

Universidad Autónoma Chapingo

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO EN HORTICULTURA**



**“VALORACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
MORFOLÓGICAS Y ANATÓMICAS DE 10 CULTIVARES
DE JITOMATE EN HIDROPONIA BAJO INVERNADERO”**

TESIS

**Que como Requisito Parcial
para obtener el Grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

HORTICULTURA

PRESENTA:

MARÍA DEL CARMEN REGALADO ORTÍZ

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

Chapingo, Méx., enero de 2002.



131897093

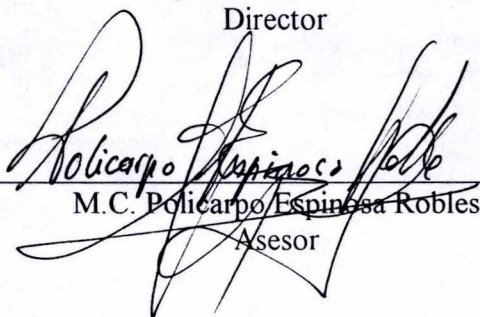
**VALORACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y ANATÓMICAS DE
10 CULTIVARES DE JITOMATE EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO**

Tesis realizada por **María del Carmen Regalado Ortiz** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

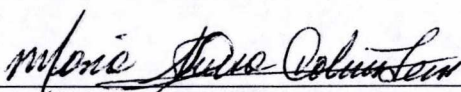
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



Dr. Felipe Sánchez Del Castillo
Director



M.C. Policarpo Espinosa Robles
Asesor



Dra. María Teresa B. Colinas León
Asesor

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

39422

**VALORACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y ANATÓMICAS DE 10
CULTIVARES DE JITOMATE EN HIDROPONIA BAJO INVERNADERO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **María del Carmen Regalado Ortiz** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:



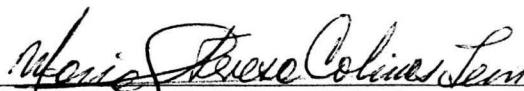
Dr Felipe Sánchez Del Castillo

Presidente



M.C. Policarpo Espinosa Robles

Asesor



Dra. María Teresa B. Colinas de León

Asesor

AGRADECIMIENTOS

La tesista expresa su profundo agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Fitotecnia por haberme brindado la oportunidad de prepararme profesionalmente.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (D.G.E.T.A.) de la SEP, por haber hecho posible la realización del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Felipe Sánchez Del Castillo, por su excelente dirección en la realización del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Policarpo Espinosa Robles, por su acertada asesoría y valioso apoyo en la realización del presente estudio.

A la Dra. Ma. Teresa B. Colinas León, por sus valiosas enseñanzas, por su firme apoyo para la conclusión del presente trabajo.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, por las facilidades y apoyo brindados para la culminación de la presente.

Al Ing. Roberto Izquierdo Pérez, Directivo de la D.G.E.T.A., por su invaluable apoyo e interés para la consecución del presente trabajo.

A mis maestros de la Maestría en Ciencias en Horticultura, por las valiosas enseñanzas que me transmitieron.

Al M.C. Juan López Santiago, por su profesionalismo y determinante ayuda en el análisis e interpretación del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Abel Muñoz Vidals, por su apoyo durante nuestra estancia en la maestría y por su gran calidad humana.

Al C. Valentin Soto Mata, por las facilidades que me otorgó en la revisión del material didáctico utilizado en el sustento de la presente.

DEDICATORIA

A Dios a quien le debo todo.

A la memoria de mis padres: Sr. Hilario Regalado González y Enriqueta Ortiz Vega y de mi hermana: Estela Regalado Ortiz (q.e.p.d.) porque su recuerdo siempre estará presente, por la mejor herencia que me legaron: superación personal, solidaridad con el prójimo y respeto a la familia.

A mis hermanos y hermanas, en especial a Alfonso y Alfredo Regalado Ortiz, quienes, primero, con su dedicación en el estudio y, después, con su destacada trayectoria profesional, me motivaron para realizar mis estudios de postgrado.

A mis amigas: Martha Díaz R., Rocío de la Vega J., Elena Monroy A. e Isabel Avendaño, por su valiosa amistad, por haber compartido momentos de alegría y en ocasiones de tristeza.

A Margarita por su valioso apoyo en la preparación del documento final de la presente investigación y por su amistad.

A Alejandra Varela R., con todo mi agradecimiento por su determinante impulso para la conclusión del presente estudio.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Origen e historia del jitomate	5
2.2. Importancia socioeconómica	6
2.2.1. Mundial	6
2.2.2. Nacional	7
2.3. Clasificación taxonómica	9
2.4. Características morfológicas y anatómicas del jitomate	9
2.4.1. Raíz	9
2.4.2. Tallo	10
2.4.3. Hoja	13
2.4.4. Flor	15
2.4.5. Fruto	21
2.4.6. Semillas	26
2.5. Requerimientos climáticos	27
2.5.1. Luz	27
2.5.2. Temperatura	31
2.5.3. Humedad	37
2.6. Densidad de población	39
2.7. Podas y despuntes	42
2.8. Hidroponia e invernaderos	45
2.8.1. Hidroponia	45
2.8.2. Invernaderos	52
2.9. Arquetipos	57
2.9.1. Características requeridas para tallos	61
2.9.2. Características requeridas para hojas y el dosel	62

2.9.2.1.	Disposición y distribución de hojas.	63
2.9.2.2.	Inclinación de la hoja	63
2.9.2.3.	Hojas superiores e inferiores	64
2.9.2.4.	Índice de área foliar	66
2.9.2.5.	Hojas pequeñas y eficiencia	67
2.9.3.	Características requeridas para órganos reproductivos	68
2.10.	Distribución de fotoasimilados	69
2.10.1.	Aspectos generales	69
2.10.2.	Factores que determinan la distribución de asimilados	70
2.10.2.1.	Factores internos	70
2.10.2.1.1.	Filotaxia, sistema vascular y competencia de la demanda	71
2.10.2.1.2.	Relaciones fuente-demanda	72
2.10.2.1.2.1.	Prioridad de la repartición de asimilados	72
2.10.2.1.2.2.	Fuerza de la demanda y crecimiento del fruto de jitomate	75
2.10.2.1.2.3.	Regulación hormonal de la prioridad de la demanda	78
2.10.2.1.2.4.	Importe de materia seca para el crecimiento del fruto	79
2.10.2.1.2.5.	Movilización, removilización y acumulación de fotoasimilados	80
2.10.2.2.	Factores externos	82
2.10.2.2.1.	Luz y CO ₂	82
2.10.2.2.2.	Temperatura	85
2.10.2.2.3.	Agua, CO ₂ y nutrientes	87
2.11.	Componentes de rendimiento en jitomate	90
2.11.1.	Manipulación del número y tamaño de frutos	92
III.	MATERIALES Y METODOS	94
3.1.	Localización del experimento	94
3.2.	Material vegetal	94
3.3.	Semillero	96

3.4. Diseño experimental y tratamientos	96
3.5. Manejo del cultivo	97
3.5.1. Características del invernadero y sustrato	97
3.5.2. Transplante	98
3.5.3. Riego y solución nutritiva	98
3.5.4. Tutorio	100
3.5.5. Podas y despuntes	100
3.5.6. Plagas y enfermedades	100
3.6. Colecta de material vegetativo y reproductivo y preparación de cortes anatómicos	101
3.7. Variables evaluadas	101
3.8. Análisis de datos	105
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	106
4.1. Variables morfológicas	106
4.2. Variables anatómicas	112
4.2.1. Variables anatómicas de tallo	113
4.2.2. Variables anatómicas de pedúnculo de la primera inflorescencia	116
4.2.3. Variables anatómicas de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia	119
4.2.4. Comparaciones de áreas de tejidos (tejido vascular y parenquimático) en diferentes estructuras de jitomate	122
4.2.4. Variables anatómicas de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia	123
4.3. Variables de rendimiento	128
4.4. Análisis de variables morfológicas y componentes de rendimiento por hilera	131
4.5. Análisis de correlaciones de rendimiento y sus componentes	132
4.6. Análisis de correlaciones de variables morfológicas con rendimiento y sus componentes	134
4.7. Análisis de correlaciones de variables anatómicas con rendimiento	136
IV. CONCLUSIONES	138
V. LITERAURA CITADA	140

INDICE DE CUADROS

II REVISION DE LITERATURA

Cuadro 2.1.	Fertilizantes más utilizados en los cultivos hidropónicos	49
Cuadro 2.2.	Rendimiento promedio de jitomate por planta (kg.)	51

III MATERIALES Y METODOS

Cuadro 3.1.	Algunas características generales de 10 cultivares de jitomate.	95
Cuadro 3.2.	Distribución de tratamientos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones	97
Cuadro 3.3.	Nutrientes, concentración y fuente de fertilizante para la solución nutritiva utilizada en el experimento de 10 cultivares de jitomate.	99

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Cuadro 4.1.	Cuadrados medios y niveles de significancia de cinco caracteres morfológicos en 10 cultivares de jitomate.	106
Cuadro 4.2.	Comparación de medias de cinco variables morfológicas para 10 cultivares de jitomate.	108
Cuadro 4.3.	Análisis de varianza de tres variables morfológicas de 10 cultivares de jitomate.	110
Cuadro 4.4.	Comparación de medias de tres variables morfológicas para 10 cultivares de jitomate.	111
Cuadro 4.5.	Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de tallo de 10 cultivares de jitomate.	113
Cuadro 4.6.	Comparación de medias de cinco variables anatómicas de tallo para 10 cultivares de jitomate.	114
Cuadro 4.7.	Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de pedúnculo de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.	117

