



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

“PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) HIDROPÓNICO CON SUSTRATOS, BAJO
INVERNADERO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
M A E S T R O E N C I E N C I A S
(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)
P R E S E N T A :
ING. BALDOMERO H. ZÁRATE NICOLÁS.

DIRECTOR DE TESIS: DRA. YOLANDA DONAJI ORTIZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS. DR. JOSE CRUZ CARRILLO RODRIGUEZ.



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA, MÉXICO, OCTUBRE 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 3 del mes de Septiembre del 2007 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* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero"

Presentada por el alumno:

Zárate
Apellido paterno

Nicolás
materno

Baldomero Hortencio
nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 0 | 5 | 1 | 3 | 3 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN 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

Directores de tesis:

Dra. Yolanda Donaji Ortiz Hernández

Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez

Dr. Jaime Ruiz Vega

Dr. José Antonio Sánchez García

Dr. José Alfredo Carrillo Salazar

LA PRESIDENTA DEL COLEGIO

Dra. María del Rosario Arnaud Viñas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 13 del mes de Septiembre del año 2007, el (la) que suscribe **ZÁRATE NICOLÁS BALDOMERO HORTENCIO** alumno(a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con el numero de registro **B051330**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández y el Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez y cede los derechos del trabajo titulado "**Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Hidropónico con sustratos, bajo invernadero**", 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 directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos # 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: balzan11@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ZÁRATE NICOLAS BALDOMERO HORTENCIO

RESUMEN

En el estado de Oaxaca, México, el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es la hortaliza más cultivada y rentable. En la presente década se han incorporando nuevas tecnologías; tales como: coberturas plásticas, fertirriego e hidroponia. Los cultivos hidropónicos requieren de sustratos adecuados y soluciones nutritivas específicas para cada tipo de cultivo. En este trabajo se evaluó el efecto de dos sustratos arena y fibra de coco en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de fruto de dos variedades de tomate (Loreto y SUN 7705) bajo condiciones hidropónicas e invernadero. Para ambas variedades, el sustrato fibra de coco en comparación a la arena, provocó mayor respuesta para las variables: altura y grosor de la planta, número de racimos por planta, número de frutos por racimo, peso total de fruto, materia seca (raíz, hojas, tallos y frutos) y materia seca total. Sin embargo, para las variables de calidad de fruto (diámetro polar y ecuatorial, color, pH, grados Brix, acidez titulable y azúcares totales directos), no hubo diferencias significativas. El tratamiento más sobresaliente fue fibra de coco con la variedad SUN 7705.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., sustrato, arena, fibra de coco, hidroponia.

ABSTRACT

In the Oaxaca State Mexico, tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is the most profitable and cultivated vegetable. New technologies have been introduced to the tomato production systems such as: plastic coverages, fertirrigation and hidroponics in the last decade. Crops in hidroponics require adequate substrates and specific nutrient solutions for each kind of crop. In this work we evaluated the effect of two substrates, sand and coconut fiber on the growth, development, production and quality of two tomato genotype (Loreto y SUN 7705) in an experiment carried out under greenhouse hidroponics conditions. In both varieties, the substrate coconut fiber in comparison with sand it provoked better answer for the variables: weight and thickness of the plant, number of bunches per plant, number of fruits per bunch, total weight of fruit, dry matter, dry matter (roots, leaves, stems and fruits) and total dry matter. However, for the variables of quality of the fruit (polar diameter and equatorial, color, pH, °Brix, titrable acidity and total direct sugars) did not produce significant differences. The most outstanding treatment was coconut fiber with the genotype SUN 7705.

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill., substrate, sand, coconut fiber, hidroponics.

Señor... Ayúdame a decir la verdad delante de los fuertes y a no decir mentiras para ganarme el aplauso de los débiles

Si me das fortuna, no me quites la razón. Si me das éxito, no me quites la humildad. Si me das humildad, no me quites la dignidad

Ayúdame siempre a ver la otra cara de la medalla, no me dejes inculpar de traición a los demás por no pensar igual que yo

No me dejes caer en el orgullo si triunfo, ni en la desesperación si fracaso. Más bien recuérdame que el fracaso es la experiencia que precede al triunfo

Enséñame que perdonar es un signo de grandeza y que la venganza es una señal de bajeza

Si yo ofendiera a la gente, dame valor para disculparme y si la gente me ofende, dame valor para perdonar

¡Señor... Si yo me olvido de tí, nunca te olvides de mí!

Mahatma Gandhi

Agradecimientos

Esta tesis es el resultado de un conjunto de situaciones, lugares, sentimientos hechos y personas; sin las cuales, no hubiera podido ser posible, pero sobre todo por la gente que creyó en mí, por mostrarme que los sueños pueden hacerse realidad, en estos tiempos que tanto requerí de la mano amiga.

El tesista expresa su profundo agradecimiento a las siguientes instituciones y personas.

A quienes forman el *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*, (CONACYT) por el apoyo económico que me otorgó para la realización de mis estudios de maestría.

Al *Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional* (CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca), por todo el apoyo brindado durante mis estudios de maestría, por los grandes momentos vividos y por todos los amigos que conforman esta gran Institución.

A la *Fundación Produce, Oaxaca AC* por haber hecho posible la realización del presente trabajo de investigación, gracias por el apoyo económico y la confianza.

Muy en especial expreso un profundo agradecimiento a la *Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández*, por animarme a realizar los estudios de maestría, por su gran apoyo otorgado durante la realización de estos y posteriormente la acertada tutoría como consejero estudiantil y la excelente dirección de esta tesis, por compartir su experiencia, conocimientos, y abrirme las puertas en diferentes instituciones para lograr esta meta en mi vida personal, pero sobre todo por darme su amistad que es invaluable.

Al *Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez*, por asesorarme con su amplia experiencia en horticultura protegida y su excelente codirección en la realización del presente trabajo de investigación, gracias por su confianza, paciencia y comprensión pero sobre gracias por ser mi amigo.

Al *Dr. José Alfredo Carrillo Salazar* por su colaboración, apoyo y paciencia en la realización del presente trabajo, porque además de ser un gran maestro me brindó el privilegio de su amistad.

Al *Dr. Jaime Ruiz Vega* por su apoyo, comentarios y sugerencias en la presente investigación.

Al *Dr. José Antonio Sánchez García* por su amistad y valiosas aportaciones en la realización de este trabajo.

Al Ing. Nicolás Cortés Álvarez por su apoyo incondicional, su confianza pero sobre todo por su amistad, amigos por mucho tiempo.

A Marisela Vara Ramirez por brindarme su amistad, por los momentos inolvidables que hemos compartido.

A la empresa Invernaderos La Soledad S. P. R. DE R. I. por todas las facilidades y apoyo incondicional brindados para la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Ramón Montes García, por su don de gente y la confianza que me brindó.

Al encargado de los invernaderos, La Soledad S. P. R. DE R. I. Dagoberto Santiago Pérez por el apoyo incondicional que siempre fui merecedor en el desarrollo del trabajo y del experimento, pero sobre todo por su amistad.

A todos los trabajadores de los invernaderos, La Soledad S. P. R. DE R. I. (Señores Lorenzo,, Rubén,, Flavio,, Moisés,, Simón,, Palillo,, Antonio) por su invaluable ayuda de campo, además de tantas pláticas, y una que otra copita atravesada. Salud!

Dedicatorias.

A Dios

Con amor y gratitud por iluminar mi camino, colmar de bendiciones mi vida y mostrarme siempre su inmensa bondad, quien siempre esta conmigo.

Con amor y gratitud a mis padres

A la memoria de mis padres: Sr. Eleazar Zárate Castellanos (†) y Petra

Nicolás López (†) porque su recuerdo siempre estará presente, son mis eternos ángeles de la guarda, jamás tendré palabras para agradecerles, ni como pagarles todo lo que hicieron por mi, su ejemplo será la luz que ilumine mi camino. Se que desde donde están siguen vigilándome y guiándome por el camino correcto. Su esfuerzo ha rendido su fruto, gracias padres por estar siempre a mi lado.

A la memoria de mi hermana Juana Zárate Nicolás (†), que aunque el cielo nos separa nunca dejo de pensar en ti

A Mi Familia

Por guiarme y enseñarme a tener respeto a la vida y con quienes he compartido momentos maravillosos de mi vida y con quienes espero contar con su simpatía y apoyo como hasta ahora lo he tenido.

A Norma

Que valientemente decidió emprender esta aventura de vida a mi lado y que gracias a su apoyo, cariño y amor hemos llegado a esta etapa de formación profesional y por ser la mujer que Dios me mandó para cuidarme y protegerme.

A mis hijos

Laura Yasmil, Eder Baldomero, Antonio y Pilar porque son la bendición más grande que Dios me ha dado.

A mis hermanos y hermanas

En especial a *Bertha Inés y Félix Manual*, de quienes he tenido incondicionalmente su apoyo en todo momento y sobre todo en los momentos que mas lo necesite.

A mis cuñadas

Matilde, Oliva (†) y Lidia por ser una luz brillante en mi camino y mi cuñado;

Miguel, gracias por su humildad y don de gente.

A mis sobrinos

Especialmente a Soledad, Santiago, Román., Angélica., Luis., Ángeles., Octavio (†), Martina y Verónica con quienes he compartido muchas vivencias, alegrías y tristezas. Espero seguir compartiendo la dicha y la felicidad que nos mantiene unidos.

A Mis amigos.

A mis amigos: Jesús, Nazario, Javier, Noe, José, Luis, Raúl, René, Pedro, Vicky y a todas aquellas personas quienes me abrieron las puertas de su corazón y me brindaron su cariño, amistad y confianza, gracias por “estar conmigo”... y creer en mí.

A todos los que creyeron en mí y en este proyecto, mi eterno agradecimiento.

Baldo

ÍNDICE

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| ÍNDICE DE CUADROS | 1 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 3 |
| I.-INTRODUCCIÓN | 4 |
| II- OBJETIVOS | 6 |
| III.- HIPÓTESIS | 7 |
| IV.- REVISIÓN DE LITERATURA | 8 |
| 4.1 El tomate | 8 |
| 4.1.1 Generalidades del tomate | 8 |
| 4.1.1.1 Origen | 8 |
| 4.1.1.2 Domesticación | 9 |
| 4.1.1.3 Importancia del cultivo | 9 |
| 4.1.1.4 La hidroponía como sistema de producción | 10 |
| 4.1.2 Producción de tomate en México | 12 |
| 4.1.3. La producción de hortalizas bajo invernadero en México | 13 |
| 4.2 Sustratos | 15 |
| 4.2.1 Clasificación de los materiales utilizados como sustratos | 16 |
| 4.2.1.1 Materiales orgánicos | 16 |
| 4.2.1.2 Materiales inorgánicos | 17 |
| 4.2.2 Criterios de elección de un sustrato | 17 |
| 4.2.3 Caracterización de sustratos | 19 |
| 4.2.3.1. Estudio de la fase sólida | 20 |
| 4.2.3.1.1.1. Tamaño de las partículas: superficie específica | 21 |
| 4.2.3.1.1.1.2. Efecto de las partículas gruesas | 22 |
| 4.2.3.1.1.1.3. Efecto de las partículas pequeñas | 22 |
| 4.2.3.1.1.1.4. Efecto de los materiales fibrosos | 23 |
| 4.2.3.1.1.1.5. Distribución del tamaño de partículas | 23 |
| 4.2.3.1.2. Porosidad y densidad | 25 |
| 4.2.3.1.3. Densidad aparente | 26 |
| 4.2.3.1.4. Densidad real | 27 |
| 4.2.3.2. Estudio de la fase líquida | 27 |
| 4.2.3.2.1 Estado energético del agua | 28 |
| 4.2.3.2.1.1. Fuerzas derivadas del campo gravitatorio | 29 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.3.2.1.2. Fuerzas derivadas de la matriz | 29 |
| 4.2.3.2.1.3 Fuerzas derivadas de iones en solución (osmóticas) | 30 |
| 4.2.3.2.1.4. Fuerzas externas | 30 |
| 4.2.3.2.2 Potencial hídrico | 31 |
| 4.2.3.2.3 Elementos del potencial del agua ligada a un sustrato | 32 |
| 4.2.3.2.4 Capacidad de contenedor | 33 |
| 4.2.3.2.5 Disponibilidad de agua | 33 |
| 4.2.3.2.6 Distribución de agua y aire: curva de liberación de agua. | 34 |
| 4.2.3.3. Estudio de la fase gaseosa | 39 |
| 4.2.4 Valores óptimos recomendados por algunos autores para sustratos | 40 |
| 4.2.5 Justificación para el uso de la fibra de coco | 42 |
| 4.2.5.1. Investigaciones realizadas con el uso de fibra de coco en jitomate y otras especies | 43 |
| 4.2.6 Descripción de los sustratos | 48 |
| 4.2.6.1 Fibra de coco | 48 |
| 4.2.6.1.1 Producción de fibra de coco en México | 53 |
| 4.2.6.2 Arena | 54 |
| 4.3 Arquetipos | 55 |
| 4.3.1 Características requeridas para tallos | 58 |
| 4.3.2 Características requeridas para hojas y el dosel | 58 |
| 4.3.3. Características requeridas para órganos reproductivos | 59 |
| 4.3.4 Precocidad. | 59 |
| 4.4. Distribución de fotoasimilados | 60 |
| 4.4.1. Aspectos generales | 60 |
| 4.4.2. Relaciones fuente-demanda | 61 |
| 4.4.2.1 Prioridad de la repartición de asimilados durante el desarrollo de la planta. | 61 |
| 4.4.2.2. Fuerza de la demanda y crecimiento del fruto de jitomate | 64 |
| 4.4.2.3. Importancia de materia seca para el crecimiento del fruto | 68 |
| 4.4.2.4 Movilización, removilización y acumulación de fotoasimilados | 69 |
| 4.5. Componentes de rendimiento en jitomate | 70 |
| 4.5.1. Manipulación del número y tamaño de frutos | 72 |
| 4.6 Cultivares de jitomate | 73 |
| 4.6.1 Elección de cultivares para invernadero | 73 |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------|-----------|
| 4.7 | Calidad | 74 |
| 4.7.1 | Calidad interna | 75 |
| 4.7.1.1 | Sólidos solubles totales | 75 |
| 4.7.1.2 | Acidez titulable | 78 |
| 4.7.1.3 | Ph | 79 |
| 4.7.2 | Calidad externa | 80 |
| 4.7.2.1 | Color | 80 |
| 4.7.2.2 | Forma del fruto | 82 |
| 4.7.3 | Factores externos en la calidad del fruto | 82 |
| V. | MATERIALES Y MÉTODOS | 85 |
| 5.1. | Localización | 85 |
| 5.1.1. | Macrolocalización | 85 |
| 5.1.2. | Microlocalización | 86 |
| 5.2. | Conducción del experimento. | 87 |
| 5.2.1. | Semillero. | 87 |
| 5.2.2. | Trasplante | 88 |
| 5.2.3. | Características de los materiales vegetativos. | 90 |
| 5.2.3.1. | Loreto | 90 |
| 5.2.3.2. | SUN 7705 | 90 |
| 5.2.4. | Solución nutritiva. | 91 |
| 5.2.5. | Riegos. | 93 |
| 5.2.6. | Podas y tutorio. | 93 |
| 5.2.7. | Polinización | 94 |
| 5.2.8. | Plagas y enfermedades | 95 |
| 5.2.9. | Cosecha. | 95 |
| 5.2.10. | Unidad y diseño experimental | 96 |
| 5.2.11. | Variables evaluadas | 97 |
| 5.2.11.1 | Variables morfológicas | 97 |
| 5.2.11.1.1. | Altura de la planta (AP). | 97 |
| 5.2.11.1.2. | Grosor de tallo (GT). | 97 |
| 5.2.11.2. | Variables de rendimiento | 97 |
| 5.2.11.2.1 | Número de frutos por racimo. | 97 |
| 5.2.11.2.2 | Frutos totales de los racimos 1 al 5. | 97 |
| 5.2.11.2.3 | Número de racimos por planta. | 97 |

| | |
|--------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.11.2.4 Rendimiento en peso por racimo. | 97 |
| 5.2.11.2.5 Peso total de frutos de los racimos 1 al 5. | 97 |
| 5.2.11.3. Variables de biomasa. | 98 |
| 5.2.11.3.1. Peso seco de raíz (g). | 98 |
| 5.2.11.3.2. Peso seco de tallo (g). | 98 |
| 5.2.11.3.3. Peso seco de hoja (g). | 98 |
| 5.2.11.3.4. Peso seco de fruto (g). | 98 |
| 5.2.11.3.5. Peso total de materia seca (g) | 98 |
| 5.2.11.4. Calidad | 98 |
| 5.2.11.4.1. Calidad externa | 99 |
| 5.2.11.4.1.1 Longitud del fruto. | 99 |
| 5.2.11.4.1.2. Diámetro ecuatorial. | 99 |
| 5.2.11.4.1.3. Color del fruto. | 99 |
| 5.2.11.4.2 Calidad interna | 100 |
| 5.2.11.4.2.1. pH. | 100 |
| 5.2.11.4.2.2. Acidez titulable (AT). | 100 |
| 5.2.11.4.2.3. Sólidos Solubles Totales (SST). | 100 |
| 5.2.11.4.2.4. Azúcares reductores directos (ARD). | 101 |
| 5.2.12 Análisis de sustratos | 102 |
| 5.2.13. Análisis estadístico | 102 |
| 5.2.13.1. Análisis de varianza y comparación de medias | 102 |
| VI.- RESULTADOS Y DISCUSION | 104 |
| 6.1 Crecimiento | 104 |
| 6.1.1 Altura de planta | 104 |
| 6.1.2 Grosor de tallo | 106 |
| 6.2 Rendimiento | 109 |
| 6.2.1. Número de frutos por racimo | 109 |
| 6.2.2 Número de frutos totales | 110 |
| 6.2.3 Número de racimos por planta | 112 |
| 6.2.4 Peso de los frutos de los racimos 1 al 5 | 114 |
| 6.2.5 Peso total de frutos | 115 |
| 6.3 Biomasa | 118 |
| 6.3.1 Acumulación de materia seca | 118 |
| 6.3.1.1 Raíz | 118 |

| | |
|------------------------------------------|------------|
| 6.3.1.2 Tallo | 119 |
| 6.3.1.3 Hojas | 119 |
| 6.3.1.4 Fruto | 120 |
| 6.3.1.5 Materia seca total | 121 |
| 6.3.2 Tasa absoluta de crecimiento (TAC) | 121 |
| 6.3.3 Distribución de materia seca | 122 |
| 6.4 Calidad | 123 |
| 6.4.2 Calidad externa | 128 |
| 6.4.2.1 Longitud del fruto | 128 |
| 6.4.2.2 Diámetro ecuatorial | 129 |
| 6.4.2.3 Color | 129 |
| 6.5 Sustratos | 130 |
| VII.- CONCLUSIONES | 137 |
| VIII.- RECOMENDACIONES | 139 |
| IX.- LITERATURA CITADA | 140 |

Índice de Cuadros

- Cuadro 1. Niveles óptimos para las características físicas de sustratos de cultivo.
- Cuadro 2. Niveles óptimos para las características químicas y fisicoquímicas de sustratos de cultivo.
- Cuadro 3. Algunos autores, especies con las que trabajaron y conclusiones a las que llegaron, al experimentar con el polvo de bonote de coco como sustituto de la turba de Sphagnum, en la producción de especies ornamentales en contenedor.
- Cuadro 4. Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas, de trece muestras de polvo de bonote de coco de diferentes fuentes, en comparación con turba de Sphagnum.
- Cuadro 5. Preparación de la solución nutritiva Steiner con indicaciones de cantidades de fertilizantes y reactivos a disolver en 1 100 L de agua.
- Cuadro 6. Concentración de micronutrientes para soluciones nutritivas.
- Cuadro 7. Cosición química* de la solución nutritiva (meq L-1) que se empleó en el experimento.
- Cuadro 8. Efecto de los sustratos sobre el número de frutos por racimo
- Cuadro 9. Peso de los frutos del racimo 1 al 5 y peso total
- Cuadro 10. Producción total de fruto de tomate ton · ha-1.
- Cuadro 11. Acumulación de materia seca entre los órganos de la planta de tomate por efecto del sustrato y la variedad
- Cuadro 12. Distribución de materia seca entre los órganos de la planta de tomate por efecto del sustrato y la variedad
- Cuadro 13. Calidad interna del fruto
- Cuadro14. Parámetros de calidad externa del fruto
- Cuadro 15. Propiedades físicas y químicas de los sustratos empleados, antes y después del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.
- Cuadro 16. Propiedades físico-químicas de los sustratos empleados, antes y después del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.

Cuadro 17. Porcentaje de los diversos tamaños de partículas de los sustratos empleados, a los 0 y 154 días del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.

Índice de Figuras

- Figura 1. Curva de distribución del tamaño de partícula (Ansorena, 1994).
- Figura 2. Fuerzas derivadas de la matriz
- Figura 3. Cursa de liberación de agua o curva característica de humedad de un sustrato.
- Figura 4. Curva de liberación de humedad según De Boodt et al., (1974). Modificado de Ansorena (1994).
- Figura 5. Relación del volumen de aire y humedad en el sustrato
- Figura 6. Localización del Estado de Oaxaca y de los Valles Centrales.
- Figura 7. Croquis de ubicación del experimento.
- Figura 8. Invernaderos La Soledad S.P.R. de R.I.
- Figura 9. Transplante en fibra de coco.
- Figura 10. Transplante en arena.
- Figura 11. Variedad Loreto.
- Figura 12. Variedad SUN 7705
- Figura 13. Sistema de conducción y poda de yemas axilares, para conducir a un solo tallo.
- Figura 14. Polinización a través de bomba aspersora.
- Figura 15. Cosecha del fruto, término de rayado (40% o más de su superficie cubierta por color rosa-rojo) hacia maduro (rojo 100%).
- Figura 16. Arreglo del diseño experimental.
- Figura 17. Dinámica de crecimiento de la planta de tomate a partir de la 5^a hasta la 22^a semana.
- Figura 18. Efecto de los tratamientos en el grosor del tallo
- Figura 19. Número de frutos totales
- Figura 20. Número de racimos por planta



I.- INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza de mayor importancia económica que se cultiva en Oaxaca. En el año 2005 la superficie sembrada fue de 857 hectáreas con una producción de 127.5 millones de pesos (INEGI, 2005). En la última década, los sistemas de producción de tomate en el estado se han diversificando incorporando tecnologías; tales como: cubiertas plásticas, riego por goteo, fertirriego y sistemas hidropónicos con el fin de incrementar el rendimiento, siendo el sistema hidropónico, el que ofrece un mayor control de los factores bióticos y abióticos para la producción de hortalizas (Howard, 1998; Robles, 1999).

Uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato (Cabrera, 1999; Howard, 1998; Morel *et al.*, 2000; Pastor, 2000). La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, es fundamental para su uso efectivo y en gran medida condiciona el potencial productivo de las plantas, porque constituyen el medio en el que se desarrollarán las raíces, las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ünver *et al.*, 1989; Brückner, 1997; Lemaire, 1997). A pesar de que en México existe un gran número de materiales que pueden ser usados como sustratos, se le ha dado poca importancia a la caracterización y en muchas ocasiones, estos materiales no cumplen con las características mínimas necesarias para ser considerados como sustratos, llevando al productor al fracaso.

La mayor parte de las investigaciones sobre sustratos como medio de crecimiento se han efectuado para especies ornamentales, siendo los más utilizados se encuentran la turba (peat moss), tierra de monte, arena de río, perlita, vermiculita, agrolita y compostas, entre otros. Respecto a los cultivos hortícolas, la mayoría de las investigaciones se han orientado a estudiar la germinación de semillas o la propagación vegetativa pero no en el crecimiento y desarrollo de la planta.



Un material que ha llamado la atención a nivel mundial es el desecho del coco o polvo de coco (coco dust), particularmente por razones ambientales, como un material alternativo al uso de la turba por razones ambientales. El polvo de coco además presenta buenas características físicas y químicas, aún cuando en la mayoría de los trabajos se ha reportado con una alta salinidad y heterogeneidad como su principal problema, atribuido al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y a su origen (Evans *et al.*, 1996; Kunduru *et al.*, 1999; Abad *et al.*, 2002; Arenas *et al.*, 2002; Noguera *et al.*, 2000; Scagel, 2003; Kang *et al.*, 2004).

Por otro lado, se tiene poca información sobre la fibra de coco como sustrato para el tomate. En diversas investigaciones (Handreck, 1993; Meerow, 1994; Martínez *et al.*, 1996; García *et al.*, 2001) se ha comprobado que el polvo de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo. Cuando se mezcla con arena (1:1 v/v), mejora su humectabilidad siendo mayor al 33% y se obtiene una buena porosidad de aire de 24 a 35%, de acuerdo a los niveles de fibra que el polvo de coco contenga. Lo cual permite mantener un nivel satisfactorio de agua fácilmente disponible, debido a ello se ha señalado como un posible material aceptable como sustituto de la turba ya que también presenta menor compactación (pérdida de volumen) que ésta (Meerow, 1994; Awang y Razi, 1997; Prasad, 1997). Con el polvo de coco se han obtenido buenos resultados para la producción de miniazalea (*Rhododendron indicum*), crisantemo (*Dendratherma* spp.) y plántulas de brócoli (*Brassica oleracea*) (Jaimes, 1994; Velasco, 1995; Zarate, 1995).

Por lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los sustratos de arena y fibra de coco y su efecto en el crecimiento, desarrollo, rendimiento producción y calidad del fruto en dos variedades comerciales de tomate (Loreto y SUN 7705) tipo saladette de hábito indeterminado.



II.- OBJETIVO

- Evaluar el efecto de dos tipos de sustratos (arena y fibra de coco) sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de dos variedades de tomate (Loreto y SUN 7705) bajo invernadero con fertirrigación.



III.- HIPÓTESIS

Hipótesis 1

Existen diferencias en crecimiento, producción y calidad de tomate por el uso de diferentes sustratos y variedades, bajo condiciones de invernadero con fertirrigación.

Hipótesis 2

La fibra de coco comercial cumple con las características físicas y químicas para ser empleado como sustrato en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero.



IV.- REVISION DE LITERATURA

4.1 El tomate

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más redituables en el mundo (Hilhorst *et al.*, 1998). México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del tomate. Esta hortaliza fue llevada a Europa en 1554, empezando a comercializarse en Estados Unidos hacia el año de 1835 (Ojo de Agua, 2007).

En México el tomate es considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año, y se le consume tanto en fresco como procesado, siendo una fuente rica en vitaminas y minerales (Ojo de Agua, 2007).

4.1.1 Generalidades del tomate

4.1.1.1 Origen

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de esas zonas (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.*, 2001).



4.1.1.2 Domesticación

El centro de domesticación del tomate ha sido controvertido; sin embargo, se cree que el origen de su domesticación es México, porque existe mayor similitud entre los cultivares europeos y los silvestres de México que con los de la zona andina. A la llegada de los españoles a América el tomate estaba integrado a la cultura azteca. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua náhuatl de México donde se le llamaba "tomatl" (Esquinas y Nuez, 2001, Rodríguez *et al.*, 2001).

Actualmente en el centro del país sigue utilizándose mayoritariamente la palabra jitomate quizás porque los aztecas lo nombraban "Xic-tomatl", para aludir al fruto de *Lycopersicon esculentum* (Cruces, 1990). Además, no ocurre esto en otras partes del país y del mundo. Los españoles y portugueses difundieron al tomate por todo el mundo a través de sus colonias ultramarinas, posteriormente contribuyeron a ello otras potencias y países (Esquinas y Nuez, 2001).

La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001). Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001).

4.1.1.3 Importancia del cultivo

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio (Infoagro, 2003).

En México, el tomate es el cultivo hortícola de mayor importancia económica y social, por la superficie sembrada, el volumen en el mercado



nacional, y las divisas generadas. Su popularidad se debe al aceptable sabor y disponibilidad del fruto en una amplia gama de ambientes, así como a su relativa facilidad para ser cultivado (Cruz, 2007). Además su cultivo tiene las siguientes ventajas: genera empleo, debido a que requiere mucha mano de obra desde la siembra hasta el empaque; estimula el empleo urbano proporcionando oportunidades de negocios en aspectos como manufactura, venta de agroquímicos, maquinaria y equipo; se necesita semilla de calidad; su exportación va en aumento, lo mismo que los precios pagados a los productores, generando importantes cantidades de divisas; mejora la nutrición de los consumidores; es muy versátil en su uso porque se puede consumir en fresco, cocinado, frito y procesado industrialmente en conservas, salsas, jugos y en polvo (Cruz, 2007).

4.1.1.4 La hidroponía como sistema de producción

En combinación con los invernaderos, el cultivo sin suelo o cultivo hidropónico, posiblemente sea hoy en día el método más intensivo de producción de hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Duran *et al.*, 2000; Jensen, 2001; Cánovas, 2001).

Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego *hydro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), que significa literalmente trabajo o cultivo en agua (Mosse, 2004; Alarcón, 2005).

Se define a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva (Sánchez *et al.*, 1991; González, 2006b).



El uso de esta técnica surge a raíz de los descubrimientos de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que al conjugarse con los invernaderos y plásticos permitió un gran impulso, especialmente para el cultivo de flores y hortalizas, particularmente en países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Holanda, España y otros países de Europa, Asia y África (Resh, 2001).

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grandes grupos: 1) cerrados y 2) abiertos. Los cerrados, son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrimentos que la planta va consumiendo, y los abiertos o a solución perdida, en la que la solución nutritiva es desechada (Mosse, 2004; Alarcón, 2005).

Dentro de estos dos grupos hay tantos sistemas como diseños de las variables de cultivo empleadas: sistema de riego (goteo, subirrigación, circulación de la solución nutritiva, tuberías de exudación, contenedores de solución nutritiva, etc.); sustrato empleado (agua, materiales inertes, mezclas con materiales orgánicos, etc.); aplicación del fertilizante (disuelto en la solución nutritiva, empleo de fertilizantes de liberación lenta aplicados al sustrato, sustratos enriquecidos, etc.); disposición del cultivo (superficial, sacos verticales o inclinados, en bandejas situadas en diferentes planos, etc.); recipientes del sustrato (contenedores individuales o múltiples, sacos de plástico preparados, etc.).

A nivel mundial los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que, en México la mayoría de las explotaciones comerciales emplean sistemas abiertos y adoptan el riego por goteo (Alarcón, 2005).

El interés por el sistema hidropónico a nivel mundial obedece a los altos rendimientos y a la calidad del producto que por unidad de superficie se pueden obtener (1000% más que el cultivo en suelo en el cual se obtienen de 20 a 30 t ha⁻¹ cosecha⁻¹) (González, 2006a), lo que significa mejor mercado y precio de venta.



Esa alta productividad es debida en principio al balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; además de poder controlar la presencia de malas hierbas, al mayor control sobre las plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de un rango óptimo y a que se permite una mayor densidad de población.

Como ventajas adicionales se pueden mencionar mayor precocidad de la producción, eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas de menor calidad y, cuando el clima lo permite o con el uso de invernaderos se pueden obtener varias cosechas por año (Sánchez *et al.*, 1999).

Por la fuerte inversión que implica la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, con un manejo eficiente del espacio y del tiempo para alcanzar la máxima productividad, entendida ésta como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo; dentro de este contexto, el tomate cultivado en hidroponía en invernadero en países con alta tecnología se obtiene entre 500 y 700 t ha⁻¹ año⁻¹ (Rodríguez, 2004).

Destacan por su producción en invernaderos con hidroponía los estados de Baja California Sur, Chiapas, Coahuila, Colima; Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Quintana Roo, Querétaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Yucatán y Zacatecas con una producción de 747150 toneladas de tomate, pimientos y pepinos en una superficie de 2550 ha, de esta producción, prácticamente toda se destina al mercado de EU, Canadá y países de Europa (González, 2006a).

4.1.2 Producción de tomate en México

En México, el tomate es la principal hortaliza cultivada, cuya producción a campo abierto en el 2003 fue de 1.8 millones de toneladas y en invernadero de



148.3 mil toneladas, con un rendimiento medio de 28 y 156 ton ha⁻¹, respectivamente (Cook y Calvin, 2005). Para el año 2002 la superficie cultivada en México, fue de 1206 ha en invernadero (Urrutia, 2003), en la actualidad se estima una superficie de 2700 ha. Siendo el tomate el cultivo con mayor producción en invernadero, con el 70% de la superficie, del cual el 90% se produce en suelo para reducir costos de producción (Steta, 2004).

4.1.3. La producción de hortalizas bajo invernadero en México

La industria mexicana de la horticultura protegida se ha venido desarrollando en condiciones muy heterogéneas, con costos de adquisición e instalación de hasta 100 dólares americanos por metro cuadrado; así como, instalaciones muy económicas, como los denominados Bioespacios (Bustamante, 2003) o casas sombras, con costos de 4-6 dólares americanos por metro cuadrado. En la actualidad se estima que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombras, es de aproximadamente de 3600 hectáreas.

Los principales estados productores de hortalizas en invernadero son: Jalisco, Sinaloa, Baja California Sur, Baja California Norte, Colima y Sonora. Otros estados, que aunque en la actualidad presentan una baja superficie, tienen una tasa de crecimiento muy importante, como ocurre con: Chihuahua, Guanajuato, Estado de México, Veracruz y Zacatecas. Por otro lado el principal cultivo que se dedica a la producción en invernadero es el tomate, en sus diferentes tipos, con el 73% de la superficie, seguido de pimiento y pepino con un 11% cada uno de ellos (Muñoz, 2003).

En México, existe una gran diversidad de regiones dispersas en el territorio nacional con diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas contrastantes, en las que se podría producir bajo condiciones protegidas. También hay diferentes desarrollos de infraestructura, distancia a frontera, facilidades de mano de obra, apoyo de los gobiernos estatales, disponibilidad de gas natural



(más económico que el gas propano). Por ello, cada región tiene sus propias demandas de infraestructura; por ejemplo, las regiones de Sinaloa, las Californias y Sonora, se están distinguiendo por su crecimiento en casas sombra, dado que las condiciones climáticas les permiten producir en el invierno y en suelo sin estructuras formales de protección, empleando únicamente mallas anti-insectos e infraestructura de tutores, con bajos costos de producción. Sin embargo estas regiones solo se dedican a producir en invierno, debido a que la venta del producto es hacia los Estados Unidos.

Por otro lado, en la región central del país está creciendo el invernadero multitúnel automatizado, principalmente bajo condiciones hidropónicas (Ojo de Agua, 2007).

Los principales polos de desarrollo de la horticultura protegida (principalmente con casa sombra) en México están en Sinaloa, en las inmediaciones de Culiacán y Los Mochis; en el sur de Sonora, hacia el Valle del Yaqui y en Baja California Sur (Ojo de Agua, 2007).

En cuanto a instalaciones formales de invernaderos estos se encuentran en en los estados de Baja California, en el Norte de Sonora, en Puebla y en Jalisco (Ojo de Agua, 2007).

En el estado de Guanajuato en los municipios de Celaya, Irapuato, San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo y San Luís de la Paz; en Zacatecas, hacia la zona de Jerez, Ojo caliente y las Arcinas; en Coahuila en las inmediaciones de Torreón; en Chihuahua hacia los municipios de Delicias y Cuahutémoc y finalmente en el estado de México se realizan cuantiosas inversiones con invernaderos de alta tecnología, en la zona de Pastejé, de clima frío, con alta humedad relativa y a menudo baja radiación solar por efecto de días nublados (Castellanos y Tapia, 2004).



4.2 Sustratos

El término "sustrato" se aplica a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor, puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por tanto, un papel de soporte para la planta (Abad *et al.*, 2005; Abad *et al.*, 2004; Terés, 2001). El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turbas, cortezas de pino, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) (Cadahía, 2005; Urrestarazu, 2004; Terés, 2001; Pastor, 1999).

El sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y, por interacción con la fracción sólida, los nutrientes necesarios. Por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular (Lemaire *et al.*, 2005). Esto hace que resulte necesario conocer las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los sustratos, pues condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor y determinan posteriormente su manejo.

El sustrato de cultivo está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que ésta toma el agua y los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular. Para Michelot (1999; citado por Masaguer y Cruz, 2007), el soporte del cultivo (suelo o sustrato) cumple cuatro funciones:

a) Asegura el anclaje mecánico de la planta; b) Constituye la reserva hídrica de la que las raíces toman el agua para cubrir las necesidades de la planta; c) Las



raíces son órganos aerobios. El sustrato debe proporcionar el oxígeno que necesitan para su correcto funcionamiento y d) Debe asegurar la nutrición mineral de la planta.

Por su parte Abad y Noguera (2000) concuerdan que las funciones más importantes de un sustrato son, proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces (aportar agua, aire y nutrimentos), construir una base adecuada para el anclaje y soporte a la raíz. Mientras que Abad *et al.* (2005) sugieren que la finalidad de los sustratos en cualquier cultivo es producir una planta/cosecha de calidad, en periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción sin provocar un grave impacto ambiental.

