Repetición	8	1.95	0.24		
Total	11	3.82			

CV 21.7864%

Cuadro 14A. Análisis de varianza para sólidos solubles

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	1.16X10 ⁷	3.88X10 ⁶	12.79	0.0000
Repetición	76	2.30X10 ⁷	303529		
Total	79	3.47X10⁷			

CV 11.8403%

Cuadro 15A. Costos de producción en la producción de jitomate cv Tequila en condiciones de fertiriego e invernadero, considerando los costos variables, en Zaachila, Oaxaca

COSTOS DE PRODUCCION					
	Total de Costos variables	Dimensión del invernadero m²	TCV/DI	Costo del Sustrato por m²	Costo de producción (\$)
Tepetzil	3750	84	44.64	10.65	55.29
Arena	3750	84	44.64	5.88	50.52
Suelo con Acolchado	3750	84	44.64	2.07	46.71
Suelo Desnudo	3750	84	44.64	0	44.64

Cuadro 16A. Análisis de varianza para Beneficios netos por planta, en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	8588.92	2862.97	10.78	0.0000
Repetición	76	20192.6	265.692		
Total	79	28781.5			

C.V. 25.2982%

Cuadro 17A. Análisis de varianza para Beneficios netos por m² en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	98115.1	32705.0	10.77	0.0000
Repetición	76	230685.0	3035.32		
Total	79	328800.0			

C.V. 25.2978%

Cuadro 18A. Análisis de varianza para Beneficios netos por ha en la producción de jitomate en condiciones de fertiriego e invernadero.

FUENTE	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento	3	9.81157E12	3.27052E12	10.77	0.0000
Repetición	76	2.30682E13	3.03529E11		
Total	79	3.28798E13			

C.V. 25.2978%