Cuadro 4.8.	Comparación de medias de cinco variables anatómicas de pedúnculo de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.	118
Cuadro 4.9.	Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.	120
Cuadro 4.10.	Comparación de medias de cinco caracteres anatómicos de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.	121
Cuadro 4.11.	Medias de áreas ocupadas por diferentes tejidos en cortes transversales de tallo, pedúnculo y pedicelo en 10 cultivares de jitomate.	123
Cuadro 4.12.	Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.	124
Cuadro 4.13.	Comparación de medias de caracteres anatómicos de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.	125
Cuadro 4.14.	Cuadrados medios y niveles de significancia de componentes de rendimiento de 10 cultivares de jitomate.	128
Cuadro 4.15.	Comparación de medias de tres variables de rendimiento para 10 cultivares de jitomate	130
Cuadro 4.16.	Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas y de rendimiento para el factor hileras de 10 cultivares de jitomate.	131
Cuadro 4.17.	Comparación de medias por hilera para variables morfológicas y de componentes de rendimiento en 10 cultivares de jitomate	132
Cuadro 4.18.	Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento y sus componentes de 8 cultivares de jitomate.	133
Cuadro 4.19.	Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento y las variables morfológicas de 8 cultivares de jitomate.	134
Cuadro 4.20.	Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento con las variables anatómicas de 8 cultivares de jitomate.	137

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Porcentajes de áreas ocupadas por los diferentes tejidos en un corte transversal de tallo.	116
Figura 2. Porcentajes de áreas ocupadas por los diferentes tejidos de un corte transversal de pedúnculo de la primera inflorescencia.	119
Figura 3. Porcentajes de áreas ocupadas por los diferentes tejidos de un corte transversal de pedicelo de la primera inflorescencia.	122
Figura 4. Cortes anatómicos de tallo y pedúnculo.	126
Figura 5. Cortes anatómicos de pedicelo y ovario	127

RESUMEN

Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate en hidroponia bajo invernadero

Ante la necesidad de contar con genotipos de jitomate que hagan un uso óptimo de los recursos en un limitado espacio, con ambiente no restrictivo y que expresen su máximo potencial de rendimiento, se planteó realizar la presente investigación, cuyo objetivo fundamental fue evaluar 10 cultivares de jitomate desde el punto de vista morfológico y anatómico para identificar caracteres asociados a altos rendimientos y que se puedan incorporar a un arquetipo de planta. Para tal fin, se estableció un experimento de jitomate en hidroponia bajo invernadero, con despunte a tres racimos y con una densidad de 9 plantas. m², utilizando un sustrato hidropónico (arena de tezontle rojo), irrigado mediante goteo con una solución nutritiva balanceada. Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los caracteres morfológicos evaluados fueron: altura de planta, número de hojas, área foliar, longitud de entrenudos, diámetros de tallo, pedúnculo, pedicelo y de ovario. Anatómicamente se estudió tallo (área total, áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima); pedúnculo (área total, áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima); pedicelo (área total, áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima) y de ovario (área total, número y tamaño de células y número de óvulos). Asimismo se determinaron las variables: rendimiento, peso medio y número de frutos. m² y del primer racimo. Mediante el análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey), se probaron estadísticamente las diferencias en la expresión de los caracteres entre los cultivares. Asimismo, considerando la generalidad de los cultivares mediante la correlación simple (Pearson) se estimó el grado de asociación de los caracteres con el rendimiento y sus componentes. Se concluye que las características asociadas a altos rendimientos en un medio no restrictivo como el propiciado por el cultivo en invernadero y la técnica hidropónica, son: mayor longitud de entrenudos (5.86-6.29 cm), alto número de hojas (15-16), pedúnculos gruesos (áreas de xilema y parénquima) y número de óvulos (65-95). Los cultivares de hábito indeterminado que expresaron las mejores características morfológicas y anatómicas para altos rendimientos fueron: Big beef (14 kg. m²) y IV-2700 (13.39 kg. m²) y los de hábito determinado fueron Solarset (11.92 kg. m²) y Pick ripe 11.61 kg. m²).

Palabras claves: Jitomate, hidroponia, arquetipo, rendimiento, entrenudos, hojas,

SUMMARY

evaluation of morphological and anatomic components of 10 tomato cultivars in hydroponics under greenhouse conditions

This research was carried out with the need to have tomato genotypes that can make a better use of resources in a limited space with nonrestrictive environment and can express their maximum potential of yield. The main purpose of the research was to evaluate 10 tomato cultivars from the morphological and anatomic view which could allow to identify characters associated to high yields and could be incorporated into a plant archetype. An experiment of tomato in hydroponics under greenhouse conditions was established with a cut off three bunches with a density of 9 plants. m^2 , using a hydroponic substrate (sand of red tezontle-porous building stone) irrigated by dropping with a balanced nutritive solution. It was used a randomized block design with four replications. The morphological evaluated characters were height of plant, number of leaves, foliar area, length of internodes, diameters of stem, peduncle, pedicel, and ovary. It was anatomically studied stem (total area, areas of external and internal phloem, xylem, and parenchyma), peduncle (total area, areas of external and internal phloem, xylem, and parenchyma), pedicel (total area, areas of external and internal phloem, xylem, and parenchyma) and ovary (total area, number and size of cells, number of ovules). Variables were also determined: yield, average weight and number of fruits. m^2 from the first bunch. By the analysis of variance and test of comparison of means (Tukey), differences in the characters expression of cultivars were statistically tested. In like manner, by considering the generality of cultivars through the simple correlation (Pearson) the level of characters association with yield and its components was estimated. It is concluded that the associated characteristics to high yields for and archetype in a nonrestrictive environment as that given by cultivation in greenhouses and hydroponic techniques are greater length of internodes (5.86-6.29 cm) greater number of leaves (15-16), thick peduncles (areas of xylem and parenchyma) and number of ovules (65-95). The cultivars of undetermined habit which expressed the best morphological and anatomic characteristics for high yields were Big beef (14 kg. m^2) and IV-2700 (13.39 kg. m^2) and those of determined were Solarset (11.92 kg. m^2) and Pick ripe (11.61 kg. m^2).

Key words: tomato, hydroponics, archetype, yield, internodes, leaves.

I. INTRODUCCIÓN

El jitomate es una de las hortalizas más populares a nivel mundial (Muñoz *et al.*, 1995), los principales países productores son: China (19.64 %), Estados Unidos (11.40 %), Italia (7.07%), Turquía (6.87 %) y Egipto (6.42 %). Bajo este contexto, México ocupa el décimo lugar con el 2.42 % (FAO, 2000).

En México, el jitomate es un cultivo con arraigo tradicional, cuyo consumo es cotidiano en la dieta de los mexicanos. Durante 1999 ocupó el segundo lugar por la superficie cultivada y el primer lugar en cuanto al volumen y valor de la producción en el renglón hortícola, produciéndose ampliamente tanto para el mercado nacional como para el de exportación (SAGAR, 1999).

A nivel nacional, se reporta para el año agrícola 1999, una superficie sembrada de 83,217 ha, una superficie cosechada de 81,547 ha, un volumen de producción de 2'388,204 t, un rendimiento promedio de 29.28 t ha⁻¹ y un precio medio rural de \$3,719.23/t, generando un valor de la producción de \$ 8'882,269.368 (SAGAR, 2000).

Esta hortaliza tiene gran importancia socioeconómica, ya que además de ser un cultivo generador de ingresos para los productores, representa una destacada fuente de empleo, tanto para mano de obra calificada, como para la no calificada (Muñoz *et al.*, 1995).

Los principales estados productores son: Sinaloa, Baja California, Michoacán, San Luis Potosí y Nayarit, (SAGAR, 2000), en estas entidades, el proceso de producción se realiza principalmente a campo abierto, circunstancias en las que el cultivo está expuesto a las irregularidades climáticas y edáficas, tales como falta de agua, heladas, limitaciones en la fertilidad de los suelos y topografía accidentada. Estas restricciones conllevaron a la creación en el Departamento de Fitotecnia de la UACH, de una línea de investigación denominada "Producción superintensiva de jitomate en hidroponía bajo condiciones de invernadero rústico", generando un paquete tecnológico que consiste en despuntar la planta para dejar una, dos o tres inflorescencias con una o dos hojas arriba de éstas; además se eliminan todos los brotes laterales que emite la planta durante el ciclo, esto, con la finalidad de establecer muy altas densidades de

población (24 plantas.m²), en lugar de 2 a 3 plantas.m² que se utilizan en los sistemas convencionales (Sánchez y Corona, 1994 y Sánchez, 1994).

Considerando que este sistema está basado en la cosecha de uno, dos o tres racimos por planta, el rendimiento final depende del número y peso de pocos frutos por planta, por ello adquiere gran importancia la búsqueda de genotipos que en altas densidades de población, expresen alto potencial de rendimiento por unidad de superficie en un ambiente no restrictivo.

Bajo el contexto de arquetipo, la producción eficiente de biomasa de un cultivo dependerá de la habilidad de cada planta para hacer un uso óptimo de los recursos en el limitado espacio en el que crece, pero interfiriendo lo menos posible con sus vecinas, y la población como un todo, debe presionar sobre el total de los recursos disponibles a un grado máximo para que así se alcance la mayor producción. Así, las plantas que, viviendo en competencia pueden dar el mayor rendimiento económico por unidad de superficie en un ambiente no restrictivo, son aquellas que por sus características morfológicas y anatómicas sufren la menor interferencia de sus vecinas y que por su alta eficiencia fisiológica explotan al máximo el ambiente favorable que les rodea y optimizan la partición de asimilados hacia el grano o fruto (alto IC) (Donald y Hamblin, 1983 y Sedgley, 1991).