4.2.1 Clasificación de los materiales utilizados como sustratos

Los criterios para clasificar los sustratos, se basan en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. Sin embargo, la clasificación común es en materiales orgánicos e inorgánicos (Abad, 1995; Burés, 1998; Abad y Noguera, 2000).

4.2.1.1 Materiales orgánicos

De acuerdo a su origen los sustratos pueden ser de tres tipos:

- a) Natural: son materiales que están sujetos a descomposición biológica, por ejemplo la turba, tierra de monte, etc.
- b) Sintéticos, normalmente denominados plásticos: polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química como la espuma de poliuretano y poliestireno, espumas de resinas fenólicas (Bunt, 1988; Burés, 1997).



- c) Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo: los materiales de este grupo requieren una previa maduración o estabilización de su materia orgánica para poder ser adecuados como sustratos, por ejemplo, las cortezas de árboles, aserrín, viruta de madera, residuos sólidos urbanos, lodos de plantas depuradoras de aguas negras, estiércoles, cascarilla de arroz, paja de cereales, polvo de coco, etc. (Bunt, 1988; Chong y Cline, 1993; Beeson, 1996; Tripepi *et al.*, 1996; Burés, 1997).

4.2.1.2 Materiales inorgánicos

Se describen tres tipos:

- a) De origen natural: son materiales obtenidos a partir de rocas o minerales de origen diverso (ígneos, metamórficos o sedimentarios), no son biodegradables. Por ejemplo, arena, grava, roca volcánica, zeolita, etc.
- b) Transformados o frotados industrialmente: son materiales provenientes de rocas o minerales, que han sufrido un proceso químico o físico, con el objetivo de obtener fibras y o gránulos ligeros muy porosos, por lo que en este grupo tenemos a la perlita, lana de roca, vermiculita, arcillas expandidas, etc. (Bunt, 1988; Hitchon *et al.*, 1990).
- c) Residuos y subproductos industriales: son materiales provenientes de diversas actividades industriales residuos de procesos de combustión, desechos de minería, escorias de los hornos, escorias de carbón, etc. (Burés, 1997).

4.2.2 Criterios de elección de un sustrato

Como ya se mencionó la función principal de un sustrato es proporcionar un medio ideal para el crecimiento de la raíz. En el cultivo sin suelo se pueden emplear un gran número de materiales en forma pura o mezclados (Abad, 1995;



Abad y Noguera, 2000). La elección de un material como sustrato generalmente es de acuerdo a:

- a) Suministro y homogeneidad: los cambios en la calidad del sustrato pueden provocar pérdidas graves en la producción por lo que es indispensable que los productos a utilizarse como sustratos sean de abundante suministro con una elevada homogeneidad en cuanto a sus características. Este es un punto muy importante que debe llamar la atención a los proveedores de sustratos, ya que ellos son los responsables de garantizar, sobre todo, la homogeneidad.
- b) Costo: es un parámetro significativo aunque, no debe de estar por encima de las características básicas; es decir, es preferible adquirir un sustrato de mayor costo que cumpla con las características mínimas ya que esto nos permite reducir riesgos.
- c) Finalidad de la producción: porque de la elección del sustrato dependerá el manejo y la calidad del producto.
- d) Propiedades: una vez reunidos los tres puntos anteriores, el siguiente paso es realizar un análisis detallado de las propiedades del material, estas propiedades son el factor limitante que determinan el manejo del cultivo.
- e) Impacto ambiental: en este se consideran dos grandes grupos de sustratos. Primero, los provenientes de recursos naturales difícilmente renovables como es el caso de la turba, de los cuales cada vez es mas limitado su uso, a pesar de tener muy buenas propiedades. El segundo caso corresponde a los materiales transformados o tratados industrialmente (lana de roca), que constituye un problema su desecho. El reciclado y la reutilización de residuos son una buena alternativa.



Otro factor considerado para elegir un determinado material como sustrato, es la ausencia de sustancias que sean tóxicas para la planta (fitotoxinas) (Abad, 1993). Por lo general, las características anteriores están interrelacionadas y todas contribuyen al éxito del cultivo.

4.2.3 Caracterización de sustratos

Al igual que se han caracterizado y clasificado los suelos para su manejo, es necesario realizar lo mismo con los sustratos. En el caso de los suelos, la caracterización química viene a ser primordial y en general se le asigna una menor importancia a sus propiedades físicas. Por el contrario en el caso de los sustratos, la caracterización física viene a ser fundamental (De Boodt *et al.*, 1974; Verdonck *et al.*, 1984; Raviv *et al.*, 1984; Abad y Noguera, 1998 y 2000; Noguera *et al.* 2003; Park *et al.*, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004; Abad *et al.*, 2005) y la caracterización química viene a ser menos relevante, dado que los nutrimentos se suministran en la solución nutritiva. Por otra parte Burés (1998), señala que del conocimiento de las propiedades físicas y químicas dependerá el manejo del riego y la fertilización, y por lo tanto el éxito del cultivo.

En líneas generales, las propiedades que en mayor medida caracterizan a un buen sustrato, en cuanto a su aptitud para la germinación, el enraizamiento y el desarrollo de plantas, son las siguientes (Raviv *et al.*, 1984, Abad *et al.*, 2004, 2005; López Cuadrado y Masaguer, 2006):

a) Propiedades físicas:

Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, distribución del tamaño de las partículas adecuado para que mantenga las condiciones anteriores, baja densidad aparente, elevada porosidad total y estructura estable que impida la contracción del sustrato.



b) Propiedades químicas:

Baja o suficiente capacidad de intercambio catiónico, en función de la fertilización aportada, suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón y pH ligeramente ácido y mínima velocidad de descomposición.

c) Otras propiedades:

Libres de semillas de malas hierbas, nematodos, hongos, otros patógenos y sustancias fitotóxicas, reproducibilidad, disponibilidad y bajo coste, fácil de manejar, rehumectar y desinfectar y resistencia a cambios físicos, químicos y ambientales extremos.

4.2.3.1. Estudio de la fase sólida

En la composición de la fase sólida de un sustrato predomina la materia orgánica, la cual podrá estar más o menos descompuesta, lo que influirá en sus propiedades. En el caso de las turbas, que han estado sometidos durante largo tiempo a los procesos naturales de degradación biológica, su estabilidad es elevada y no existe riesgo de descomposición. La corteza de pino y la mayoría de subproductos y residuos orgánicos, tienen que ser sometidos a compostaje, que al no ser adecuado se producirán fenómenos fitotóxicos y de inmovilización de nitrógeno. (Ansorena, 1994).

La determinación de la relación C/N se emplea usualmente para determinar el grado de descomposición de la materia orgánica, cuanto más bajo sea el cociente C/N, más mineralizado estará el material.

En la materia orgánica se suelen distinguir dos grupos:

1.- sustancias no húmicas, constituido por compuestos bien definidos químicamente, generalmente incoloros, que no son exclusivos del suelo ni de los sustratos, sencillos de bajo peso molecular, utilizados por los microorganismos y,



por lo tanto, de existencia transitoria (hidrocarburos, hidratos de carbono, alcoholes, auxinas, aldehídos, aminoácidos, resinas, ácidos alifáticos y ácidos aromáticos).

2.- Humus, constituido por los residuos de las plantas en estado de descomposición junto con las sustancias sintetizadas por las células y ciertos productos intermedios y finales de dichas síntesis. Esta composición no es estable sino dinámica y por lo tanto es mejor considerar al humus, más que un grupo de sustancias, como un estado de la materia orgánica, que será diferente según las variantes condiciones de su formación (Polo, 1991; citado por Masaguer y Cruz, 2007).

La mayoría de las propiedades coloidales de la materia orgánica se deben al humus. El humus contiene principalmente carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre y cantidades más pequeñas de otros elementos. La carga negativa del humus se debe a su disociación de H^+ de los grupos funcionales. En el humus toda la carga depende fuertemente del pH, los ácidos fúlvicos y húmicos se comportan como ácidos débiles, ambos amortiguan el pH dentro de un amplio intervalo de valores (Masaguer y Cruz, 2007).

4.2.3.1.1.1. Tamaño de las partículas: superficie específica

La fase sólida del sustrato puede presentar distintos tamaños de partícula. El tamaño de partícula se relaciona con la:

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas y de suministro
- Facilidad para la circulación del agua
- Capacidad de almacenar nutrientes
- Superficie específica de las partículas



La elevada área superficial por unidad de peso (superficie específica] es una propiedad característica de las partículas pequeñas. La superficie específica varía de forma inversamente proporcional al tamaño de las partículas. En la práctica los valores de superficie específica suelen encontrarse entre 10 y 800 m²/g para la arcilla y entre 800 y 900 m²/g para el humus, mientras que en el caso de la arena gruesa es del orden de 0701 m²/g (Masaguer y Cruz, 2007)

4.2.3.1.1.1.2. Efecto de las partículas gruesas

Masaguer (2007) menciona que los elementos gruesos presentan poca actividad, su superficie específica es baja y suelen ser resistentes a la descomposición. Estos materiales inciden sobre el comportamiento del sustrato y, por lo tanto, en el crecimiento de las plantas, sobre todo cuando su proporción es grande. Un predominio de elementos gruesos en un sustrato hace que éste actúe como un tamiz frente al agua, a la que no es capaz de retener y, por otro lado, presenta escasas posibilidades para el suministro de nutrientes. Ansorena (1994) menciona como características de las partículas gruesas podemos destacar:

Aumentan la permeabilidad si se encuentran en proporción suficiente

Si son porosas, retienen la humedad

Presentan una elevada macro porosidad

El almacenamiento de humedad es menor que en las partículas más pequeñas

Menor cantidad de nutrientes asimilables que en las partículas más pequeñas

Menor energía de retención de agua que en las partículas más pequeñas

Menor capacidad de agua fácilmente disponible que en las partículas más pequeñas

4.2.3.1.1.1.3. Efecto de las partículas pequeñas

La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de



microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua. También se reducirá la porosidad ocupada por el aire, al disminuir el volumen de los huecos entre partículas o macroporos, que son los de mayor tamaño. Masaguer (2007) menciona que entre las principales características destacan:

Presentan una capacidad de agua fácilmente disponible de media a alta

Alta superficie específica

Baja permeabilidad

Alta micro porosidad

Elevada energía de retención de humedad

4.2.3.1.1.1.4. Efecto de los materiales fibrosos

Los materiales fibrosos se emplean como componentes de sustratos de cultivo y su tamaño no está bien estandarizado. Una característica importante es su elasticidad. Sus características dependen de su origen. En sustratos de cortezas de árboles y similares, la granulometría suele depender del grado de molienda del material original, si no es suficiente, el sustrato presentará escasa retención de agua y, con trituración excesiva, poca aireación (Lemaire, 1989).

4.2.3.1.1.1.5. Distribución del tamaño de partículas

Los sustratos están constituidos por mezclas de partículas de diferentes tamaños, desde muy pequeños hasta muy grandes: dependiendo de múltiples factores: el origen y la naturaleza de los componentes, el sistema de recolección empleado o las condiciones de trituración y tamizado. Existe, por tanto, una distribución del tamaño de partículas (Ansorena, 1994). Ésta suele representarse gráficamente, como una curva que se asigna a cada tamaño el porcentaje en peso de partículas que posee ese tamaño (Figura 1).



Hay sustratos que presentando el mismo tamaño medio de partícula no presentan las mismas propiedades físicas, ya que dependen de cómo estén distribuidas. Se recomienda una distribución uniforme que es la que representa la curva menos pronunciada.

Es importante que el material mantenga cierta homogeneidad, es decir, que los rangos de partículas no sean muy dispares, ya que por el contrario se produce una reducción del espacio poroso por reordenación de las partículas más finas entre las gruesas y, con el tiempo, provoca retenciones excesivas de agua y falta de oxígeno en las raíces (López Cuadrado y Masaguer, 2006).

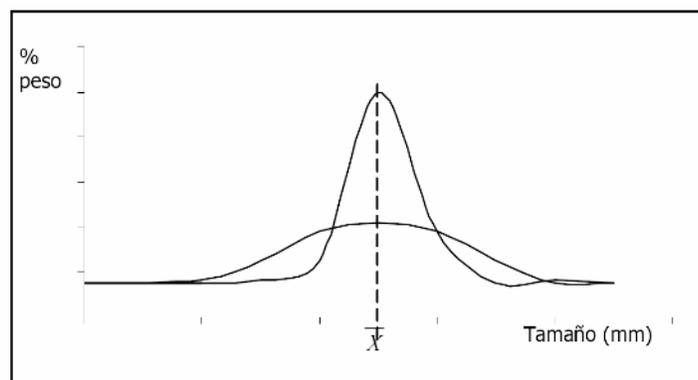


Figura 1. Curva de distribución del tamaño de partícula (Ansorena, 1994).

Masaguer (2007) menciona que el tamaño de las partículas afecta al crecimiento de la planta a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. La porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula. La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua. También se reducirá la porosidad ocupada por aire, al disminuir el volumen de los huecos entre partículas o macroporos, que son los de mayor tamaño.



Las propiedades físicas de los sustratos variarán en función de la distribución de sus partículas, siendo por tanto de importancia fundamental la caracterización granulométrica. Para poder cuantificar la influencia de la granulometría en las propiedades físicas de los medios de cultivo es necesario expresar la distribución de tamaños a través de algún valor numérico. Con este fin, Richards et al., (1986) introdujeron el concepto de índice de grosor, que se define como el porcentaje acumulado en peso de canículas de diámetro superior a 1 mm.

4.2.3.1.2. Porosidad y densidad

El volumen de fases líquida y gaseosa, o el de ésta última si el sustrato está seco, definen la porosidad o el espacio de poros. La porosidad de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por fase sólida, es decir, el cociente entre el volumen de poros y el volumen total que el medio ocupa en el contenedor. También se denomina Espacio Poroso Total (EPT) o cantidad total de poros (Masaguer, 2007).

Además de los huecos o poros que quedan entre las partículas de los materiales que constituyen el sustrato, los propios granos o fibras tendrán unos poros internos, que podrán estar conectados con el exterior o ser cerrados. Estos últimos no serán efectivos, ya que las raíces no tendrán acceso a ellos y, por tanto, no podrán tomar el agua o aire que contengan. La cantidad total de poros o porosidad total de un sustrato será la suma de la debida a los huecos entre partículas y la procedente de los poros interiores de dichas partículas, siendo normalmente estos poros más pequeños que los huecos (Masaguer, 2007).

Debido a la existencia de poros cerrados, sólo una parte de la porosidad total será efectiva o disponible para las raíces de la planta. La perlita es un ejemplo de material en el que, a causa de la existencia de poros cerrados, la porosidad efectiva es inferior a la total.



La porosidad disminuye cuando aumenta la densidad aparente de un material dado. Al comprimirse una muestra de sustrato, se observa un aumento de la densidad aparente y una disminución de la porosidad. La reducción del tamaño de los poros que se produce al aumentar la compactación hace que disminuya la porosidad ocupada por aire y aumente la retención de agua (Masaguer, 2007).

Algunos fenómenos pueden originar la variación de la porosidad del sustrato. Todos los sustratos son compresibles y sufren cambios al hidratarse o secarse. Este fenómeno es importante en el caso de las turbas. Se produce una disminución de la porosidad, que puede tener un carácter irreversible. La inestabilidad mecánica puede ser consecuencia de una evolución biológica de la materia orgánica, haciéndose más elástica o más rígida. Este fenómeno se observa frecuentemente en el caso de sustratos constituidos por partículas finas: la segregación de elementos más finos provoca su acumulación en la parte inferior del contenedor, creando una zona poco permeable responsable de la falta de aire (Abad, 2003).

4.2.3.1.3. Densidad aparente

La densidad aparente (D_a) se define como la relación entre la masa de las partículas y el volumen aparente que éstas ocupan, es decir, considerando el volumen poroso existente entre las mismas. Se expresa generalmente en g/cm^3 o en kg/m^3 .

El conocimiento de la densidad aparente es importante, no sólo porque permite calcular la porosidad, sino que además, proporciona por sí mismo diversa información útil: cantidad de sólido contenido en un volumen de sustrato comprado a granel, preparación de mezclas, ejecución del análisis químico en base a volumen, etc. (Ansonena, 1994).



4.2.3.1.4. Densidad real

La densidad real o de partículas es la relación entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen de sólidos, es decir, sin considerar los poros y huecos (Martínez, 1992). Este valor depende del material y, a diferencia de la densidad aparente, es independiente del grado de compactación y del tamaño de partículas (Ansorena, 1994; Benito, 2002).

La porosidad o espacio poroso total puede expresarse mediante la siguiente relación entre la densidad aparente y densidad real:

$$\% P = \left(1 - \frac{D_a}{d_r}\right) \cdot 100$$

4.2.3.2. Estudio de la fase líquida

La fase líquida define la disponibilidad de agua para las plantas, sirve de soporte a la solución nutritiva y su conocimiento desde los puntos de vista energético e hidráulico permite de un modo práctico establecer las dosis y frecuencias de riego. El agua entra al sustrato por el espacio de macroporos y pasa a ocupar total o parcialmente los poros capilares donde puede ser retenida. El agua disuelve y transporta elementos nutritivos, sales solubles y hace posible su absorción por las raíces de las plantas (Porta *et al.*, 1994; citado por Masaguer y Cruz, 2007).

Los sustratos en contenedor han de tener una elevada capacidad de retención de agua, ya que el volumen del medio de cultivo es pequeño, en relación con las pérdidas elevadas de agua por evapotranspiración (Ansorena, 1994). La relación aire-agua de un sustrato es muy importante, ya que el sustrato debe tener un equilibrio entre la fase gaseosa y la fase líquida.



Una mezcla que tenga una elevada porosidad tendrá las ventajas potenciales de una buena aireación y retención de agua. Sin embargo, el que estas condiciones se den en la práctica dependerá, además, de la distribución de tamaños de los poros. Si éstos son muy grandes, la porosidad estará ocupada principalmente por aire, pudiendo llegar a ser insuficiente la cantidad de agua retenida. Por el contrario si los poros son excesivamente pequeños, se retendrá mucha agua, pero la cantidad de aire disponible para la respiración de las raíces puede no ser suficiente. Por lo tanto es necesario que la distribución de tamaños de poro sea la adecuada para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire (Ansorena, 1994).

4.2.3.2.1 Estado energético del agua

El sustrato es un medio poroso, el agua lo puede ocupar y moverse a través de él. Con ello, entra en contacto con las superficies de las partículas que constituyen la matriz sólida, con las que interacciona, quedando el agua sometida a un conjunto de fuerzas. Toda la masa de agua se halla en el campo gravitatorio y los iones en disolución también interaccionan con ella.

Las fuerzas que retienen el agua dependen de su composición química, la geometría del espacio poroso y de las propiedades de los materiales sólidos. Se considera que las principales formas de energía del agua son la energía cinética y potencial. La cinética es despreciable dado los bajos valores de la velocidad del agua al pasar por los poros de pequeño tamaño. Así, los procesos sustrato-agua, en analogía con lo que ocurre en el suelo, vienen determinados por la energía potencial, considerando despreciables los efectos por la temperatura.



4.2.3.2.1.1. Fuerzas derivadas del campo gravitatorio

El agua está sometida al campo gravitatorio y será mayor la fuerza cuanto mayor sea su masa según la Ley de Newton. La fuerza de la gravedad tiende a extraer el agua al exterior del sustrato.

4.2.3.2.1.2. Fuerzas derivadas de la matriz

Son las fuerzas que generan las partículas de la matriz del sustrato sobre el agua (Figura 2) y se clasifican en:

Fuerzas de adhesión: Se originan en la superficie de las partículas sin carga y son de origen molecular (fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno), de corto enlace y la cantidad de agua retenida de esta forma es pequeña.

Fuerzas de cohesión (por efectos capilares): Son debidas a las uniones de moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno. El agua es retenida con poca intensidad y por tanto, absorbible por las plantas.

Fuerzas de difusión: La difusión es el movimiento de moléculas a lo largo de un gradiente de concentración, debido a la agitación térmica aleatoria. Es el movimiento de moléculas de zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración, hasta que se alcanza la condición de equilibrio.

La cohesión, adhesión y la tensión superficial dan como resultado el fenómeno de capilaridad. Las fuerzas capilares son el resultado de la atracción del agua por las superficies. Al igual que pasa en el tubo capilar, en un sustrato cuanto menor sea el tamaño de partícula y, por tanto, el diámetro de los poros, mayor será la fuerza de retención del agua por capilaridad.

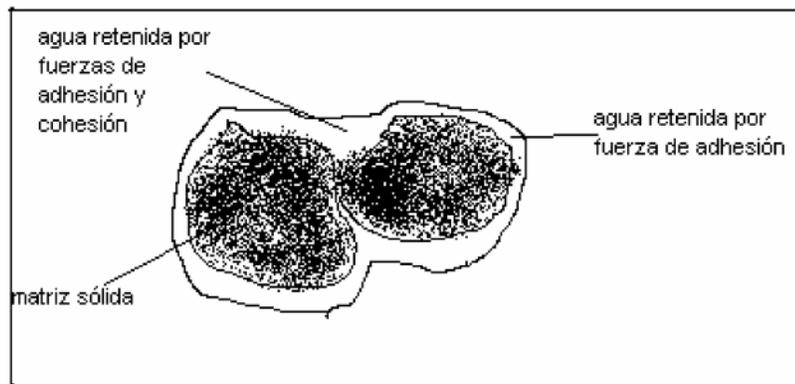


Figura 2. Fuerzas derivadas de la matriz

De lo anterior se deduce que la fuerza de succión que deberá ejercer la planta para extraer el agua retenida por el sustrato será tanto mayor cuanto menores sean los poros: si se reduce diez veces el diámetro de los poros, la energía necesaria para extraer un volumen determinado de agua se multiplica por diez.

4.2.3.2.1.3 Fuerzas derivadas de iones en solución (osmóticas)

Los iones en disolución atraen moléculas de agua por su carácter dipolar y se hidratan, incidiendo en las propiedades termodinámicas del agua y la disminución de la energía potencial del agua.

Las fuerzas capilares y osmóticas retienen el agua en los poros más pequeños del sustrato, venciendo la acción de la fuerza de la gravedad, que tiende a extraer el agua al exterior (Masaguer y Cruz, 2007).

4.2.3.2.1.4. Fuerzas externas

Estas fuerzas están relacionadas con: La matriz no rígida, debido a la presencia de partículas expandibles, que hacen variar la geometría de los huecos y el ángulo de contacto en las interfases con el agua; la presión de gases sobre el



agua y la presión hidrostática a condiciones de saturación de agua (Masaguer y Cruz, 2007).

4.2.3.2.2 Potencial hídrico

El estado energético del agua en el sustrato viene determinado por su energía potencial en cada punto, expresada como una diferencia de potencial. No se requiere conocer el valor absoluto de la energía potencial en cada punto, sino su valor relativo respecto a un estado de referencia arbitrariamente definido. Se utiliza el término potencial simplificado de energía potencial del agua (Lemaire, 1989; Ansorena, 1994; Porta *et al.*, 1994; Lao, 1998; citados por Masaguer y Cruz, 2007). El estado de referencia se refiere a:

- Agua pura sin solutos ni impurezas
- Agua libre sin estar sometida a fuerzas externas distintas de la gravedad. No está influenciada por ninguna fase sólida y su interfase con la fase gaseosa es plana.
- A presión atmosférica, P_0
- A la misma temperatura que el agua del suelo: condiciones isotérmicas, T_0
- Elevación de referencia, dada y fija, Z_0

El potencial es una función continua, que no presenta discontinuidades, excepto en cambios de fases. Representa la capacidad para realizar un trabajo, lo que equivale a la cantidad de energía disponible.

Para utilizar el agua contenida en un suelo o un soporte de cultivo, la planta debe presentar un potencial hídrico inferior al del suelo. Se puede decir que el potencial del agua contenida en la planta es más bajo que el del agua en el suelo: la "succión" de la planta es superior a la del suelo. El flujo hídrico que atraviesa la



planta corresponde a un descenso del potencial del agua. Este flujo es facilitado por diferencias altas del potencial (como una intensidad eléctrica depende de la diferencia de potencial en los bornes de un conductor). La gestión del agua en un soporte de cultivo consiste, pues, en mantener un potencial del agua en el sustrato lo más alto posible (Lemaire, 2005).

Se utilizan diversas expresiones del potencial del agua. La ecuación con las dimensiones de una unidad de energía por unidad de volumen corresponde a una presión. El caso más frecuente es el escogido por los autores: J/m^3 o Pascal si es en la nomenclatura internacional. De hecho, los resultados son frecuentemente expresados en bar, en atmósfera o incluso en altura de columna de agua equivalente a esta presión.

En cualquier punto de un sistema de equilibrio estático, el agua tiene el mismo potencial en cualquiera de sus puntos: no varía con respecto a la posición.

4.2.3.2.3 Elementos del potencial del agua ligada a un sustrato

Se puede considerar que el potencial del agua ligada a la fase sólida de un soporte de cultivo es la resultante de tres componentes, que son:

$$t = g + m + o$$

g: potencial gravitacional

m: potencial matricial

o: potencial osmótico

Por convención, el potencial de referencia ($o = 0$) es el del agua en la superficie de un plano de agua pura libre a la presión normal. El potencial matricial y el potencial osmótico tienen valores negativos; representan un nivel energético



inferior al del agua libre. Por el contrario, el signo del potencial gravitacional es constantemente positivo en el caso de las macetas y contenedores (Masaguer y Cruz, 2007).

4.2.3.2.4 Capacidad de contenedor

En sustratos, se define la Capacidad de Contenedor como la cantidad de agua retenida por un sustrato alojado en un contenedor, una vez que ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente.

El valor de la Capacidad de Contenedor depende de las características físicas del sustrato y del recipiente que lo contiene (Ansorena, 1994).

4.2.3.2.5 Disponibilidad de agua

Un sustrato a Capacidad de Contenedor pierde agua a medida que la planta va efectuando una succión, debida a la transpiración del agua por las hojas. Al principio la planta extrae con facilidad el agua retenida en los poros grandes (a bajos potenciales) sin necesidad de aplicar elevadas succiones. A medida que las raíces van extrayendo agua y debido a la evaporación, en el sustrato irá quedando la que ocupe los poros cada vez más pequeños.

En consecuencia, deberá ser progresivamente mayor la succión que la planta ha de efectuar para extraer un volumen determinado de agua, lo que equivale a decir que el agua que queda retenida se encuentra menos disponible. La retención del agua por el medio de cultivo a cada succión dependerá de la distribución de tamaños de los poros, por lo que es importante conocer para cada sustrato la cantidad de agua retenida en un intervalo de succiones.



Para conocer la disponibilidad o retención de agua en un sustrato para las plantas, suele simularse en el laboratorio lo que ocurre en la maceta, empleando un equipo de succión. Éstos pueden ser de dos tipos: de embudo con placa filtrante o de lecho de arena. El primer tipo es el empleado en la metodología de De Boodt y ha sido el más empleado tradicionalmente en los laboratorios. El segundo tipo es el adoptado por la Sociedad Internacional de Ciencia Hortícola (ISHS) como método de referencia (Ansorena, 1994) y en la norma UNE-EN 13041 de la metodología CEN.

4.2.3.2.6 Distribución de agua y aire: curva de liberación de agua.

Tanto en la metodología de De Boodt como en la metodología CEN, a cada succión aplicada, el sustrato perderá una determinada cantidad de agua.

Midiendo el contenido en agua del sustrato tras la aplicación de diferentes succiones, puede trazarse la curva de liberación de agua del sustrato o curva característica de humedad, que representa la cantidad de agua contenida en el medio de cultivo para cada tensión aplicada o, lo que es lo mismo, frente al potencial matricial.

Muchos sustratos pierden la mayor parte del agua a tensiones muy bajas, inferiores a 50 cm de columna de agua. Las curvas características de humedad suelen tener una zona plana en el origen de mayor o menor longitud según el material (Figura 3). Para materiales que retienen agua a tensiones elevadas esta zona es mayor. El punto donde la curva muestra una inflexión es la presión de entrada de aire o presión de burbuja (potencial de entrada de aire con signo negativo), que es la presión mínima que se debe aplicar a un sustrato para que el aire desplace el agua que llena los poros. En la mayoría de sustratos esta presión de entrada de aire es cercana a cero.

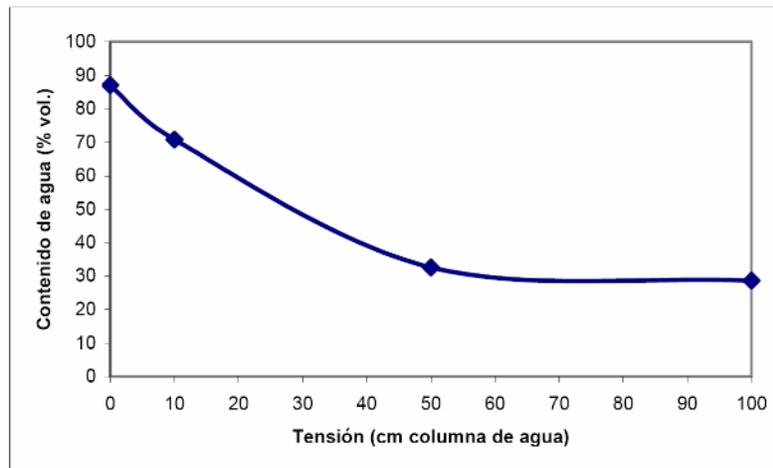


Figura 3. Curva de liberación de agua o curva característica de humedad de un sustrato.

Basándose en las curvas de desorción de suelos minerales y en experiencias previas con sustratos de plantas ornamentales en maceta, De Boodt *et al.*, (1972) propusieron el empleo de la curva de liberación de agua en el intervalo de 0 a 100 cm de succión, para calcular la distribución de agua y aire. En lugar de representar para cada succión el contenido en agua del sustrato, se toma la diferencia hasta 100 (es decir, la suma de los porcentajes de fase sólida y de aire), con lo que se invierte la curva.

Aplicando tensiones de succión de 10, 50 y 100 cm de agua al sustrato y determinando su contenido en agua a cada tensión, puede trazarse la curva que refleja la distribución de las fases sólida, líquida y gaseosa a cada tensión aplicada. La humedad correspondiente a succión cero será el contenido máximo de agua, que coincide con la porosidad total. La curva permite calcular la capacidad de aire; por diferencia entre la porosidad total y el contenido en agua a 10 cm de succión.

En la curva de la figura 4 se observa cómo el agua se libera a medida que aumenta la tensión aplicada en el sustrato. El área bajo la curva representa el



volumen de aire y va aumentando a medida que sale el agua. El área sobre la curva representa el volumen de agua y se ve como va disminuyendo a medida que aumenta la tensión. Se representa también el volumen de máteda sólida del sustrato que es constante y. el espacio poroso total (EPT), que puede estar ocupada por aire y agua.

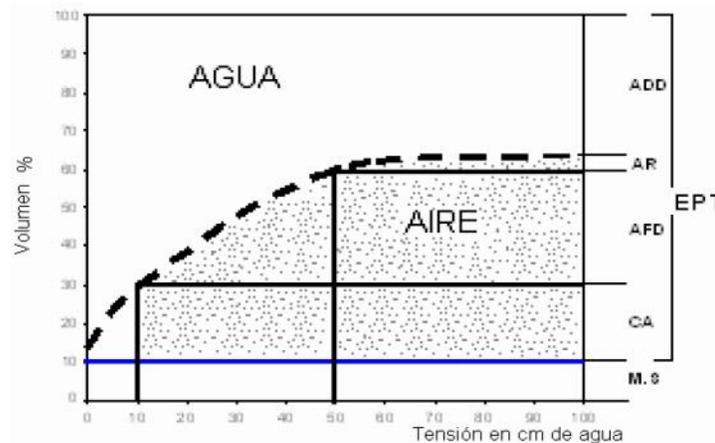


Figura 4. Curva de liberación de humedad según De Boodt *et al.*, (1974). Modificado de Ansorena (1994).

De Boodt *et al.*, (1972) definieron la nomenclatura que todavía hoy sigue vigente para clasificar el agua del sustrato:

Material sólido (MS): es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.

Espacio Poroso Total (EPT): es el espacio de aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD y CA y que se determina a partir de la densidad real y aparente. El valor óptimo es superior a 85%.

Capacidad de aire (CA): es el porcentaje en volumen de agua que se libera del sustrato tras aplicar una tensión de succión de 10 cm de columna de agua, o



tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua. Su valor óptimo está entre 20-30% en volumen del sustrato.

Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera del sustrato tras ser sometido a una tensión de succión entre 50 y 100 cm de columna de agua. Su valor óptimo está entre 4-10% en volumen del sustrato.

Agua fácilmente disponible (AFD): es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera del sustrato tras ser sometido a una tensión de succión entre 10 y 50 cm de tensión en columna de agua que puede estar ocupada por aire o agua. Su valor óptimo está entre 20-30% en volumen del sustrato. Agua difícilmente disponible (ADD): es el agua; en tanto por ciento en volumen; que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

En sustratos, el agua tiene que estar retenida a tensiones muy bajas y a la vez tiene que haber suficiente aire. El agua disponible en un sustrato es igual a la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva, es decir el agua retenida entre 10 y 100 cm de tensión en columna de agua. La importancia de estos valores, es porque la mayoría de las macetas o contenedores utilizados comercialmente suelen tener una altura media de unos 10 cm, con lo cual los valores de esta curva para el agua y el aire se corresponderían a la capacidad de contenedor, es decir, la cantidad de agua retenida por un sustrato alojado en un contenedor una vez que ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente (Ansorena, 1994).

A partir de la curva de liberación de humedad (Figura 5) y de la forma del contenedor, podemos calcular el contenido de agua para diferentes valores de tensión. Como criterio se fija un valor máximo de la tensión de humedad o un mínimo contenido de agua. La dosis de riego se obtiene restando este contenido hídrico de la capacidad del contenedor, y aumentando esta diferencia para obtener en su caso, el correspondiente porcentaje de drenaje. La situación de equilibrio



tras el drenaje posterior al riego, depende de las propiedades físicas del sustrato y de la forma y altura de la maceta. Mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes deben ser los riegos (Urrestarazu, 2000).

A partir de los datos de la curva de liberación de agua puede determinarse la tensión a la que se igualan los contenidos en aire y agua del sustrato. Este parámetro, denominado R, se expresa en cm de tensión de columna de agua y es característico del sustrato. Se determina gráficamente, representando de forma conjunta las curvas de porcentaje volumétrico de agua y de aire en función de la tensión aplicada, La proyección del punto de corte de ambas curvas sobre el eje de la tensión proporciona el valor de R.

El parámetro R informa sobre la disponibilidad de agua a baja tensión para cultivos en contenedor de altura comprendida entre 10 y 20 cm, una vez regados y drenados. Cuando R está comprendido entre 10 y 30 cm, las raíces dispondrán de suficiente aire y agua fácilmente asimilable. Si R es superior a 30 cm el contenido en aire será limitante, por lo que existe riesgo de asfixia radicular. Si R es inferior a 10 cm el sustrato estará muy aireado, pero apenas dispondrá de agua fácilmente asimilable.

Para cultivo en contenedores de altura inferior a 10 cm, R deberá tener valores bajos, de este modo existirá una aireación suficiente en condiciones de Capacidad de Contenedor. Contrariamente, para contenedores altos los sustratos deberán tener valores elevados de R, que garanticen que a Capacidad de Contenedor que da aún suficiente agua disponible (Ansorena, 1994).

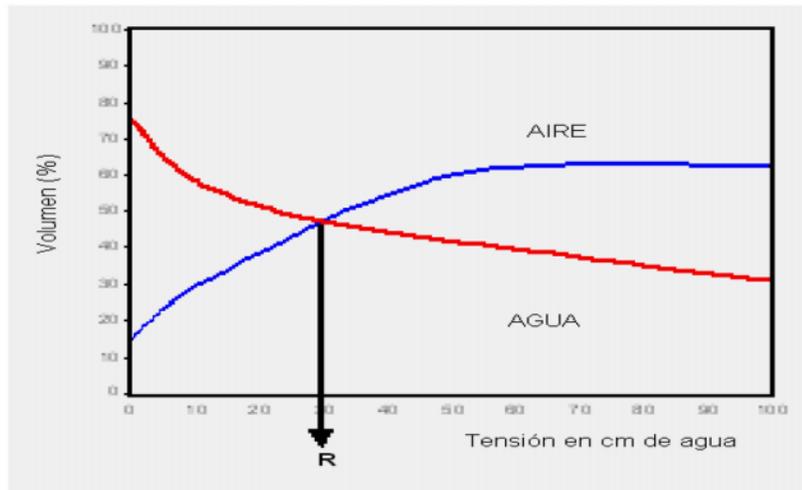


Figura 5. Relación del volumen de aire y humedad en el sustrato

Existen dos metodologías distintas para determinar la curva característica de humedad: la metodología CEN, que utiliza un equipo de succión tipo lecho de arena y el método de De Boodt con embudos de placa filtrante.

4.2.3.3. Estudio de la fase gaseosa

La fase gaseosa del sustrato suministra el aire necesario y permite el intercambio de gases con el medio. La presencia de oxígeno resulta imprescindible para la respiración de las raíces. El oxígeno afecta el crecimiento al incidir sobre la absorción de nutrientes y del agua en la mayoría de las plantas. Aunque una parte del oxígeno necesario lo pueden tomar las raíces de la disolución acuosa en la que se halla disuelto, esta cantidad sólo representa una pequeña fracción del total que necesitan. La mayor parte del oxígeno necesario tendrá que difundirse desde el exterior a través de los poros vacíos de agua que posea el medio de cultivo y, finalmente, atravesar la delgada lámina de agua que rodea a las raíces. La velocidad de difusión del oxígeno a través de esta película líquida es unas diez mil veces más lenta que en aire, por lo que cuanto mayor sea su espesor, menos será la concentración de oxígeno en la superficie de las raíces (Ansorena, 1994).



Cuando el drenaje está impedido o la velocidad de circulación del agua es muy lenta: la reposición de oxígeno es deficiente a medida que va siendo utilizado en la respiración aerobia, se origina condiciones reductoras favoreciendo el desarrollo de microorganismos anaerobios. Predominan los procesos de reducción: que pueden afectar la movilidad de distintos elementos (Lemaire, 2005).

En condiciones de buena aireación, el aire del sustrato está en equilibrio con el atmosférico, en una mezcla principalmente de nitrógeno (79% en volumen), oxígeno y anhídrido carbónico (21% entre ambos). La concentración de estos últimos fluctúa ampliamente según las condiciones de aireación y según la actividad biológica. El consumo continuado de oxígeno por parte de los microorganismos y las raíces de las plantas, con desprendimiento de CO₂, provoca diferencias de concentración que inducen una transferencia de gases (Masaguer y Cruz, 2007).

Los poros de mayor tamaño son ocupados por la fase gaseosa, cualquier acción que reduzca el tamaño de los poros más grandes, disminuirá la proporción de aire en el medio. Esto ocurre con la compactación: ya que la presión del medio de cultivo disminuye el tamaño de los poros grandes, reduciéndose el volumen de aire disponible: y aumentando la cantidad de agua retenida. Un cierto grado de compactación del sustrato se produce inevitablemente, como consecuencia del riego (Lemaire, 1989).

4.2.4 Valores óptimos recomendados por algunos autores para sustratos

A nivel mundial se han generado una serie de valores óptimos de algunas de las características de los sustratos; sin embargo, Abad *et al.*, (1993) son los que han dado un mayor número de parámetros óptimos. En el Cuadro 1 se presentan los valores óptimos para sustratos de cultivo recomendados por algunos autores.



Cuadro 1. Niveles óptimos para las características físicas de sustratos de cultivo.

| Parámetro | De Boodt y Verdonck (1972) | Bunt (1988) | Handreck y Black (1991) | Abad <i>et al.</i> (1993) |
|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño de partícula, mm | | | | 0.25-2.5 |
| Densidad aparente, g cm ⁻³ | | | 0.3-0.6 | <0.4 |
| Densidad real, g cm ⁻³ | | | | 1.45-2.65 |
| Espacio poroso total, % vol. | 85 | 75-85 | 60-80 | >85 |
| Capacidad de aireación, % vol. | 20-30 | 10-20 | 7-50 | 10-30 |
| Agua fácilmente disponible, % vol. | 20-30 | | >20 | 20-30 |
| Agua de reserva, % vol. | 4-10 | | | 4-10 |
| Agua total disponible, % vol. | | >30 | | 24-40 |
| Capacidad de retención de Agua, mL L ⁻¹ | | | | 550-770 |

Es importante resaltar sobre todos para las características químicas (debido a las diferentes proporciones sustrato: agua empleada), que al momento de comparar o interpretar los resultados obtenidos con los niveles óptimos se debe definir el método por el que fue analizado, de no ser así los niveles no pueden ser comparados.

En el Cuadro 2, se presentan valores óptimos recomendados por algunos autores para parámetros químicos determinados en extracto de saturación.



Cuadro 2. Niveles óptimos para las características químicas y fisicoquímicas de sustratos de cultivo.

| Parámetro | Warncke, 1990 | Abad <i>et al.</i> (1993) | NCSU§ |
|----------------------------------------------|---------------|------------------------------|----------|
| Método Extracto de saturación | | | |
| PH | | 5.2-6.3 | 5.5-7.0 |
| CE, dS m ⁻¹ | | 0.75-3.49 | 1.0-5.5 |
| N-NHU, mg L ⁻¹ | | 0-20 | |
| N-NH ₃ , mg L ⁻¹ | 440-818 | 100-199 | 2.3-45.2 |
| P, mg L ⁻¹ | 7-13 | 6-10 | 1.3 |
| K, mg L ⁻¹ | 156-235 | 150-249 | 21 |
| Ca, mg L ⁻¹ | 50-100 | >200 | 30 |
| Mg, mg L ⁻¹ | 18-37 | >70 | 10 |
| Na, mg L ⁻¹ | <69 | | |
| Cl, mg L ⁻¹ | <89 | | |
| Fe, mg L ⁻¹ | | 0.3-3.0 | |
| Mn, mg L ⁻¹ | | 0.02-3.0 | |
| Mo, mg L ⁻¹ | | 0.01-0.1 | |
| Zn, mg L ⁻¹ | | 0.3-3.0 | |
| Cu, mg L ⁻¹ | | 0.001-0.5 | |
| B, mg L ⁻¹ | | 0.005-0.5 | |
| Otras determinaciones | | | |
| Cenizas, % | | <20 | |
| Materia Orgánica, % | | >80 | |
| Relación carbono/nitrógeno | | 20-40 | |
| Capacidad de intercambio catiónico, meq/100g | | >20 | |

§ North Carolina State University (2004)

4.2.5 Justificación para el uso de la fibra de coco

En Europa la turba ha sido el sustrato por excelencia en los últimos cuarenta años. Este hecho se ha producido por dos motivos: la disponibilidad en los países del Norte y Centro de Europa por las grandes reservas de turba de



buena calidad y sus buenas características físicas y químicas, siendo justamente en Europa donde se ha tenido mayor desarrollo de los cultivos en contenedor y la horticultura sin suelo (Lemaire, 2003). Por razones ambientales se está limitando la extracción en las turbas (reservas no renovables) y por otra parte el transporte cada vez es más costoso, para los países que no disponen de turbas como es el caso de México.

Por otro lado, en los últimos años está aumentando el empleo de sustratos procedentes de residuos de diversas actividades industriales, como es el caso de la fibra de coco. Este material se genera después de que el mesocarpo fibroso del fruto del coco ha sido procesado para extraer las fibras más largas, utilizadas generalmente para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc. Este residuo se genera en cantidades elevadas y se acumula en países tropicales como Sri Lanka o Brasil. Su principal ventaja respecto a la turba es que, a igual tamaño de partícula, retiene menos agua y, por tanto, favorece la aireación de las raíces, además de resultar más económico (Abad *et al.*, 2005; Noguera *et al.*, 2000). Sin embargo, presenta algunos inconvenientes como la falta de homogeneidad y en ocasiones, una elevada concentración salina, por lo que debe llevarse a cabo una caracterización de las propiedades físicas y químicas una vez importado (Abad *et al.*, 2002).

4.2.5.1. Investigaciones realizadas con el uso de fibra de coco en jitomate y otras especies

Caraveo (1994), al evaluar en jitomate los sustratos fibra de coco sin lavar, fibra de coco lavada y turba canadiense, obtuvo los mejores rendimientos en la fibra de coco lavada superando a la turba canadiense y a la fibra sin lavar.

Martínez (1996), evaluó diferentes mezclas de sustratos como: corteza de pino, fibra de coco, tezontle y peat moss en nochebuena, obteniendo que la fibra de coco al 100 % es el mejor sustrato para flor de nochebuena y que a medida



que se incrementa el porcentaje de fibra de coco en el medio de crecimiento la calidad de la planta fue mayor.

Seseña (1998), evaluó dos sustratos: fibra de coco y tierra de hoja en combinación con vermicomposta y la aplicación de líquido efluente de digestor anaerobio (LEDA) en la solución nutritiva, en nochebuena cv Freedom, siendo el mejor sustrato fue fibra de coco. La mejor mezcla fue de 70 % fibra de coco con 10 % de vermicomposta. Reynolds (1976: citado por Caraveo, 1994), realizaron algunos experimentos sobre producción de plántulas de hortalizas empleando fibra de coco finamente desmenuzada y encontraron que este sustrato es un excelente sustituto del suelo en cuanto a la producción de plántulas de jitomate, chile, lechuga y col.

Por otra parte, Prasad (1997) reportó que el polvo de coco en varios de los ensayos realizados mostró propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo. A ese respecto, Awang y Razi (1997) señalaron que su uso, aún cuando sea el único material en el que crecen las plantas, no ocasiona problemas de anclaje en cultivos ornamentales anuales a pesar de tener baja densidad aparente y que si se mezcla con arena (1:1 v/v) este valor se incrementa, además de que se mejora la humectabilidad en más de 33% y se obtiene una porosidad de 23.7%. Los mismos autores también observaron que agregando varios niveles de fibra es posible incrementar la porosidad de aire hasta 35% manteniendo en un nivel satisfactorio el agua fácilmente disponible.

En este sentido, cuando fue comparado con turba, se encontró que los valores de la capacidad amortiguadora de agua en el polvo de coco estuvieron por debajo de lo considerado como adecuado, lo cual implica que si hay un incremento súbito en la transpiración, las plantas tenderán a marchitarse más rápidamente si el régimen de riego no es ajustado, cuando estén creciendo en polvo de coco que las plantas que crezcan en turba del mismo tamaño de partícula.



Por su parte, Meerow (1994) realizó un ensayo en el cual evaluó el crecimiento de dos plantas ornamentales subtropicales comparando polvo de coco y turba, observando que el polvo de coco parece ser un sustituto aceptable para la turba de junco en sustratos para maceta y que es necesario ajustar los regímenes nutricionales de un cultivo a otro.

En relación a la contracción de volumen, Argo y Biernbaum (1996; citados por Zamora, 2005) mencionan que existe una menor pérdida de volumen en polvo de coco (8%) que en turba (14%) o medios comerciales (15%). Destacando que la mayor pérdida ocurrió en el primer riego y que una excesiva pérdida de volumen puede ocasionarse por una rápida degradación de los componentes orgánicos o por lavado de partículas hacia fuera de la maceta.

En España, el polvo de coco ha sido objeto de diversas evaluaciones, por ejemplo, Ventura (2001) la comparó con el sustrato derivado de la cáscara de almendra para la producción de tomate, en general ambos sustratos tuvieron un comportamiento agronómico similar.

También, ha sido comparado con el sistema enarenado alménense en la producción de judía (*Phaseolus vulgaris* cv Mantra) destacando el polvo de coco en mayor precocidad y capacidad de enraizamiento, menos problemas fitosanitarios, además de una mejor calidad y un 21% más de producción, lo cual también demanda mayor consumo de agua.

En México, García *et al.* (2001) compararon mezclas de sustratos (cascarilla de arroz, corteza de pino, composta jardinera, piedra pómez, tezontle y polvo de coco) para la producción de especies ornamentales y concluyeron que la mejor calidad y productividad se dió en los tratamientos que contenían polvo de coco.



En el Cuadro 3 se presentan las conclusiones a las que han llegado algunos investigadores al experimentar con el PBC como sustituto de la turba de *Sphagnum* en el cultivo de especies ornamentales en contenedor. De esos autores, Handreck (1993), Meerow (1994), Zárata (1995), Awang y Razi (1997), Stamps y Evans (1997), Pili y Ridley (1998), García (1999) y Noguera *et al.* (2000); al comparar el efecto del PBC y de la turba de *Sphagnum*, utilizaron la misma dosis de fertilización y enmienda con dolomita para los sustratos que ensayaron basados en ambos materiales. Todos esos autores observaron un comportamiento igual o mejor en el PBC que en la turba de *Sphagnum*.

Cuadro 3. Algunos autores, especies con las que trabajaron y conclusiones a las que llegaron, al experimentar con el polvo de bonote de coco como sustituto de la turba de *Sphagnum*, en la producción de especies ornamentales en contenedor.

| Autor | Especie ornamental | Conclusiones |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Handreck, 1993 | Petunia 'Celebrity Salmón' | Si se usa el PBC como un sustituto de la turba de <i>Sphagnum</i> , es necesario incrementar la dosis de nitrógeno para compensar la mayor tasa de inmovilización de ese elemento. |
| Meerow, 1994 | <i>Ixora coccínea</i> y <i>Pentas lanceolata</i> | El PBC parece ser un sustituto aceptable para la turba de <i>Sphagnum</i> o de Juncia, en sustratos sin suelo para recipientes. |
| Meerow, 1995, Citado por Meerow, 2002 | Palma majestic y Anturio | El PBC parece ser un sustituto aceptable para la turba de <i>Sphagnum</i> y la turba de Juncia. |
| Zarate, 1995 | <i>Chrysanthemum morifolium</i> | El PBC solo o mezclado con 30% de tezontle fueron los mejores sustratos en maceta, en comparación a sustratos elaborados con base en turba de <i>Sphagnum</i> , cascarilla de arroz o tierra de hoja o la combinación de ellos. |
| Grey-Wilson(1997) | <i>Cyclamen</i> spp. | En la actualidad ningún sustituto de la turba de <i>Sphagnum</i> realmente eficaz está disponible en el mercado. |
| Awang y Razi, 1997 | <i>Zinnia elegans</i> , <i>Celosía plumosa</i> , <i>Tagetes erecta</i> y | La utilización del PBC entre 25% y 75% del volumen del sustrato generalmente produce plantas de buena |



| | | |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <i>Catharanthus roseus</i> | calidad. Pueden obtenerse buenos cultivos de ornamentales anuales usando PBC. |
| Stamps y Evans, 1997 | <i>Dieffenbachia maculata</i> | El PBC parece ser un sustituto más que adecuado de la turba de <i>Sphagnum</i> en la producción de <i>D. Maculata</i> . |
| Pill y Ridley, 1998 | <i>Coreopsis lanceolata</i> L. Y <i>Lycopersicon esculentum</i> Mili. | El PBC es una alternativa adecuada a la turba de <i>Sphagnum</i> en sustratos sin suelo para contenedor. |
| Evans et al., 1996 | <i>Euphorbia pulcherrina</i> Willd. | El mosquito del hongo (<i>Bradysia coprophila</i>) sobrevive y se reproduce en los sustratos basados en PBC. Ese material no inhibe el desarrollo de las poblaciones de mosquito y, cuando se presenta como opción, infestarán a los sustratos basados en PBC tan prontamente como a los sustratos basados en turba. |
| García, 1999 | <i>Epipremnum aureum</i> y <i>Spathiphyllum wallisii</i> | El PBC solo o combinado con corteza de pino, es el material evaluado que puede ser sustituto de la tierra de monte y de la turba de <i>Sphagnum</i> , obteniendo iguales o mejores resultados en la producción de plantas en contenedor. |
| Ayala, 1999 | <i>Dianthus</i> , <i>Gazania</i> , Marigold, Pansy, Perrito y <i>Petunia</i> | Las plántulas producidas en PBC igualan en comportamiento a las plántulas producidas en turba de <i>Sphagnum</i> . |
| Noguera et al., 2000 | <i>Calendula officinalis</i> y <i>Coleus blumei</i> | Podrían producirse satisfactoriamente plantas saludables de flor y de follaje usando el PBC como sustrato o componente de sustrato. Por lo tanto, el PBC parece ser un sustituto aceptable para la turba de <i>Sphagnum</i> en las mezclas sin suelo para contenedor. |
| Kreij y Van Leeuwen 2001 | <i>Begonia</i> , <i>Dendranthema</i> , <i>Schefflera</i> y <i>Kalanchoe</i> | Se ha mostrado que el crecimiento en PBC tratado con Ca y Mg es igual o mejor que en turba. |



4.2.6 Descripción de los sustratos

4.2.6.1 Fibra de coco

El fruto del cocotero (*Cocos nucifera* L.) es una drupa fibrosa. La cubierta o cáscara (mesocarpo) en un fruto maduro constituye una masa fibrosa (Moscoso, 2000). El bonote es la fibra natural obtenida de las cáscaras del coco, también conocida como fibra de coco (García y Sicilia, 1984). El Diccionario de la Real Academia Española consigna que la palabra bonote significa "filamento extraído de la corteza del coco". En la Enciclopedia de México aparece que "la estopa de coco o koir (del TAMIL *kaowr*: cuerda, hilo) está constituida por las fibras del mesocarpo". En el idioma Inglés la palabra coir significa fibra tosca tiesa de la cáscara del coco.

Hay tres tipos principales de bonote: fibra para hilo (para fabricar esteras, tapetes, cuerdas, sogas), fibra de cerda (fabricación de cepillos, relleno de tapicería) y fibra de colchón (se usa en la matriz de los resortes de los colchones, también se usa como material aislante). Sólo la fibra más fina y más larga es adecuada para hilar el hilo. Se obtiene de las cáscaras de nueces no maduras y es el principal objetivo económico del cultivo más que un subproducto. La fibra de cerda y la mayoría de la fibra de colchón proviene de nueces maduras y es subproducto de la producción de copra (McGraw-Hill Enciclopedia of Science and Technology, 1977)

La extracción de la fibra se realiza mediante procesos manuales o por decorticación mecánica. El proceso manual requiere un prolongado período de enriamiento¹: Se cortan las cáscaras en dos o tres secciones y se sumergen en agua de mar o agua salobre durante 5 a 9 meses para que la fibra pueda separarse al golpear las cáscaras húmedas con mazos especiales.

¹ Enriar. (De en y rio) tr. Meter en agua por algunos días para su maceración (Diccionario de la lengua española 19a edición).



Posteriormente el material fibroso se lava, se seca y se separa en fibras que tienen de 5 a 10 pulgadas de largo y están listas para la hilatura. La extracción mecánica se realiza mediante la trituración de las cáscaras en un juego de rodillos acanalados y el transporte mecánico a estanques de enriamiento. Con la extracción mecánica el enriado se reduce a un periodo de 3 a 6 semanas (García y Sicilia, 1984). El mesocarpo o cáscara del coco contiene entre 30% y 40% de fibras de varias longitudes y el resto es tejido medular (Evans *et al.*, 1996).

Después de separar las fibras largas, el material restante, compuesto de fibras de corta y mediana longitud así como del tejido medular, normalmente recibe la denominación de bonote grado desperdicio (waste-grade coir; Evans *et al.*, 1996), o desperdicio de bonote (waste coir; Noguera *et al.*, 2000), pero también se le conoce como polvo de bonote (coir dust; Dasoju *et al.*, 1998; Handreck, 1993; Kithome *et al.*, 1999; Pili y Ridley, 1998). El bonote grado desperdicio puede cribarse para quitar parte o toda la fibra y entonces el producto restante es referido como médula de bonote (coir pith) (Horticultural Coir Limited, 2002; Meerow, 1994), pero también se le denomina polvo de bonote (coir dust) (Evans *et al.*, 1996; Meerow, 1994; Yau y Murphy, 2000) o se le identifica con algún nombre comercial, por ejemplo "cocopeat" (Yau y Murphy, 2000).

Caraveo (1994) utiliza la expresión "bonote de coco" para denominar al mesocarpo del fruto del cocotero y, en consecuencia, al residuo de la extracción de fibras lo denomina polvo de bonote de coco". Ayala (1999) y García (1999) denominan "polvo de coco" a lo que nosotros en este trabajo denominamos fibra de coco.

El Cuadro 4 presenta datos de dos materiales (fibra de coco y turba de *Sphagnum*), a modo de comparación y es el resultado de trece muestras de fibra de coco producidos comercialmente que se colectaron de Costa Rica (dos productos), Costa de Marfil (1), India (1), México (4), Sri Lanka (2) y Tailandia (tres productos). De cuatro países se seleccionaron muestras que difieren en la



presentación comercial, la proporción relativa de médula a fibra y/o el color (Noguera et al., 2000).

Para la fibra de coco destacan los valores más altos que corresponden a potasio, cloro y sodio (Cuadro 4). Los autores indican que las diferencias observadas están relacionadas principalmente a las variaciones en el modo de procesar las cáscaras de coco hasta llegar la fibra de coco, y citan a Meerow (1994) quien señala que los cocos cosechados antes de que estén maduros son enriados en agua salina y los ya maduros se enrían en agua dulce. El proceso de remojo se está sustituyendo gradualmente por procesos de extracción mecánica (Noguera et al., 2000).

Cuadro 4. Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas, de trece muestras de polvo de bonote de coco de diferentes fuentes, en comparación con turba de *Sphagnum*.

| Propiedad | Fibra de coco | | | Fibra de coco | Arena |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|---------|--------------------|---------------|-------|
| | Intervalo | Mediana | Turba ¹ | | |
| Índice de grosor ² (%) | 12-66 | 35 | 63 | | |
| Densidad aparente (g-cm ³) | 0.025-0.089 | 0.061 | 0.084 | 0.09 | 1.66 |
| Espacio poroso total (% vol) | 94.1-98.3 | 95.9 | 94.2 | 93 | 49 |
| Capacidad de aireación (% vol) | 24.2-83.4 | 45.3 | 41.2 | | |
| Agua fácilmente disponible (% vol) | 0.7-36.0 | 18.6 | 22.5 | | |
| Agua de reserva (% vol) | 0.2-7.5 | 3.0 | 4.4 | | |
| Capacidad de retención de agua ml L ⁻¹ de sustrato) | 137-786 | 533 | 620 | 88 | 41 |
| Contracción (% vol) | 2-24 | 11 | 13 | | |
| pH (pasta saturada) | 4.90-6.14 | 5.73 | 3.17 | 5.75 | 6.2 |
| Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dSm ⁻¹) | 0.4-6.0 | 3.0 | 0.21 | 1.73 | 5.88 |
| Capacidad de intercambio catiónico (m.e. 100 g) | 32-95 | 60 | 100 | 63.0 | 1.90 |
| Materia orgánica total (%) | 89.3-96.9 | 93.7 | 97.9 | | |
| Relación C/N | 75-186 | 117 | 48 | | |
| Elementos asimilables: | | | | | |



(ppm en el extracto de saturación)

| | | | | | |
|--------------------|------------------------|------|------|------|-------|
| N-N03 ¹ | n.d. ³ -1.4 | n.d. | 0.80 | | |
| N-NH4 ⁺ | n.d.-1.8 | n.d. | 7.4 | | |
| P | 8.7 - 87 | 44 | 1.7 | | |
| K ⁺ | 116-2 059 | 807 | 10 | 4.18 | 15.8 |
| Ca ²⁺ | 7.8-98 | 28 | 27 | 3.94 | 30.48 |
| Mg ²⁺ | 2.6-49 | 18 | 4.4 | 2.50 | 15.5 |
| Cl | 28-2 006 | 925 | 22 | 6.38 | 17.66 |
| SO4 ²⁻ | 3.4 - 285 | 29 | 20 | 8.07 | 32.30 |
| Na ⁺ | 25 - 389 | 133 | 10 | 0.22 | 1.66 |

¹Turba de *Sphagnum* clara finlandesa débilmente descompuesta.

²% en peso de partículas con 0 1 mm

³n.d. = No detectable.

Fuente: Noguera et al., 2000

El remojo de las cáscaras en agua salina puede contribuir a los altos niveles de K, Na y Cl en el PBC y la fertilización también puede influir (Evans *et al.*, 1996). Estos autores estudiaron muestras de lugares donde no se remojan las cáscaras antes de moler; sin embargo, encontraron contenidos altos de K y Cl en la cáscara, por lo que consideran que esto es resultado de fertilizar las plantaciones con KCl o NaCl, indicando que las palmas de coco son semi-halófitas que absorben sales y las transportan a la fruta en desarrollo. Los niveles altos de potasio presentes en el PBC pueden significar más un beneficio que una limitación para el crecimiento de plantas (Meerow, 2002).

El alto contenido de Cl del PBC necesita ser lixiviado si el material constituirá una proporción alta de un sustrato (Handreck, 1993). Respecto a los contenidos de Na y a la CE del PBC, este autor trabajó con PBC con alrededor de 115 ppm de Na y una CE de 1.9 dSm⁻¹, niveles que son más altos que en la turba, pero considera que no son perjudiciales para las plantas en crecimiento, siempre y cuando haya algún grado de lixiviación poco después del enmacetado; esta observación está en concordancia con el resultado que indica que cuando el PBC



se lixivia con tres volúmenes sucesivos de agua, más de 90% del Na total aparece en el lixiviado.

Noguera *et al.*, (2000) compararon el efecto de remover el exceso de sales de PBC proveniente de dos fuentes, sometiéndolo a lixiviación controlada con agua con una CE de 1.7 dSm⁻¹. Los autores hicieron crecer un cultivar de *Calendula officinalis* y uno de *Coleus blumei* en los sustratos basados en PBC lavado y no lavado. Las plantas se regaron por medio de rociadores aéreos. Estos autores señalan que tal remoción de sales en exceso tuvo un efecto inconsistente sobre el crecimiento y desarrollo de esas plantas y que, al parecer al menos con el programa de riego aplicado en el experimento, la lixiviación de sales antes del enmacetado no mejoró el crecimiento de las plantas cultivadas en sustratos basados en PBC.

Otro aspecto del contenido químico del PBC es la presencia de compuestos fitotóxicos, en particular las sustancias fenólicas (Caraveo, 1994), que con alta frecuencia se presentan en las plantas y que son fitotóxicas a concentraciones relativamente bajas (Guenzi y McCalla, 1966). Según Verdonck *et al.* (1983) las sustancias fitotóxicas del PBC representan un problema para el crecimiento de plantas sensibles, pero sólo tratándose de material fresco, el PBC de al menos cuatro meses de edad, ya no influye en el crecimiento de dichas plantas. Los autores mencionan que además del envejecimiento, el composteo es otra forma de eliminar los compuestos tóxicos del PBC. Al respecto, Caraveo (1994) reporta que el lavado es otra forma de eliminar las sustancias tóxicas que contiene el PBC.

Con relación a la CIC, Evans *et al.* (1996) consideran que la variación es resultado de la edad del PBC y que el proceso de descomposición aumenta la CIC de los materiales orgánicos.

La relación C/N que presenta el PBC es mayor a la que presenta la turba (Noguera *et al.*, 2000), situación que Handreck (1993) considera la causa por la



que se inmoviliza el nitrógeno cuando el PBC se usa como sustrato. Este autor recomienda que si se usa el PBC como reemplazo de la turba en sustratos para maceta, es necesario aumentar la dosis de N para compensar su mayor tasa de inmovilización, proponiendo que tal adición sea de 10 mg de N por litro de sustrato por semana. Noguera *et al.* (2000) llevaron a cabo experimentación en la que incluían como tratamiento la adición de esa cantidad de nitrógeno y reportan que los efectos fueron contradictorios e inconsistentes en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Calendula officinalis* y *Coleus blumei*.

El PBC está constituido por entre 35% y 54% de lignina, entre 23% y 43% de celulosa y tan solo de entre 3% y 12% de hemicelulosa, composición que refleja que una parte importante del carbón está en compuestos resistentes a la descomposición microbiana. En comparación con la turba de *Sphagnum*, los porcentajes de lignina y celulosa es mayor en el PBC, pero la hemicelulosa es menor (Noguera *et al.*, 2000).

4.2.6.1.1 Producción de fibra de coco en México

De acuerdo con cifras para los años 2000 a 2003 (SAGARPA, 2004), México cosechó anualmente un promedio de 158 000 hectáreas de cocotero para la producción de copra y en promedio se produjeron al año poco más de 208 000 toneladas de copra.

Por cada kilogramo de copra se produce medio kilogramo de fibra (García y Sicilia, 1984). La cáscara del coco contiene alrededor de 40% de bonote o fibra y el resto de tejido medular (Evans *et al.*, 1996). Por lo tanto, en México potencialmente se pueden producir al año unas 104000 toneladas de fibra y 156000 toneladas de polvo de bonote de coco.



4.2 6.2 Arena

La arena consiste en pequeños granos de roca que van de 0.02 a 2.0 mm de diámetro, formados como resultado de la intemperización de diversas rocas, dependiendo su composición mineral de la roca madre que le dió origen. La arena es el más pesado de los minerales que se utilizan como medio de crecimiento de las raíces, el cual es alrededor de $1,290 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. de preferencia debe ser fumigada o tratada con calor antes de usarla, ya que puede contener semillas de maleza y organismos patógenos. La arena prácticamente no contiene nutrientes minerales ni capacidad de amortiguamiento químico. Se usa principalmente en combinación con componentes orgánicos (Hartmann y Kester, 1992).

Las características físicas de la arena varían en función del tamaño de las partículas, por ser un material granular sin porosidad interna, depende básicamente de la granulometría. Su porosidad es inferior al 50%, tratándose exclusivamente de porosidad interparticular (Burés, 1997). Las arenas finas con tamaño de partícula inferior a 0.5 mm presentan una buena retención de agua pero bajo aireación, por el contrario las arenas gruesas retienen menos agua fácilmente disponible y presentan mayor aireación (Abad y Noguera, 2000). Su densidad aparente es de 1350 a $1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. El peso de este material representa la principal limitación para su transporte, su elevada densidad aparente hace que no resulte económico el transporte a largas distancias. (Burés, 1997).

Si bien las arenas pueden presentar un buen drenaje y una baja capacidad de retención de agua, sin embargo no muestra los mismos comportamientos cuando se mezclan con otros materiales, particularmente orgánicos; cuando se mezcla, la arena no mejora significativamente la aireación de los sustratos con elevada capacidad de retención de agua (Bunt, 1988).



4.3 Arquetipos

Adams (1982) indicó que un objetivo permanente de la investigación agronómico-botánica es el entender a la productividad de los cultivos en términos de las formas arquitectónicas, estructuras y eventos de desarrollo de plantas creciendo en poblaciones masivas.

Donald (1968), señaló que los principios de diseño de plantas para alto rendimiento deben extraerse de hallazgos experimentales y de conceptos teóricos relacionados específicamente con el rendimiento a nivel de cultivo (población) y destaca algunos argumentos fundamentales para el diseño de arquetipos:

a). En un cultivo, las plantas sufren una competencia tan fuerte de sus vecinas que su rendimiento individual puede llegar a ser del 10 a 20 % de lo que rendiría sin competencia alguna. De tal manera que todas las plantas de un cultivar (el arquetipo) deberán ser de baja habilidad competitiva.

b). La producción eficiente de materia seca del cultivo en población, dependerá de la habilidad de cada planta para hacer un uso máximo de los recursos en el limitado ambiente en el que crece, pero interfiriendo lo mínimo posible con el ambiente de las vecinas.

c). La planta individual debe hacer una demanda mínima de recursos por unidad de materia producida; sin embargo, la población como un todo, debe presionar sobre el total de los recursos a un grado máximo, ya que sólo así se alcanzará la máxima producción.

d). Los atributos de un arquetipo están basados de acuerdo a aspectos fisiológicos. La obtención de un alto índice de cosecha (IC) a partir de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas, es una necesidad en el diseño del arquetipo.



Sedgley (1991) destaca como características importantes del arquetipo de poca habilidad competitiva las siguientes: a) una tolerancia implícita a formas similares de plantas en altas densidades, permitiéndoles explotar completamente el ambiente y lograr el máximo rendimiento biológico; b) una economía implícita en el uso de los recursos con una inversión mínima de asimilados en estructuras morfológicas vegetativas (tallos cortos, sin hijos ni ramas, menos hojas, etc.) lo que conduce a altos índices de cosecha; c) una forma implícita de la planta que puede pasar desapercibida en el proceso de selección visual, y d) un alto nivel de respuesta a prácticas culturales o insumos.

Donald y Hamblin (1983) plantearon que si se usan plantas con pobre habilidad competitiva, que no ramifiquen o produzcan ramas, el número de plantas (densidad) requerido para producir la mayor biomasa por unidad de superficie será mayor. Debido a la mejor estructura del dosel, la biomasa será un poco mayor que en plantas altamente competitivas y ramificadas, pero sobre todo, el IC se incrementará considerablemente reflejándose en el rendimiento agronómico. En razón a lo anterior, proponen que una vía potencial para incrementar el rendimiento es el aumento de la densidad de población pero acompañado de una optimización de la estructura del dosel para maximizar la intercepción de la luz, y que es posible, basándose en los elementos teóricos de esta optimización, concebir un arquetipo básico general para alta productividad semejante para varias especies de cultivo que involucra características morfológicas, aspectos fisiotécnicos y prácticas agronómicas que ya han sido establecidas por varios autores: poca altura, crecimiento erecto, tallos gruesos, sin ramas ni hijos, follaje reducido, disponibilidad erecta de las hojas, hábito determinado y alto IC. Además estos autores consideran algunos aspectos relacionados con el manejo del cultivo, tales como: lograr un rápido establecimiento de un IAF óptimo, respuesta efectiva del cultivo a los altos niveles de nutrientes y competencia mínima entre plantas (plantas con pobre habilidad competitiva) (Adams, 1982; Donald y Hamblin, 1983; Sedgley, 1991 y Adams y Kelly, 1992).



Una importante característica del arquetipo, independientemente del ambiente, es que haya una mínima demanda sobre los recursos por unidad de peso seco producido, lo cual implica que sea altamente competitivo con sus vecinos (Major *et al.*, 1992).

En jitomate, es posible lograr el acercamiento a un determinado arquetipo mediante la manipulación de las plantas a través de las prácticas culturales (podas, despuntes, densidades, etc.) para propiciar la expresión de algunos caracteres identificados como favorables en el nivel apropiado. Así, mediante prácticas como las mencionadas, se configuró un arquetipo de jitomate más compacto, con altura de aproximadamente 50 cm y reducida área foliar por planta, características que en alta densidad de población permiten que se establezca desde muy temprano en el ciclo de cultivo, un IAF óptimo para maximizar la intercepción de radiación y la producción de fotoasimilados. Además, al forzar mediante podas y despuntes un hábito de crecimiento determinado, se logra mantener este IAF óptimo hasta la cosecha de los frutos y se reduce la competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, favoreciendo a este último y se acorta el ciclo del cultivo desde el transplante hasta el fin de la cosecha, de más de 200 días a menos de 80, sin disminuir el rendimiento por ciclo cuando se compara con los métodos convencionales. Lo anterior implica un potencial de casi cinco ciclos por año y, por tanto, un rendimiento anual por unidad de superficie mayor (Sánchez, 1997).

Para el cultivo de jitomate en un ambiente no restrictivo, Sánchez (1997) puntualizó que las características que más impacto pueden tener en el rendimiento por unidad de superficie y que ameritan ser incluidas en el arquetipo son: el grosor del tallo y el pedúnculo, el área foliar por planta y de las tres hojas superiores, la inflorescencia bifurcada, el porcentaje de amarre de fruto y el índice de cosecha, ya que estuvieron directa y positivamente relacionadas con el número y el peso medio de los frutos.



4.3.1 Características requeridas para tallos

A mayor grosor de tallo se espera una mayor área transversal de colénquima y esclerénquima; por lo tanto, mayor capacidad de sostener las estructuras reproductivas sin que se doble la planta, evitando así el posible daño a los tejidos de conducción.

También se espera que a mayor grosor del tallo haya una mayor área transversal de floema para un mayor flujo de asimilados hacia los frutos. Una misma altura de planta, un tallo grueso implica potencialmente mayor volumen de células de parénquima donde se pueden almacenar más fotoasimilados en las etapas de crecimiento en las que la radiación solar no es limitante en el dosel (Regalado, 2002).

4.3.2 Características requeridas para hojas y el dosel

Nobel y Long (1988) coinciden en que la capacidad de un cultivo para interceptar la radiación solar y realizar la fotosíntesis no solo depende de la distribución de la radiación solar entre los estratos, sino también de la cantidad total de ésta absorbida por el dosel y la absorción depende del hábito de crecimiento, del ángulo de la hoja, la elevación del sol respecto al horizonte, los cambios en la distribución espectral del flujo fotónico activador de la fotosíntesis (FF) a través del dosel, de las múltiples reflexiones del FF dentro del dosel y la disposición, arreglo y forma, y orientación de las hojas en el dosel.

Nobel y Long (1988) mencionaron que las hojas inferiores de un cultivo que no reciben suficiente luz durante gran parte del día, no contribuyen a la fotosíntesis neta, por lo general mueren de manera prematura y pierden del 30 al 50 % de su peso seco, por lo que al modificar la estructura del dosel se debe considerar, seleccionar cultivares el ángulo de la hoja y la disposición o arreglo de éstas en el dosel, esto con el propósito de mejorar la intercepción de luz y en consecuencia el rendimiento.