Existen algunas características que se consideran deseables para un arquetipo de jitomate; para generar cambios convenientes rápidamente, se pueden utilizar prácticas como la poda de brotes y de hojas, despunte de la yema terminal y el tutoreo. Al existir una gran variabilidad genética de esta especie, es posible la detección de aquellas características genéticas deseables, que no son modificables mediante el manejo, a fin de seleccionar las que tienen valor para incorporarse al arquetipo.

Algunos de los modelos estudiados para la creación de arquetipos en jitomate se basan en el crecimiento y desarrollo de toda la planta a través de algunas características tales como área foliar, número y peso seco de hojas, entrenudos y frutos (Jones *et al.*, 1991); de donde surge el planteamiento del presente trabajo referente a investigar las características morfológicas y anatómicas de plantas despuntadas a tres racimos y cultivadas a una densidad de 9 pl.m² en un

ambiente no restrictivo para interpretar su contribución al rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Para tal propósito, se consideraron los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivo general

Evaluar algunos caracteres morfológicos y anatómicos y su relación con rendimiento y sus componentes en 10 cultivares de jitomate a una densidad de 9 pl.m² , con despunte a tres racimos en hidroponia bajo invernadero.

Objetivos específicos

1. Interpretar la contribución de las variables morfológicas (diámetro de tallo, altura de planta, número de hojas por planta, longitud de entrenudos, área foliar por planta, diámetro de pedúnculo en primera inflorescencia, diámetro de pedicelo en primera flor de primera inflorescencia, diámetro de ovario de primera flor en primera inflorescencia) con relación al rendimiento por unidad de superficie.
2. Interpretar la contribución de las variables anatómicas: área total de tallo (área de floema externo, área de floema interno, área de xilema y área de parénquima), área total de pedúnculo (área de floema externo, área de floema interno, área de xilema y área de parénquima), área total de pedicelo (área de floema externo, área de floema interno, área de xilema y área de parénquima) y área total de ovario (número promedio de células, tamaño promedio de células y número promedio de óvulos) con relación al rendimiento por unidad de superficie.
3. Identificar las características morfológicas y anatómicas que influyen en el rendimiento, con el propósito de ser recomendadas para un arquetipo de planta de jitomate.

Hipótesis general

Algunos caracteres morfológicos y anatómicos de jitomate cultivados en hidroponia bajo invernadero influyen en el rendimiento.

Hipótesis particulares

1. A menor altura de planta y menor longitud de entrenudos, se propicia un mayor diámetro de tallo, pedúnculo, pedicelo y ovario, se incrementa el número de frutos y en consecuencia un mayor rendimiento.
2. El incremento en el número de hojas influye en un mayor rendimiento.
3. Una mayor área total de tallo, pedúnculo, pedicelo y ovario (y sus componentes), permite tener un mayor número de frutos y mayor peso promedio de frutos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e historia del jitomate

El origen del jitomate se ubica en el Centro Sudamericano (VIII) de la clasificación de Vavilov (Vavilov, 1951), en donde se encuentra una gran diversidad genética y las especies silvestres nativas de la región andina están distribuidas en las montañas de Perú, Bolivia, Brasil, Ecuador, Colombia y las Islas Galápagos de la costa sur de Chile, en donde crecen de manera espontánea (Taylor, 1986 y Rick, 1978). Aunque también se les ha localizado en otras zonas de América, como América Central y las Antillas. Los introductores a Europa fueron los españoles a raíz del descubrimiento del Nuevo Mundo, primero a España, posteriormente a Italia, Portugal, Francia y finalmente al Norte de Europa (Sobrino, 1989). La primera referencia del uso del jitomate con propósitos culinarios fue hecha por Jefferson en 1781, pero fue hasta 1835 cuando se comienza a cultivar de manera comercial en los Estados Unidos.

Hasta el siglo XIX, el jitomate era cultivado principalmente como planta ornamental por sus frutos coloridos. Como alimento se le evitaba, ante la creencia de que su parentesco con otros miembros venenosos de la familia Solanácea (como la belladona y la mandrágora, que tienen concentraciones altas de alcaloides) lo hacía tóxico. Ahora se sabe que el alcaloide dominante en el tomate es la tomatina, compuesto mucho menos tóxico, aún en altas concentraciones, que los alcaloides de la mayor parte de las Solanáceas (Villareal, 1982).

Las evidencias existentes señalan a México como el centro probable de domesticación. Estudios comparativos de variantes enzimáticas y cromosómicas hereditarias revelan una mayor similitud entre antiguas variedades domésticas europeas y las variedades domésticas primitivas y silvestres de las regiones de Puebla y Veracruz en México que con las de Perú (Rick, 1978).

Actualmente el jitomate está difundido y se cultiva a campo abierto en todas las regiones tropicales y templadas en períodos de clima benigno sin heladas a las que es muy sensible; y en climas fríos pero protegido con cubiertas, aunque se ha concentrado en áreas con climas favorables; por ejemplo, en México aproximadamente el 33 % de la producción total nacional se

sitúa en el estado de Sinaloa, donde se puede producir a campo abierto durante el invierno (González, 1991).

2.2. Importancia socioeconómica

2.2.1. Mundial

El jitomate es una de las hortalizas más populares a nivel mundial, catalogado como buena fuente de vitamina A y C, contribuyendo de esta manera a elevar la calidad de la dieta alimenticia. Se aprovecha tanto fresco como procesado en una amplia gama de presentaciones, contribuyendo ésto a aumentar su producción (Muñoz *et al.*, 1995).

El consumo *per cápita* durante 1988 fue de 31.8 kg para España, mientras que para Estados Unidos fue de 25.5 kg (Rodríguez *et al.*, 1989).

Las estadísticas de producción mundial del jitomate, reportan para el año 2000 una superficie cosechada de 3'593,490 ha, con un rendimiento promedio de 27.5 t/h y un volumen de producción de 98'846,186 t; siendo los principales países productores: China (19.64 %), Estados Unidos (11.40 %), Italia (7.07 %), Turquía (6.87 %) y Egipto (6.42 %). Bajo este contexto, México ocupa el décimo lugar con el 2.42 % (FAO, 2000).

Debido al incremento de la demanda en el mercado tanto como fruto fresco como para la industria de la transformación (arriba de dos terceras partes de la producción mundial), la superficie del cultivo de jitomate ha crecido constantemente en los últimos 20 años de 1.94 a 2.88 millones de hectáreas (49 %) con sustanciales mejoras en el rendimiento (34 %), la producción mundial de jitomate se ha incrementado cerca de 98 %, en este período (Ho, 1996).

Los rendimientos promedios a nivel continente, han tenido el siguiente comportamiento: América del Norte (46.61 t/ha¹); América del Sur (35.44 t/ha); Oceanía (42.77 t/ha); Europa (39.96 t/ha); Asia (25.89 t/ha) y Africa (22.06 t/ha) (FAO, 1998).

El volumen total de jitomate exportado a nivel mundial durante 1999 fue de 3'807,692 t, con un valor de \$ 2'920,156,000, siendo los principales países exportadores: España con 23.69

%, México con 17.47 %, Marruecos con 6.39 %, Jordania con 4.84 % y Bélgica-Luxemburgo con 4.53 %. Países que en conjunto exportan el 56.89 % del total (FAO, 2000).

Las importaciones en el ámbito internacional para 1999, reportan un volumen de 3'585,339 t, con un valor de \$ 2'984,759,000, siendo los principales países importadores: Estados Unidos (20.66 %), Alemania (16.62 %), Francia (11.0 %), Reino Unido (8.49 %) y Canadá (4.53 %). Los cuales en conjunto importan el 61.3 % del total mundial (FAO, 2000).

2.2.2. Nacional

En el territorio mexicano, el jitomate es un cultivo con arraigo tradicional, cuyo consumo es cotidiano en la dieta de los mexicanos, ocupa el segundo lugar por la superficie cultivada y el primer lugar en cuanto al volumen y valor de la producción en el renglón hortícola, cultivándose ampliamente tanto para el mercado nacional como para el de exportación (SAGAR, 1999).

Las estadísticas de producción nacional para jitomate, reportan para el año agrícola 1999, una superficie sembrada de 83,217 ha, una superficie cosechada de 81,547 ha, un volumen de producción de 2'388,204 t, un rendimiento promedio de 29.28 t ha⁻¹ y un precio medio rural de \$ 3,719.23/t, generando un valor de la producción de \$ 8'882,269,368. Siendo Sinaloa, Baja California, Michoacán, San Luis Potosí y Nayarit, los principales estados productores (SAGAR, 2000).

El consumo *per cápita* estimado para México durante 1999 fue de 13 kg (FAO, 2000).

La aportación de los estados a la producción nacional de jitomate tuvo el siguiente comportamiento para el año agrícola 1999. Sinaloa: superficie cosechada (24,191 ha), volumen de la producción (798, 680 t), rendimiento promedio (33.01 t ha⁻¹), precio medio rural (\$ 3,885.52/t) y un valor de la producción (\$ 3'103,290,937). Michoacán: superficie cosechada (9,668 ha), volumen de la producción (277,636 t), rendimiento promedio (28.71 t ha⁻¹), precio medio rural (\$ 3,094.13/t) y un valor de la producción (\$ 859'042,875). Baja California Norte: superficie cosechada (9,536 ha), volumen de la producción (445,169 t), rendimiento promedio (46.68 t ha⁻¹), precio medio rural (\$ 4,236.05/t) y un valor de la producción (\$ 1'885,759,408).

San Luis Potosí: superficie cosechada (6,820 ha), volumen de la producción (179,320 t), rendimiento promedio (26.29 t ha⁻¹), precio medio rural (\$ 2,469.03/t) y un valor de la producción (\$ 442'746,734). Jalisco: superficie cosechada (4,209 ha), volumen de la producción (134,222 t), rendimiento promedio (31.88 t ha⁻¹), precio medio rural (\$ 5,100.29/t) y un valor de la producción (\$ 684'571,613) (SAGAR, 2000).

En la República Mexicana el jitomate tiene una gran importancia socioeconómica, ya que además de ser un cultivo generador de ingresos para los productores, representa una destacada fuente de empleo, tanto para mano de obra calificada como para la no calificada, ya que según el Censo General de Población y Vivienda de 1990, para la producción de 75,000 ha de jitomate, se emplearon aproximadamente 172,289 trabajadores de campo, provenientes de los estados de Oaxaca, Guerrero, Guanajuato, Zacatecas y Veracruz, que emigran temporalmente a las zonas del norte del país (Muñoz *et al.*, 1995).

El cultivo de las hortalizas en México es uno de los principales generadores de divisas. Durante 1998, las ventas externas de jitomate representaron el 30.2 % de las exportaciones totales, siendo los principales destinos Estados Unidos y Canadá, registrándose durante 1998 y 1999 un volumen de exportación de 734,053 t y 615,064 t, con un valor de la producción de 567 millones de dólares y 489 millones de dólares respectivamente (De Santiago, 2000).

Las exportaciones de jitomate en México se realizan fundamentalmente en la temporada otoño-invierno de cada año, demandándose principalmente el tomate "Roma" y los tipos "Saladette" y "Bola", entre otros (Internet, 1997).

Se reporta que durante el verano e invierno de 1996 y 1997, México redujo el volumen exportado de "otros tomates", situación que aprovechó Canadá y los Países Bajos, para incrementar sus exportaciones, cabe señalar que debido a un cambio en los gustos y preferencias de un segmento de la población en los Estados Unidos, se ha generado recientemente un mercado para el jitomate hidropónico y el de invernadero, ambos de alto precio (producidos por Canadá y los Países Bajos), línea de producción que podría ampliar la participación de México en el mercado de referencia (Internet, 1997).

2.3. Clasificación taxonómica

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una planta dicotiledónea de la familia de las solanáceas. Los miembros de esta familia presentan haces bicolaterales y su estructura floral modelo K(5) {C(5) A(5)} G(2). Sus flores son radiales y con cinco estambres. El ovario súpero, bicarpelar, contiene numerosos primordios seminales, produciendo bayas polispermas. Los carpelos se presentan en posición oblicua con respecto al plano mediano de la flor (Nuez, 1995), según este autor la taxonomía del jitomate generalmente aceptada es:

Clase	Dicotiledóneas
Orden	Solanales (personatae)
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Esculentum</i>
Nombre común	Jitomate o tomate rojo
Var. Commune	Jitomate común
Var. Grandifolium	Jitomate hoja de papa
Var. Validim	Jitomate arbustivo
Var. Cerasiforme	Jitomate Cherry
Var. Pyriforme	Jitomate pera
Frutos rojos y amarillos	Eulycopersicon a) <i>Lycopersicon esculentum</i> b) <i>Lycopersicon pimpinellifolium</i>
Frutos verdes	Eriopersicon a) <i>Lycopersicon peruvianum</i> b) <i>Lycopersicon chilense</i> c) <i>Lycopersicon glandulosum</i> d) <i>Lycopersicon hirsutum</i>

2.4. Características morfológicas y anatómicas del jitomate

2.4.1. Raíz

La planta de jitomate tiene un sistema radical notablemente desarrollado y extendido. El patrón de distribución varía entre plantas crecidas *in situ* o transplantadas, en las primeras, la raíz principal es más larga y gruesa que en el segundo caso, en donde ésta es débil y corta, pero el sistema secundario es muy ramificado, algunas raíces alcanzan 150 cm de longitud aunque la mayor parte se sitúa en la capa arable, que va desde los 5 cm hasta los 60-70 cm (González,

1991). Al respecto, Varga y Bruinsma (1986, citados por Chamarro, 1995), reportaron que cuando las plantas se desarrollan a partir de una semilla, sin transplante, se forma una vigorosa raíz principal, que puede llegar a penetrar a más de tres metros en terrenos aluviales profundos. En una sección transversal de la raíz principal se observa la existencia de tres zonas claramente diferenciadas: la epidermis, el cortex y el cilindro central o vascular.

La epidermis está especializada en la absorción de agua y nutrimentos y generalmente tiene pelos absorbentes, que son extensiones tubulares de las células epidérmicas, debajo se encuentra el cortex, que es un anillo de tres a cuatro células de espesor, generalmente del tipo parenquimático. La capa cortical más interna constituye la endodermis, que establece el límite entre la corteza o cortex y el cilindro central o vascular. La capa más externa del cilindro central, que está en contacto con la endodermis, es el periciclo, que es un tejido uniestratificado a partir del cual se forman las raíces secundarias. El xilema, conjunto de vasos que transportan los elementos minerales, forma un cilindro en el centro de la raíz con dos alas laterales, dando lugar a lo que se denomina una estructura diarca, mientras el floema, conjunto de vasos que transportan los fotoasimilados, completa el sistema vascular llenando el espacio entre las alas y formando un cilindro. Las raíces adventicias, similares en estructura a las laterales, se desarrollan principalmente a partir de la base del tallo en condiciones favorables, también se inician con profusión en la parte inferior de las porciones horizontales del tallo (Picken *et al.*, 1986).

2.4.2. Tallo

El tallo es un órgano de sostén, de translocación de agua, nutrimentos y asimilados, de arquitectura y de almacén, funciones de gran importancia en la productividad de los cultivos. El rendimiento puede disminuir por fallas del tallo en el soporte de las estructuras reproductivas, que en un momento pueden ser ocasionadas por una mala distribución de órganos foliares y reproductivos o por una interrupción en el transporte vascular (Stevenson y Mertters, 1980; Esau, 1976 y Adams, 1982).

El tallo es de consistencia herbácea, aunque tiende a lignificarse en plantas viejas (León, 1987). Inicialmente es cilíndrico en las plantas jóvenes pero luego se torna angular; en las ramas jóvenes es triangular. La epidermis se forma de una capa de células, la que a menudo tiene pelos,

unos más largos que otros, los más pequeños secretan una sustancia viscosa de color verde-oscuro con un olor característico de esta planta, dichos pelos pueden ser glandulares y no glandulares (Chamarro, 1995). Debajo está una zona de colénquima de dos a cinco células de espesor que es más gruesa en las esquinas y constituye el mayor sostén del tallo (León, 1987). Las células externas de este tejido tienen clorofila y son fotosintéticamente activas (Chamarro, 1995). Sigue luego la región cortical con cinco a diez capas de parénquima, son células grandes con muchos espacios intercelulares. Finalmente, el cilindro vascular se compone, de afuera hacia adentro, de floema en bandas aisladas o unidas por conexiones delgadas y xilema que forma un tejido continuo. La médula, que ocupa gran parte central del tallo, tiene hacia la parte externa cordones aislados del periciclo interior (León, 1987). A medida que se desarrolla el floema secundario, el floema externo forma un cilindro más continuo. La importancia del xilema secundario depende de las condiciones de crecimiento y está relativamente más desarrollado en los tallos delgados de crecimiento lento, donde las células medulares son mayores (Picken *et al.*, 1986).

La estructura de la planta es la de un simpodio. El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia 2/5, antes de que la yema principal se transforme en una inflorescencia. El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente a la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia cada tres hojas. El aspecto es el de un tallo principal, que crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada tres hojas. Cuando este proceso se repite indefinidamente, los cultivares se denominan indeterminados y el pseudo tallo principal puede crecer más de 10 m por año, con un porte rastrero o trepador. Los cultivares determinados tienen un crecimiento limitado que puede extenderse unos dos metros. Los segmentos sucesivos del eje principal soportan, de forma progresiva, un número inferior de hojas que terminan en una inflorescencia. El sistema de ramificación lateral, como el sistema primario, experimenta crecimiento, dando a la planta un aspecto arbustivo con simetría circular que requiere menos espacio que los cultivares indeterminados (Chamarro, 1995 y Curtis, 1996).

Sánchez (1997) estudiando la distribución de las áreas de floema externo e interno, de xilema y de tejido no vascular de tallo, tanto abajo como arriba de la inflorescencia, en cortes

transversales de muestras de tejidos obtenidas a los 78 dds, en seis cultivares de jitomate bajo invernadero en hidroponia, en dos densidades de población (12 y 25 pl m⁻²), haciendo una comparación de los porcentajes de áreas ocupada por los diferentes tejidos en cortes transversales, encontró que, en promedio de densidades y tipos de cultivar en los cortes de tallo debajo de la inflorescencia, del área total, el porcentaje de área ocupada por tejido vascular fue de 29.4 %, correspondiendo casi el doble del área a xilema en relación a floema, del área ocupada por floema el 82 % correspondió a floema externo y el 18 % a floema interno (4.55:1). En el tallo arriba de la inflorescencia, el porcentaje de área ocupada por tejido vascular fue de 26.21 % pero en este caso la relación área de xilema/área de floema fue de 1.54:1. La relación de floema externo/floema interno fue de 4:1, similar a la de los cortes de tallo realizados por debajo de la inflorescencia.

En los cultivares indeterminados, los tallos se tornan rastreros al crecer y pueden alcanzar longitudes hasta de diez metros, por lo que se hace necesario el tutoreo y guiado (González, 1991 y Maroto, 1986), poseen un yema terminal vegetativa, que les permite crecer indefinidamente al encontrarse en condiciones óptimas. Sus racimos florales están más espaciados en el tallo principal (cada tres o cuatro hojas, empezando desde la 8ª hasta la 18ª). El período de cosecha es más prolongado (Enríquez, 1993). Hewitt y Marrush (1986) reportaron que el tipo indeterminado puede crecer hasta 9 m de altura, produciendo más de 35 racimos en un período de 10 a 11 meses en el invernadero.