4.3.3. Características requeridas para órganos reproductivos

Tomando como base una cierta densidad de población para jitomate manejado a un racimo por planta, la importancia del número de frutos por racimo como componente de rendimiento es mayor que la de peso medio de los mismos (McAvoy y Janes, 1989); es decir, entre más frutos lleguen a madurez comercial por racimo, se obtendrá mayor rendimiento por planta si el peso de los mismos no disminuye de manera importante. Una inflorescencia ramificada puede producir casi el doble de flores que una simple; por lo tanto, tiene el potencial de producir un mayor número de frutos. Por lo que se considera importante integrar en el arquetipo de jitomate la característica de racimo bifurcado (Sánchez, 1997).

El carácter inflorescencia bifurcada se correlaciona fuertemente con el rendimiento de los primeros racimos y se puede promover mediante modificaciones temporales del ambiente (RFA, temperatura, CO₂, nutrición) o de las relaciones fuente-demanda (poda de hojas, uso de reguladores del crecimiento) (Hurd y Cooper, 1970; Calvert, 1973; Aung, 1978 y Picken *et al.*, 1986).

4.3.4 Precocidad.

La precocidad es importante en el arquetipo de un racimo, donde se busca obtener varios ciclos por año. La mayor productividad puede estar basada en aspectos fisiológicos que conducen a la construcción de un aparato fotosintético eficiente en menos tiempo o aún menor periodo de crecimiento de los frutos pero a tasas mayores (Sanchez, 1997).



4.4. Distribución de fotoasimilados

4.4.1. Aspectos generales

Los términos fuente y demanda se usan para señalar la dirección del flujo de fotosíntesis entre ciertos órganos, dirección que depende de la fase de desarrollo. En general, la fuente corresponde a los órganos de suministro y la demanda a los órganos de recepción. Las células de un meristemo apical no son fotosintéticamente activas, por lo que deben consumir los carbohidratos producidos en otras partes de la planta; por ello son agrupados como importadores de asimilados (Mendoza, 1995).

Kohashi (1990) considera a todas aquellas regiones productoras o exportadoras de fotosintatos como fuente (fuente de fotosintatos). Por otro lado, a todos aquellos órganos o parte de ellos que se encuentran en crecimiento activo y requieren o demandan fotoasimilados, los considera demanda (demanda de fotoasimilados). Tanto en el caso de la fuente como en el de la demanda, se puede hablar del "tamaño", que puede ser el área foliar, en el primer caso, o el número de botones florales, en el segundo. También se puede hablar de la "actividad", que puede ser la tasa de asimilación neta o la tasa fotosintética en el caso de la fuente, y la tasa de crecimiento en el de la demanda. El producto de tamaño por actividad da la potencia de la fuente o de la demanda. Lo importante es que la potencia de una puede ser mayor que la otra. Lo ideal es que en todo momento exista un equilibrio y la potencia de la fuente sea igual a la de la demanda. En caso contrario, la fuente o la demanda pueden actuar como factores limitantes de crecimiento o del rendimiento mismo.

Es posible definir a la fuente y a la demanda desde el punto de vista metabólico, ya que en la fuente se producen los asimilados por el proceso de fotosíntesis o por el catabolismo y la removilización de materiales almacenados, mientras que la demanda utiliza dichos asimilados en procesos respiratorios de crecimiento (Wilson, 1972). De esta manera se tienen órganos que producen



fotoasimilados y órganos que los consumen; algunos de ellos pueden ser demandas en etapas tempranas de su desarrollo, incluyendo éstas a todas las partes en crecimiento.

4.4.2. Relaciones fuente-demanda

4.4.2.1 Prioridad de la repartición de asimilados durante el desarrollo de la planta.

El patrón de crecimiento de una planta de jitomate sugiere que hay una prioridad definida en la repartición de asimilados entre los órganos de crecimiento. Varios órganos demandantes tienen habilidades diferentes para captar asimilados (fuerza de la demanda), y así la prioridad de un órgano en la recepción de asimilados, es el resultado de la competencia entre los órganos demandantes (competencia de la demanda). Esta prioridad es mejor evaluada por la distribución proporcional de asimilados cuando el suministro de éstos es limitado, como la mayor proporción de asimilados será tomado por el demandante fuerte, los demandantes débiles pueden o no recibir asimilados, dependiendo de su disponibilidad (Ho, 1984).

Cuando la primera inflorescencia se desarrolla en una planta de jitomate joven, un suministro bajo de asimilados causado ya sea por una baja intensidad de luz (Kinet (1977) o alta densidad de plantas (Russell y Morris, 1982), induce aborto de la inflorescencia o de algunas flores, así también puede afectar el crecimiento de los brotes y las raíces (Cooper, 1964). Una vez que la fructificación ha comenzado en plantas de jitomate de hábito determinado, el crecimiento tanto de los brotes como de las raíces cesa (Hewitt y Marrush, 1986). En una planta indeterminada, la ganancia de peso fresco por el fruto alcanza cerca del 80 % de la ganancia del peso fresco de la planta (Hurd *et al.*, 1979). Debido a que el fruto acumula más agua que otros órganos, la diferencia en la ganancia de materia seca entre órganos es más pequeña. Sin embargo, la acumulación diaria de materia seca en la planta en relación a la del fruto (2.05 g) es consistentemente mayor al de las hojas (1.52 g) y el tallo (0.8 g) (Maher, 1976). Sin embargo, cuando el suministro de asimilados es



limitado, el fruto toma muchos de los asimilados disponibles. El desarrollo subsecuente de la inflorescencia se retrasa y el crecimiento del brote y raíces es retardado posteriormente causando senescencia temprana de la hoja o muerte de la raíz (Hurd *et al.*, 1979).

Una fuerte competencia de asimilados entre el fruto y las raíces se puede agravar en un momento dado, cuando el crecimiento del fruto es reforzado por medio de un tratamiento con un regulador del crecimiento (Starck *et al.*, 1989; citado por Regalado, 2002). Por lo tanto, el orden de la prioridad en los cambios de repartición de asimilados, va desde el orden de raíces, mayor que hojas jóvenes, mayor que flores en plantas floreciendo, que aquellos con fruto y raíces en plantas fructificando (Ho *et al.*, 1989).

Cuando la primera inflorescencia está en floración, el tallo y las raíces presentan las demandas más altas. En este momento el tallo es abastecido por las hojas de arriba, el ápice por las hojas basales y las raíces por las hojas intermedias. La inflorescencia solamente atrae una pequeña porción de asimilados principalmente de dos ortostiquios adyacentes en el mismo lado del tallo (hojas 1, 3, 6 y 8) (Russel y Morris, 1982).

Cuando los primeros tres racimos en fructificación están creciendo rápidamente, hay gran demanda y ésta es suministrada por las hojas medias. Después el ápice se abastece por las hojas de arriba y las raíces por las hojas de abajo (Khan y Sagar, 1967). En una planta con racimos múltiples (racimos compuestos), el suplemento de asimilados desde las hojas a los racimos se vuelve más localizado pero ocurre alguna superposición. Un racimo es suministrado por lo menos por 12 hojas inmediatamente arriba y abajo (Khan y Sagar, 1966) principalmente las tres hojas subtendidas (Shishido y Hori, 1991). Un racimo junto con tres hojas inmediatamente abajo han sido consideradas como una unidad fuente-demanda (Tanaka y Fujita, 1974).



El ápice parece ser un demandante más fuerte que una inflorescencia en su etapa inicial y cuando el suministro de asimilados es inadecuado en luz baja, la inflorescencia solamente obtiene asimilados después de que la demanda del ápice ha sido satisfecha (Kinet, 1977), bajo esas condiciones, la inflorescencia puede abortar, mientras que el crecimiento de las hojas jóvenes continúa (Cooper, 1964). Por lo tanto, tratamientos; tales como: enriquecimiento de CO₂, (Cooper y Hurd, 1968), amplio espaciamiento (Hand y Postlethwaite, 1971), remoción de hojas jóvenes en el ápice (Leopold y Lam, 1960), restricción de raíz (Cooper, 1964) y bajas temperaturas del aire durante el desarrollo de la inflorescencia (Hurd y Cooper, 1970) podrían reducir el aborto de flores.

La capacidad de una inflorescencia para obtener asimilados (fuerza de la demanda), se incrementa marcadamente de la floración a la fructificación, así una carga abundante del fruto puede ser responsable de la muerte de la raíz (Hurd y Price, 1977). El mecanismo que controla la competencia entre órganos vegetativos y reproductivos para una disposición de asimilados es desconocido, pero hay indicadores de que la baja fuerza de la demanda de inflorescencias puede ser debida a un bajo nivel de citocininas (Leonard *et al.*, 1983).

Existe competencia entre racimos, cuando el suministro de asimilados es limitado, el crecimiento de un racimo en fructificación puede suprimir la floración de racimos posteriores; además, de haber competencia entre frutos del mismo racimo. El crecimiento pobre de frutos distales puede ser debido al crecimiento vigoroso de frutos proximales, los cuales desarrollan más pronto (Ho, 1996b).

Shishido *et al.* (1989) indicaron que la mayoría de los fotoasimilados en jitomate se translocaron a la demanda más cercana. La relación entre la fuente y la demanda cambió con los diferentes estados de desarrollo de las raíces, tallos y frutos. Ellos calcularon que del 60 al 80 % de los requerimientos de una inflorescencia se abastecen por dos a cuatro hojas adyacentes. La máxima contribución de una hoja a la acumulación de asimilados por una demanda fue del 30 %. La fuerza de la



demanda se puede equiparar con la tasa de importación de asimilados y la interpretan como el producto de la actividad de la demanda que es definida como la tasa de acumulación de peso seco por unidad de peso del tejido demandante. La actividad de la demanda la expresan como la tasa de aumento de peso seco por unidad de peso del tejido demandante, lo cual no significa que necesariamente exista una correlación directa entre actividad demandante y tamaño del órgano o tejido

Hay y Walker (1989) mencionan que la fotosíntesis es controlada por la concentración de asimilados en la hoja; si la fuerza de la demanda es baja, en la hoja se acumulan azúcares y almidón, disminuyendo las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis; es decir, reduciendo su actividad como si ya hubieran sido satisfechas las necesidades del órgano demandante. De la misma forma Evans (1983) encontró que el patrón de distribución de compuestos está determinado por la fotosíntesis, por la fuerza de atracción y proximidad de los diferentes destinos, modificado con cierto grado por el ordenamiento de las conexiones vasculares y también por las condiciones ambientales.

4.4.2.2. Fuerza de la demanda y crecimiento del fruto de jitomate

El crecimiento de un fruto de jitomate depende de las acumulaciones de agua, asimilados y minerales. La habilidad de un fruto de jitomate para obtener asimilados es medida como el grado de acumulación de materia seca o el grado de carbono importado (por ejemplo: la fuerza de la demanda), varía entre frutos dentro del mismo racimo y entre cultivares (Ho *et al.*, 1983).

El importe de asimilados por un fruto de jitomate está determinado primeramente por el suministro de las hojas fuente correspondientes y por la competencia con otros frutos. Por lo tanto, el crecimiento del fruto puede ser regulado por la actividad de la demanda, tal como el proceso de transporte por floema, el metabolismo y la compartimentación de los asimilados importados dentro



del fruto, así como el tamaño de la demanda y al número de células de almacenamiento del fruto (Ho, 1992).

El tamaño final de frutos de jitomate cultivados varía, de 15 g en jitomate cherry a más de 450 g en jitomate Beefsteak. Contrario a esta gran variación en el tamaño, la duración del periodo de antesis a la maduración del fruto es menos variable en el lapso de 40 a 65 días y el contenido de materia seca del fruto maduro está en el intervalo de 5 a 7.5 % para la mayoría de los jitomates cultivados (Davies y Hobson, 1981). Sin embargo, el grado de acumulación de materia seca por fruto varía sustancialmente entre cultivares (Ho, 1996b).

El número de células en el fruto de jitomate, es uno de los principales atributos relacionados con su tamaño. La diferencia en el número final de células en el pericarpio entre el fruto proximal y distal del mismo racimo (Bohner y Bangerth, 1988) o entre cultivares con tamaño de frutos sustancialmente diferentes, parcialmente determina su tamaño final. En efecto, las diferencias en el tamaño potencial del fruto pueden ser detectadas por el número de células de los ovarios antes de la antesis como por la duplicación del número de células al máximo durante la fase de división celular que después de la antesis es esencialmente la misma en el fruto proximal y distal del mismo cultivar (Ho, 1992). En el mutante de *L. pimpinellifolium* un incremento en el tamaño del fruto causado por un tratamiento de irradiación fue debido a un aumento en el número de células de la preantesis del ovario más que por división celular después de la antesis (Bohner y Bangerth, 1988). Sin embargo, el número de células en preantesis del ovario parece ser una buena medición del tamaño de la demanda, la cual puede en todo caso determinar la fuerza de la demanda potencial para asimilados en el fruto de jitomate. No obstante, el mecanismo de regulación del número de células en la preantesis del ovario no es aún conocido (Gillaspy *et al.*, 1993).

En un estudio realizado por Shishido y Hori (1991) sobre los patrones de distribución y translocación, se indica que el porcentaje de distribución de



fotoasimilados hacia el primer y tercer fruto de una inflorescencia, proviene de la hoja situada justo debajo de la inflorescencia sobre el mismo lado como el primer y tercer fruto, y la fuerza relativa de la demanda de los frutos fue más alta que la de los frutos 2 y 4. La hoja justo arriba de la inflorescencia así como la hoja localizada debajo de la inflorescencia, sobre el lado opuesto, también exportó fotoasimilados al fruto de la inflorescencia, asimismo, encontró que el patrón de distribución de asimilados de la hoja sobre la rama lateral indicó que la inflorescencia del eje principal todavía actúa como una gran demanda, pero que la inflorescencia en la rama lateral tuvo una fuerte demanda de asimilados desde la hoja de la rama lateral que la inflorescencia del eje principal. La acumulación de fotoasimilados por la inflorescencia fue afectada por la proximidad de la hoja fuente, la etapa de desarrollo y las conexiones vasculares en el tallo.

Slack y Calvert (1977) reportaron que la eliminación de uno de los 10 primeros racimos resultó en aumento del rendimiento en los racimos que quedaron arriba y abajo de la planta, siendo éstos más altos en rendimiento que aquellos racimos más distantes. Asimismo mencionaron que la eliminación temprana de un solo racimo de una planta de jitomate, puede tener tres efectos posibles sobre el rendimiento final del fruto: 1) el rendimiento total puede ser reducido en proporción directa a la pérdida del potencial de rendimiento; 2) el rendimiento total puede ser no afectado, lo cual implica que los asimilados disponibles fueron completamente distribuidos a otros racimos y, 3) puede ser una reducción menos que proporcional en rendimiento total porque hubo redistribución de algunos, pero no de todos los fotoasimilados.

Por su parte Wolf y Rudich (1988) indicaron que la repartición de fotoasimilados entre varios frutos está determinada por la fuerza demandante de los diferentes frutos y la habilidad de las distintas hojas para abastecerlos. Los frutos que en un mismo racimo, empiezan su crecimiento más pronto, tienen una mayor tasa de acumulación de peso seco que los frutos en los que el crecimiento se inicia posteriormente. También encontraron que el período de acumulación de peso seco es



fuertemente afectado por la posición del fruto en la planta. Los frutos de la parte superior de la planta tienen un periodo de crecimiento más corto que los frutos de las partes inferiores, concluyeron que el mayor peso seco final de los frutos que se desarrollaron más temprano, se debe tanto a una mayor tasa de acumulación de peso seco como a un mayor período de crecimiento.

El crecimiento del fruto resulta principalmente de la importación de asimilados de las hojas. La fuerza de la demanda, que expresa la capacidad de un órgano de una planta particular para acumular asimilados, está determinada por el tamaño y la actividad de la demanda (Warren, 1967). La actividad de la demanda puede ser expresada como la tasa de incremento de peso seco por unidad de peso de la demanda del tejido. Esta definición no necesariamente implica una correlación directa entre actividad de la demanda y tamaño de la demanda. Una tasa más alta de translocación de ^{14}C fue observada en frutos de jitomate más pequeños que en los más grandes (Walker y Ho, 1977). La repartición de asimilados entre varios frutos está determinada por la fuerza de las diferentes demandas (frutos) y la capacidad de las hojas fuente para suministrar los asimilados (Thomley y Hard, 1974; Ho, 1976; Stenvers y Staden, 1976 y Walker y Ho, 1977).

El cese del crecimiento en frutos fertilizados, ocasionalmente es inducido por factores ambientales adversos tales como la alta temperatura y alta luminosidad (Johnson y Hall, 1955 y Liverman y Johson, 1957). Esto también puede ser inducido por la competencia con otros frutos. Los frutos distales de una inflorescencia, por ejemplo, son más pequeños que los proximales (Bangerth, 1981) y los últimos frutos podrían atrasar o suspender su desarrollo, debido principalmente a la competencia de los asimilados disponibles. Algunas veces los frutos de un racimo disminuyen su crecimiento bajo condiciones de severa competencia con los frutos de otros racimos (Hurd *et al.*, 1979).



4.4.2.3. Importancia de materia seca para el crecimiento del fruto

El asimilado principal disponible en jitomate es la sacarosa, la cual abarca, alrededor del 90 % del ^{14}C exportado por la hoja (Walker y Ho, 1977). Una hoja madura exporta del 20-30% de ^{14}C fijado en dos horas y arriba del 45-50 % dentro de dos días. La exportación subsecuente es pequeña y gradual y la cantidad de ^{14}C que permanece en la hoja al final de la cosecha puede ser sustancialmente grande (Khan y Sagar, 1967). Por lo tanto, los asimilados disponibles importados por un fruto en cualquier tiempo, son una mezcla de asimilados fijados frecuentemente por las hojas y aquellos removilizados de las reservas en las hojas (Ho, 1976).

Durante la fructificación, mucha de la materia seca producida por una planta, se acumula en los frutos. Durante el tiempo en que los frutos de los primeros cinco racimos están creciendo rápidamente, el rango de crecimiento diario de una planta de jitomate se ha incrementado a un máximo de 90 g de peso fresco por planta por día con una ganancia de peso fresco del fruto, contabilizada por el 90 % de aquel del total de la planta (Hurd *et al.*, 1979). Una vez que los frutos empiezan a crecer, el rango de crecimiento vegetativo disminuye al mínimo (Salter, 1958). El crecimiento neto de la raíz, cesa cuatro semanas después de la primera antesis y el crecimiento de la hoja es reducido considerablemente cuando el rango de crecimiento total del fruto alcanza un máximo (Hurd *et al.*, 1979). Una mayor proporción de la materia seca del fruto es derivada de los asimilados de la hoja, aunque más del 65 y 50 % del consumo total de nitrógeno y potasio respectivamente, son acumulados por los frutos (Tanaka y Fujita., 1974), los minerales abarcan alrededor del 8 % del peso seco del fruto (Davies y Hobson, 1981). El crecimiento del fruto es así principalmente determinado por la tasa de importe de asimilados de las hojas.

Cada uno de los azúcares y almidón cuentan aproximadamente 10 % del peso seco en frutos de una semana de edad (Ho *et al.*, 1983). La proporción de materia seca en almidón incrementa a 20 % en tres semanas de edad y luego declina; mientras la proporción de azúcares aumenta firmemente hasta cerca del 50 %. La



concentración de azúcares (concentración de materia seca), pero la concentración de almidón es más baja en el pericarpio que en la pulpa, aún que el tejido del pericarpio contiene más azúcares y almidón (Demnitz- King, 1993; citado por Regalado (2002).

4.4.2.4 Movilización, removilización y acumulación de fotoasimilados

Aparte de su uso en respiración, síntesis de proteínas, pared celular y estructura de membranas, el importe de sacarosa es acumulado principalmente como hexosa, éstos azuceres pueden ser del 75 % de los sólidos solubles del agua en un fruto maduro de jitomate (Davies y Hobson, 1981).

La acumulación de almidón en la etapa temprana de desarrollo del fruto es temporal y la cantidad de almidón acumulado solamente cuenta para una pequeña porción de la materia seca final del fruto (Ho *et al.*, 1983). Sin embargo, la cantidad máxima de almidón en el fruto verde está positivamente relacionada al contenido de sólidos solubles en frutos maduros entre un número de cultivares de jitomate (Diñar y Stevens, 1981). La tasa de acumulación de almidón cambia en paralelo con la tasa de acumulación de materia seca, así como con las actividades de sólidos solubles y de la adenosin difosfato (ADP) glucosa pirofosforilasa (Robinson *et al.*, 1988). Parece que el desdoblamiento de sacarosa por sólidos solubles es un prerequisite para la síntesis de almidón por ADP-glucosa pirofosforilasa y la acumulación neta de almidón es regulada por estas dos enzimas.

Aparentemente, la actividad de ADP-glucosa pirofosforilasa puede estimularse por la luz y el aumento en la acumulación de almidón (Guan y Janes, 1991b). Esto sugiere que el mayor peso del fruto cuando es expuesto a luz en relación a aquellos guardados en la oscuridad, se debe a la capacidad extra para acumular almidón más que a un incremento de fotosíntesis en fruto (Guan y Janes, 1991a). La acumulación de almidón también se intensifica cuando las plantas de jitomate se desarrollan en alta salinidad alcanzando hasta arriba del 40 % de la materia seca de frutos (Ehret y



Ho, 1986; citado por Ho, 1996b) mientras que la actividad de sólidos solubles aumenta (Demnitz-King, 1993; citado por Regalado (2002). Sin embargo, ese incremento de acumulación de almidón en alta salinidad, no resulta en una importación alta de materia seca por frutos de jitomate.

4.5. Componentes de rendimiento en jitomate

Para poder analizar el rendimiento de una planta, es necesario el estudio de sus componentes. Para el caso del jitomate, sus componentes son: el número de frutos por planta y el peso del fruto. Por lo tanto el número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y los frutos que logran desarrollarse. Así, dichos componentes del rendimiento involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, y reproductivo, están fuertemente influenciados por la relación fuente-demanda en diferentes fases del ciclo de la vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el período de crecimiento del fruto.

Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración (Wereing y Patrick, 1975).

Al respecto Sedgley (1991) indicó que el rendimiento de los cultivos depende de un alto índice de cosecha en conjunto con una alta producción de biomasa.

Beadle (1988) define al índice de cosecha como una expresión de la proporción de materia seca total que finalmente es translocada al producto de interés agronómico y se obtiene como el cociente entre rendimiento económico y la biomasa total producida o rendimiento biológico. Este índice representa la eficiencia de la canalización de biomasa hacia el rendimiento económico.



El jitomate presenta índices de cosecha que oscilan normalmente entre 0.4 y 0.65; es decir, que del 40 al 65 % de la materia seca producida por una planta es canalizada hacia los frutos (Sánchez, 1994).

Sánchez (1997) trabajó con 17 cultivares de jitomate a dos densidades de población (12 y 25 pl m⁻²), encontrando que los cultivares con un alto índice de cosecha (IC de 0.52) tuvieron generalmente un mayor peso de fruto, por lo que rindieron más que los cultivares en los que el índice de cosecha (IC de 0.38) fue relativamente bajo. El rendimiento por unidad de superficie puede aumentarse aún más si se incrementa la densidad por arriba de 25 pl m⁻², a partir de cultivares de menor biomasa por planta, pero con alto índice de cosecha. Además, observó que los cultivares que presentaron mayor área foliar por planta o en las tres hojas superiores, tuvieron mayor número de frutos por planta sin afectar el peso medio de fruto, lo que se tradujo en mayor rendimiento por unidad de superficie.

En los últimos 20 años, el rendimiento de jitomates cultivados en invernaderos ha sido principalmente incrementado por cultivos de ciclo largo, por el alto amarre del fruto y la mayor altura de la planta. El futuro incremento en rendimiento, dependerá de un mayor periodo de llenado de frutos, número y tamaño (Ho, 1996b).

Existe una larga lucha en productividad entre cultivadores, a pesar del mejoramiento hecho en el rendimiento de jitomate en invernadero, el control automatizado del medio ambiente que facilita la propuesta del potencial para optimizar las condiciones de crecimiento y la de obtener altas cosechas de frutos. Por ejemplo el promedio anual de rendimiento de jitomate en 1993 en Holanda fue de 475 t ·ha, pero las cosechas de los grandes productores fueron de 579 t ha, aproximadamente 22 % más alto que el promedio. Por lo tanto más allá del mejoramiento por la mayoría de los fitomejoradores, deberá ser realizable empleando la tecnología ya disponible (Ho, 1996b).



4.5.1. Manipulación del número y tamaño de frutos

Cambiar las relaciones fuente-demanda en la repartición de asimilados a favor de la producción de frutos, se ha practicado ampliamente en la producción de jitomates. Al alterar el número de frutos para equilibrar el suplemento de asimilados, el tamaño de fruto se puede controlar (Ho, 1996b). Al incrementar el tamaño del fruto, disminuye el número de éstos por planta. Existe una gran dominancia fenotípica para alto número de frutos, pero con bajo peso de los mismos (Sión, 1979).

Fatula (1972; citado por Ponce, 1995) mencionó que el número de frutos por planta, se asocia también a las partes morfológicas; así, al evaluar el comportamiento de 11 cultivares de jitomate, encontró diferencias significativas en cuanto al número de frutos y de inflorescencias, como factores que contribuyen al rendimiento, existiendo una correlación positiva.

Katoaka (citado por Sión, 1979) afirmó que al relacionar el número y peso promedio de frutos por planta en jitomate, los cultivares enanos produjeron bajos rendimiento frente a los cultivares altos, como resultado de su poca capacidad de asimilación.

López *et al.* (1976; citado por Ponce, 1995) planteó que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo, tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia, siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de las plantas.

Flores (1980; citado por Cancino, 1990) indicó que el tamaño de los frutos depende de tres a cinco pares de genes mayores que afectan el número de lóculos y el doble de genes afectan el tamaño de lóculos del fruto maduro.

4.6 Cultivares de jitomate



Existen dos tipos de plantas que se forman una vez alcanzado el desarrollo normal:

Variedades de tipo determinado. Las guías o tallos eventualmente terminan en un racimo floral. Son pequeñas o medianas, ya que su crecimiento se detiene una vez que el último racimo floral empieza a desarrollar sus frutos; suelen ser muy precoces y facilitan la producción mecanizada. En cultivares determinados la primera inflorescencia aparece normalmente tras la 5a a 7a hoja (Geisenberg y Stewart, 1986; citados por Nuez, 1995).

Variedades de tipo indeterminado. Pueden crecer indefinidamente si se encuentran en condiciones óptimas, se caracterizan por desarrollar tallos largos y mucho follaje. Los extremos del tallo están formados por yemas terminales vegetativas. Son los preferidos para el cultivo bajo el sistema de estancado. En cultivares de crecimiento indeterminado la primera inflorescencia suele aparecer tras la 7a a 11a hoja (Geisenberg y Stewart, 1986; citados por Nuez, 1995) aunque las condiciones ambientales pueden alterar estos patrones en ambos tipos (Aung, 1978).

4.6.1 Elección de cultivares para invernadero

La elección del cultivar de jitomate para invernadero es motivo de especial atención debido a que existen en el mercado cientos de cultivares disponibles, no todos apropiados para ser empleados en la producción intensiva bajo invernadero. Además, en México no existe tradición en la producción intensiva de jitomate en estos sistemas y menos aún programas de fitomejoramiento que estén produciendo cultivares apropiados para ello. Al respecto, Pérez y Castro (1999) proponen una continua evaluación de los materiales que están siendo generadas por diferentes empresas semilleros tales como Petoseed, Valmorin United Genetics, Hazera, entre otras, ya que esto permitirá contar con las ventajas que proporcionan las nuevas variedades o híbridos.



Una de las principales características de la producción en invernadero, es que se puede regular el crecimiento por medio del control del clima (temperatura, humedad relativa, etc.), así como tener una mejor eficiencia en el manejo y aplicación del agua de riego, de la nutrición, control de plagas y enfermedades, además de que si se cultiva bajo sistema de hidroponía se facilita el manejo de la planta y se pueden hacer ciertas labores especiales, esto con el propósito de que el genotipo exprese su máximo potencial de rendimiento y calidad.

4.7 Calidad

Son diversos los factores que afectan la calidad, entre los cuales se encuentran el cultivar, la temperatura, el suelo, los aspectos nutrimentales, el riego, las prácticas de manejo, oportunidad de cosecha, almacenamiento, etc., (Corrales, 1994; citado por Acosta, 1997).

La calidad de un producto es la combinación de atributos o caracteres que éste presenta y es determinada por el grado de aceptación del consumidor. Los consumidores miden la calidad de la fruta de jitomate principalmente por tres factores: la apariencia física (color, tamaño, forma, brillo y ausencia de defectos y pudriciones), textura (firmeza, frescura, jugosidad y dureza) y sabor (dulzura, acidez, astringencia, amargosidad y aroma) (Jones, 1999); sin embargo, la calidad nutricional es importante porque los frutos frescos son fuentes de vitaminas (A, B, C, tiaminas, niacinas) minerales y fibra (Kader, 1986).

El mejoramiento en jitomate se ha orientado a resolver problemas de producción, resistencia a enfermedades y calidad de fruto. Sin embargo, se dispone de poca información que incluye aspectos de calidad. Los esfuerzos realizados por mejorar la calidad del fruto, han tenido éxito limitado, debido a las complejas interacciones entre los diferentes componentes de los frutos y las características de la planta (Stevens y Rick, 1993).



El trabajo del mejorador se facilita cuando los caracteres de interés son de fácil evaluación y altamente heredables (Jones, 1986). Algunos de éstos en los que se ha puesto atención, por ser importantes en la calidad, son la medición y evaluación de los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH y color (Stevens, 1973).

La calidad del fruto depende de la época de cosecha; el contenido de vitamina C y azúcar disminuyen cuando el jitomate se corta en la etapa verde-maduro y su maduración ocurre durante el transporte y almacenamiento; por el contrario, los frutos que maduran en la planta, presentan un mejor sabor (Villareal, 1982).

Existen genes como el dark green (dg), hig pigment (hp) y old gold / crimson (og^c) que, al incrementar el contenido de licopeno y coloración del fruto, afectan de manera importante la calidad de la fruta (Wann, 1997).

Stevens (1973) señala algunos de los caracteres de calidad del fruto en jitomate en los que se ha puesto considerable atención, entre ellos se encuentran los siguientes:

- a) Color
- b) sólidos solubles totales
- c) Acidez
- d) Ph

4.7.1 Calidad interna

4.7.1.1 Sólidos solubles totales

El sabor del jitomate está directamente relacionado con dos compuestos principales: sólidos solubles y aroma, se han identificado más de 400 compuestos



volátiles que representan el 0.1 % de la materia seca en el fruto maduro, de éstos son aproximadamente 30 los responsables del aroma, mismo que resulta de la combinación desconocida de estos compuestos, muchos de los cuales aún no se han identificado (Fernández *et al.*, 2004).

Se ha investigado el papel del contenido de sólidos solubles totales, ácidos y azúcares en la intensidad del sabor de jitomate; la dulzura tiene alta asociación con el contenido de sólidos solubles, pH y la conversión de almidones en azúcares reductores. No obstante estas relaciones son ambiguas ya que el perfil y contenido de estas sustancias contribuyen a que exista variación entre cultivares (Bernabé y Solís, 1999; Fernández *et al.*, 2004).

Las variaciones en el sabor se deben al grado de madurez y a las diferentes concentraciones de azúcares, ácidos y su composición entre el tejido locular y del pericarpio, éste último contiene 20 % más azúcares reductores y 36 % más glucosa que el tejido locular; éste, tiene acidez titulable más alta en 44 % y contenido de ácido cítrico de 57 %; sin embargo, en ambos tejidos no existen diferencias en la concentración de fructosa y ácido málico (Atherthon y Rudich, 1986).

Generalmente los esfuerzos, para incrementar el contenido de sólidos solubles totales, no han sido exitosos por la asociación negativa con el rendimiento (Gould, 1992). Los sólidos solubles totales, en la mayor parte de las variedades se sitúan entre los 4.5 y 5.5 % de °Brix (Nuez, 2001), o bien en el intervalo de 4.5 a 7.5 % (Triano y Clair, 1995; Jones, 1999).

La constitución genética de los híbridos o variedades, los factores agroecológicos, especialmente el clima durante la maduración del fruto, y la disponibilidad de agua, influyen en el contenido de sólidos solubles totales; al variar la concentración en frutos de una misma variedad entre 4 y 7 % (Nuez, 2001). Además, plantas de hábito indeterminado, fruto disperso, madurez tardía,



bajo rendimiento y fruto pequeño incrementan el contenido de sólidos solubles totales (Tigchelaar, 1990; Gould, 1992; Bernabé y Solís, 1999). Los cultivares de maduración temprana tienen menor porcentaje de sólidos solubles totales respecto a los de maduración tardía (0.56 % y 0.61 %, respectivamente) y disminuye, en 10 %, la relación sólidos solubles / ácido cítrico (Nassar, 1986, López *et al.*, 2001).

El contenido de carbohidratos en el fruto puede incrementarse si se mejora la fuente que contribuye a su producción. Los niveles de azúcares solubles favorecen la concentración de sólidos solubles totales, y para incrementar estos últimos, es necesario modificar la arquitectura de la planta mediante el control genético del hábito de crecimiento (gen *sp*), podas e intensidad de luz (Shaffer *et al.*, 1999).

El tamaño y peso del fruto se encuentran determinados en su aspecto genético y estos caracteres son heredables; sin embargo, pueden modificarse por condiciones ecológicas (temperatura, agua, suelo) y las labores culturales en el cultivo (fertilización, podas, raleo de frutos, riegos, etc) (Bernabé y Solís, 1999).

El contenido de sólidos solubles totales, es afectado principalmente por las podas y aclareos y se incrementa durante la maduración y senescencia de los frutos (Hulme, 1971; citado por Acosta, 1997).

El incremento de los sólidos solubles totales (SST), se presenta conforme la maduración de los frutos avanza, a través de la conversión de almidones en azúcares (Tripathi y Ganggwar, 1971; citado por Pantástico 1984). Los frutos con altas concentraciones de SST son los de mayor demanda por el consumidor, en forma natural y directa; como por la agroindustria, ya sea para la conservación y/o transformación de los frutos. La agroindustria requiere frutos con altas concentraciones de SST, para poder reducir los costos de producción; como el costo de procesamiento, dicho costo involucra: un gasto menor de azúcares en las formulaciones de algunos productos, menores gastos de energía, así como



menores tiempos de evaporación de agua. La agroindustria prefiere a variedades de frutos que contengan concentraciones superiores al 10% de SST (Ojha *et al.*, 1987; citado por Acosta, 1977).

4.7.1.2 Acidez titulable

La acidez es una característica sensorial relacionada con los cambios que sufren las frutas durante la maduración y la senescencia. Diversos investigadores proponen a la acidez como un índice de cosecha para ciertas especies.

Prácticamente todos los alimentos contienen un ácido o conjunto de ácidos. Estos ácidos pueden ocurrir naturalmente, pueden ser producidos por una acción de microorganismos o por adición de productos.

Los ácidos orgánicos son importantes no solo por su efecto sobre el sabor del fruto, sino, por su efecto en los procesos de industrialización.

El ácido predominante en el fruto de jitomate es el ácido cítrico, seguido del málico. La acidez se concentra fundamentalmente en la cavidad locular y es relativamente baja en el mesocarpo externo. La acidez del jitomate, así como la relación entre el málico y cítrico depende en gran medida de la variedad. La fertilización elevada en nitrógeno y potasio favorece, no solo la acidez del jitomate, sino también la actividad de las enzimas pécticas (Nuez, 1995).

El ácido total generalmente se determina por titulación de una muestra de alícuota con una base conocida usando un indicador apropiado para determinar el punto final (Gould, 1992).

La concentración de ácidos alimentarios, como los ácidos acético, cítrico, láctico y málico, se estima mediante la titulación de una muestra de alimento con



hidróxido de sodio a un punto final de pH de 8.1. Durante la maduración y senescencia la acidez se incrementa (Hulme, 1971; citado por Acosta, 1997).

En un estudio de 250 muestras de jitomate, Lambeth, Straten y Fields (1966; citados por Atherton (1986), encontraron una variación de pH de 4.26 a 4.28 y un rango de porcentaje de ácido cítrico de 0.40 a 0.91 %.

La acidez titulable generalmente se expresa en base al ácido que se encuentran en mayor proporción, asumiendo que solo este se encuentra en el extracto.

4.7.1.3 pH

El grado de maduración afecta el pH del jugo del fruto, el cual oscila entre 4 y 4.8 (Jones, 1999; Nuez, 1995; Renquist y Reid, 1998). Para ser industrializado, el jitomate debe tener pH de 4.4 (Hidalgo *et al.*, 1998), aunque este puede aumentar con el tiempo de conservación (Hernández *et al.*, 2002). Valores menores que 4.3 reduce significativamente el riesgo de crecimiento bacterial (Rezende *et al.*, 2000).

Existe una asociación lineal negativa entre el pH y el contenido de ácidos en el fruto de jitomate; ésta puede observarse al analizar los ácidos constituyentes de varios tipos de jitomate y tejido del fruto (Rezende *et al.*, 2000). Esto significa que cuando los ácidos orgánicos decrecen entre 25 y 35 %, el valor de pH aumenta, lo que pone de manifiesto esta correlación inversa con la acidez titulable (Lukyanenco y Lukyanenco, 1981). Por otra parte, el incremento en la salinidad y el amonio disminuye el pH en el jugo de jitomate (Flores *et al.*, 2003).

El pH normalmente aumenta a medida que el fruto crece, es más bajo en los estados iniciales de desarrollo. En sentido general durante la postcosecha, el incremento es independiente del híbrido y la forma del empaque (Salgado *et al.*, 2005).



Para clasificar los frutos según su calidad hay que tomar en cuenta una serie de características como: alto contenido de sólidos (mínimo 4.5 °Brix); bajo pH (cerca de 4.4); firmeza de los frutos; puede ser consistente, esponjosa o flácida; limpieza: los frutos deben estar libres de polvo, o residuos de pesticidas; forma de frutos: redonda, cuadrada, alargada y ovalada; sanidad: libre de daños de plagas y enfermedades; tamaño de fruto: este indicador lo determina el volumen del fruto, es decir, la longitud y el diámetro del fruto (León, 1980; citado por Mendoza, 1995).

4.7.2 Calidad externa

La nutrición mineral, determina directa o indirectamente la calidad externa e interna de los productos hortofrutícolas, influyendo sobre atributos como resistencia al almacenamiento, tamaño, peso, color, firmeza, acidez, dulzor, vitaminas y sabor, entre otros (Corrales, 1994; citado por Acosta, 1997).

La calidad externa es una característica esencial a tener en cuenta y tan importante como la productividad del cultivar utilizado. Cualidades como uniformidad en la forma son exigidas para cada variedad en función de las exigencias del mercado al cual se va a destinar el producto. El carácter vida comercial que confiere a los frutos una larga duración después de ser recolectados, esta siendo introducido actualmente en las nuevas variedades.

4.7.2.1 Color

El color es uno de los factores más importantes asociados con la aceptación de todos los productos alimenticios ya que esta característica proporciona ideas subjetivas y preconcebidas de otros factores de calidad tales como sabor, aroma y frescura. En el caso del jitomate y sus productos industriales, el color representa una medida de calidad total y en muchas ocasiones puede ser



la más importante y/o única a considerar, ya que otras pueden regularse y controlarse mediante el procesamiento; además la coloración determina la cantidad de frutos requeridos para preparar productos de alta calidad (Atherthon y Rudich, 1986; Gould, 1992).

El color en el fruto del jitomate es resultado de la presencia de carotenos y carotenoides. Se han aislado diferentes tipos de pigmentos en el fruto, pero los más importantes en la coloración son el α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno y δ -caroteno, licopeno y 22 tipos diferentes de xantofilas (Gould, 1992). El licopeno determina el color rojo; caroteno, amarillo; xantofila, naranja y clorofila verde; esta característica depende de factores genéticos que regulan su expresión (León, 1987; González, 1991); sin embargo, el color rojo, puede deberse a la presencia del licopeno y beta-caroteno, el cual determina la actividad de la vitamina A en el fruto (Atherthon y Rudich, 1986; Stevens y Rick, 1993); la distribución de estos pigmentos, está influenciada por la calidad e intensidad de la luz. Una sombra moderada favorece la formación de licopeno y el caroteno se sintetiza en forma más abundante si el fruto está expuesto a la luz intensa (Anderlini, 1989); por lo cual hay mayor concentración de éste hacia la región del pedicelo que en la parte apical (Gould, 1992). La variación en el tono o intensidad del color esta determinada por la distribución de cada pigmento en los tejidos del pericarpio y por sus cantidades relativas (Hayward, 1953). En los tejidos externos del pericarpio, el color esta determinado por varios genes que favorecen o impiden la formación de carotina, mientras que el de la pulpa es debido a un factor dominante del rojo (León, 1987).

El color del fruto es resultado de la coloración del endocarpio, la pulpa y el epicarpio; así el jitomate rosa tiene epicarpio sin color y pulpa roja, mientras que un jitomate rojo tiene un epicarpio amarillo y pulpa roja; existen genotipos que son de color rosa, naranja, púrpura, amarillo claro y oscuro etc.; sin embargo, la mayoría de los consumidores prefieren jitomates de color rojo uniforme (Kader, 1986).



A pesar de la importancia del color en la calidad del fruto y sus derivados, generalmente no se reportan estudios acerca de su tipo de herencia, posiblemente porque no se ha estandarizado la manera de estimarlo. Al respecto solo se menciona en la literatura la presencia de efectos de tipo dominante y aditivo en la intensidad del color, mientras que los azúcares, ácidos orgánicos, compuestos misceláneos y compuestos inorgánicos están gobernados por influencia poligénica (Georgiev, 1991).

A nivel comercial la comparación de color de frutos de tomate se realiza con cartas que proporciona una interpretación subjetiva del color de los frutos.

Otra forma de medir el color es por medio de la reflexión de la luz mediante la escala de Hunter (L, a, b) que ha sido utilizada desde 1954 en los estudios que requerían la misma objetividad del color de los frutos

4.7.2.2 Forma del fruto

Los cultivares de jitomate difieren mucho en la forma del fruto, pueden ser ovalados, esféricos, alargados, tipo pera, etc., los defectos en la forma se asocian con una pobre polinización y el desarrollo irregular de algunos lóculos, que pueden afectar la apariencia, firmeza, susceptibilidad a la pudrición, disminuir el contenido de sólidos solubles, etc. (Kader, 1986). Este carácter tiene una fuerte componente genética; por ejemplo, los genes fw2.2 (Fruit weight 2.2), fs8.1 (Fruit shape 8.1) y lcn2.1 (locule number 2.1) definen la forma del fruto (Kader, 1986).

4.7.3 Factores externos en la calidad del fruto

La información disponible del efecto de herbicidas en la calidad del fruto es escasa; el contenido de sólidos solubles totales y pH en el jugo son poco afectados; sin embargo, la trifluralina incrementa el contenido de ácido ascórbico



y, con dosis elevadas, disminuye la relación contenido de sólidos solubles totales / acidez (Mohammed y Ali, 1986).

Diferentes sustratos utilizados en cultivos hidropónicos pueden afectar el peso del fruto y el rendimiento total así como su composición química; al cultivarse en hidroponía pura se incrementa el rendimiento en 10 %, pero el contenido de sólidos solubles totales disminuye de 1 a 2 °Brix; sin embargo la firmeza y el diámetro del fruto no son afectados, así la calidad del fruto de jitomate es influenciada, en gran medida, por el suministro de riegos, solución nutritiva y el sustrato utilizado (Sen y Sevgican, 1999).

El rendimiento del cultivo de jitomate sembrado en diferentes sustratos como composta, perlita y roca volcánica es mayor con respecto al cultivo en suelo. El contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, contenido de vitamina C y pH no muestran diferencias significativas (Celikel, 1999).

El trasplante y las prácticas de manejo, tales como fertilización y densidad de población, influyen en el desarrollo de la planta y los efectos en rendimiento son mínimos; pero, la cantidad de sólidos solubles y color del jugo no se afectan por éstas prácticas (Hartz *et al.*, 2002).

Al incrementar la salinidad del agua de riego, se favorece la concentración de pigmentos en híbridos, con alelos *rin* y *nor* que afectan la pigmentación, firmeza, vida de anaquel, aumento en la acidez y disminución de pH; sin embargo, se reduce la firmeza en algunos genotipos, principalmente en variedades con ausencia de éstos alelos, afectados por la conductividad eléctrica del agua (Mizrahi y Arad, 1986).

Los componentes más importantes de rendimiento son el número, peso y tamaño de fruto, que al variar, constituyen criterios cuantitativos de la calidad en los productos agrícolas y hortícolas (Bernabé y Solís, 1999).



El rendimiento se afecta por el periodo de cosecha y control de riegos; el estrés hídrico antes del corte (5-6 semanas) tiene efecto negativo sobre el peso y color de fruto; pero se incrementa el contenido de sólidos solubles totales en 0.2 °Brix (Cahn *et al.*, 2001; López *et al.*, 2001).



V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

5.1.1. Macrolocalización

Santa María Atzompa, Oaxaca, se localiza en los Valles Centrales del Estado, en las coordenadas 96° 47' longitud oeste, 17° 06' latitud norte a una altura de 1580 msnm y al oriente de Oaxaca de Juárez, capital del Estado, de la cual dista aproximadamente 5 kilómetros (Figura 6).

Limita al norte con Guadalupe Etla, San Jacinto Amilpas, San Lorenzo Cacaotepec y San Pablo Etla; al sur con San Pedro Ixtlahuaca; al oriente con Oaxaca de Juárez y San Jacinto Amilpas; al poniente con San Andrés Ixtlahuaca y San Lorenzo Cacaotepec.

Su superficie total es de 22.96 km² y representa el 0.02% de la superficie total del Estado. Según el censo del INEGI, en el 2000 la población total del municipio es de 15749 habitantes, de los cuales 7533 son hombres y 8216 son mujeres.

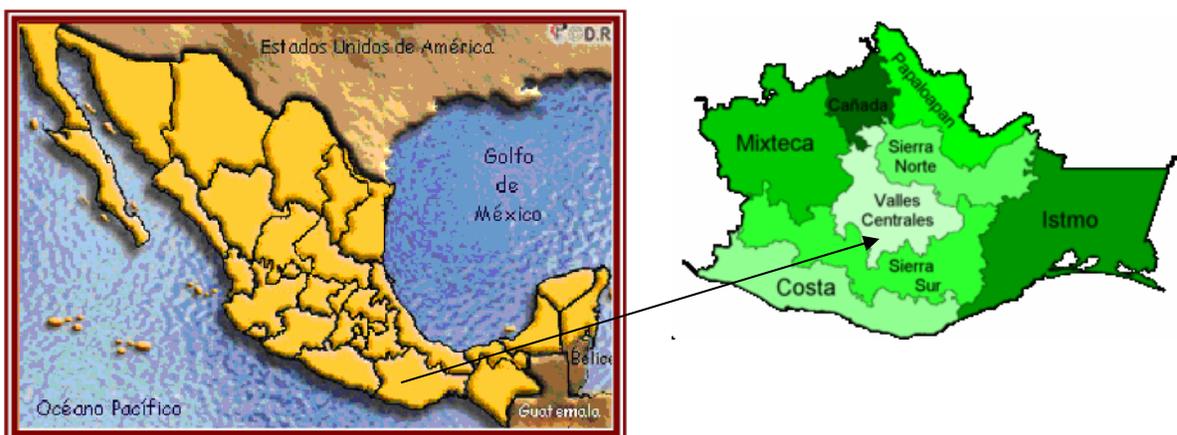


Figura 6. Localización del Estado de Oaxaca y de los Valles Centrales.



5.1.2. Microlocalización

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de los Invernaderos “La Soledad” propiedad del productor Ing. Ramón Montes García, aproximadamente a una distancia de 5 Km al norte de la cabecera municipal de Santa María Atzompa (Figura 7 y 8).

VALLES CENTRALES.

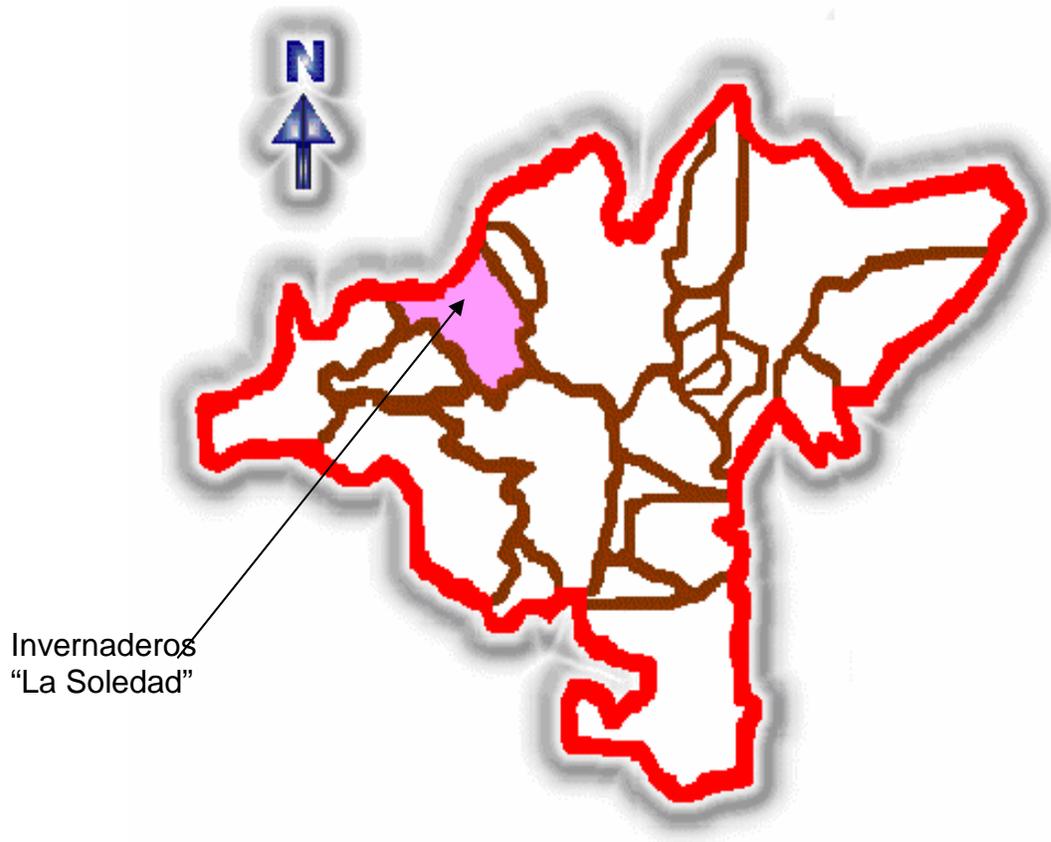


Figura 7. Croquis de ubicación del experimento.



Figura 8. Invernaderos La Soledad S.P.R. de R.I.

5.2. Conducción del experimento.

5.2.1. Semillero.

La siembra del semillero se realizó el 18 y 19 de agosto de 2006, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades, con dimensiones de 60 x 34 cm. Se utilizó como sustrato peat-moss (Grow-Mix) para la germinación, se humedeció hasta punto de escurrimiento colocando una semilla por cavidad, la semilla se depositó a 0.5 cm de profundidad, se taparon con una capa de 5 mm de vermiculita, aplicando un riego muy ligero. Se estibarón las charolas, cubriéndolas con un plástico negro durante cuatro días para conservar la humedad del sustrato y favorecer la germinación, Posteriormente se destaparon y se distribuyeron en los bancales del invernadero de propagación. Los riegos se aplicaron diario durante la mañana y tarde. El agua contenía una solución nutritiva al 75% de la solución Steiner. Las plantas de ambos cultivares emergieron a los cinco días después de la siembra.



Durante el crecimiento de las plántulas, se realizaron cuatro aplicaciones preventivas contra plagas y deficiencias nutrimentales, a base de productos químicos como Previcur y Derosal a razón de 2 g L de agua (60 g en 30 litros de agua) y Nutriplant Plus a una dosis de 1 ml L⁻¹ de agua (30 ml en 30 litros de agua).

5.2.2. Trasplante

Se realizó el 14 de septiembre de 2006 (26 días después de la siembra) en bolsas de polietileno negro con dimensiones 25 x 35 cm.. Las bolsas se llenaron con los sustratos arena y fibra de coco y se perforaron en la parte inferior para permitir el drenaje del exceso de agua.

Dos días antes de esta práctica se aplicaron tres riegos pesados al sustrato de fibra de coco para minimizar el contenido de sales que presenta y dos riegos ligeros a las bolsas con arena, manteniendo la humedad hasta el trasplante. Se abrieron las sepas con una estaca de madera de un diámetro de 5 cm. Las características de las plántulas trasplantadas eran, altura aproximada de 20 cm con un promedio de cuatro a cinco pares de hojas verdaderas, cepellón y apariencia sana (Figura 9 y 10). Esta labor se efectuó cuidando de que la raíz quedara vertical y el cuello de la plántula al nivel del sustrato. Una vez realizado el trasplante la planta se desarrolló bajo un sistema hidropónico de invernadero, los surcos fueron formados con hileras de bolsas, separadas entre si a 0.5 m de centro a centro de bolsa y pasillos de 1.8 m, colocando dos plantas por bolsa. El piso fue cubierto con "Ground Cover" para evitar el crecimiento de malezas.

Al momento del trasplante, las raíces se sumergieron en una solución de CAPTAN (Captan; 1.0 g L⁻¹) como medida preventiva para el ataque de hongos y bacterias.



Posteriormente al transplante se aplicó Previcur y Derosal para prevenir enfermedades ocasionadas por hongos. Tres días después se aplicó una solución de Confidor (Imidacloprid), 0.5 ml L^{-1} , para protegerlas de posibles daños ocasionados por mosquita blanca.



Figura 9. Transplante en fibra de coco.



Figura 10. Transplante en arena.



5.2.3. Características de los materiales vegetativos.

Se utilizaron dos cultivares de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento indeterminado: Loreto y SUN 7705

5.2.3.1. Loreto

Loreto es un tomate tipo saladette, de crecimiento indeterminado con pedúnculo único. Son plantas vigorosas y altas, con excelentes características de amarre y producción de fruto. Los frutos tienen piel resistente y de gran firmeza, manteniendo su tamaño en cosechas sucesivas, estable en forma y de un color rojo muy atractivo. Resistente a N, F-1,2, ASC, ToMV y V (Figura 11).



Figura 11. Variedad Loreto.

5.2.3.2. SUN 7705

Tomate tipo Saladette de crecimiento indeterminado, de producción intermedia a precoz. Fruto grande a extragrande (130 g -140 g), cuadrado, acorazonado, extra firme, rojo intenso. Se requiere plantar un a 25 cm entre plantas, en hilera sencilla y estacado. Es ideal para invernaderos y casa sombra. Tolerancias V, F – 1,2, N, Bspk, TMV (Figura 12).



Figura 12. Variedad SUN 7705

5.2.4. Solución nutritiva.

La formulación química de la solución nutritiva utilizada, se originó a partir de la solución descrita por Steiner (1961), que consiste en restar los aniones y cationes detectados con base al análisis de agua previamente realizado (Cuadro 5).

La preparación de la solución nutritiva se realizó de acuerdo a las recomendaciones de Sandoval (2003). Al momento de preparar la solución nutritiva se ajustó el pH del agua a 5.5 mediante la adición de ácido sulfúrico al 98% (66 mL/1 100 L agua), actividad que es indispensable para evitar precipitados y eliminar la mayor parte de bicarbonatos presentes. Se preparó la solución nutritiva por cantidades de 1 100 L de solución, al finalizar la preparación de la solución nutritiva se midió la conductividad eléctrica (C. E.) (Figura 8).

Cuadro 5. Valores del análisis químico* del agua utilizada para la solución nutritiva.

| Determinación | dSm ⁻¹ | | meq L ⁻¹ | | | | | | | |
|---------------|-------------------|------|---------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | pH | CE | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Na ⁺¹ | K ⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ¹⁻ | Cl ⁻¹ | SO ₄ ²⁻ |
| | 7.1 | 1.52 | 7.63 | 3.22 | 6.19 | 0.3 | 0.00 | 2.70 | 7.10 | 6.95 |

* Análisis químico del agua realizado por el Laboratorio físico de Suelos del Colegio de Postgraduados, Montecillo Edo. de México.



Los fertilizantes comerciales y reactivos utilizados en la preparación de la solución nutritiva se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Preparación de la solución nutritiva Steiner con indicaciones de cantidades de fertilizantes y reactivos a disolver en 1 100 L de agua.

| Producto | Peso molecular | Peso equivalente | Steiner (meq L ⁻¹) | Solución Steiner (g/1,100 L ⁻¹) |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Acidos | | | | |
| H ₂ SO ₄ | - | - | - | 66 mL |
| H ₃ PO ₄ , 85% densidad 1.7 | 98 | 32.7 | 1 | 24.88 mL |
| Fertilizantes | | | | |
| Ca (NO ₃) ₂ 4 H ₂ O (155%N, 19% Ca) | 236 | 118.08 | 9 | 1062.72 |
| K(NO ₃) | 101 | 101.11 | 3 | 303.33 |
| K ₂ SO ₄ (52 % K ₂ O) | 174 | 87.14 | 4 | 348.56 |
| MgSO ₄ 7 H ₂ O | 246.3 | 123.24 | 4 | 492.96 |

Los microelementos incluyendo el Fe, se adicionaron mediante el producto Microquel tomate y Microquel Fe de acuerdo a la metodología realizada en los invernaderos, tal como se indica en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Concentración de micronutrientes para soluciones nutritivas.

| Sal o reactivos | ppm | g /1,100 L ⁻¹ |
|-------------------------------------------|------|--------------------------|
| H ₃ B ₀₃ | 0.5 | 2.8 |
| Mn SO ₄ H ₂ O | 0.7 | 2.2 |
| Zn SO ₄ 7 H ₂ O | 0.09 | 0.4 |
| Cu SO ₄ 5 H ₂ O | 0.02 | 0.08 |
| Na Mo Q ₄ . 2 H ₂ Q | 0.04 | 0.1 |

** Estas cantidades se agregan directamente a la solución nutritiva final.



Cuadro 7. Composición química* de la solución nutritiva (meq L⁻¹) que se empleó en el experimento.

| Determinación | dSm ⁻¹ | | meq L ⁻¹ | | | | | | | |
|---------------|-------------------|------|---------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | pH | CE | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Na ⁺¹ | K ⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ¹⁻ | Cl ⁻¹ | SO ₄ ²⁻ |
| | 6.2 | 3.29 | 13.97 | 7.2 | 1.05 | 6.5 | 0.00 | 1.00 | 13.34 | 11.93 |

* Análisis químico del agua realizado por el Laboratorio físico de Suelos del Colegio de Postgraduados, Montecillo Edo. de México.

5.2.5. Riegos.

A partir de la primera semana se aplicó una solución nutritiva al 75%, posteriormente se incremento al 100%. En el primer mes se aplicaron dos riegos (10:00 a.m. y 15 p.m.) con duración de 5 minutos. Posteriormente se incrementaron a tres (10:00 a.m., 12:00 y 17:00 p.m.) con duración de siete minutos. A los 60 días después del trasplante la cantidad que se aplicaba era con un gasto de un litro por día y posteriormente dos litros de solución nutritiva alternando estos con riegos de agua simple, programados por un cabezal de riego marca Vent. La fertilización se reforzó vía foliar con quelatos (Poliquel) en dosis de 1.5 ml L⁻¹ más adherente (Inex).

5.2.6. Podas y tutoreo.

Las plantas se condujeron a un solo tallo (Figura 13), para esto se eliminaron los brotes axilares del tallo principal durante todo el ciclo de cultivo, ésta práctica se hizo manualmente y se inició a los 20 días después del trasplante (la eliminación de los brotes fue conforme iban apareciendo). Con el objetivo de guiar a la planta de tomate con un solo tallo y mantener el tallo de la planta de tomate en una posición erguida y lograr un mejor manejo sanitario se realizó el tutoreo, éste consiste en colocar en la parte superior de la nave, dos hileras de alambres sujetadas sobre la base de un marco metálico existente, mismos que sirvieron de soporte para afianzar los cordones de rafia amarrados sobre el tallo de la planta



(debajo de la primera hoja) , dándole dos a tres vueltas en espiral hacia arriba para fijarlo al alambre señalado a una altura aproximada de 3 m.



Figura 13. Sistema de conducción y poda de yemas axilares, para conducir a un solo tallo.

5.2.7. Polinización

Para favorecer la polinización y amarre de los frutos, por la mañana se polinizaron las plantas mediante bombas aspersoras generadoras de aire (para remover el polen de las flores) y también se movían diariamente las plantas golpeando los tutores manualmente (Figura 14).



Figura 14. Polinización a través de bomba aspersora



5.2.8. Plagas y enfermedades

Se hicieron aplicaciones preventivas contra enfermedades fungosas a base de Sulfocob-F (ingrediente activo: azufre elemental 50% más oxiclورو de cobre 7.46% más diluyente más adherente, ISHIHARA de México, S. A de C.V.) a una dosis de 2 ml L⁻¹ de agua.

Los cultivares presentaron síntomas de un mosaico, lo que indicó la presencia de virosis (afectando en un 20%), por lo que se procedió a eliminar las plantas afectadas. Así mismo hubo presencia de *Alternaria*, para ello se aplicó una muestra de Aliette 80 PM MR (ingrediente activo: fosetil-Al 80%, Rhone Poulenc, Agro, S. A. de C. V.) y Funcozeb 800 PH MR (ingrediente activo: Mancozeb, Rhone Poulenc, Agro, S. A. de C. V.) a razón de 3 g L⁻¹ de agua de cada producto. Así mismo hubo incidencia de mosquita blanca para su control se empleó la mezcla de Thiodan 25 C. E. MR (ingrediente activo: Endosulfán al 33.5% y Delta Metrina al 2.5%, Quimica Hoechst de México S.A. de C.V.) en dosis de 2 ml de producto comercial por litro de agua para el primero y 1 ml para el segundo.

También hubo incidencia de cenicilla (*Leveillula taurica*), para su control se aplicó CUPRAVIT MIX (oxiclورو de cobre + mancozeb) en dosis de 2 g L⁻¹; después de cinco días, se aplicó 1 g L⁻¹ de BAYLETON (Triadimefon).

5.2.9. Cosecha.

Se realizó manualmente y por racimo, (conforme maduraban los frutos) y al mismo tiempo se midieron diversas variables. El primer corte se llevó a cabo a los 78 ddt (8/12/2006) para todos los tratamientos (Figura 15). Los frutos se colectaron en el término de rayado (40% o más de su superficie cubierta por color rosa-rojo) hacia maduro (rojo 100%).



Figura 15. Cosecha del fruto, término de rayado (40% o más de su superficie cubierta por color rosa-rojo) hacia maduro (rojo 100%).

5.2.10. Unidad y diseño experimental

La unidad experimental consistió en 14 bolsas con 2 plantas cada una, dando un total de 28 plantas por unidad experimental. El tamaño de muestra fue de seis plantas por repetición, teniendo un total de siete repeticiones, con un total de 42 plantas muestreadas por tratamiento, se establecieron cuatro tratamientos dando un total de 168 plantas muestreadas. El diseño experimental fue completamente al azar con siete repeticiones (Figura 16).



Figura 16. Arreglo del diseño experimental.



5.2.11. Variables evaluadas

5.2.11.1 Variables morfológicas

5.2.11.1.1. Altura de la planta (AP). Se midió con un flexómetro, se consideró la longitud de tallo desde el nivel del sustrato hasta la parte superior de la planta. Se evaluó quincenalmente hasta el momento de la cosecha del quinto racimo.

5.2.11.1.2. Grosor de tallo (GT). Se tomó como punto de referencia para medir el grosor del tallo mediante un vernier el primer entrenudo de la planta que se ubica debajo de la primera inflorescencia.

5.2.11.2. Variables de rendimiento

5.2.11.2.1 Número de frutos por racimo. Para esta variable se sumaron todos los frutos de cada racimo en todos los tratamientos. Se evaluaron los primeros cinco racimos.

5.2.11.2.2 Frutos totales de los racimos 1 al 5. El número de frutos totales se cuantificó sumando los frutos del racimo 1, 2, 3, 4 y 5 (cinco racimos).

5.2.11.2.3 Número de racimos por planta. El número de racimos por planta se obtuvo con la sumatoria de los racimos totales que tuvo la planta hasta el momento final del experimento. Se evaluó en los primeros cinco racimos.

5.2.11.2.4 Rendimiento en peso por racimo. Para la cuantificación de esta variable se sumaron todos los pesos de los frutos obtenidos por racimo. Se evaluó en los primeros cinco racimos.

5.2.11.2.5 Peso total de frutos de los racimos 1 al 5. Esta variable se determinó mediante la sumatoria del peso de los cinco racimos de todos los tratamientos.



5.2.11.3. Variables de biomasa.

5.2.11.3.1. Peso seco de raíz (g). Para esta variable se cosecharon 4 plantas por tratamiento, las cuales fueron secadas primeramente a la intemperie y posteriormente en una estufa a 72 ° C por 12 horas, se obtuvo el peso seco total de raíz por planta y posteriormente el peso seco promedio de las raíces por tratamiento.

5.2.11.3.2. Peso seco de tallo (g). En las mismas 4 plantas y con el procedimiento anterior utilizado para raíz se obtuvo el peso seco total de los tallos por planta y posteriormente el peso seco promedio de los tallos por tratamiento.

5.2.11.3.3. Peso seco de hoja (g). En las mismas 4 plantas y con el procedimiento anterior utilizado para tallos se obtuvo el peso seco total de las hojas por planta y posteriormente el peso seco promedio de las hojas por tratamiento.

5.2.11.3.4. Peso seco de fruto (g). En las mismas 4 plantas y con el procedimiento anterior utilizado para hojas se obtuvo el peso seco total de los frutos por planta y posteriormente el peso seco promedio de los frutos por tratamiento.

5.2.11.3.5. Peso total de materia seca (g) Para obtener esta variable se realizó la sumatoria de los pesos secos de tallos, hojas, raíz y frutos

5.2.11.4. Calidad

Las pruebas de calidad de fruto se realizaron en el laboratorio de Alimentos del CIIDIR IPN Unidad Oaxaca, donde se analizaron las variables de calidad externa e interna. La calidad externa se midió a través del color del fruto, diámetro ecuatorial y longitud del fruto. La calidad interna se midió a través de acidez, pH, % de sólidos solubles totales expresados en °Brix y azúcares directos. Para las



variables de calidad se muestrearon frutos del racimo 1 (8/12/2006) y del racimo 5 (26/01/2007).

5.2.11.4.1. Calidad externa

5.2.11.4.1.1. Longitud del fruto, La longitud del fruto se determinó desde la zona del pedúnculo a la zona apical. La medición se realizó con un vernier.

5.2.11.4.1.2. Diámetro ecuatorial. El diámetro ecuatorial se determinó en la parte media del fruto. La medición se realizó con un vernier.

5.2.11.4.1.3. Color del fruto. El color depende de la aptitud para distinguir cambios de luz (eficacia), del observador y de las características de la iluminación y reflectancia espectral de la sustancia o producto problema. Puede considerarse bajo tres aspectos: matiz, brillo y saturación. Se ha empleado la medida del color por reflexión mediante la escala triestímulo de Hunter (L a b) (Little, 1975; Francis, 1980; y McGuire, 1992). Con el sistema de coordenadas L a b se define un espacio cartesiano en el que **L** corresponde a la claridad, mientras que **a** y **b** corresponden a la cromaticidad.

Entonces **a** define el componente rojo-verde; rojo para los valores positivos y verde para los valores negativos.

El parámetro **b** define el componente amarillo-azul: amarillo para los valores positivos y azul para los negativos.

PROCEDIMIENTO. El color fue determinado mediante un colorímetro marca Hunter-Lab. Se tomó cada tomate y se midieron tres puntos diferentes alrededor de la circunferencia del tomate. El mismo aparato nos dió las medias de las tres mediciones.



5.2.11.4.2 Calidad interna

5.2.11.4.2.1. pH. El potenciómetro mide con mayor exactitud el pH de una disolución, es un aparato electrónico, que consta de un electrodo que se introduce en la disolución de pH desconocida. Su funcionamiento se basa en que el electrodo contiene una disolución ácida encerrada en una membrana de vidrio especial que permite la migración de los iones H_3O^+ . Si la disolución desconocida tiene un pH diferente a la disolución dentro del electrodo, se establece una diferencia de potencial, la cual se registra en la escala de pH que presenta el equipo. El potenciómetro permite medir el pH con una precisión de 2 cifras decimales.

PROCEDIMIENTO: Los tomates se molieron e inmediatamente se midió tres veces el pH del jugo con un potenciómetro Conductronic, limpiando el electrodo entre cada medida con agua destilada. La muestra se guardó en bolsas y se congeló para los análisis posteriores.

5.2.11.4.2.2. Acidez titulable (AT). La determinación de la acidez de zumos comerciales y naturales se llevó a cabo mediante una valoración ácido-base; los resultados que se obtuvieron correspondieron a la suma de los ácidos minerales y orgánicos, aunque de manera general en el caso de frutas y hortalizas, se tratan de los ácidos cítrico, málico, oxálico y tartárico. La acidez se valoró con NaOH y se expresó en gramos de ácido cítrico /100 ml de zumo.

PROCEDIMIENTO: Se pesó 10 gr. de la muestra, se pasó a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. y se agregó 50 mL. de agua neutra, se le pusieron de 3 a 5 gotas de indicador azul de bromotimol y se tituló con NaOH 1 N.

Se observó el cambio de naranja a un color azul y se anotaron los mL gastados de NaOH.

5.2.11.4.2.3. Sólidos Solubles Totales (SST). La concentración en sólidos solubles de los jugos se expresó en grados Brix. Los grados Brix son una medida de



densidad. Un grado Brix es la densidad que tiene, a 20° C, una solución de sacarosa al 1 %, y a esta concentración corresponde también un determinado índice de refracción. Así, se dice que un jugo tiene una concentración de sólidos solubles disueltos de un grado Brix, cuando su índice de refracción es igual al de una solución de sacarosa al 1 % (p/v). Como los sólidos no son solamente sacarosa, sino que hay otros azúcares, ácidos y sales, un grado Brix no equivale a una concentración de sólidos disueltos de 1g/10mL, sino que es un índice comercial, aproximado, de esta concentración que se acepta convencionalmente como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa.

PROCEDIMIENTO: Se utilizó un refractómetro de marca Atago, el cual se calibró primero con agua destilada, (el índice de refracción del agua es de 1,3330 que corresponde al 0% de sólidos solubles), luego se colocó una gota del jugo de tomate, y se tomó la lectura, esta determinación se realizó por triplicado. El equipo se lavó con agua destilada entre cada muestra.

5.2.11.4.2.4. Azúcares reductores directos (ARD). Se determinó por el Método Lane-Eynon que es el adecuado como análisis de rutina, por ser simple y rápido, además es recomendado por el AOAC, para la determinación de azucares en alimentos. Esta basado en que los monosacáridos y la mayoría de los disacáridos poseen poder reductor, que deben al grupo carbonilo que tienen en su molécula. Puede ponerse de manifiesto por medio de una reacción redox entre ellos y el sulfato de cobre (II), que se encuentra en forma de hidróxido cúprico, formándose la sal correspondiente Na_2SO_4 . Cuando el $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (de color azul) se calienta en presencia de un compuesto reductor se forma óxido cuproso (de color rojo ladrillo).

PROCEDIMIENTO: Se pesaron 10 gr de muestra, se agregó 50 ml de agua destilada mezclando perfectamente y se aforó con agua destilada, se agitó y se filtró.



En un matraz de 250 mL Erlenmeyer se agregaron 5 mL de la solución de Fehling A y 5 mL de la solución de Fehling B con 50 ml de agua destilada y perlas de ebullición.

El filtrado se colocó en una bureta y se le agregó al matraz 10 mL y se puso a ebullición, cambiando de color azul a rojizo, cuando pasó esto se le agregaron 3 o 4 gotas de azul de metileno y se continuó titulando hasta que el color azul desapareció y la solución se tornó transparente con un precipitado rojo. Se anotó los mL gastados de la muestra problema

5.2.12 Análisis de sustratos

El polvo de coco es un material que ha llamado mucho la atención a nivel mundial entre otras cosas debido a su extraordinaria capacidad de retención de agua, alto contenido de agua fácilmente disponible, estabilidad como sustrato orgánico y bajo costo de adquisición.

Debido a que la salinidad y heterogeneidad son dos de los principales problemas de polvo coco, atribuidos al proceso de desfibrado y a su origen, así como también la baja cantidad de materia orgánica y nutrientes de la arena de río, se realizaron análisis de los sustratos fibra de coco y arena antes de usarse y después del fin del ciclo del cultivo para conocer su comportamiento. Se determinaron las principales características físicas y químicas.

5.2.13. Análisis estadístico

5.2.13.1. Análisis de varianza y comparación de medias

Los datos obtenidos se sistematizaron y se realizó un análisis de varianza con la ayuda del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS).