El término indeterminado algunas veces se usa para describir el hábito de crecimiento simpódico, debido a que siempre se dispone de una yema lateral para continuar el desarrollo vegetativo. La mayoría de los jitomates se desarrollan de esta manera, siendo un poco diferentes los de hábito de crecimiento determinado, conocidos como arbustivos o de mata, los cuales desarrollan la primera inflorescencia y un nuevo punto de crecimiento de la manera normal, pero hay una tendencia creciente porque los ejes laterales subsecuentes terminen en una estructura floral después de que se ha formado una sola inicial foliar y sin desarrollar un nuevo punto de crecimiento (Curtis, 1996).

Los cultivares de hábito determinado, comprenden plantas cuya yema terminal es floral y su crecimiento se detiene una vez que el último racimo floral empieza a desarrollar sus frutos,

generalmente son plantas de tamaño mediano o pequeño. Muestran una mayor proximidad entre una y otra inflorescencia, asimismo, la cosecha se lleva acabo en un período más corto (Enríquez, 1993). Emiten inflorescencias en ramas, cada una o dos hojas empezando desde la quinta (González, 1991). Hewitt y Marrush (1986) mencionaron que el hábito determinado de jitomate puede desarrollarse como un arbusto de un metro de altura produciendo de 3 a 9 racimos en un período de 3 a 4 meses en el campo. Asimismo, estos autores señalaron que la producción de materia seca total y repartición entre la planta puede diferir considerablemente entre estos dos tipos de jitomate. Por ejemplo, una planta de jitomate de crecimiento determinado cultivada en California, sin defoliar, podría acumular 455 g de materia seca con un índice de cosecha de 55 % (porcentaje de materia seca de fruto en relación a materia seca de la planta). En contraste, una planta de jitomate indeterminada cultivada en el Reino Unido, sin despunte, podría acumular 1,250 g de materia seca con un índice de cosecha de 69 %.

Sin embargo, ambos tipos de crecimiento se consideran estrictamente determinados ya que, con la aparición de la primera inflorescencia, la yema axilar de la hoja iniciada inmediatamente antes de la inflorescencia es la que continúa el crecimiento del tallo. Esta yema se desarrolla de manera diferente a las demás, ya que conforme crece la hoja mencionada cambia a una posición por encima de la inflorescencia, pues ésta es desplazada dando la apariencia de un crecimiento continuo (indeterminado) del tallo principal con inflorescencias internodales (Picken *et al.*, 1986).

2.4.3. Hoja

La forma de las hojas del jitomate es muy variada y depende en gran parte de las condiciones ambientales, aunque también se encuentra bajo control genético directo, pues se ha observado que mutaciones simples en jitomate dan como resultado grandes cambios en la forma de las hojas (Weier *et al.*, 1980). Las hojas son suaves y carnosas con una capa de células en empalizada debajo de la epidermis superior y numerosos estratos de parénquima lacunoso, con abundantes espacios intercelulares (León, 1987). Por su parte Chamarro (1995) reporta que las hojas de jitomate son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene aproximadamente 0.5 m de largo y un poco menos de ancho, con un gran folíolo terminal y hasta ocho grandes folíolos laterales que pueden ser compuestos.

Picken *et al.* (1986), mencionaron que en jitomate, las hojas están arregladas en cinco hileras verticales (ortostiquios) con una filotaxia 2/5 en espiral y que la primera inflorescencia recibe asimilados principalmente de las hojas en los ortostiquios adyacentes a ellas, son hojas compuestas, imparipinadas que miden de 15 a 30 cm de largo por 10 a 15 cm de ancho, con pecíolos de 3-6 cm de longitud, la lámina está dividida de 2-12 partes de segmentos o foliolos, de diferente tamaño, con frecuencia entre dos pares de foliolos grandes ubicados en la base del raquis, hay de uno a tres pares más pequeños de foliolillos o pinnas, y en todos ellos sus bordes son muy recortados e irregularmente dentados, de textura aterciopelada por la abundante pubescencia como en los tallos jóvenes. Al respecto (Hayward, 1953) indica que el número de los foliolos mayores varía de 7 a 9 raramente 11; entre los pares adyacentes de foliolos mayores se presentan un número variable de foliolos pequeños. En los cultivares de porte bajo puede haber de 4 a 6 foliolos intermedios y en los tipos de porte alto pueden presentarse entre 9 y 11 foliolos intermedios, los bordes de los foliolos son incisos o lobados menos en *L. esculentum* var, *Grandifolium* en donde son enteros, sobre los foliolos al igual que en el tallo hay pelos glandulares capitados y grandes pelos puntiagudos no glandulares.

Un foliolo se comporta como una hoja, el foliolo terminal madura primero y puede estar aportando sacarosa cuando los demás están importando. La transición de una hoja de jitomate, de importadora a exportadora, se da cuando ésta alcanza un 15 a 25 % de su expansión total (Ho y Shaw, 1977; citados por Sánchez, 1997).

Cada hoja según su posición en la planta, abastece preferentemente a ciertos órganos, pero las hojas pueden exportar simultáneamente en ambas direcciones y se ha encontrado una tendencia del floema interno de translocar sacarosa en dirección ascendente en el tallo y del floema externo en sentido contrario (Khan y Sagar, 1967; Russell y Morris, 1983; citados por Sánchez, 1997). Asimismo, estos autores mencionaron que la dualidad de direcciones de la translocación de asimilados por el floema es más importante para el abastecimiento de asimilados, que el arreglo de las conexiones vasculares.

Las hojas del jitomate son del tipo dorsiventral o bifacial. El tejido parenquimático o mesófilo está recubierto por una epidermis superior y otra inferior; ambas están constituidas por una sola capa de células y no contienen cloroplastos. La epidermis del envés o inferior contiene

abundantes estomas que facilitan el intercambio gaseoso con el exterior, mientras éstos son escasos en la epidermis superior. Inmediatamente debajo y perpendicularmente a la epidermis superior, se encuentra el parénquima de empalizada, que está constituido por una o dos capas de células cilíndricas, vacuoladas y estrechamente empaquetadas. Este tejido es rico en cloroplastos, que se encuentran en el citoplasma junto a los espacios intercelulares para facilitar el intercambio gaseoso. El mesófilo esponjoso se encuentra situado entre el mesófilo de empalizada y la epidermis inferior; consta de tres o más capas de células grandes, vacuoladas, dispuestas en una estructura relajada, rodeadas de grandes espacios intercelulares y que contienen un número de cloroplastos sensiblemente inferior a las de parénquima en empalizada. Los haces vasculares constan de un sólo nervio primario del cual parten en una estructura pinnada, irregular, los nervios secundarios. Los nervios principales aparecen como pequeños surcos en el haz y forman una estructura prominente en el envés de la hoja. Los nervios primarios y secundarios tienen una estructura similar al tallo y poseen un floema externo y un floema interno. Las nervaduras menores ocupan el mesófilo en una estructura reticulada (Chamarro, 1995).

2.4.4. Flor

Las flores del jitomate son hermafroditas, hipogíneas, regulares, de corola color amarillo verdoso, amarillo canario o naranja, con seis pétalos persistentes de forma estrellada que forman un tubo corto en la base y se abren en un solo plano, con el ápice hacia afuera cuando la flor está completamente abierta; carecen de vellos glandulares. Miden aproximadamente 2 cm de diámetro con pedicelos de 1 a 2 cm de largo, con un engrosamiento a la mitad que corresponde a la superficie de abscisión. El cáliz es verde y persistente en forma de tubo corto terminado en 5 a 10 sépalos agudos, verdes muy pubescentes en el lado externo y pelos con o sin glándulas. Los estambres de 5 a 10, generalmente 6 en los cultivares comerciales, están insertados sobre el tubo corto de la corola, con filamentos cortos, forman una columna irregular. Las anteras miden aproximadamente 5 mm de largo, son verticales, unidas y de color amarillo brillante, conniventes alrededor del estilo. El pistilo está constituido por un ovario de varios lóculos generalmente de 5 a 9, con una placenta carnosa central y un estilo largo que ejerce presión sobre las anteras circundantes de las que apenas sobresale, pudiendo ser o no excerto y termina en un estigma achatado (González, 1991; Curtis, 1996 y León, 1987). Al respecto, Rodríguez *et al.* (1997) indicaron que el cáliz de jitomate es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la

corola gamopétala, el androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto.

Las flores se agrupan en inflorescencias llamadas corimbos o cimas racemosas que pueden surgir terminal o lateralmente sobre el tallo, pudiendo ser de tres tipos: racimo simple, bifurcadas y ramificadas, tienen un número variable de flores, entre 5 a 20, pudiendo llegar hasta 50, según los diferentes cultivares (González, 1991). Por otra parte, se reporta que las flores se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: Racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia; normalmente el tipo simple se encuentra en la parte baja de la planta, predominando el tipo compuesto en la parte superior. (Rodríguez *et al.*, 1997). Sin embargo, Varga y Bruinsma (1976) señalan que frecuentemente el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta, habiéndose descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás flores se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje principal. Las flores se abren sucesivamente, de modo que en la misma inflorescencia pueden haber tanto flores como frutos en diferentes estados de desarrollo (León, 1987). El número de racimos de flores oscila entre 6 y 15, las más precoces producen menos racimos y viceversa. En algunos cultivares, la flor terminal de cada inflorescencia es voluminosa y da origen a frutos también grandes que por estar fuera de tipo son poco comerciales y además afectan el llenado de los frutos restantes del racimo. Es conveniente eliminar estas flores antes de que se forme el fruto para obtener un tamaño uniforme (Serrano, 1978).

La inflorescencia del jitomate se forma terminalmente en el vástago y la iniciación floral es precedida por la expansión y aplastamiento del ápice. La primera flor formada de la inflorescencia cimosa se origina en el ápice y un punto de crecimiento lateral que se forma por debajo de la primera flor se convierte en la segunda flor. La sucesión de flores se desarrolla a partir de puntos de crecimientos laterales, de esta manera, hasta que la inflorescencia está completa. Durante el desarrollo de las flores laterales, sus regiones basales se alinean para formar el eje principal de la inflorescencia del que divergen los pedicelos de las flores individuales (Atherton y Harris, 1986), éste dependiendo del genotipo y del ambiente puede bifurcarse o

ramificarse en más ejes por debajo de las primeras flores formadas, convirtiéndose así en una inflorescencia compuesta (González, 1991). La forma de la inflorescencia madura es racemosa con las flores más jóvenes en el extremo distal, y por esta razón ocasionalmente ha sido clasificada como racimo. Las inflorescencias pueden ser simples o ramificadas. Se ha visto que una inflorescencia compuesta por dos ejes produce el doble o más flores que una inflorescencia simple (Atherton y Harris, 1986). Las inflorescencias simples generalmente producen de 7 a 12 flores, a diferencia de las inflorescencias compuestas que pueden producir teóricamente de 200 hasta 300 flores (Vriesenga y Honma, 1974).

En condiciones de invernadero suelen aparecer algunas flores improproductivas, que pueden ser clasificadas en tres categorías: 1) flores que producen pequeños frutos, que maduran prematuramente antes de alcanzar un tamaño comercial; 2) flores con cáliz persistente, pero cuyo fruto no se desarrolla y 3) flores que caen. Estudios histológicos del pedicelo de la flor señalan que la zona de abscisión en *Licopersicon* está situada en un punto intermedio del pedicelo. Externamente es visible por el ensanchamiento que se produce en ese punto y por el desarrollo de un surco circunferencial que llega hasta la parte media de la corteza. El sistema vascular del pedicelo forma un cilindro de haces separados que están rodeados de parénquima. Por fuera del parénquima fundamental, hay una capa de células colenquimáticas en la porción del pedicelo que es proximal respecto al surco; pero esta capa no se desarrolla en la porción distal. Entre el colénquima y la epidermis hay una zona de clorénquima. La capa de abscisión consiste en tres a seis hileras de células situadas en el plano del surco. El surco no puede ser localizado en los botones cuyo cáliz es menor de 2 mm de largo, pero comienza a aparecer cuando la corola tiene una longitud de 1 mm y está bien desarrollado en botones jóvenes cuya corola no pasa de 3 mm. Las células de la zona de abscisión son más pequeñas que las situadas a ambos lados, y esta diferencia de tamaño se acentúa cuando madura la flor; pues las células de esta región no se agrandan, mientras las células corticales adyacentes, aumentan en tamaño. Aparentemente, en la zona de abscisión se producen pocas divisiones celulares, pero las células retienen sus potencialidades meristemáticas. Los tejidos mecánicos del pedicelo no son continuos a través de la capa de abscisión, de manera que la ruptura se produce en un plano paralelo al fondo del surco. Por lo tanto, es posible que este proceso provoque la caída del fruto en cualquier estadio del desarrollo, no obstante, es más común que esto ocurra dos o tres días después de la antesis.

Dicho aumento se debe al alargamiento y división de las células de la corteza, mientras el diámetro de la médula queda prácticamente constante (Hayward, 1953).

La abscisión implica la separación y aislamiento de las células en la zona de separación. Frecuentemente, el proceso se inicia en la médula así como en la corteza y se desarrolla con independencia en ambas regiones, hasta producirse la ruptura final a través del tejido vascular y de la epidermis. La separación comienza en dos hileras de células en el fondo del surco, pero después puede afectar tres o cuatro capas. La separación de las células adyacentes es consecuencia de la disolución de las laminillas medias (Hayward, 1953).

En un análisis morfométrico Toth (1982), encontró que en la zona de abscisión de los pedicelos hay un estrechamiento muy marcado del xilema, ocasionando que la entrada de agua al fruto sea principalmente por floema, y en este sitio el floema ocupó de 46 a 54% del área total transversal del pedicelo; y el xilema ocupó únicamente de 3.2 a 5.7 % del área total; en tanto que Lee (1988) observó que en la región distal del pedicelo, el xilema ocupó 26.3 % y el floema 31 % del área total, correspondiendo el 12 % a floema externo y 19 % a floema interno; mientras que en la región proximal (cerca del pedúnculo) el 30% fue para xilema y el 24.4 % para floema, con las mismas proporciones entre floema externo e interno.

Además de este tipo genuino de abscisión, las plantas pueden perder sus flores por un proceso que no implica una separación celular activa. Así, la flor se puede separar de la planta antes de la apertura de los pétalos, lo que se denomina aborto de la flor, mientras, en otros casos se produce después de la apertura de los pétalos, lo que se conoce como caída de la flor. A menudo, la última yema de la inflorescencia aborta, mientras todavía es muy pequeña y, en determinados casos, puede producirse también el aborto de la primera yema floral, dejando a las del centro de la inflorescencia continuar el desarrollo (Atherton y Harris, 1986).

Sánchez (1997) analizando cortes transversales de muestras de tejidos obtenidos a los 78 días después de la siembra en seis cultivares de jitomate, encontró para pedúnculo, que el 48.3 % del área total, estuvo ocupada por tejido vascular, proporción que es mayor a la encontrada en tallo; la proporción de xilema y floema fue similar a la de los cortes en tallo (1.7:1), pero la relación de floema externo a floema interno fue diferente, ya que aquí hubo mayor producción de

floema interno (2:1). Para el caso de pedicelo de la primera flor, el 49.7 % del área total estuvo constituida por tejido vascular, de ésta el 75 % correspondió a xilema y el 25 % a floema, el área de floema externo fue casi 2.5 veces mayor que el área de floema interno.

Asimismo, los porcentajes de áreas ocupadas por floema externo, floema interno, xilema y total, fueron significativamente mayores en el pedúnculo y pedicelo que en el tallo. El porcentaje de área ocupada por tejido no vascular, por el contrario fue estadísticamente superior en el tallo. El porcentaje de área ocupada por floema interno fue significativamente mayor en el pedúnculo que en el pedicelo y éste a su vez, fue mayor que el porcentaje de área ocupada por el mismo tejido en tallo, mientras que el área ocupada por xilema fue estadísticamente mayor en el pedicelo, seguida por el área de xilema del pedúnculo y luego por la de tallo (Sánchez, 1997).

Una vez que la primera inflorescencia se desarrolla, todas las demás inflorescencias de una planta de tipo indeterminado quedan del mismo lado del tallo, separadas cada una por tres hojas. Las dos primeras hojas por debajo de cada inflorescencia quedan a un ángulo de 90° con respecto a dicha inflorescencia, mientras que la hoja por encima de ella queda del lado opuesto (180°) (Ho y Hewitt, 1986).

Los cultivares de jitomate indeterminados, cultivados en invernadero de vidrio, desarrollan inflorescencias usualmente de 8 a 16 flores en intervalos de tres hojas a lo largo de su vida reproductiva. Cada flor tiene 5 ó más anteras unidas por pelos engranados para formar un cono hueco alrededor del estilo. El cuello del cono consiste de extensiones estériles de las anteras y están cerradas alrededor del estigma. Las anteras son bilobadas y contienen varios cientos de granos de polen, los cuales son liberados a través de aberturas longitudinales. Las flores son colgantes y así el polen, cuando se libera cae sobre el estigma donde puede germinar. Esta estructura y la ausencia de insectos polinizadores usualmente aseguran su propia polinización (Hanna, 1999).

El jitomate es en más del 99 % autopolinizado (Groenewegen *et al.*, 1994), las flores de la mayoría de los cultivares comerciales tienen un estilo corto que sitúa al estigma dentro del tubo formado por el conjunto de estambres, asegurando la autopolinización y virtualmente eliminando la oportunidad para el cruzamiento externo (Rick, 1978). El polen es derramado dentro de las

flores individuales durante la antesis cuando hay una fuerte vibración, tal como el viento al sacudir las flores de la planta (Snyder, 1977). La polinización por insectos en campo abierto es muy rara y no tiene efectos significativos sobre el cuajado del fruto y rendimiento (Quiros y Marcias, 1978). La mayoría de investigaciones sobre polinización de flores de jitomate por vibradores eléctricos han sido conducidas en invernadero en Europa (Kerr y Kribs, 1955). Los resultados han indicado que estos tratamientos fueron necesarios para obtener buen cuajado de frutos y tamaño en ausencia de viento (Verkerk, 1957). La polinización se produce generalmente en el momento de la antesis; si bien el estigma permanece receptivo desde dos días antes hasta dos días después de la antesis (Van Ravestijn, 1970).

Después de la polinización para que se produzca la fecundación, es necesaria la germinación del polen, la penetración y crecimiento del tubo polínico en el tejido estilar hacia el óvulo y la penetración en el saco embrionario para la fusión con la célula huevo. El número de óvulos fecundados en cada ovario depende del número de granos viables de polen que alcanzan el estigma y de los factores fisiológicos y ambientales durante la polinización y fecundación. Cuando el grano de polen alcanza el estigma el tubo polínico empieza a crecer durante la primera hora y a 25 °C puede alcanzar el micropilo del óvulo en 18 horas y fecundarse la mayoría de los óvulos antes de las 30 horas (Ho y Hewitt, 1986).