Debido a que el análisis de varianza solo indica si el efecto de alguno de los tratamientos es diferente a los demás, es necesario realizar una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), esto con la finalidad de conocer cual de los tratamientos fue el de mejor respuesta.



RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Crecimiento

6.1.1 Altura de planta

En la Figura 17 se observa la dinámica de crecimiento de la planta durante su cultivo. Es notable la diferencia desde la 5^a hasta la 22^a semana entre las plantas cultivadas en el sustrato de fibra de coco con relación a a las cultivadas en arena. Los analisis de varianza para la variable altura de planta mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, siendo contrastante esa diferencia entre el T4 con el T1.

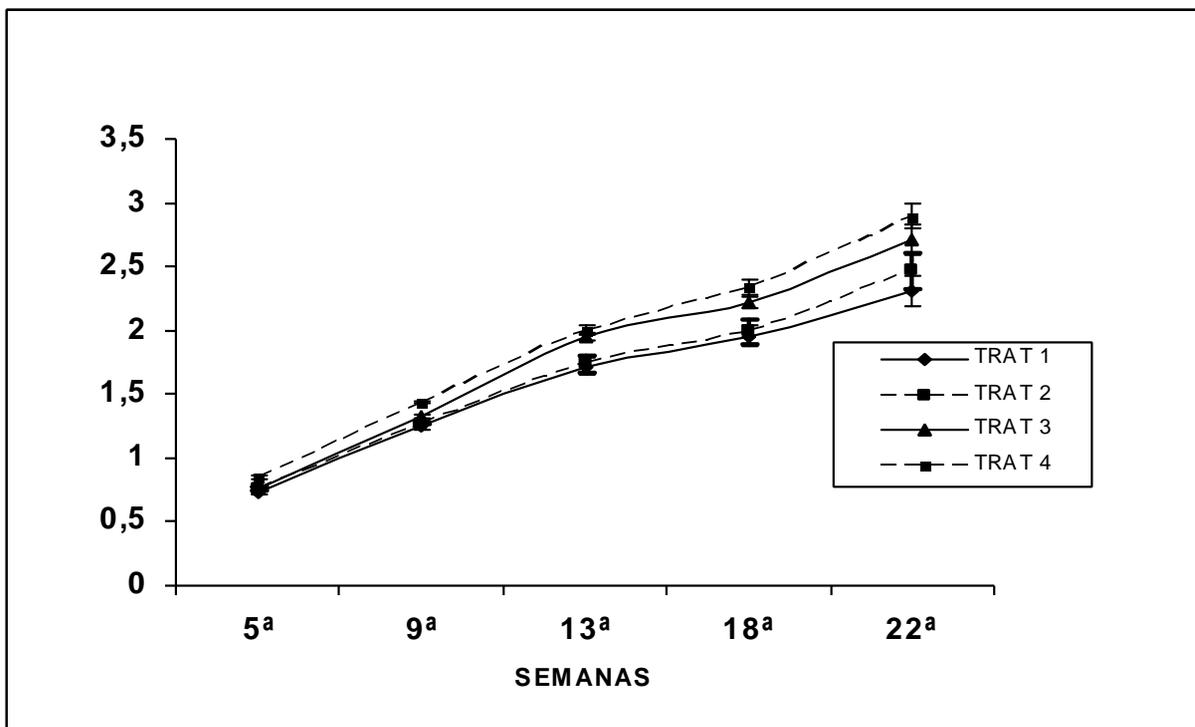


Figura 17. Dinámica de crecimiento de la planta de tomate a partir de la 5^a hasta la 22^a semana.



Para el T3 (Fibra de coco + Loreto) y T4 (Fibra de coco + SUN 7705) la curva de crecimiento fue más del tipo sigmoideal, dándose ese punto de inflexión en la 13^a semana, lo cual es menos apreciable para T1 (Arena + Loreto) y T2 (Arena + SUN 7705). Ese cambio notorio en la dinámica de crecimiento puede ser debida a que entre la 13^a y 18^a semana se tenían formados los cinco racimos y además estaban frutificando los racimos 6, 7 y 8; es decir, hubo una mayor demanda de asimilados para la formación de frutos. Khansagar (1987) menciona que cuando los primeros tres racimos en frutificación están creciendo rápidamente hay gran demanda y esta es suministrada por las hojas medias. En la frutificación gran parte de la materia seca producida por una planta se acumula en los frutos, durante el tiempo en que los primeros cinco racimos están creciendo rápidamente (Hurd *et al.*, 1979). Asimismo, la capacidad de una inflorescencia para obtener asimilados se incrementa marcadamente de la floración a la frutificación, una vez que los frutos empiezan a crecer el rango de crecimiento vegetativo disminuye (Salter, 1958) e inclusive una carga abundante de frutos puede llegar a ocasionar la muerte de la raíz (Hurd y Price, 1997). El crecimiento neto de la raíz cesa cuatro semanas después de la primera antesis y el crecimiento de la hoja es reducido cuando el rango de crecimiento de fruto alcanza su máximo crecimiento (Hurd *et al.*, 1979).

A la 5^a semana ddt la altura de planta para el T4 fue de 0.85 m mientras que las plantas del T1 fue de 0.73 m. Al llegar la 22^a semana esa diferencia fue mayor. Las plantas del T4 alcanzaron una altura de (2.90) m en relación al T1 con una altura promedio de 2.30 m, es decir hubo una diferencia entre tratamientos del 26%.

Santos (2003; citado por Apolinar 2006), menciona que a la 12^a semana la altura máxima fue de 2.48 m. con el tipo de tomate Roma cv. Llanero de crecimiento indeterminado, comparado este dato con la altura obtenida por el T4 este fue menor (2.00 m.). Sin embargo ese dato es más cercano al obtenido por Gaona y Juárez (2005), cuando ellos emplearon materiales tipo bola, (la máxima



altura fue de 2.21 m), variedades: GC41598 y Caimán. La altura mayor obtenida con el T4 en esta investigación es similar a la encontrada por Gaona y Juárez (2005) para los materiales tipo saladette. Para el caso de materiales tipo saladette la máxima altura fue de 2.34 m obtenida por la variedad Pitenza y es la altura final tomada al séptimo racimo. Estos valores son menores a los obtenidos en esta investigación, ya que se obtuvieron valores de 2.89 m como altura final tomada al décimo racimo (al final del cultivo).

Por otra parte, la porosidad de los sustratos basados en componentes orgánicos tienen entre 65 y 75 % de espacio poroso (Fonteno, 1996). Abad *et al.*, (1992; citados por Ansorena 1994) consideran que el óptimo de espacio poroso debe ser mayor al 80% en volumen. La fibra de coco utilizada en este estudio presentó una porosidad total de 93% en comparación al de la arena que fue del 49%, lo cual representa mayor cantidad de oxígeno en la rizósfera de la raíz. Esto probablemente favoreció el crecimiento de las plantas para ambas variedades cultivadas en fibra de coco, en cambio donde se utilizó arena como sustrato el estrés provocado por la menor retención de agua y menor proporción de O₂ pudo haber ocasionado la reducción del porte de la planta y posteriormente el rendimiento como lo menciona Delfine *et al.* (2000) y Azcón - Bieto y Talón (2000).

Una oxigenación adecuada, mejora el metabolismo y el equilibrio hormonal en las plantas, incrementa la tasa fotosintética y la absorción de nutrientes, lo que da como resultado, plantas más productivas y más resistentes (Pinto *et al.*, 2000).

6.1.2 Grosor de tallo

El tallo es el soporte de la planta y el sistema distribuidor principal de agua y nutrientes, de ahí que es importante que se encuentre en las mejores condiciones posibles. El diámetro del tallo influye de manera significativa en el rendimiento, ya que como lo mencionaron Stevenson y Merters (1980), Esau



(1976) y Adams (1982) el tallo es un órgano de sostén, traslocación de agua, nutrimentos y asimilados, de arquitectura y de almacén, funciones de gran importancia en la productividad de los cultivos. Leperen *et al.* (2003), menciona que el estrés hídrico causado por una mala distribución del xilema provoca la abscisión de frutos, esto refuerza la importancia de tener un tallo en buenas condiciones y de buen diámetro.

De acuerdo con el análisis de varianza, en ambas variedades, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (desde la 5^a semana hasta la 12^a) semana para la variable grosor de tallo (Figura 18). Al igual que la variable altura de planta la diferencia fue más significativa entre T1 y T4 que entre T2 y T3. En la 5^a semana las plantas del T4 presentaron mayor grosor de tallo (1.28 m) mientras que en el T1 fue de 0.89 m. Para la 22^a semana esa diferencia fue mayor. En T4 el grosor del tallo fue de 2.27 cm. mientras que en T1 fue de 1.65 cm. Estos valores (2.27 y 1.65 cm.) están por debajo de los reportados en la literatura, ya que Rodríguez *et al.* (1984), señala que el diámetro del tallo puede llegar a los 2.5 cm.

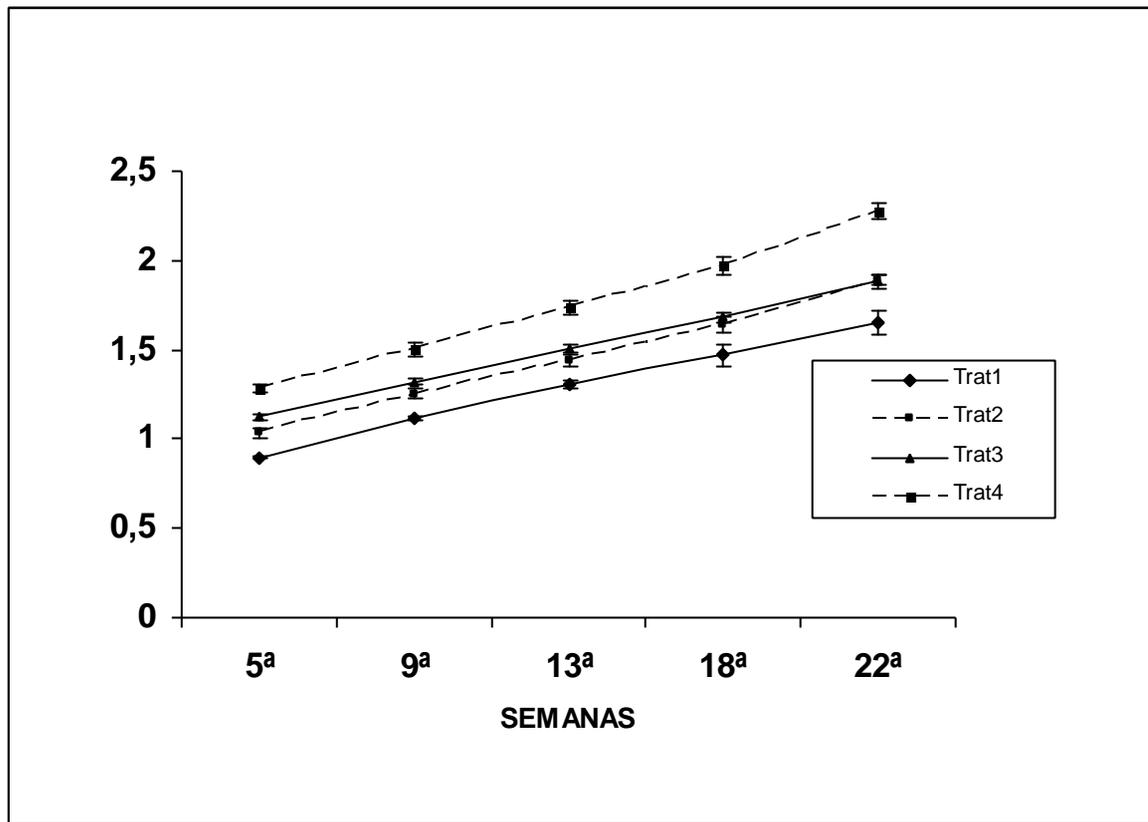


Figura 18. Efecto de los tratamientos en el grosor del tallo

A mayor diámetro de tallo, incrementa el número de frutos y en consecuencia el rendimiento, como lo sustenta Moorby (1981), al mencionar que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, así como una mayor área de xilema posibilita un mayor transporte de agua y nutrimentos hacia los órganos reproductivos.

Gaona y Juárez, 2005 señalan valores de 1.49 cm para la variedad Badro en tomate tipo bola y en materiales tipo saladette la variedad Pitenza y variedad 180 con 1.39 m. ambas, valores menores a los encontrados en este trabajo (1.65 cm valor menor y 2.27 como máximo valor).

Sin embargo, el área total de tallo y sus diferentes tejidos pueden ser afectados por factores ambientales y de manejo, así, temperaturas elevadas (30 °C)



propician el crecimiento de tallos delgados (Went, 1956; citado por Folquer, 1976) y con mayor proporción de tejido parenquimático (Chamarro, 1995 y Picken *et al.*, 1986). Asimismo, luminosidades bajas dan lugar a tallos delgados y débiles con mayor proporción de tejido parenquimático (Chamarro, 1995 y Kinet, 1977).

Además, una mayor área de parénquima, puede implicar mayor reserva de asimilados, lo que en condiciones restrictivas, por algún tipo de estrés como es alta densidad o área foliar excesiva (sombreamiento), puede conducir a que estas reservas sean parcialmente removilizadas a los frutos en crecimiento (Moorby, 1981).

Sánchez (1997) reportó que áreas altas de floema propician mayores tasas de traslocación de asimilados hacia los frutos por presentar menor resistencia al flujo, facilitando así el crecimiento.

Respecto al xilema Picken *et al.* (1986), reportó que las condiciones de crecimiento, influyen sobre su comportamiento, así en tallos delgados éste es más desarrollado.

Otro factor que puede modificar las variables mencionadas es la densidad de plantación, teniéndose que a mayor densidad, menor diámetro de tallo, reflejándose también en las áreas de los diferentes tejidos (Sánchez, 1997).

6.2 Rendimiento

6.2.1. Número de frutos por racimo

En el Cuadro 8 se aprecia que en la fase inicial de producción de la planta existen diferencias significativas entre tratamientos para el número de frutos por racimo, posteriormente para los subsecuentes racimos no hubo diferencias para el número de frutos en cada uno de ellos.



Cuadro 8. Efecto de los sustratos sobre el número de frutos por racimo

| Tratamiento | No. de Racimo | | | | |
|-------------|---------------|--------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| T1 | 7.1 b | 7.2 b | 7.2 a | 8.3 a | 9.6 a |
| T2 | 6.6 b | 7.4 ab | 8.0 a | 8.8 a | 9.0 a |
| T3 | 7.9 a | 8.6 a | 8.8 a | 8.8 a | 9.6 a |
| T4 | 8.0 a | 7.9 ab | 8.0 a | 8.3 a | 9.1 a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P < 0.05); T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705

6.2.2 Número de frutos totales

Para el número de frutos totales por planta el T3 fue mayor (44 frutos por planta), seguido del T4, T2 y por último el T1. (Figura 19).

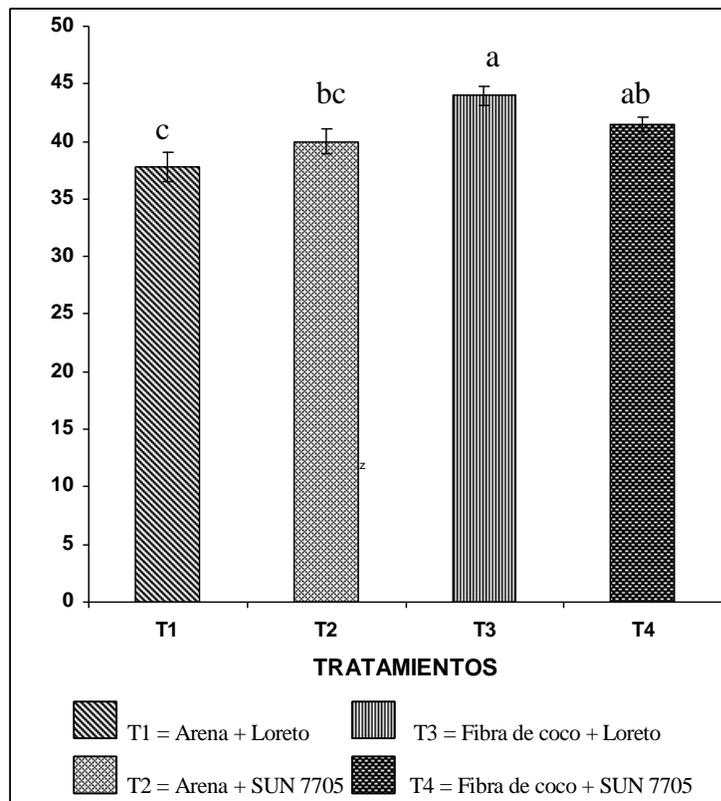


Figura 19. Número de frutos totales



El T3 presentó la mayor cantidad de frutos (44) pero su rendimiento total de frutos no fue el mejor (4.8 kg) ya que lo superó el T4 (5.8 kg), lo cual puede atribuirse a la dominancia fenotípica para producir mayor número de frutos con menor peso (Sión, 1979; citado por Antonio y Solís). Aunado a lo anterior, López *et al.* (1976; citado por Ponce 1995), señalaron que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia (lo cual está estrechamente relacionado con el peso medio de los frutos), siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta.

Escalante (1989), dice que a mayor tamaño de fruto se tiene menor número de frutos. Esto se corrobora por las características de cada cultivar ya que los fotosintatos que asimila la planta en algunos casos aumenta el número de frutos y en otros aumenta el tamaño (Marrero, 1986). Sion (1979; citado por Antonio y Solís 1999), demostró que al aumentar el peso del fruto se redujo el número de ellos por planta existiendo una correlación negativa. Por lo tanto, para alcanzar mayores calibres es fundamental la poda de frutos y esta se realiza cuando el fruto alcanza el tamaño de un garbanzo. Al mismo tiempo se aprovecha para eliminar frutos deformes y conseguir mayor uniformidad de ellos. Cabe aclarar que el tamaño de fruto no depende únicamente del número, debido a que cuando hay temperaturas altas (mayores de 38 ° C) puede ocurrir una mala o nula fecundación y por lo tanto los que tienen una mala fecundación no tienen una gran cantidad de semillas, en consecuencia se obtienen frutos pequeños y mal formados. Debido a que el polen muere principalmente por deshidratación al haber alta temperatura y baja humedad relativa (Pérez y Castro, 1999). Por otra parte el cultivar Loreto presentó mayor número de frutos debido a que genotípicamente es una variedad de óptima cobertura de fruto y un excelente amarre y tamaño uniforme.



6.2.3 Número de racimos por planta

En lo que respecta a número de racimos por planta hasta 154 días después del trasplante (22 semanas) y que corresponde al final de la cosecha de los racimos 7 y 8. Cabe hacer mención que se continuó cuantificando el número de racimos por planta hasta la 22^a semana. Sin embargo, para las variables de rendimiento y producción se evaluó hasta el racimo 5. Ambas variedades cultivadas en fibra de coco fueron las que obtuvieron más racimos de frutos por planta: SUN 7705 con 12 racimos y Loreto con 11 racimos, entre ambos tratamientos no hubo diferencia significativa; sin embargo, las diferencias si fueron significativas entre tratamientos cuando el sustrato empleado fue arena (Figura 20).

El comportamiento que presentan los cultivares en el número de racimos posiblemente influyó en la precocidad de estos en la cosecha. Los primeros racimos florales (inflorescencias) aparecieron a los 30 días después del trasplante y correspondieron al T4 seguidos por los T3, T2 y T1; esta tendencia se mantuvo hasta los 69 días después del trasplante cuando los cuatro tratamientos alcanzaron la madurez del primer racimo, siendo la variedad SUN 7705 cultivada en fibra de coco la primera en madurar.

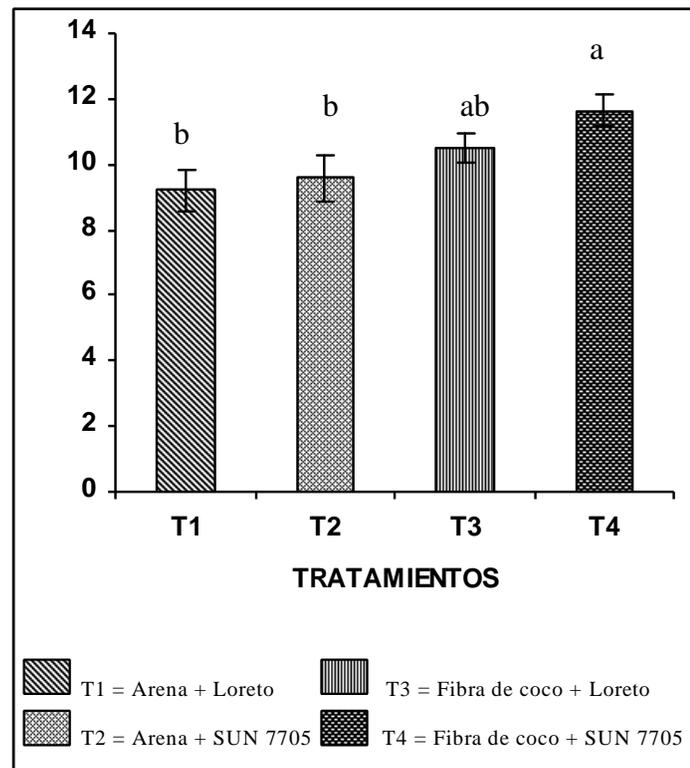


Figura 20. Número de racimos por planta

Después de que aparece el primer racimo se establece una competencia por los fotoasimilados en la planta, ésta es entre racimos, ya que aparece un racimo nuevo cada seis a siete días (Hurd *et al.*, 1979). A partir de los 69 días después del trasplante los cuatro tratamientos incrementaron el número de racimos hasta alcanzar 9 racimos y al término del experimento el T4 y T3 registraron 12 y 11 racimos florales respectivamente.

En relación al número de racimos coincide con el tratamiento 4 que registró el mayor valor del peso total (Figura 20).



6.2.4 Peso de los frutos de los racimos 1 al 5

Los datos analizados con respecto a peso de los frutos se obtuvieron considerando el peso de los primeros cinco racimos. En relación al peso de los frutos en el racimo 1 se presentaron diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos. El tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento fue el T4 (con 1.19 kg racimo⁻¹) seguido de T3 (con 0.98 kg racimo⁻¹), siendo los T1 y T2 los que registran los valores menores con 0.79 y 0.75 kg racimo⁻¹ respectivamente.

Para el racimo 2, el T4 presenta el valor más alto con 1.11 kg racimo⁻¹ y con valores muy semejantes con T3 y T2 con 0.96 y 0.97 kg racimo⁻¹ respectivamente. El T1 es el que presenta diferencias estadísticas significativas en relación al T4 con un registro de 0.83 kg racimo⁻¹.

Los datos obtenidos para el racimo 3 presentan diferencias estadísticas significativas entre el T4, T2 y T1 con valores de 1.20, 0.98 y 0.76 kg racimo⁻¹ respectivamente.

Los datos registrados para el racimo 4 presentan la misma tendencia del racimo 3 con valores de 1.20, 0.98 y 0.74 kg racimo⁻¹ respectivamente para los T4, T2 y T1.

En el racimo 5 se presentan diferencias estadísticamente significativas obteniendo el mayor valor el T4 registrando un valor de 1.11 kg racimo⁻¹ seguido de valores semejantes del T2 y T3 con 0.94 y 0.93 kg racimo⁻¹ respectivamente obteniendo el T1 el menor valor con 0.65 kg racimo⁻¹ (Cuadro 9).



6.2.5 Peso total de frutos

En la prueba de comparación de medias para peso total de frutos, se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, destacando el T4 con 5.83 kg planta⁻¹, seguido por los tratamientos T3 y T2, con valores de 4.86 y 4.65 kg planta⁻¹ respectivamente, y el que tuvo menor rendimiento lo registró el T1 con 3.78 kg planta⁻¹ (Figura 21).

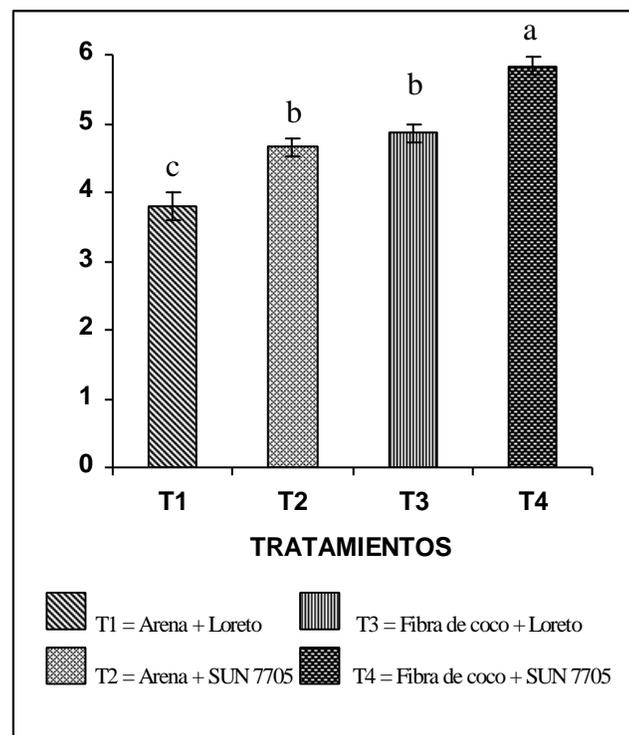


Figura 21. Peso total de frutos

Bernabé y Solís, (1999) reportan que el mayor rendimiento obtenido al evaluar 21 genotipos de jitomate lo registró el genotipo PS 388164 de 4.26 kg planta⁻¹ y Peto 76 obtuvo el menor rendimiento con 2.02 kg planta⁻¹; y otros ocho genotipos permanecieron en un rango de 2.18 a 3.23 kg planta⁻¹. (PS 388164 es de crecimiento indeterminado y fue manejado a seis racimos y el Peto 76 es de crecimiento determinado y fue manejado a cuatro racimos).



De la misma manera Santiago-J (1998) al evaluar 12 genotipos de jitomate en invernadero obtuvo un rendimiento de 5.42 kg planta⁻¹, mismos que se encuentran por abajo del rendimiento obtenido por el genotipo SUN 7705 que fue de 5.83 Kg planta⁻¹ (Cuadro 9).

Cuadro 9. Peso de los frutos del racimo 1 al 5 y peso total

| Tratamiento | No. de Racimo | | | | | | | | | | Peso total | |
|-------------|-------------------------|---|------|----|------|----|------|----|------|---|-------------------------|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | | |
| | Kg racimo ⁻¹ | | | | | | | | | | Kg planta ⁻¹ | |
| T1 | 0.79 | c | 0.83 | b | 0.76 | c | 0.74 | c | 0.65 | b | 3.78 | c |
| T2 | 0.75 | c | 0.97 | ab | 0.99 | b | 0.98 | b | 0.94 | a | 4.65 | b |
| T3 | 0.98 | b | 0.96 | ab | 1.04 | ab | 0.93 | bc | 0.93 | a | 4.86 | b |
| T4 | 1.19 | a | 1.11 | a | 1.20 | a | 1.20 | a | 1.11 | a | 5.83 | a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705

En relación con la densidad de población, la mayoría de las publicaciones sobre tomate en invernadero recomiendan 3 a 4 pies² por planta, lo cual equivale a sembrar alrededor de 35500 y 27800 plantas ha⁻¹. Hochmuth (1995) menciona como una densidad óptima una planta en 3.5 pies²; sin embargo, Resh (1992) hace referencia a densidades equivalentes a 46000 plantas ha⁻¹ en California y Arizona con muy buenos resultados.

Para fines de relacionar el rendimiento obtenido en los cinco racimos de este experimento y extrapolarlos a ton ha⁻¹ se presenta en el Cuadro 10 los cálculos para densidades de 27800, 35500 y 46000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 10. Producción total de fruto de tomate ton · ha⁻¹.

| Tratamiento | Densidad (plantas ha ⁻¹) | | | | | |
|-------------|--------------------------------------|-------|-------|---|-------|---|
| | 27800 | 35500 | 46000 | | | |
| | (ton ha ⁻¹) | | | | | |
| T1 | 105.2 | c | 134.3 | c | 174.1 | c |
| T2 | 129.5 | b | 165.3 | b | 214.3 | b |
| T3 | 135.1 | b | 172.6 | b | 223.6 | b |
| T4 | 162.1 | a | 207.0 | a | 268.3 | a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705



El análisis del rendimiento de un cultivar implica el estudio de sus principales componentes, que en el caso de jitomate están dados fundamentalmente por el número y el peso medio de frutos (Wereing y Patrick, 1975).

Fatula (1972; citado por Ponce, 1995) mencionó que el número de frutos por planta se asocia a las partes morfológicas de éstas, así, el número depende en gran medida del tipo de inflorescencias que posean los cultivares, ya sean simples o compuestas (Rodríguez *et al.*, 1997). Esperándose que racimos compuestos posean un mayor número de flores y consecuentemente un mayor número de frutos; sin embargo esto está en función del amarre de los frutos. Además el número de frutos involucra procesos fisiológicos como la relación fuente demanda (Wereing y Patrick, 1975), probablemente esto es lo que sucedió en esta investigación con el cultivar Loreto cuya característica genética es la producción de un mayor número de frutos.

La influencia del número de frutos con relación al rendimiento de los cultivares evaluados, fue diferente, así el T3 presentó la mayor cantidad de frutos (43.9) pero no el mayor rendimiento (4.86 kg planta⁻¹), no así para el caso del T4 que registró menor número de frutos (41.4); sin embargo, ocupó el primer lugar en rendimiento (5.83 kg planta⁻¹), apreciándose que el rendimiento fue compensado por el tamaño de frutos. Esto se fundamenta con lo mencionado por Flores (1980; citado por Cancino, 1990), quien encontró que el tamaño de fruto (estrechamente relacionado con el peso del fruto) depende de tres a cinco pares de genes, aspecto que concuerda con lo señalado por Ascrofl *et al.* (1993), quienes señalaron que el tamaño del fruto está controlado por factores genéticos, además de factores fisiológicos; tales como maduración, despunte y defoliación. Asimismo, López *et al.* (1976; citados por Ponce, 1995) mencionaron que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo, tiende a disminuir el tamaño del



fruto por inflorescencia, siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta.

6.3 Biomasa

6.3.1 Acumulación de materia seca

En el Cuadro 11 se presenta el comportamiento de la acumulación de materia seca de las plantas. La materia seca en los diferentes órganos de la planta de tomate fue estadísticamente diferente. El T4 presentó en raíz, tallo, hojas y frutos siempre el valor más alto, con 67.80, 202.0, 256.9 y 170.5 g respectivamente seguidos por T3, T2 y T1.

Cuadro 11. Acumulación de materia seca entre los órganos de la planta de tomate por efecto del sustrato y la variedad

| Tratamiento | Materia seca | | | | | Materia seca total | TAC |
|-------------|-------------------|----------|----------|----------|---------|--------------------|-----|
| | Raíz | Tallos | Hojas | Fruto | | | |
| | g m ⁻² | | | | | | |
| T1 | 10.3 b | 135.9 b | 142.0 b | 93.9 b | 382.0 b | 2.4 | |
| T2 | 11.2 b | 134.3 b | 150.3 ab | 92.5 b | 388.4 b | 2.5 | |
| T3 | 35.0 ab | 159.5 ab | 172.9 ab | 130.1 ab | 497.6 b | 3.2 | |
| T4 | 67.8 a | 202.0 a | 256.9 a | 170.5 a | 697.2 a | 4.5 | |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P 0.05).

T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705

TAC= Tasa Absoluta de crecimiento

6.3.1.1 Raíz

Para la materia seca de raíz, si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, destaca el T4 seguido del T3 con valores de 67.8 y 35.0 g respectivamente. Se explica el mayor valor en sustrato fibra de coco (T4 y T3) por ser un sustrato con adecuada porosidad y densidad aparente, características que no permiten la compactación siendo un material muy penetrable a diferencia de la



arena que presenta capas muy compactadas por efecto de las sales de la solución nutritiva y por tener partículas muy variadas y de diferente tamaño, ocasionando con esto mayor dificultad en la penetración del sistema radicular y por consecuencia menor desarrollo de raíz, como lo señalan Nash y Pokorny (1990; citados por Muratalla, 2003), quienes encontraron excesiva compactación en dos componentes del sustrato cuando se utilizaron partículas de tamaño diferente. La compactación puede reducirse si se utilizan partículas de tamaño similar en los componentes del sustrato. Con lo anterior se comprueba que para el mejor desarrollo, la raíz debe contar con un determinado nivel de O₂ en el medio y espacio suficiente, para que los tejidos desarrollen tasas respiratorias adecuadas y superficie de contacto amplias que permitan la absorción balanceada de los nutrimentos (Azcon – Bieto y Talón, 2000).

6.3.1.2 Tallo

6.3.1.2 Tallo

En relación a la materia seca del tallo se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, obteniendo el mayor valor el T4 y el T3 con 202.0 y 159.5 g respectivamente. Estos valores son menores a los encontrados por Godoy (2007) que reporta valores para plantas de tomate injertadas de 446 g m⁻² y sin injertar de 403 g m⁻². El mismo autor reporta que el efecto de tres niveles de suministro nutrimental (33, 66 y 100% de solución nutritiva) se presentaron diferencias estadísticas significativas en relación al peso de materia seca del tallo con 400, 419 y 453 g m⁻² respectivamente.

6.3.1.3 Hoja

En esta variable nuevamente destacan los T4 y T3 (256.9 y 172.9 g m⁻²) y el menor valor el T1 (142.0 g m⁻²). Las diferencias estadísticas pueden ser atribuidas a las características físicas del sustrato utilizado en el experimento, debido a que



las dos variedades utilizadas desde los 30 días después del trasplante mostraron mejor crecimiento en comparación a las establecidas en arena.

Sin embargo estos valores son menores a los encontrados por Godoy (2007) quien señala valores para hojas en plantas de tomate injertadas de 1036 g m^{-2} y sin injertar de 922 g m^{-2} . El mismo autor reporta que el efecto de tres niveles de suministro nutrimental (33, 66 y 100% de solución nutritiva) no presentan diferencias estadísticas significativas en relación al peso de materia seca de las hojas con 966, 959 y 1011 g m^{-2} respectivamente.

6.3.1.4 Fruto

Al obtener la biomasa seca de los frutos fue evidente que el T4 fue el que obtuvo nuevamente el mayor resultado con 170.5 g m^{-2} por lo que si presenta diferencias significativas con los demás tratamientos (Cuadro 11).

Al respecto Campos (2007) reporta para una biomasa seca de fruto en cuatro tratamientos (Testigo, SPR 90-30, SPR 70-30 y SPR 50-30) valores de 153.7, 114.2, 110.7 y 114.6 g m^{-2} respectivamente, estos valores son menores a los obtenidos en este estudio. Sin embargo quedan dentro de los valores 99 a 126.5 g m^{-2} como peso de materia seca de frutos encontrados por Villegas (2004) en la evaluación de soluciones nutritivas de tomate en hidroponía.

Davies *et al.*, (2000) demostró que el déficit de agua en el suelo puede limitar la expansión del fruto en la ausencia de cambios en el estado hídrico de la planta. Es probable que los frutos de diferentes especies puedan responder a las señales químicas para controlar el crecimiento en relación a las perturbaciones de la raíz. Sin embargo, el crecimiento del fruto es usualmente reducido por el estrés en menor proporción que el crecimiento vegetativo, Además, puede argumentarse que debido a que los frutos también pierden agua por transpiración (Hetherington *et al.*, 1998), pero no fotosintetizan, un decremento en el tamaño del fruto podría



umentar la eficiencia en el uso del agua del fruto. Se ha acumulando evidencia acerca de señales químicas que pueden influir en dicho parámetro y que son similares a aquellas que controlan el crecimiento foliar. Mingo *et al.*, (2003) han demostrado que el fruto de tomate de plantas expuestas al suelo seco durante el secado parcial de la raíz (donde el estado hídrico del vástago se mantiene sin cambio) exhibe reducciones en la tasa de crecimiento del fruto. Estos datos proveen evidencia circunstancial que sugiere que las señales químicas, entendidas como un cambio en el pH, tienen un papel clave en la regulación de la expansión celular del fruto durante un déficit hídrico y pueden libremente pasar del vástago hacia el fruto (Wilkinson, 2004). Sin embargo, se desconoce cómo el pH afecta el crecimiento del fruto en la misma forma que el crecimiento foliar. Es posible sugerir que el aumento del pH de las hojas y frutos redistribuye y direcciona el ABA entrante hacia los sitios activos de restricción del crecimiento en el fruto (Mingo *et al.*, 2003).

6.3.1.5 Materia seca total

Los datos reportados para esta variable presentaron diferencias estadísticas significativas, destacando nuevamente el T4 con 697.28 g m^{-1} . Al respecto Tanaka y Kyuma, (1992) reportaron producciones de 134 y 280 g m^{-2} para los genotipos G2 y G3, valores menores a los reportados en este experimento.

Santos y Vargas, (2004) evaluaron durante la semana 6, 10, 14 y 18 el peso seco de las plantas, el peso seco de hojas, frutos, de tallo y peso seco total por planta, sin encontrar diferencias significativas para ninguna de las fechas evaluadas

6.3.2 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

Se obtuvieron resultados que indican si hubo o no diferencias estadísticas significativas a pesar de no tener distintos niveles de humedad (intervalos y



láminas de riego) en los diversos órganos muestreados de la planta (raíz, tallos, hojas, frutos y materia seca total). El T4 acorde con su hábito de crecimiento indeterminado, mostró su mayor capacidad para acumular materia seca en raíz, tallo, hojas y frutos.

La TAC se midió a los 154 días después del trasplante en los cuatro tratamientos. La TAC como un índice de la evaluación del crecimiento de los tratamientos estudiados, alcanzó valores de $4.53 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para T4, seguidos por T3, T2 y T1 (Cuadro 11).

6.3.3 Distribución de materia seca

El sustrato modificó significativamente la distribución de materia seca en la planta. De manera general el T4 es el que registró el mayor rendimiento en todos los órganos muestreados de la planta (Cuadro 12). Estos resultados contrastan con lo reportado por Tapia y Gutiérrez, (1997) quienes mencionan que en plantas de tomate cv. Michigan de crecimiento indeterminado, las hojas, tallos y raíces contribuyeron en la misma proporción al peso de materia seca total de la planta.

Cuadro 12. Distribución de materia seca entre los órganos de la planta de tomate por efecto del sustrato y la variedad

| Tratamiento | % de Materia seca | | | |
|-------------|-------------------|---------|---------|---------|
| | Raíz | Tallos | Hojas | Fruto |
| T1 | 2.7 b | 35.5 b | 37.1 b | 24.5 b |
| T2 | 2.8 b | 34.5 b | 38.7 ab | 23.8 b |
| T3 | 7.0 ab | 32.0 ab | 34.7 ab | 26.1 ab |
| T4 | 9.7 a | 29.9 a | 36.8 a | 24.4 a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P 0.05);.

T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705



6.4 Calidad

No se encontraron diferencias significativas en calidad interna para pH, °Brix, azúcares directos y acidez titulable (Cuadro 13), lo cual contrasta con lo obtenido por Lara (1998), quien reporta que con la modificación de la solución Steiner para adecuarla a las necesidades nutrimentales de la etapa de desarrollo de fruto de tomate cv. Humalla, se mejoró la calidad de los frutos e incrementó el contenido total de los sólidos solubles y la acidez titulable. Probablemente en esta investigación no hubo diferencias, debido a que el manejo del cultivo fue estándar para los cuatro tratamientos, la misma solución nutritiva sin aplicación de fertilizantes foliares complementarios y el mismo régimen de riego empleado. En otros estudios se ha encontrado que el alto régimen de riego reduce la calidad del fruto debido a un alto contenido de agua (reducción en azúcares solubles, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales y compuestos volátiles) y conducen al agrietamiento del fruto (Abbott *et al.*, 1985; Abboot *et al.*, 1986; McAvoy, 1994: McAvoy, 1995: Balibrea *et al.*, 1996: De Kreij, 1995; Peet y Willits, 1995).

Cuadro 13. Calidad interna del fruto

| Tratamiento. | SST (°Brix) | | pH | | Acidez titulable | | Azúcares Directos | |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | No. de semana | | | | | | | |
| | 12 | 19 | 12 | 19 | 12 | 19 | 12 | 19 |
| T1 | 4.9 a | 5.2 a | 4.3 a | 4.4 a | 1.0 a | 0.8 a | 2.3 a | 2.9 a |
| T2 | 4.8 a | 5.5 a | 4.4 a | 4.4 a | 1.0 a | 0.8 a | 2.4 a | 2.8 a |
| T3 | 4.8 a | 5.3 a | 4.3 a | 4.4 a | 1.0 a | 0.8 a | 2.4 a | 3.0 a |
| T4 | 4.6 a | 5.1 a | 4.3 a | 4.5 a | 0.9 a | 0.8 a | 2.2 a | 2.7 a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P 0.05).

T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705

Semana 12 (84 días después del trasplante, frutos del racimo 1) y semana 19 (133 días días después del trasplante, frutos del racimo 5)

Por otro lado, se tienen reportes de la mejoría de parámetros de calidad de fruto con el uso de diferentes sustratos (Cerdea *et al.*, 1977; Mizrahi *et al.*, 1988; Adams y Ho, 1989; Adams, 1991; Del Amor, *et al.*, 2001) y de manera general coinciden que conforme incrementa la CE y el tiempo de exposición salina en los



tratamientos, los frutos de las plantas tratadas mostraron un incremento significativos en sólidos solubles (SS °Brix), acidez titulable (AT) y acumulación de materia seca (MST). Cornisa, 1992 concluye que independientemente del tipo de sal que se utilice para aumentar la CE todas incrementan los sólidos solubles. El incremento de SS parece ser asociada con la reducción del contenido de agua en el fruto (Adams y Ho, 1989) y al incremento en la acumulación de azúcares solubles (Mitchell *et al.*, 1991).

El sabor del tomate está determinado, principalmente, por los azúcares y ácidos, de manera que al aumentar las concentraciones de éstos se mejora también el sabor. Es un carácter muy influenciado por el ambiente; existe una relación negativa entre producción y contenido en sólidos (Nuez, 1995). Las concentraciones de azúcares y ácidos en el jugo también pueden ser afectados directamente por las relaciones de agua en el fruto (Ho *et al.*, 1999).

Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en las variedades comerciales de tomate, con valores de 1.5 a 4.5% del peso fresco, lo que equivale al 65% de los sólidos solubles totales. Los azúcares libres más abundantes son la glucosa y la fructosa, que se encuentran en proporciones similares.

El contenido de ácidos orgánicos aumenta durante el desarrollo del fruto y se acumula, preferentemente, en los lóculos. Los principales ácidos orgánicos en el tomate son el cítrico, seguido del málico, y en menor cantidad el fórmico, acético y transaconítico. Representan el 13% de la materia seca.

El contenido de sólidos solubles y el cociente sólidos solubles/acidez titulable fueron significativamente iguales entre los tratamientos. Este resultado difiere de estudios previos en tomate en los que fueron determinados aumentos significativos en el contenido de los sólidos solubles en el fruto en diferentes esquemas de riego (Davies *et al.*, 2000; Zegbe-Domínguez *et al.*, 2003). En un



experimento con tomate Davies *et al*, (2000) encontraron en las plantas con secado parcial de la raíz una disminución significativa del tamaño y peso fresco del fruto, que aunado al mantenimiento en la acumulación de biomasa en los frutos de menor tamaño, se reflejó en un aumento del 21 % del contenido de sólidos solubles totales.

En el presente estudio la similitud del contenido de agua del fruto y tasas de asimilación de carbono pudieron haber contribuido a la similitud del contenido de sólidos solubles totales entre los frutos de los diferentes tratamientos. Sin embargo los niveles de acidez titulable están dentro de los niveles reportados para tomate cultivado convencionalmente en suelo (Thybo *et al*, 2006), mientras que el contenido de sólidos solubles y pH de los frutos son mayores a los reportado por Thybo *et al*. (2006), estas diferencias son positivas.

Tando *et al.*, (2003) señalaron que los tomates descritos como de 'gran sabor' están caracterizados por sus bajos niveles de acidez titulable y alto contenido de sólidos solubles. Dado que el sabor de los frutos está dado en gran parte por los niveles de azúcares y ácidos orgánicos (Gómez y Camelo, 2002), se puede inferir que el sustrato fibra de coco modifica ligeramente (por encontrarse en el los registros mas bajos de acidez) el sabor de los frutos de tomate dependiente del cociente sólidos solubles/acidez titulable.

Ambas variedades (SUN 7705 y Loreto) pueden recomendarse para los consumidores que prefieren frutos con mayor dulzura o para la agroindustria, ya sea para la conservación y/o transformación de frutos. Sin embargo, los genotipos que contienen una menor concentración de °Brix pueden utilizarse para las personas que no requieren de sabores dulces en sus comidas.

El incremento de los SST de los frutos de la semana 12 a la 19 puede deberse al avance de la maduración por la conversión de almidones en azúcares tal como lo menciona Tripathi y Gonggwar (1971; citados por Acosta 1997). Por



otro lado Hulme (1971; citado por Acosta 1997), indica que los sólidos solubles totales se incrementan durante la maduración y senescencia de los frutos. Sin embargo, los frutos no deben dejarse que se sobremaduren o que se vuelvan senescentes ya que pierden apariencia externa así como su firmeza, lo cual disminuirá la calidad y por ende su precio en el mercado.

Los contenidos de sólidos totales y sólidos solubles están correlacionados; se utiliza normalmente el contenido en sólidos solubles (°Brix) por ser más fácil de determinar. Es el índice que más influye sobre el rendimiento de la fabricación de azúcares. En la mayor parte de las variedades de tomate se sitúa entre 4.5 y 5.3 °Brix; el carácter varietal influye sobre el contenido de sólidos solubles, pero factores agronómicos, en especial, el clima durante el periodo de maduración y el riego, pueden modificar los °Brix en frutos de una misma variedad entre 4 a 7 (Diez, 1995).

El contenido en sólidos solubles totales es inversamente proporcional al rendimiento en frutos y aumenta con el área foliar (Chamarro, 1995). El incremento de SST parece ser asociada con la reducción del contenido de agua en el fruto (Adams y Ho 1989) y al incremento en la acumulación de azúcares solubles (Mitchell *et al* 1991).

Tigchelaar (1990), Nuez (2001), Gould (1992) y Hartz *et al.* (2002) señalaron valores muy semejantes entre 4.4 a 7.0 % similares a los encontrados en esta investigación (4.6 a 5.5 %).

Resultados semejantes fueron encontrados por Campos (2007), que no encontró diferencias significativas en el contenido de SST (°Brix) pero si en la acidez titulable de los frutos. Sin embargo el cociente sólidos solubles/acidez titulable, utilizado como indicador de sabor de los frutos fue estadísticamente igual entre los tratamientos.



Los valores de pH obtenido en el fruto se encuentran dentro del rango máximo de aceptación (3.7 a 4.6) señalado por Gould (1974). Los valores encontrados en esta investigación son similares a los encontrados por Bernabé y Solís (1999) en la que evaluó 21 genotipos de jitomate y encontrando un rango de 4.4 a 4.9 de pH.

Estos genotipos ácidos, generalmente son recomendados para la mayoría de los consumidores, como por ejemplo para aquellos países tropicales en donde el jitomate se usa cocinado (Villareal, 1982). Sin embargo para el Estado de Oaxaca, especialmente los Valles Centrales puede ser que no haya una preferencia sobre esta característica de acidez, ya que la mayoría de la población consume el jitomate de manera cocinada y una minoría como ensalada; pero si se necesitara elegir un genotipo con estas características se recomendarían los dos genotipos por tener valores de pH muy aceptables.

En un estudio de 250 muestras de jitomate, Lambeth, Straten y Fields (1996) citados por Atherton (1986) encontraron una variación de pH de 4.26 a 4.82 y un rango de porcentaje de ácido cítrico de 0.40 a 0.91%. Valores que concuerdan con los obtenidos en este trabajo. Para clasificar los frutos según su calidad hay que tomar en cuenta una serie de características como: alto contenido de sólidos (mínimo 4.5 °Brix); bajo pH (cercano a 4.4); firmeza y limpieza de los frutos; forma tamaño del fruto y este último lo determina el volumen del fruto, es decir, la longitud y el diámetro del fruto (Loen, 1980; citado por Mendoza, 1995).

El pH del jugo del fruto maduro oscila entre 4 y 4.8. La acidez del tomate, así como la relación entre málico y cítrico, depende en gran medida de la variedad (Chamarro, 1995). Las características de alto contenido de sólidos solubles totales (> 4.5) y bajo pH (< 4.4) son necesarios para un buen sabor de los frutos (Castilla, 2001), esto coincide con los frutos de las dos variedades y de los dos sustratos utilizados en este experimento incluso para la semana 12 y para la semana 19.



El mayor pH es característico de la variedad SUN 7705 presenta una relación negativa ($a > SST < pH$) esto coincide con lo encontrado por Fernández *et al.*, 2004. sin embargo en el presente trabajo no se puede decir que los frutos con bajo peso son ácidos ya que los ácidos orgánicos presentes en el fruto no siempre se relacionan con el pH debido al poder amortiguador de otros constituyentes del fruto (Tigchelaar, 1986), además esta característica depende del genotipo (Nuez 2001).

6.4.2 Calidad externa

6.4.2.1 Longitud del fruto

Respecto a la longitud del fruto para la semana 12 y 19 no fue significativa entre tratamientos. La longitud obtenida en la semana 12, de mayor a menor fue para T3, T4, T1 y T2, con valores de 7.93, 7.90 7.50 y 7.43 cm respectivamente. (Cuadro 14). Siendo estos valores superiores a los reportados por Ocegueda (2004), con el cultivar Rio Milagro que tuvo la mayor longitud de fruto con 7.42 cm seguido por Sonia con 6.92 cm

Cuadro14. Parámetros de calidad externa del fruto

| Tratamiento | Longitud del fruto | | Diámetro ecuatorial | | *L | | *a | | *b | |
|-------------|--------------------|-------|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | No. de Semana | | | | | | | | | |
| | 12 | 19 | 12 | 19 | 12 | 19 | 12 | 19 | 12 | 19 |
| T1 | 7.5 a | 6.6 a | 5.6 a | 5.3 a | 36.6 a | 39.9 a | 35.2 a | 24.3 a | 39.6 a | 24.7 a |
| T2 | 7.4 a | 6.5 a | 5.6 a | 5.4 a | 37.5 a | 39.7 a | 32.6 a | 25.3 a | 37.1 a | 25.1 a |
| T3 | 7.9 a | 6.6 a | 5.9 a | 5.4 a | 38.0 a | 40.9 a | 30.8 a | 23.0 a | 35.9 a | 25.8 a |
| T4 | 7.9 a | 6.9 a | 5.8 a | 4.7 a | 34.7 a | 39.8 a | 35.2 a | 24.8 a | 38.4 a | 24.7 a |

Promedios seguidos de la misma letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P 0.05); T1 = Arena + Loreto T2 = Arena + SUN 7705 T3 = Fibra de coco + Loreto T4 = Fibra de coco + SUN 7705



6.4.2.2 Diámetro ecuatorial

En relación a diámetro ecuatorial para la semana 12 no se presenta diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 14). Sin embargo, para la semana 19, el diámetro ecuatorial presentó diferencias significativas entre tratamientos, destacando el T3 con 5.47 cm de diámetro de fruto, seguidos de T2 y T1 con 5.40 y 5.37 cm respectivamente, registrando un menor diámetro de fruto el T4 con 4.79 cm.

En general, en el 5^o racimo de ambas variedades de la semana 19 presentó valores menores, esto implica que el primer racimo mantiene asociación alta entre peso comercial y rendimiento total.

Los primeros racimos (1 al 2) tienen mayor ventaja ya que, inicialmente, crecen sin competencia por lo que tienen probabilidad de mantener su desarrollo adecuado reflejado en ganancia de peso y tamaño (Fisher, 1997; Wolf y Rudish, 1988).

6.4.2.3 Color

Para la semana 12 el color determinado en la escala de Hunter (*L, *a, *b) no presenta diferencias estadísticas significativas, los valores presentados son muy semejantes en *L; en *a se tiene el mayor valor en el T1 seguido del T4; para los valores de *b destacan nuevamente los mismos tratamientos (Cuadro 14),

Los frutos evaluados en la semana 19 no reportan diferencias significativas, para los valores de *L, los resultados siguen siendo valores muy semejantes, y para los valores de *a y *b, también son valores semejantes destacando que son valores menores a la semana 12. Probablemente a la competencia entre racimos, ya que tiene mayor ventaja los primeros que crecen sin competencia obteniendo



un desarrollo adecuado reflejado en peso y tamaño. (Fisher, 1997; Wolf y Rudish, 1988).

El color del fruto es una característica del mercado que resulta de gran importancia al momento de seleccionar las variedades a establecer en un determinado lugar, permite al agricultor obtener mayor calidad de fruto y hacerlo más competitivo. (Barraza, 1984; citado por Mendoza, 1995).

El color del jitomate se desarrolla en condiciones óptimas entre 12 °C – 21° C; temperaturas más bajas de 10 °C y mayores de 30° C inhiben su maduración así como el desarrollo de Licopeno (Janeck, 2001)

6.5 Sustratos

Abad y Noguera (2000) concuerdan que las funciones más importantes de un sustrato son, proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces (aportar agua, aire y nutrimentos), construir una base adecuada para el anclaje y soporte a la raíz. Otros autores mencionan que el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Pastor, 1999; Terés, 2001; Urrestarazu, 2004; Cadahía, 2005). Mientras que Abad *et al.* (2005) sugieren que la finalidad de los sustratos en cualquier cultivo es producir una planta/cosecha de calidad, en periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción sin provocar un grave impacto ambiental.

El sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y, por interacción con la fracción sólida, los nutrientes necesarios. Por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular (Lemaire *et al.*, 2005).



El sustrato universal e ideal no existe; no obstante, considerando varios factores es posible encontrar el sustrato ideal particular. Un determinado medio de cultivo puede dar resultados distintos según las condicionantes que afectan al sustrato como el clima y microclima, sistema de riego, la especie vegetal, el tipo, forma y tamaño del contenedor las técnicas culturales (riego, fertilización) duración del cultivo o el destino final de las plantas, entre otros. Aunque el conocimiento de estas condiciones no permite establecer la composición del sustrato, si permite predecir las características que deberá tener un sustrato para que se adecúe a las condiciones reales que se tenga (Burés *et al.*, 1988).

Esto hace que resulte necesario conocer las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los sustratos, pues condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor y determinan posteriormente su manejo. En los cuadros 16, 17 y 18 se pueden apreciar los cambios físicos y químicos que experimentan los sustratos empleados a través del tiempo.

De los tratamientos evaluados, se pudo apreciar que los mejores resultados para crecimiento y desarrollo de la planta, rendimiento y calidad de fruto, fueron obtenidos cuando se empleó la fibra de coco como sustrato en relación a la arena. Asimismo se ha observado que en los últimos años se incrementado el uso de la fibra de coco, en primer instancia como producto alternativo de la turba; sin embargo, su principal ventaja respecto a la turba es que retiene menos agua, lo cual favorece la aireación de las raíces, además de resultar más económico (Abad *et al.*, 2005; Noguera *et al.*, 2000).

No obstante, la fibra de coco presenta algunos inconvenientes como la falta de homogeneidad y en ocasiones, el pH es muy apropiado para el cultivo de tomate (alrededor de 5.7), una elevada concentración salina, presenta niveles bajos de nutrientes, particularmente nitrógeno, calcio y magnesio, mientras que los de otros como fósforo y potasio son muy elevados. (Cadahía, 2005). Por lo cual es



recomendable caracterizar las propiedades físicas y químicas para encontrar un balance entre la solución nutritiva con el sustrato (Abad *et al.*, 2002a). Por otra parte la arena son pequeños granos de roca que van de 0.02 a 2.0 mm de diámetro, formados como resultado de la intemperización de diversas rocas, dependiendo su composición mineral de la roca madre que le dió origen.

Prasad (1997) realizó diversos estudios en polvo de coco y afirma que las propiedades físicas, químicas y biológicas de este sustrato son adecuadas para ser usado como medio de cultivo. Handreck, 1993; Meerow, 1994; Martínez *et al.*, 1996; García *et al.*, 2001 han comprobado que la fibra de coco tiene características para ser usado como medio de cultivo. Cuando se mezcla con arena (1:1 v/v), mejora su humectabilidad en más de 33% y se obtiene una buena porosidad de aire de 24 a 35%. Lo cual permite mantener un nivel satisfactorio de agua fácilmente disponible, debido a ello se ha señalado como un posible sustituto de la turba ya que también presenta menor compactación (pérdida de volumen) que ésta (Meerow, 1994; Awang y Razi, 1997; Prasad, 1997). Además que se puede mezclar muy satisfactoriamente con corteza de pino (1:1 v/v). Con la fibra de coco se han obtenido buenos resultados para la producción de especies ornamentales y plántulas de brócoli (*Brassica oleracea*) (Jaimes, 1994; Velasco, 1995; Zarate, 1995). A ese respecto, Awang y Razi (1997) señalaron que su uso, aún cuando sea el único material en el que crecen las plantas, no ocasiona problemas de anclaje en cultivos ornamentales anuales a pesar de tener baja densidad aparente. Los mismos autores también observaron que agregando varios niveles de fibra es posible incrementar la porosidad de aire hasta 35% manteniendo en un nivel satisfactorio el agua fácilmente disponible. En este sentido, cuando fue comparado con turba, se encontró que los valores de la capacidad amortiguadora de agua en el polvo de coco estuvieron por debajo de lo considerado como adecuado, lo cual implica que si hay un incremento súbito en la transpiración, las plantas tenderán a marchitarse más rápidamente si el régimen



de riego no es ajustado, cuando estén creciendo en polvo de coco que las plantas que crezcan en turba del mismo tamaño de partícula.

La porosidad de la fibra de coco empleada en ésta investigación fue del 93% quedando dentro del rango óptimo señalado por Abad *et al.* (1993), mientras que el de la arena queda por debajo de éste índice (49 %, Cuadro 16). Hartmann y Kester (1992) mencionan que la arena es el más pesado de los minerales que se utilizan como medio de crecimiento de las raíces (alrededor de 1, 290 kg·m⁻³), tampoco contiene nutrientes minerales ni capacidad de amortiguamiento químico por lo que es necesario usarlo en combinación con componentes orgánicos.

El pH del sustrato original puede ser modificado por distintos componentes del medio de crecimiento, la alcalinidad del agua empleada para el riego en el invernadero, y también por la acidez o basicidad de los fertilizantes empleados en las soluciones nutritivas. Los diferentes componentes del sustrato, pueden liberar cantidades variables de iones hidrógeno que modifican el pH.

Dependiendo del cultivo, el valor de pH recomendado para los sustratos (cultivo sin suelo) oscila entre 5.4 y 6 (Dole y Wilkins, 1999). Los valores de pH obtenidos en los sustratos evaluados en esta investigación mostraron valores semejantes para fibra de coco 5.75 y arena 6.2 por lo que en las plantas puedan crecer sin restricción por disponibilidad nutrimental (Cuadro 15).

La conductividad eléctrica (CE), es el indicador de la concentración de sales totales en un sustrato, y el valor óptimo de éste en sustratos agrícolas oscila entre 0.75 y 3.49 dSm⁻¹ Ansorena (1994); porque en este intervalo no se afecta el potencial osmótico que se encuentra relacionado con la concentración iónica en la fase líquida. La determinación de la conductividad es una medición indirecta del estatus nutricional del cultivo (Wright *et al.*, 1990).



En el Cuadro 15 se observó que el sustrato fibra de coco presentó una CE comprendida entre el intervalo considerado óptimo (Abad *et al.*, 1993). Mientras que la arena presentó una CE mayor a la óptima, debido a la concentración excesiva de sales. (Dole y Wilkins, 1999) mencionaron que altos contenidos de sales solubles pueden conducir en algunas especies a la "sequía fisiológica", porque de inhibe la absorción de agua por las raíces debido a la osmosis competitiva. Entre otras consecuencias negativas de altas conductividades eléctricas en el sustrato se encuentran: la necrosis marginal de hojas y pobre crecimiento radical (Dole y Wilkins, 1999); cabe mencionar la importancia de ésta variable porque el tomate es susceptible a altas conductividades eléctricas.



Cuadro 15. Propiedades físicas y químicas de los sustratos empleados, antes y después del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.

| Muestra | FÍSICAS | | | | | QUÍMICAS | | | | | | | |
|----------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | pH | CE | Da | Dr | CIC | Cationes solubles | | | | Aniones solubles | | | |
| | - | dS m ⁻¹ | g cm ⁻³ | g cm ⁻³ | meq / 100 g | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | CO ₃ | HCO ₃ | Cl ⁻ | SO ₄ |
| | pH-metro | Conductímetro | Probeta | Picnómetro | Embudo | EDTA | Fotometría de Flama | | | CO ₃ Volumétrico (H ₂ SO ₄) | Cl ⁻ Vol. AgNO ₃ | SO ₄ Turbidimétrico | |
| Antes del cultivo | | | | | | | | | | | | | |
| Fibra de coco | 5.75 * | 1.73 | 0.09 | 1.29 | 63.0 | 3.94 | 2.50 | 0.22 | 4.18 | 0.00 | 1.60 | 6.38 | 8.07 |
| Arena | 6.2 ** | 5.88 | 1.66 | 2.65 | 1.90 | 30.48 | 15.5 | 1.66 | 15.8 | 0.00 | 1.90 | 17.66 | 32.30 |
| Óptimo*** | 5.2-6.3 | 0.75-3.5 | <0.4 | 1.4-2.6 | >20 | >200 | >70 | 119.7** | 249 | | | | |
| Después del cultivo | | | | | | | | | | | | | |
| Fibra de coco | 6.01 * | 1.27 | 0.10 | 0.99 | 130.7 | 0.53 | 0.67 | 11.23 | 2.27 | 0.00 | 1.97 | 9.20 | 0.44 |
| Arena | 5.58 ** | 1.01 | 1.78 | 2.58 | 2.58 | 4.80 | 4.32 | 0.21 | 0.35 | 0.00 | 0.61 | 1.50 | 8.23 |
| Óptimo*** | 5.2-6.3 | 0.75-3.5 | <0.4 | 1.4-2.6 | >20 | >200 | >70 | 119.7** | 249 | | | | |

CE = Conductividad eléctrica, Da = densidad aparente, Dr = densidad real, CIC = capacidad de intercambio catiónico. * = Relación 1:20; ** = Relación 1:2; *** = Valores óptimos según Abad et al., 1993.

En los Cuadros 16 y 17 se observan importantes diferencias en las variedades químicas de los sustratos. Para el caso del nitrógeno, fósforo y potasio, los índices fueron mayores para fibra de coco que para la arena. Por otro lado, es importante destacar que la fibra de coco presentó bajos contenidos de calcio, magnesio, sodio y potasio soluble en comparación a la arena (Cuadro 16).

Cuadro 16. Propiedades físico-químicas de los sustratos empleados, antes y después del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.

| Muestra | Porosidad | | | N. Total | P | K | M. O. | Ps |
|----------------------------|-----------|-----------|-------------------|----------|---------------------|-----------------------|-------|--------|
| | % en vol | | Retención humedad | % | mg kg ⁻¹ | cmol kg ⁻¹ | % | % Hum. |
| | Total | Aireación | Micro Kjeldhal | BrayPI | Fotometría Flama | W. y Black | Grav. | |
| Antes del cultivo | | | | | | | | |
| Fibra de coco | 93 | 7 | 88 | 0.56 | 134.30 | 4.99 | - | - |
| Arena | 49 | 7 | 41 | 0.02 | 71.50 | 0.65 | - | - |
| Óptimo | >85 | ----- | 55-70 | 3.1 | 6-10 | 150-249 | - | - |
| Después del cultivo | | | | | | | | |
| Fibra de coco | 95 | 27 | 68 | 0.53 | 22.60 | 0.01 | 59.16 | 484.2 |
| Arena | 37 | 6 | 31 | 0.005 | 0.60 | 6.28 | 0.13 | 25.8 |
| Óptimo | >85 | ----- | 55-70 | 3.1 | 6-10 | 150-249 | | |

P = Fósforo; N = Nitrógeno; K = Potasio; F = Fotometría. M.O = Materia orgánica; Ps = Porcentaje de saturación; Hum. = Humedad. Grav. = Gravimétrico; * = Valores óptimos según Abad et al., 1993.



Cuadro 17. Porcentaje de los diversos tamaños de partículas de los sustratos empleados, a los 0 y 154 días del cultivo del tomate con fertirrigación e invernadero.

| Muestra | Tamaño de partículas (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| | > 11.5 | 11.5-4.76 | 4.76-3.36 | 3.36-2.00 | 2.00-1.00 | 1.00-0.50 | 0.50-0.25 | <0.25 |
| Fibra de coco | | | | | | | | |
| O días | 5.26 | 4.56 | 1.97 | 6.02 | 22.2 | 32.8 | 18.6 | 8.61 |
| 154 días | 1.07 | 2.81 | 1.40 | 6.47 | 23.1 | 30.6 | 21.3 | 13.3 |
| Arena | | | | | | | | |
| O días | 0.00 | 2.76 | 3.06 | 6.09 | 16.8 | 32.2 | 24.0 | 15.0 |
| 154 días | 0.75 | 5.20 | 5.52 | 6.94 | 19.4 | 35.8 | 22.6 | 3.7 |



VII.- CONCLUSIONES

1.- El mejor sustrato en combinación con las variedades SUN 7705 y Loreto fue la fibra de coco, ya que presentó los mejores resultados en altura de planta, grosor del tallo, número de frutos por racimo, número de frutos totales, racimos por planta, rendimiento y materia seca total. Este sustrato tuvo mayor estabilidad, buena capacidad de aireación del sistema radicular, alta porosidad, adecuada retención de agua, alta CIC la cual le confiere un alto poder tampón en fertirrigación, adecuada estabilidad del pH y buena retención de la solución nutritiva. La fibra de coco es un material que puede utilizarse con resultados satisfactorios para la producción en contenedor para CSS.

2.- La mejor combinación sustrato por variedad para las variables de producción fue Fibra de coco + SUN 7705. Con un rendimiento de 5.83 Kg planta⁻¹ en los cinco racimos evaluados, en comparación con arena + Loreto que registro 3.78 Kg planta⁻¹..

3.- De las dos variedades utilizadas, el T4 (fibra de coco + SUN 7705) presentó diferencias estadísticas significativas en altura de planta, grosor del tallo, racimos por planta, rendimiento y materia seca total (2.89 m, 2.2 cm, 12 frutos, 5.83 kg planta⁻¹ y 697.2 g m⁻² respectivamente). Esta variedad mostró un equilibrio entre el número y peso de los frutos (menor número de frutos con mayor peso). El T3 (fibra de coco + Loreto) destacó con el mayor número de frutos pero no con el mayor peso.



4.- En relación a parámetros de calidad del fruto no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos.

5.- Desde el punto de vista económico, la fibra de coco es 50% más cara que la arena (el valor de una bolsa de fibra de coco cuesta \$7.50 en comparación con una de arena de río que cuesta \$ 5.00), lo cual es inconveniente para el productor; la diferencia de utilizar fibra de coco en lugar de arena se refleja en el rendimiento por planta (5.83 kg planta⁻¹ en el T4 en comparación con 4.65 kg planta⁻¹ en el mejor tratamiento con arena, obtenidos en el T2) la diferencia es de 1.18 kg planta⁻¹ en los cinco racimos evaluados, además presenta mayor facilidad de manejo al terminar el ciclo para la extracción de la planta debido a la menor compactación del sustrato y esto también repercute en menor mano de obra.



VIII. RECOMENDACIONES

La fibra de coco es un buen material para elaborar sustratos alternativos a los tradicionales. En futuras investigaciones sería conveniente evaluar los cambios en los parámetros físicos, químicos y físico-químicos a través del tiempo en función del rendimiento y calidad del fruto, ya que normalmente la arena se puede utilizar en dos ciclos y experiencias en fibra de coco indican que puede ser utilizada hasta en cinco o seis ciclos.

La fibra de coco se puede utilizar sola, pero para bajar su costo en el futuro se recomienda hacer mezclas con sustratos como corteza de pino, compostas, bagazo de maguey, arena de río y residuos de cultivos agrícolas.



LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1993. Sustratos para el cultivo sin suelo: Inventario y características, *In: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo*. F. Cánovas y J.R. Díaz (eds). I.E.A./F.I.A.P.A. Almería, España, pp: 63-80.
- Abad., M. P. F. Martínez, M. D. Martínez y J. Martínez 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta de horticultura* 11: 141-154.
- Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo, *In: El cultivo del tomate*. F. Nuez (coord). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp: 131-166.
- Abad, M. y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In: Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. C. Cadahía (coord). Mundi-Prensa. Madrid, España, pp: 287-342.
- Abad, M. y P. Noguera. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In: Manual de cultivo sin suelo*. M. Urrestarazu (ed). 2a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 137-185.
- Abad, M., P. Noguera, R. Purchades, A. Maquieira and V. Noguera. 2002. Physicochemical and chemical properties of some coconut coir dust for use as a peat substitute for containerised ornamental plants- *Bioresource Technology* 82: 241-245.
- Abad, M. 2003. Sustratos para el cultivo sin suelo, *In: El cultivo del tomate*. F. Nuez (coord). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp: 131-166.
- Abad B.M, P. Noguera M. y C. Camón B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In: Tratado de Cultivo Sin Suelo*. Urrestarazu G.M. 3a edición. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 113-158.
- Abad, M., P. Noguera y C. Camón. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In: Fertirrigación cultivos hortícola y ornamentales*. C. Cadahía (coord). 3ra ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 299-352.
- Abbott, J. D., Peet M.M., Willists D.H. and Gough R.E. 1985. Water management of greenhouse tomatoes. *HortScience* 20: 688-690.
- Abbot, J.D., Peet M.M., Willists D.H., Sanders D.C. and Gough R.E. 1986. Effects of irrigation frequency and scheduling on fruit production and radical fruit cracking in greenhouse tomatoes in soil beds and in soil less médium in bags. *Sci. Hortic.* 28: 209-217.
- Acosta Ramos M. 1997. Calidad de tres cultivares de papaya (*Carica Papaya* L.) Cera, Maradol y Subset, y la susceptibilidad a la antracosis (*Colletotrichum gloeosporoides* Penz.), en postcosecha. Tesis de Licenciatura. Departamento de Agroindustrias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 118 p.
- Adams, M. W. 1982. Plant architecture and yield breeding. *Iowa State Journal of Research*. 56 (3): 225-254.



- Adams, P. and Ho L.C. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hortic. Sci.* 64: 725-732.
- Adams P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* 66: 201-207.
- Adams, M. W. and J. D. Kelly. 1992. The role of architecture, crop physiology and recurrent selection in ideotype breeding for yield in dry beans. *Crop and Soil Sciences Department. Michigan State University. East Lansing, Michigan. EUA.* (mimeo).
- Antonio A.B; F.J., Solis V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad, precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero en Chapingo, México. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. AACH. Chapingo, México. P. 85.
- Alarcón V. A. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro* 6: 16-19.
- Anderlini, R. 1989. El Cultivo del Tomate. Ediciones CEAC. Guías de Agricultura y ganadería. Barcelona, España. 108 p.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Apolinar S. C. 2006. Índices fisiotécnicos en la productividad de seis híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en cultivos sin suelo en invernadero. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca México. 107 p.
- Arenas, M., C.S. Vavrina, J.A. Cornell, E.A. Hanlon and GJ. Hochmuth. 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312.
- Ashcroft, W. J.; S. Gurban; R. J. Holland; C. T. Wares and H. Nick. 1993. Arcadia and Goulbum: Determinate fresh market tomatoes for arid production areas. *HortiScience* 28: (8)854-857.
- Atherthon J., G. y J. Rudich. 1986. *The Tomato Crop.* University Press. Cambridge. 661 p.
- Aung, L. -H. 1978. Temperature regulation of growth and development of tomato during ontogeny. In: *First International Symposium on Tropical Tomato.* Asian Vegetable Research and Development Center. Shanshua. Taiwan, China, p. 93.
- Ayala S., A. 1999. Evaluación del polvo de coco como sustrato para la germinación y desarrollo inicial de plántulas de seis especies ornamentales. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 68 p.
- Awang, Y. y M. Razi I. 1997. The Growth And Flowering Of Some Annual Ornamentals On Coconut Dust. *Acta Horticulturae* No. 450. pp. 31-38. Azcón-



- Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal, Ed. McGraw Hill, Madrid, España.
- Balibrea, M. E., Santa Cruz A. M. Bolarin M. C. and Perez-Alfoncea F. 1996. Sucrolutyc activities in relation to sink strenth and carbohydrate composition in tomato fruit growing Ander salinty. Plant Sci. 188: 47-55.
- Bangerth, F. 1981. Some effects of endogenous and exogenous hormones and growth regulators on growth and development of tomato-fruits. In: aspects and prospects of plant growth regulators (B. Jeffcoat, Ed.) Monograph vase. British Plant Growth Regulator Group. Wantage. pp. 141-150.
- Beadle, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. En: técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Scurlock, J. M.? S. P. Long; D. O. Hall y J. Coombs (Editores). Colegio de Postgraduados. Montecillos, México, pp. 17-21.
- Beeson, R.C. Jr. 1996. Composted yard as a component of container substrates. Journal Environmental Horticulture 14:115-121.
- Benito, M. 2002. Compostaje de restos de poda: Evaluación de la madurez, estabilidad y aplicación agronómica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Edafología, 2002.
- Bernabé A., A. y J. Solís V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad y precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mili) en invernadero en Chapingo, Tesis de Licenciatura. México. 85 p.
- Bohner, J. and F. Bangerth. 1988. Effects of fruits set secuense and defoliation on cell number, cell size and hormone levéis of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mili.) withing a truss. Plant Growth Reg. 7:141-155.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. 309 p.
- Burés, S., Martínez F.X.; Llorca M. 1988. Preliminar/ study of the application of parametric linear proghamming in formulation of substrate mixes. Acta Horticulturae 221:141-152.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Aerotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Burés, S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales, in: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. J. Narciso Pastor S. (ed). Universitat de Lleida. pp: 19-31.
- Bustamante O., J.D. 2003. Bioespacios y la modificación microclimatica, alternativa de control del "chino" en tomate (*L. esculatum*. M) y otras hortalizas. In: Memoria del curso internacional sobre la producción de hortalizas en invernadero. J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz (eds). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Celaya, Gto. pp 245-251.
- Brückner, U. 1997. Physical properties of different potting media and substrate mixtures-especialy air - and water capacity. Acta Horticulturae 450: 263- 270.