La antesis ocurre por lo común en las mañanas y aproximadamente 24 horas después de abierta la corola, se inicia la dehiscencia de las anteras y la salida del polen. Este aparece en el lado interno de las anteras y por la posición pendiente de la flor cae directamente sobre la superficie de los estigmas, con lo que se asegura la autopolinización. La germinación del polen es tardada, por lo que la fecundación se produce dos días después de depositado el polen sobre el estigma. El tiempo que transcurre en una misma inflorescencia, desde que se fecunda la primera flor hasta que lo hace la última, es de tres a seis días (Serrano, 1978), sin embargo, León (1987) señala un periodo razonable mucho más amplio para que se realice la fecundación. El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas, en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales (Chamarro, 1995).

El cuajado del fruto se puede definir como la proporción de flores que parece alcanzar antesis normalmente y consecuentemente fruto cuajado de un tamaño comercial (37 mm de diámetro en el Reino Unido) (Picken, 1984).

El fallo en el cuajado del fruto es uno de los problemas más comunes del cultivo de jitomate en las áreas marginales de producción. Si las condiciones ambientales internas y externas no son favorables para este proceso, las flores caen después de la antesis e incluso después de la polinización. La causa más frecuente es el fracaso de la polinización (Chamarro, 1995).

2.4.5. Fruto

Curtis (1996) menciona que un fruto de jitomate, botánicamente es una baya consistente de semillas dentro de un pericarpio carnosos, desarrollado de un ovario, en tanto que González (1991) indica que el fruto de jitomate es una baya carnosa pubescente cuando es joven, pero glabra y brillante cuando madura, de color rojo, a veces amarillo o colores intermedios, de forma muy variada: oblonga, globosa, cuadrada, periforme, cilíndrica o acorazonada; lisa o surcada con lóbulos y hombros. En su interior presenta lóculos (en número de 2 a 30) de tamaño inversamente proporcional a su número, donde se encuentran las semillas. El número y extensión de los lóculos en los frutos es una característica diferencial en los cultivares y la distribución de éstos en el fruto determinan su calidad para el consumo fresco o para la industria y la firmeza para el transporte. Por otra parte, se reporta que muchos de los cultivares populares producen frutos con dos lóculos y desarrollan frutos de forma redonda uniforme preferidos en algunos mercados. Otros cultivares tienen, por naturaleza frutos multiloculares de gran tamaño y de forma irregular. El número de lóculos puede ser influenciado por las condiciones ambientales (Calvert, 1969).

En relación al desarrollo del fruto, se distinguen seis estadios: 1) ovario fecundado hasta la caída de la corola, 2) mitad del crecimiento, 3) verde inmaduro, 4) verde maduro (madurez fisiológica), momento en el que ya ha adquirido su máximo tamaño volviéndose de color verde claro, 5) pintón (parcialmente rosado) y 6) rojo maduro. Los azúcares aumentan rápidamente en los estadios primero y segundo y se estabilizan en el tercero, para incrementarse notablemente en el sexto. La proteína cruda disminuye gradualmente desde el primer hasta el sexto estadios. El pH

es de reacción ácida; es más ácido en el fruto verde (estadios 2 a 4), menos ácido en el estadio 5 y disminuye rápidamente al alcanzar plena maduración (estadio 6). La reacción ácida se debe a los ácidos orgánicos, cítrico y málico (9 y 4 g, respectivamente, por cada 100 g de materia seca del fruto maduro) (Rick, 1978).

Los frutos se desarrollan a partir de un ovario que pesa inicialmente 5-10 mg hasta alcanzar un peso final de 15 g en los jitomates tipo cereza o hasta 450 g en los del tipo *Beefsteak*; con tasas de crecimiento que varían sustancialmente entre uno y otro tipo, pero en cualquiera de los casos, la tasa de crecimiento se describe por una curva sigmoide, la cual puede ser dividida en tres etapas o períodos (González, 1991). La primera etapa dura de 2 a 3 semanas, el crecimiento es lento y el fruto alcanza sólo el 10 % del peso final. El crecimiento del ovario cesa en la antesis, pero se reinicia después de la fertilización. La demanda de fotoasimilados por el fruto provenientes de las hojas, se incrementa sustancialmente en los dos días después de la polinización (Ho y Hewitt, 1986). Y la tasa de acumulación diaria de materia seca se incrementa de 30 a 150 mg al final de la segunda semana (Ho *et al.*, 1983). La segunda etapa es un período de rápido crecimiento y comprende de 3 a 5 semanas. A la mitad de este período, la tasa de crecimiento se incrementa a un máximo, 20 días después de la antesis. En la tercera etapa, que comprende el estado verde maduro, ya se tiene acumulada la mayor parte del peso del fruto y es un período de lento crecimiento por dos semanas, dándose una pequeña ganancia en el peso final del fruto. El primer cambio de color ocurre 2-3 días después de este período y la coloración progresa del amarillo al naranja y luego al rojo (Ho y Hewitt, 1986).

El crecimiento en la etapa inicial se debe más que nada al alargamiento celular, es decir, ya no hay división celular, pues este fenómeno se restringe sólo a las dos primeras semanas después de la fertilización. En la segunda etapa que hemos definido, el volumen absoluto se incrementa marcadamente a un máximo de 0.8 ml/ml al día y luego declina logarítmicamente. La tasa de la demanda diaria de carbono se reduce de 140 mg a la mitad, cuando el fruto ha alcanzado su tamaño final, pesando del 20 al 90 % (Walker y Ho, 1977). Este cese en la demanda fotoasimilados ocurre alrededor de los diez días después del primer cambio de color, causado por la formación de zonas de abscisión entre el cáliz y el fruto (Ho y Hewitt, 1986). Por su parte Monselise *et al.* (1978) señalan que el crecimiento del fruto de jitomate se explica por la dominancia del proceso de división celular durante la primera semana posterior a la antesis,

seguida por la elongación celular durante las siguientes seis a siete semanas. Cuando el crecimiento de fruto se expresa en términos de incrementos de peso fresco, peso seco o volumen en el tiempo, una curva sigmoide es obtenida en cada caso, correspondiendo a tres etapas de desarrollo; la tasa de crecimiento de fruto es baja durante la primera etapa, acelera durante la segunda y declina en la tercera.

Los frutos jóvenes de jitomate tienen clorofila y fijan CO_2 sin embargo, aún en altas irradiancias, la tasa de fijación es muy baja ($0.064 \text{ mg de } \text{CO}_2 \text{ g de peso fresco} \cdot \text{h}^{-1}$), e indetectable en los frutos próximos a madurar; hay también fijación oscura de CO_2 (Ho y Hewitt, 1986).

Ascrofi *et al.* (1993) mencionó que el tamaño del fruto se ve afectado por factores fisiológicos tales como maduración, despunte, defoliación, pero este carácter está controlado por factores genéticos, adjudicado a cinco pares de genes. También es necesario señalar, que las altas temperaturas en el campo, pueden causar el ablandamiento del fruto, y, por esta razón se reduce la calidad durante las operaciones subsecuentes de postcosecha y comercialización.

El tamaño final del fruto está estrechamente correlacionado con el número de semillas y el número de lóculos (Chamarro, 1995).

Los frutos se agrupan en racimos con número variable de frutos, que a veces iguala al número de flores. Con respecto al tamaño del fruto, aparte de las características varietales de origen hereditario, se han determinado una serie de factores que tienden a aumentarlo. Los más importantes son: 1) nutrición mineral, 2) humedad del suelo próxima a la capacidad de campo, 3) sombreado cuando hay exceso de luz y temperatura, 4) luz suplementaria en días de fotoperíodo corto (invierno en grandes latitudes), 5) enriquecimiento de CO_2 en invernadero y 6) prácticas de poda, desbrote, eliminación de hojas viejas, frutos y flores en exceso (González, 1991).

Pearce *et al.* (1993) evaluó los efectos de la temperatura y la irradiancia en el desarrollo del fruto, encontrando que la expansión de los frutos estuvo más estrechamente relacionada a temperatura, pero fue influenciada por cambios en el estado del agua y menos por la tasa de fotosíntesis neta; la irradiancia tuvo efecto sobre la tasa de desarrollo a través de cambios en el estado del agua de la planta, probablemente debido a cambios en la tasa de transpiración y,

cuando las radiaciones integrales fueron bajas, a través del suministro de asimilados. Sin embargo, en la mayoría de condiciones, la fotosíntesis concurrente parecía no limitar la tasa de expansión del fruto porque las plantas tenían suficientes reservas para mantener una alta tasa de crecimiento de fruto, por lo menos durante 20 horas después de estar en la obscuridad. La irradiancia es una influencia más compleja, pues al aumentar ésta, podría incrementar la producción de asimilados, haciendo más disponible el carbono para el desarrollo del fruto. Sin embargo, el incremento de la irradiancia puede también incrementar la transpiración.

El color del fruto está determinado por el pigmento predominante; así el licopeno determina el color rojo; el caroteno el amarillo, la xantófila el naranja y la clorofila el verde, el color característico del fruto depende del cultivar en cuestión (González, 1991). La variación en el tono o intensidad del color está 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 está 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 fruto adulto del jitomate está constituido básicamente, por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna o columela. Se origina de la pared del ovario y consta de un exocarpio o piel, un mesocarpio parenquimático con haces vasculares y el endocarpio constituido por una capa unicelular que rodea los lóculos. En la maduración, el diámetro de las células va de 100 a 500 μm (Ho y Hewit, 1986).