- Cabrera R I (1999) Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. Hor-tic. 5(1):5-11.
- Cadahía, C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3a ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 681 pp.
- Cahn M., D.; E. Herrero V.; L Snyder R.; R. Hanson. B. 2001. Water management strategies for improving fruit quality of drip-irrigated processing tomatoes. Acta Horticultrae 542: 111-116.
- Calvert, A. 1973. Environmental responses. In: The United Kingdom Tomato Manual. Growers Books. London, England. pp. 19-34.
- Campos, H. G. 2007. Efecto del secado parcial de la raíz en el crecimiento, intercambio de gases y rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Montecillos, México 92 p.
- Cancino, B. J. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Mexico. 90 p.
- Cánovas M. F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo. In: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. MundiPrensa. España pp. 227-254.
- Caraveo, F. 1994. Relaciones nutrimentales en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) empleando el polvo de borbote de coco como sustrato. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, México 244 p.
- Castellanos, J.Z. y P. Vargas-Tapia. 2004. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero, In: Manual de producción hortícola en invernadero. J.Z. Castellanos (ed). 2a ed. INTAGRI. México, pp: 124-150.
- Castilla P., N. 2001. Manejo del Cultivo Intensivo con Suelo en el Cultivo de Tomate, en El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 190-220 pp.
- Celikel, G. 1999. Effect of different substrates on yield and quality of tomato. Acta Horticulturae 486: 353-356.
- Cerda, A. ; Bingham F. T. and Hoffman G. 1977. Interactive effect of salinity and phosphorus on sesame. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 915-918.
- Chamarro J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En Nuez, F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa Barcelona, España. pp. 43-91.
- Chamarro L. J. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. In: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España : 43-91.
- Chong, C. and R.A. Cline. 1993. Response of four ornamental shrubs to container substrate amended with two sources of raw paper mill sludge. HortScience 28: 807-809.



- Cook, R., and L. Calvin. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. Economic Research report, No. 2. 1-80 p. www.ers.usda.gov (25 de septiembre, 2005).
- Cooper, A. J. 1964. A study of the development of the first inflorescence of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 39: 92-97.
- Cooper, A. J. and R.G. Hurd. 1968. The influence of cultural factors on arrested development of the first inflorescence of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 43:243-248.
- Cornisa, P. S., 1992. Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grow in hydroponic culture. *Aust. Jor. Exp. Agric.* 32: 513-520.
- Cruces C. R 1990. Lo que México aportó al Mundo. Edit. Panorama. 2a reimpresión. México, D.F. pp. 61-64.
- Cruz B. L. 2007. Calidad de semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) por efecto de potenciales osmóticos, calcio y podas bajo condiciones de invernadero. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 177 p.
- Dasoju, S., M.R. Evans y B.E. Whipker. 1998. Paclobutrazol' Drench Activity In Coir- And Peat- Based Root Substrates. *HortTechnology* 8(4):595-598.
- Davies, J. N. and G. E. Hobson. 1981. The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15:205-80.
- Davies W.J., Bacon M.A., Thompson D.S., Sobeih W. y Rodríguez L.G. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experimental Botany* 51: 1617-1626.
- De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.
- De Boodt M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- De Kreij, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* 408: 47-61.
- Del Amor, F. M., Martínez V. and Cerda A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortiScience* 36: 1260-1263.
- Delfino, S., A. Alvino., F. Loreto., M. Centritto, and G. Santarelli. 2000. Effects of water stress on the yield and photosynthesis of field-grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L). *Acta Hort.* 537: 223-229.
- Diez N., M. J. 1995. Tipos varietales. pp 93-129. In: F. Nuez (ed). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Bilbao, España.



- Diñar, M. and M. A. Stevens. 1981. The relationship between starch accumulation and soluble solids content of tomato fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 106: 415-418.
- Dole, J. M. and Wilkins, H. T. 1999. *Floriculture principles and species*. Prentice Hall, Upper Saddle River N. J. pp 25-28.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*. 17:385-403.
- Donald, C. M. and J. Hamblin. 1983. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. *Adv. Agr.* 36:97-143.
- Duran J.M., E. Martínez, y L.M. Navas. 2000. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. En línea: http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/l_01_cultivos.html. (Revisado el 17 de julio de 2007).
- Ehret, D.L. and Ho L.C. 1986. Effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hortic. Sci.* 61: 361-367.
- Escalante G., A. 1989. Evaluación de cinco variedades de jitomate en hidroponía bajo invernadero rustico. Tesis profesional. Departamento de fitotecnia.UACH, Chapingo, Mexico.
- Esquinas-Alcázar J. y F. V. Nuez. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. In: *El Cultivo del Tomate*. F. Nuez. Mundi Prensa. España pp. 13-42.
- Evans, L. T. 1983. *Fisiología de los cultivos*. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires Argentina. 384 p.
- Evans M.R., D. Konduru y R.H. Stamps. 1996. Source Variation In Physical And Chemical Properties Of Coconut Coir. *HortScience* 31(6):965-367.
- Fernández R., V.; M. C. Sánchez M; M. Cámara; M. Torija E.; C. Chaya; B. Galiana L; S. Rosello y F. Nuez. 2004. Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *Hort Science* 39(2): 339-345.
- Fisher K., J. 1977. Competition effect in fruit trusses of tomato. *Science Horticulturae* 7: 37-42.
- Flores, P; Navarro. J. M.; Carvajal, M; Cerda, A; Martinez, V. 2003. Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23: 24S-256.
- Folquer, 1976. *El tomate: estudio de la planta y su producción*. 2ª ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina, 104 p.
- Fonteno, W.C. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. David Wm. Reed (ed). Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA. pp: 93-122.
- Francis F., J. 1980. Color quality evaluation for horticultural products crops. *Hort Science* 15: 58-59.



- Gaona B. E. E.; Juárez L. R. 2005. Evaluación de variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero en Aquixtla, Puebla. Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 68 p.
- García de F., A. y A. de Siciolia. 1984. El mercado mundial de las fibras duras. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- García C, O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en macetas. Tesis de Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. De Méx. 103 p.
- García C, O., G. Alcántar, R.I. Cabrera, F. Gavi y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivada en maceta. Terra 19: 249-258.
- Georgiev, H. 1991. Heterosis in tomato breeding. In: Genetic improvement of tomato G. Kallo (Ed) Ed. Springers- Verlag. New York, USA. pp.83-98.
- Gillaspy, G.; H. Ben-David and W. Gruissem. 1993. Fruit: A developmental perspective. Plant Cell. 5:1439-1451.
- Godoy, H. H. 2007. Influencia del injerto y nutrición en tomate sobre rendimiento, material seco, extracción y diagnóstico de nutrientes en planta y suelo, en invernadero. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 24 p.
- Gómez P.A. y Camelo A.F.L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira 20: 38-43.
- González I., A. 1991. El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) aspectos relevantes para su cultivo en México. Fitotecnia. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 85 p.
- González N. J. F. 2006a. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. Hortalizas, frutas y flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8-11.
- González N. J. F. 2006b. Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 6.
- Gould, W. A. 1974. Tomato production, processing and quality evaluation. Ed. The AVI Publishing Co. Westport, U. S. A. 445 p.
- Gould, Wilbur A. 1992. Tomato production, processing and quality technology. Third edition. University Ohio. 347-365 p.
- Grey-Wilson, C. 1997. Cyclamen. A Guide For Gardeners, Horticulturists And Botanists. B.T. Batsford Ltd. Londres. 192 p.
- Guan, H. P. and H. W. Janes. 1991a. Light regulation of sink metabolism in tomato fruit. I. Growth and accumulation. Plant Physiol. 96:916-921.
- Guan, H. P. and H. W. Janes. 1991b. Light regulation of sink metabolism in tomato fruit. II. Carbohydrate metabolizing enzymes. Plant Physiol. 96:922-927.



- Guenzi, W.D. y T.M. McCalla. 1966. Phenolic Acids in Oats, Wheat, Sorghum, and Corn Residues and Their Phytotoxicity. *Agronomy Journal*, Vol. 58, pp. 303-304.
- Hand, D. W. and Postiethwaite, J. D. 1971. The response to CO₂ enrichment of capillary watered single-truss tomatoes at different plant densities and seasons. *Journal of Horticultural Science*. 46:461-70.
- Handreck, K.A. and N. Blanck. 1991. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 401 p.
- Handreck, K.A. 1993. Properties Of Coir Dust, And Its Use In The Formulation Of Soilless Potting Media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24(3-4):349-363.
- Hartmann H. T : d. E. Kester. 1992. Propagación de plantas. Principios y prácticas. Edit CECSA D.F. Mexico pp. 31-72.
- Hartz T., K.; C. Giannini; E. Miyao M y J. Valencia G. 2002. Divergent transplant production practices produce comparable growth, yield, and quality of processing tomatoes. *HortScience*. 37 (2): 296-299.
- Hay, R. K. M. acc a. J. Walker. 1989. An íntroduction to the physiology of crop yield. Longman Scienricc imd Technical. John Willey and Sons, Inc. New York, EUA. 292 p.
- Hayward, H. E. 1953. Estructura de las plantas utiles. Editorial ACME, S.A. Tomo II. Buenos Aires Argentina. Pp. 547-574.
- Hernández D., M. I; Chailloux L, M; Salgado P., J. M; Marrero G., V: Ojeda V., S; McDonald C. J. 2002. Efecto de la fertilización nitrogenada y la bicfertiización en la calidad y conservación postcosecha del tomate. *Temas de Ciencia y Tecnología* 17: 17-24.
- Hetherington S.E., Smillie R.M. y Davies W.J. 1998. Photosynthetic activities of vegetative and fruiting tissues of tomato. *Journal of Experimental Botany* 49: 1173-1181.
- Hewitt, J. D. y M. Marrush. 1986. Remobilización of Nonstructural Carbohydrates from vegetative tissues to the fruits in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111 (1): 142-145.
- Hidalgo G., J. C; Alcántar G., G; Baca C, G. A; Sánci- z G., P; Escalante E; J. A. 1998. Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición y calidad en tomate. *Terra* 16 (2): 143-148.
- Hitchon, G.M., D.A. Hall, R.A.K. Szmidt. 1990. Hydroponic production of glasshouse tomatoes in Sardinian plaster-grade perlite. *Acta Horticulturae* 287: 261-266.
- Hilhorst, H.W.M., Groot S.P.C. and Bino RJ. 1998. The tomato seeds as a model system to study seed development an germination. *Acta Botánica Neerlandica* 47: 169-183.



- Ho, L. C. 1976. The relationship between the rates of carbon transport and of photosynthesis in tomato leaves. *J. Exp. Bot.* 27: 87-97.
- Ho, L. C.; V. S and G. V. Hoad. 1983. The effect of assimilate supply in fruit growth and hormone level in tomato plant. *Plant Growth Regulation.* 1:155-171.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant Growth Reg.* 2: 277-285.
- Ho, L. C.; R. I. Grange and A. F. Shaw. 1989. Source/sink regulation. In: *Transport of photoassimilate.* Baker D. L. and J. Milburn, eds. Longman, London England. pp. 709-728.
- Ho, L. C. 1992 Fruit growth and sink strength. In: *Fruit and seed production aspects of development, environmental physiology and ecology.* Marshall, C. and Grase, J. Eds. SEB. Seriar Senes 47, Cambridge, pp. 101-124.
- Ho, L.C, 1996a. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *J. Exp. Bot.* 47: 1239-1243.
- Ho, L.C. 1996b. Tomato. In: *Photoassimilate distribution in plant and crops: source-sink relationships.* Zamski E., Shaffer A.A. (eds). Marcel Dekker. Inc. pp. 709-728.
- Ho L. C, D. J. Hand and M. Fussell. 1999. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Horticulturae* 481: 463-468.
- Horticultural Coir Limited. 2002. Horticultural Coir Limited, www.coirtrade.com.
- Hochmuth. 1995. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312.
- Howard M (1998) *Hydroponic Food Production. A Definitive Guide-book for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower.* Woodbridge. Santa Barbara, California. 520 p.
- Hurd, R. G. and A. J. Cooper. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single-inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45:19-27.
- Hurd, R. G. and D. Price. 1977. Root death and mid-crop wilting of tomatoes in nutrient Film. *Hort. Ind.*, January. 8-15.
- Hurd R. G.; A. J. Gay and A. C. Mountfield 1979. The effect of partial flower removal on the relation between root shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Annals of Applied Biology.* 93:77-90.
- INEGI (2005) *Anuario Estadístico 2005.* Oaxaca de Juarez, Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México (www.inegi.gob.mx/Infoagro. 2003. El cultivo del tomate. En línea: www.infoagro.com/hortalizas/tomate.html. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Jaimes, J. G. 1994. Producción de plántula de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) en contenedores con soluciones nutritivas y sustratos especiales bajo



- invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., México.
- Janeck Jule, 2001. Horticultural Reviews. Vol. 26.
- Jensen M. 2001. Producción hidropónica en invernadero. Boletín informativo Núm. 12. En Línea: www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin12.htm. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Jones R., A. 1986. Breeding for improved post-harvest tomato quality genetics aspect. *Acta Horticulturae* 190: 77-87.
- Jones J., B. 1999. *Tomato Plant Culture in the field, Greenhouse and Home Garden*. Ed. CRC. USA . 199 pp.
- Johnson, S. P. and W. C. Hall. 1955. Further studies on vegetative and fruiting responses of tomatoes to high temperature and light intensity. *Botanical Gazette*. 1172:100-113.
- Kader A., A. 1986. Effects of posharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Horticulturae* 190: 209-217.
- Kang, J. Y., H. H. Lee and K. H. Kim 2004. Physical and chemical properties of organic horticultural substrates used in Korea. *Acta Horticulturae* 644:231-235.
- Khan, A. A. arjd G. R. Sagar. 1966. Distribution of I4C-labelled products of the products of photosynthesis during the commercial life of the tomato crop. *Ann. Bot.* 30:727-743.
- Khan, A. A. and G. R. Sagar. 1967. The distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production. *Horticultura! Research*. 7:61-69.
- Kinet, J. M. 1977. Effect of light condition on the development of the mlflorescence in tomato. *Sci. Hortic.* 6:15-16.
- Kithome, M., J.W. Paul y T. Kannangara. 1999. Adsorption Isotherms Of Ammonium On Coir. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30(1&2):83-95.
- Kohashi, S. J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México, pp. 19-34.
- Kreij, C. de y G.J.L. Van Leeuwen. 2001. Growth Of Pot Plants In Treated Coir Dust As Compared To Peat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32(13&14):2255-2265.
- Kundururu, S., M. R. Evans and R.H. Stamps 1999. Coconut husk and processing effect on chemical and physical properties of coconut coir dust. *HortiScience* 34: 88-90.
- Lara H., A. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenologicas de jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo Mexico. 156 p.



- Lemaire, F. 1989. Cultures en pots et conteneurs. París-Limoges (Francia): INRA-PHM Revue Horticole, , 184 p.
- Lemaire, F. 1997. The problem of the bioestability in organic substrates. Acta Horticulturae 450: 63-69.
- Lemaire, F., A. Fatigues, L.M. Reviere, S. Charpentier and P. Morel. 2003. Cultures en post et conteneurs, principes agronomiques at applications. 2a ed. INRA. París. 210 p.
- Lemaire, F., et al. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2005, 210 pp.
- León G., M. 1987. El Cultivo del Tomate para su Consumo Fresco en el Valle de Culiacán, SARH, Sinaloa. 32-34 pp.
- Leonard, M; J. M. Kinet; M. Bodson and G. Bernier. 1983. Enhanced inflorescence development in tomato by growth substance treatments in relation to ,4C-assimilate distribution. Physiologia Plantarum 57:85-89.
- Leopold, A. C. and S. L. Lam. 1960. A leaf factor influencing tomato earliness. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 76:543-547.
- Leperen W., V. S.; Volkov V., S.; Meeteren U., V. 2003. Distribución of xylem hydraulic resistance in fruiting truss of tomato influenced by water stress. Journal of Experimental Botany. 54(381) 317-324.
- Little A., C. 1975. Off on tangent. Journal of Food Sciencie 40: 410-411.
- Liverman, J. L. and S. P. Johnson. 1957. Control of arrested fruit growth in tomato by gibberellins. Science. 125:1086-1087.
- López, J.; R. Ruiz; R. Ballesteros; A. Ciruelos y R. Ortiz. 2001. Influence on tomato yield and brix of an irrigation cut-off fifteen days before the predicted harvest date in Southwestern Spain. Acta Horticulturae 542: 117-125.
- López-Cuadrado, M. C; Masaguer, A. "Sustratos para viveros: Conocer sus propiedades ayuda a su correcta utilización". Horticultura, 2006, vol. extra, p. 44-50.
- Lukyanenko, A. and E. Lukyanenko. 1981. Variability of tomaío fruit acidity and possibilities of breeding improvement of the character in: Generics and Breeding of tomato. Proa of the Meeting of the Eucarpis Tomato Working Group, Avignon, France. 129-138 pp.
- Maher, M. J. 1976. Growth and nutrient contení of glasshouse tomato crop gown in peat. Sci. Hortíc. 4:23-26.
- Major, D. J.; H. H. Janzen; R. S. Sadasivaiah and J. M. Carefoot. 1992. Morphological characteristics of wheat associated with high productivity. Canadian Journal of Plant Science. 72:689-698.
- Marrero, L. O. 1986. Influencia de algunos factores ecologicos sobre el crecimiento y desarrollo del tomate. Ed. SICA. La Habana, Cuba. pp 13-31.



- Martínez, F. X. "Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos". En Actas de Horticultura, 1992, vol. 11, p. 55-66.
- Martínez F X, Sepo N, Valero J (1996) Physical and chemical properties of peat coir mixes and the effects of clay materials addition. Acta Horticulturae 450:31-38.
- Martinez, S. M. 1996. Evaluación de mezclas de sustratos y sus componentes en flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Hill) cv Freedom. Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 106 p.
- Masaguer y Cruz, 2007. Avances en sustratos para cultivos hortícolas: caracterización y manejo. 4ª Curso Internacional de Actualización en Horticultura Protegida. Universidad Politécnica de Madrid (España). 44 p.
- McAvoy, R. J.; H. Janes W. 1989. Tomato Plant Photosynthetic Activity as Related to Canopy Age and tomato development. J. Am. Soc. Hort. Sci. 114 (3) 478-482.
- McAvoy, R.J. 1994. Fruit cracking in greenhouse tomatoes. Connecticut Greenhouse Newsletter 178: 21-28.
- McAvoy, R.J. 1995. Don't let your tomatoes crack up - Here's how to prevent those unsightly and profit-robbing-crack on fruit. Am. Veget. Grower, August. pp. 46-47.
- McGuire R., G. 1992. Reporting of objective color measurements. Hort Science 27 (12): 1254-1255.
- Meerow A.W. 1994. Growth Of Two Subtropical Ornamentals Using Coir (Coconut Mesocarp Pith) As A Peat Substitute. HortScience 25(12): 1484-1486.
- Meerow, A.W. 2002. CoirDust, A viable Alternative To Peat Moss. www.ftld.ufl.edu/coir%20potential.htm.
- Mendoza L, U A. 1995. Evaluación de 15 variedades precoces e intermedias de jitomate. Tesis profesional. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 121 p.
- Mingo D.M., Bacon M.A. y Davies W.J. 2003. Non-hydraulic regulation of fruit growth in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* cv Solairo) growing in drying soil. Journal of Experimental Botany 54: 1205-1212
- Mitchell, J.P., Shennan C, Grattan S.R. and May D.M. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. J. Amer.Soc. Hort. Sci. 116: 215-221.
- Mizrahi, M. y S. Arad. 1986. Salinity as a possible means of improving fruit quality. Acta Horticulturae 190: 191-194.



- Mizrahi Y., Taleisnik E., Kagan- Zur V., Zohar Y., Offenbach R. Matan E., and Golan R. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 202-205.
- Mohammed A., I. y A. Ali. Y. 1986. Effect of herbicides on yield and quality of tomato. *Acta Horticulturae* 190: 223-224.
- Moorby J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 P.
- Morel P, Poncet L, Rivière L (2000) Les Supports de Culture Horticoles. Les Matériaux Complémentaires *et al.*ternatifs á laTourbe. INRA. París. 87 p.
- Mosse F. 2004. Hidroponía: Cultivos sin suelo. En línea: <http://anpso.com/monografias/hidroponia/>. (Revisado el 17 de julio de 2007).
- Moscoso R PA 2000 Diagnóstico e importancia de enfermedades en progenitores e híbridos de cocotero (*cocus nucifera* L.) Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 97 P-MSU 1996.
- Muñoz R., J. J. 2003. La producción de hortalizas bajo invernadero en México. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz R. (eds.). pp. 14-16.
- Muratalla L, S. 2003. Paja de maíz como sustrato alternativo en la producción de plántulas de jitomate y plantas de frambuesa. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx.163p.
- Nassar H., H. 1986. Genotypes variation in yield potential and fruit quality of fall grow fresh market tomatoes. *Acta Horticulturae* 190: 545-551.
- Nobel, P. S. y S. P. Long. 1988. Estructura del dosel e intercepción de luz. En: Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. J. Coombs; D. O. Hall; S. P. Long y J. M. O Scurlock (editores). Edit. Futura S. A. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, pp. 34-41.
- Noguera, P., M. Abad y V. Noguera. 2000. Coconut Coir Waste, A New And Viable Ecologically-Friendly Peat Substitute. *Acta Horticulturae* No. 517. pp. 279-286.
- Noguera, P., M. Abad, R. Puchades, A. Maquieira. and V. Noguera. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container médium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34:593-605.
- North Carolina State University. 2004. Standards for retail potting soils. Disponible en: <http://www.ncsu.edu/unity/lockers/proyect/hortsublab/retail/index> (verificada el 19 de enero de 2007)
- Nuez, F. 1995. El cultivo del jitomate. Editorial Mundiprensa. España. 793 p.
- Nuez, F. 2001. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundiprensa 1a reimpresión. Barcelona España. 793 p.



- Ojo de Agua, 2007. Estrés salino y comparación de dos sistemas de producción sobre el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivada en invernadero. Colegio de postgraduados, Montecillo, Estado de México. 105 p.
- Ocegueda A. L. 2004. Evaluación de 9 variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) tipo saladette en campo abierto. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia, Chapingo México. pp. 49.
- Pantástico, E. D. 1984. Fisiología de la posrecolección, manejo y recolección de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Segunda impresión. Ed. C.E.C.S.A. México. 633 P.
- Park, H.J., Y.K. Jung, K.H. Kim and J.E. Son. 2004. Comparison of physical and chemical properties of growing media based on the European standard method and the self-compaction method. *Acta Horticulturae* 644: 225-230.
- Pastor, J. N. "Utilización de sustratos en viveros". *Terra*, 1999, vol. 17, n° 3, p. 231-235.
- Pastor S J N (2000) Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17(3):213-235.
- Peet, M.M and Willits D.H. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. *HortScience* 30: 65-68.
- Pérez Grajales, Mario y Castro Brindis, Rogelio. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Folleto de divulgación. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Picken, A. J. F. ; K. Steward and D. Klapwijk. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton J, G. ; Rudich, J. (Eds.) *The tomato crop*. Chapman and Hall Ltd. New York, EUA pp. 111-165.
- Pill, W.G. y K.T. Ridley. 1998. Growth Of Tomato And Coreopsis In Response To Coir Dust In Soilless Media. *HortTechnology* 8(3):401-406.
- Pinto. J. M., T. A. Botrel, E. C. Machado, and J. C. Feitosa Filho. 2000. The effect of CO₂ applied through irrigation. *Acta Hort.* 537: 267-272.
- Ponce, O. J. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponía. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Mexico. 96 p.
- Prasad M (1997) Physical, chemical and biological properties of coir dust. *Acta Hortíc.* 450:21-29.
- Raviv, M., Y. Chen, Z. Geler, S. Medina, E. Putievski and Y. Inbar. 1984. Slurry produced by methanogenic fermentation of cow manure as a growth médium for some horticultural crops. *Acta Horticulturae* 150: 563-573.
- Regalado, O. M del C., 2002. Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate en hidropinia bajo invernadero. Universidad de Chapingo, Chapingo, México. 161 p.



- Renquist, A. R and Reid, J. B. 1998. Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. *Crop Hort. Sci.* 26: 161-168.
- Resh, H. M. 1992. *Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción.* Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Resh, H. M. 2001. *Cultivos Hidropónicos.* Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 558 p.
- Rezende F., P. C; Arruda S., R; Luiz F., F. 2000. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. *Pesq. Agropec. Bras.* 35: 21-25.
- Richards, D., M. Lañe and D.V. Beardsell. 1986. The influence of particle-size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae* 29:1-14.
- Robinson, N. L; J. D. Hewitt and A. B. Bennett. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. In: *Developmental changes in carbohydrate metabolizing enzymes.* *Plant Physiol.* 87:727-730.
- Robles J (1999) *Cómo se Cultiva en Invernadero.* Ed. de Vecchi. Balmes, Barcelona. 189 p. Rodríguez R. R., J. M. Tavares R. y J. A. Medina J. 1984. *Cultivo moderno del tomate.* Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Rodríguez R. R., J. M. Tavares R. y J. A. Medina J. 1997. *Cultivo Moderno del Tomate.* 2ª Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rodríguez R. R., J. M. Tavares R. y J. A. Medina J. 2001. *Cultivo Moderno del Tomate.* Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rodríguez M., R. 2004. *Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero.* Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. 134 p.
- Russell, C.R. y D. A. Morris. 1982. Invertase activity, soluble carbohydrate and inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mili.) *Ann. Bot.* 49:89-98.
- SAGARPA. 2004. *Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACÓN).* Versión 1.1. Información Agrícola y pecuaria de los años 1980 a 2003. Programa para computadora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Centro de Estadística Agropecuaria. México.
- Salgado P., J. M, Méndez, M; Hernández, M. I; Bruzón, D; Bolumen, S; Cañet P., F. 2005. Empaque en la conservación poscosecha en híbridos de tomate [*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Temas de Ciencia y Tecnología* 9 (25): 17-28.
- Salter, P.J. 1958. The effect of different water-regimes on the growth of plants under glass. IV. Vegetative growth and fruit development in the tomato. *J. Hort. Sci.* 33:1-12.



- Sánchez del C.F., E. Escalante R. y P. Espinosa R. 1991. Experiencias sobre la producción de flores y hortalizas en México con sistemas hidropónicos. Rev. Chapingo. Serie Hort. (73-74): 7-13.
- Sánchez, Del C. F. 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejado con despuntes y altas densidades de población. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 110 p.
- Sanchez, Del C. F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Mexico. 189 p.
- Sánchez del C.F., J. Ortiz C, M.C. Mendoza C, V.A. González H. y M.T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Rev. Agrociencia 33:21 -29.
- Sandoval V., M. 2003. Cultivos hidropónicos. Cuatrimestre de verano EDA-654. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Santiago-J. 1998. Evaluation of tomato in greenhouse conditions; phonological and physiological criteria. Agronomía- Mesoamericana. 9:1.
- Santos C. J. F., Vargas S. A. 2004. Caracterización morfológica y de calidad de 70 genotipos comerciales de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México.
- Scagel, C. 2003. Growth and nutrient use of ericaceous plants grown in media amended with sphagnum moss peat or coir dust. Sedgley, R. H. 1991. Appraisal of the Donald ideotype after 21 years. Field Crops Research. 26:93-112.
- Sen, F. y A. Sevgican. 1999. Effect of water and substrates cultures on fruit quality of tomatoes grow in greenhouse. Acta Horticulturae 486: 349-351.
- Seseña C., N. 1998. Uso de vermicomposta como componente del sustrato y adición de LEDA a la solución fertilizante en nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Hill) cv Freedom. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 61 p.
- Shaffer A., A.; M. Petreikov; D. Miron; M. Fogelman; M. Spiegelman; Z. Bnei-Moshe y S. Shen. 1999. Modification of carbohydrate content in developing tomato fruit. HortScience 34(6): 1024-1026.
- Shishido, Y.; N. Seyama; S. Imada and Y. Hori. 1989. Carbón budget in tomato plants as affected by night temperature evaluated by steady state feeding with $^{14}C O_2$. Annals of Botany. 63(3): 357-367.
- Shishido, Y. and Y. Hori. 1991. The role of leaf as affected by phyllotaxis and leaf histology on the development of the fruit in tomato. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 60:2, 319-327.



- Sion Macias, Fredy. 1979. Evaluación de rendimiento y calidad del fruto en 5 líneas de jitomate. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Slack, G. and A. Calvert. 1977. Effect of truss removal on the yield of early sown tomatoes. *Journal of Horticultural Science*. 52:309-315.
- Stamps, R.H. y M.R. Evans. 1997. Growth Of *Dieffenbachia macúlala* "Camille" In Growing Media Containing Sphagnum Peat Or Coconut CoirDust. *HortScience* 32(5):844-847.
- Steiner A. A. 1961 A universal method for preparing nutrient solution. Of a certain desired composition. *Plant and soil* XV: 134-154.
- Stenvers, N. and Staden, D.L., 1976. Growth, ripening and storage of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mili.). III. Influence of vegetative plant parts and effect of fruit competition and seed number on growth and ripening of tomato fruits. *Gartenbauwissenschaft*. 41:253-259.
- Steta, M. 2004. Perspectivas de la producción de hortaliza en invernadero en México. IV Foro de expectativas del sector agroalimentario y pesquero 2004. SAGARPA. México, DF 30 de abril 2004.
- Stevens M. A. 1973. The influence of multiple quality requirements on the plant breeding. *Hortiscience* 8: 110-112.
- Stevenson, FJ. 1982. *Humus Chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 443 pp.
- Stevens -M., A. y C. M. Rick. 1993. *Genetics and Breeding in Tomato Crop. Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall. Great Britain. 35-109 pp.
- Tapia, M. L. y V. Gutierrez. 1997. Distribution pattern of the dry weight, nitrogen, phosphorous and potassium through tomato ontogenesis. *J. Plant. Nutr.* 20: 783-791.
- Tanaka, A. y K. Fujita. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant. IV. Source sink relationship and structure of the source-sink. *Soil Sci. Plant Nutr.* 20:305-315.
- Tanaka U. y Kyuma. K.1992. Quantification of morphological Characteristics of crust by thin section-image analyzing method (TS-IA method). *Soil Sci. Plant Nutr.* 38:369-373.
- Tando K.S., Baldwin E.A., Scott J.W. y Shewfelt R.L. 2003. Linking sensory descriptors to volatile and non-volatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science* 68: 2366-2371.
- Terés, V. 2001. Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego. Metodología de laboratorio y modelización. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Producción Vegetal, Fitotecnia.



- Thomley, J. H.,M. and R. G. Hard. 1974. An analysis of growth of young tomato plants in water culture at different light integráis and CO₂ concentrations. U. A mathematical model. *Ann. Bot.* 38:389-400.
- Thybo A.K., Edelenbos M., Christensen L.P., Sorensen J.N. y Thorup-Kristensen K. 2006. Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *Swiss Society of Food Science and Technology* 39: 835-843.
- Tigchelaar E., C. 1986. Tomatoe breeding In: *Breeding Vegetable Crop*. Basset. M.J. (Ed) Avi Publishing. U.S.A. 190: 135-171 pp.
- Tigchelaar E., C. 1990. Tomatoes for processing in the 90's: Genetics and breeding. *Acta Horticulturae* 277: 31-77.
- Triano S., R. y D. A. Clair. 1995. Processing tomate germplasm with improved fruit soluble solids content. *HortSciencie.* 30 (7): 147-148.
- Tripepi, R.R., M.W. George, A.G. Campbell and B. Shafii. 1996. Evaluation pulp and peper sludge as a substrate for comparison in container media. *Journal Environmental Horticulture* 14: 91-96.
- Ünver I, Atamán Y, Canga M R, Munsuz N (1989) Buffering capacities of some mineral and organic substrates. *Acta Horti.* 238:83-97.
- Urrestarazu, M. 2000 *Manual de cultivo sin suelo*. Editorial Mundi-Prensa. España. 648 p.
- Urrestarazu. M. *Tratado de cultivo sin suelo*. 3a ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 2004, 914 p.
- Urrutia M., A. 2003. Comercialización y mercados, p. 333-336. In: J. J. Muñoz R. y J. Z. Castellanos, (ed.). *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. INC APA. México.
- Velasco G., S. 1995. Evaluación de cuatro sustratos en el transplante y desarrollo de miniazalea (*Rhododendron indicum*) en condiciones de invernadero en Chapingo, Méx. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.
- Ventura, FJ. 2001. Evaluación agronómica de un sustrato alternativo, cascara de almendra con fines de producción hortícola en comparación con el polvo de coco. Universidad de Almería. 123 p.
- Verdonck, O., D. De Vleeschauwer y R. Penninck. 1983. Cocolibre Dust, a New Growing Médium for Plantsin The Tropics. *Acta Horticulturae* No. 133. pp. 215-220.
- Verdonck, O., R. Penninck and M. De Boodt. 1984. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 150: 155-160.
- Verdonck, O. and P. Demeyer. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae* 644: 99-101.



- Villareal R., R. 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica. 184 p.
- Villegas O. G. T. 2004. Soluciones nutritivas para la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponía. Montecillos México, 129 p.
- Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato carbónimport and fruit growth. Ann. Bot. 41:813-23.
- Wann E., V. 1997. Tomato germplasm lines T4065, T4099, T5019 and T5020 whit unique genotypes that enhance fruit quality. Hort. Science 32 (4): 747-748.
- Warncke, D.D. 1990. Testing artificial growth media and interpreting the results. In: Soil testing and plant analysis. R.L Westerman (ed). Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp: 338-355.
- Warren, W. J. 1967. Ecological data on dry-matter production by plants and plant communities. In: E. F. Bradley and O. T. Demmead (Edítors), The Collection and Processing of Field data. Wiley, New York, EUA. pp. 77-123.
- Wereing P. F. and Patrick. 1975. Source-sink relations and partitions of assimilates. In. J. P. Cooper Celd, Photosynthesis and productivity in differents environments. Cambridge Univ. Press pp. 481-499.
- Wilkinson S. 2004. Water use efficiency and chemical signalling. En: Water use efficiency in plant biology (ed. Mark A. Bacon). Blackwell Publishing Ltd., London, UK. pp. 75-112.
- Wilson, J. W. 1972. Control of crop processes. In: Crop processes in controlled enviroments. A. R. Rees (Ed.) Academic Press. New York, EUA. pp. 7-30.
- Wolf, S. y J. Rudich. 1988. The growth rates of fruits on different parts of tomato plants and the effect of water stress on dry weight acumulation. Science Horticulturae 34: 1-11.
- Wright R. D. Gruber, K. L. and Leda C. 1990. Medium nutrient extraction with the pour-through and saturated medium extract procedures for poinsettia. HortScience 25: 658-660.
- Yau, P.Y. y R.J. Murphy. 2000. Biodegraded Cocopeat As A Horticultural Substrate. Acta Horticulturae No. 517. pp. 275-275.
- Zamora M. B. P. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco. Edo. De México. 95 p.
- Zarate S., J. 1995. Evaluación de cinco sustratos y dos cultivares de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Remat) para maceta bajo invernadero en la región de Texcoco, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 125 p.
- Zegbe-Domínguez J.A., Behboudian M.H., Lang A. y Clothier B.E. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit



quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.).
Scientia Horticulturae 98: 505-510.

Diccionarios

McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology. 1977. McGraw-Hill, Inc.
New York.

Real Academia Española. 1970. Diccionario de la Lengua Española. 19ª edicion.
Madrid.