El mesocarpio de la pared externa está compuesto principalmente por células parenquimáticas, que son mayores en la región central y disminuyen junto a la epidermis y los lóculos. Las paredes radiales o septos y la columela son fundamentalmente parenquimáticos. La columela suele estar menos pigmentada que las paredes radiales y externas y puede incluir grandes espacios de aire que dan al tejido un aspecto blanquecino. Las células adultas son grandes, de paredes delgadas, mantienen un alto grado de organización estructural, especialmente de las mitocondrias, cromoplastos y retículo endoplásmico. Las células epidérmicas tienen menos almidón que las células parenquimáticas, la mayor parte de la división celular en el pericarpio tiene lugar durante la primera semana después de la antesis. La piel o exocarpio consta de la capa

epidérmica externa, sin estomas y prácticamente sin almidón, y de dos a cuatro capas de células hipodérmicas de pared gruesa con espaciamiento del tipo colenquimático. La epidermis está cubierta por una fina cutícula que se engrosa a medida que se desarrolla el fruto; la zona cuticular presenta un espesor de 4-10 μm , consta de dos regiones: una capa de cutina que cubre las células epidérmicas y una capa cuticular. La cutinización penetra en las paredes radiales de la epidermis y puede llegar también a la hipodermis. Una fuerte cutinización puede ser la causa de la resistencia al rajado de algunos cultivares (Chamarro, 1995).

La epidermis es una capa de células con paredes externas engrosadas por la cutícula; debajo hay tres o cuatro estratos de colénquima que junto con la epidermis forman una cáscara fina y resistente que contiene los pigmentos responsables de la coloración. El resto del fruto se forma de parénquima cargado de pigmentos que aparecen como cristales suspendidos en el líquido que rellena las células. Las paredes de las células del parénquima son interrumpidas por cordones aislados de haces vasculares. Los tejidos de la placenta, sobre los que están las semillas contienen una mayor cantidad de haces vasculares, lo que confiere un color más claro. Las capas de células que rodean las semillas se disuelven en la madurez, formando una masa gelatinosa de almidón (León, 1968 y Chamarro, 1995) y ácido abscísico (Folquer, 1976).

Cambios anatómicos ocurren en las células del pericarpio durante la primera semana del desarrollo del fruto. Uno o dos días después de la fertilización, las vacuolas pequeñas dentro de cada célula se combinan para formar una vacuola central, entonces el citoplasma se reduce a una capa delgada periférica en las dos semanas siguientes. Mientras tanto, la etapa inicial de la separación de las paredes celulares ocurre. La separación es iniciada en el empalme de las paredes comunes de las células adyacentes y continúa hacia la mitad de la lamela. Estos espacios continúan expandiéndose a través del desarrollo del fruto. Todos los organelos pueden ser observados en las células hijas después del cuajado del fruto y el plasmalema y tonoplasto permanecen físicamente intactos (Mohr y Stein, 1969).

En la etapa temprana del desarrollo del fruto, la placenta comienza a expandirse dentro de los lóculos para sumergir las semillas dentro de los primeros diez días y llena completamente la cavidad en pocos días posteriores. En frutos inmaduros, el tejido placentario es firme, pero conforme maduran, las paredes celulares empiezan a perder resistencia y el tejido locular de

frutos verde maduros es gelatinoso. En etapas posteriores, el fluido intracelular puede acumularse en los lóculos. A pesar de esta degeneración, los protoplastos usualmente permanecen intactos (Ho y Hewitt, 1986).

El fruto tiene dos sistemas vasculares principales, uno que se extiende desde el pedicelo por la pared externa del pericarpio y el otro que va a las semillas a través de las paredes radiales. En el extremo proximal del fruto, los vasos que pasan a través del pericarpio están distribuidos de manera uniforme con pocas ramificaciones, mientras que en el extremo distal se ramifica considerablemente. Al aumentar la ramificación, el área de los vasos disminuye pero la proporción de floema a xilema aumenta. Generalmente el sistema vascular forma una red interconectada con muy pocos extremos ciegos (Walker, 1975).

2.4.6. Semillas

El fruto de jitomate consta de numerosas semillas, de tamaño pequeño (3-5 mm de largo por 2-4 mm de ancho), discoidales o reniformes, aplastadas y pubescentes. Cuando son recién extraídas del fruto son de color amarillo, con una capa mucilaginosa que contiene una alta concentración de ácido abscísico que inhibe la germinación (aunque dentro del fruto existan las condiciones ambientales propicias, no germinan), pero al secarse adquieren una coloración café claro o grisácea y se les nota una vellosidad constituida por falsos pelos originados de los tegumentos seminales y no son sino paredes celulares suberificadas sobre la testa. Esta última es la capa que envuelve y protege la semilla contra daños del medio externo y aún para pasar viable por el extracto digestivo humano, cosa que lejos de afectar la germinación, la promueve (González, 1991).

Está calculado que puede haber hasta 350 semillas por g (George, 1989), su capacidad germinativa dura de 4 a 6 años en condiciones normales de almacenamiento y aún más si se almacena en temperaturas frescas, pero con baja humedad relativa. No posee períodos de dormancia, lo que quiere decir que puede sembrarse y germinar inmediatamente después de ser extraída del fruto, siempre y cuando se le quite la capa mucilaginosa que la envuelve o de lo contrario la germinación es más tardada y dispareja; de ahí la importancia del proceso del lavado y beneficio en la industria semillera.

El número de semillas en el fruto, varía entre 50 y 200. La correlación entre el número de semillas y el peso final del fruto es significativo para cada cultivar, pero las relaciones son distintas entre racimos de la misma planta dependiendo también de las condiciones de cultivo. Todavía no se sabe con certeza si el crecimiento del fruto está regulado directamente por las semillas o indirectamente por la auxina producida por ellas, pero se considera que el crecimiento del pericarpio está relacionado positivamente con la actividad de auxinas en el fruto mientras que, el crecimiento de la cavidad locular, está afectado por el desarrollo de la semilla (Chamarro, 1995).

2.5. Requerimientos climáticos

2.5.1. Luz

La luz influye en el desarrollo de las plantas de muchas maneras diferentes al de la fotosíntesis. Así, se entiende como fotomorfogénesis a los cambios en el desarrollo producidos por la luz (Acosta *et al.*, 1986).

El fotoperíodo es la duración astronómica del día, o sea la duración de la luminosidad del día sin tomar en cuenta la intensidad de la radiación (Torres, 1986).

Tomando en cuenta el fotoperiodismo vegetal, o sea la respuesta de las plantas a diferentes duraciones diarias de luz solar, podemos clasificar a los vegetales en tres grandes grupos (Torres, 1986):

- 1). Plantas de fotoperíodo largo. Requieren una duración del día de más de 12 horas.
- 2). Plantas de fotoperíodo corto. Requieren de una duración del día igual o menor de 12 horas.
- 3). Plantas neutras. Florecen y fructifican normalmente tanto en épocas de días cortos como de días largos.

Se ha reportado que el jitomate es una planta neutra al fotoperíodo, en lo que concierne a su floración, sin embargo, para el caso de todas las plantas con semilla (incluyendo el jitomate) se muestran respuestas del crecimiento, determinadas por un control fotoperiódico. Este tipo de

respuesta en el jitomate es el control de la producción de un pigmento amarillo en la cutícula en ciertos frutos adecuados genéticamente (Hendricks, 1958).

Aung (1976) estudió el efecto del fotoperíodo y temperaturas sobre las respuestas vegetativas y reproductivas, encontrando que éstas difieren debido al tipo de crecimiento del cultivar y su origen; los resultados mostraron que los nudos de las hojas, sostenidas entre los cotiledones y la primera inflorescencia fueron significativamente reducidos por la influencia del fotoperíodo corto (9 horas) y 22 °C (día)/ 18 °C (noche) de temperatura. El número de flores fue aumentado por los períodos cortos. Los días a primera antesis fueron disminuidos por el fotoperíodo corto y temperaturas de 26/22 °C.

En invierno, fotoperíodos cortos con promedios de luminosidad baja, limitan la producción de carbohidratos por la fotosíntesis. Esto podría ser la causa primaria de la reducción en el cuajado del fruto. Cuando hay una deficiencia de carbohidratos en la iniciación y desarrollo de la flor se ha demostrado que es más adversamente afectado que el crecimiento vegetativo (Picken, 1984).

Es conveniente que la luminosidad sea intensa cuando la planta de jitomate está en producción (coloración de frutos), 12 horas diarias de luz es el mejor fotoperíodo, ya que si es menor, el desarrollo es lento y, si es mayor, la síntesis de proteínas se dificulta y los hidratos de carbono se acumulan en exceso (Mendoza, 1995 y Rodríguez *et al.*, 1997). Luminosidad limitada reduce la fotosíntesis neta, implicando mayor competencia por los fotoasimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Aung, 1976).

Guenkov (1974) y Garza (1995) reportan para el desarrollo normal del jitomate, fotoperíodos de 11 a 12 horas luz. En cambio Folquer (1976) y Font (1962) señalan que el jitomate es una planta de alta adaptabilidad al factor luz, ya que prospera en regiones con fotoperíodos de 10 a 14 horas.

El bajo amarre de las flores para producir frutos puede ocurrir en cultivares determinados e indeterminados, limitando el rendimiento. Las evidencias disponibles claramente indican que no hay un factor único responsable para este bajo amarre, ya que varios de éstos interactúan de

una manera compleja. Sin embargo, la integral de luz diaria parece tener un papel central en el control del desarrollo reproductivo en jitomate. Cuando las plantas se desarrollan en semillero bajo condiciones favorables de luz 16-20 horas (días largos) con una densidad fotón flux de $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en la parte de arriba del dosel, la transición floral ocurre durante la cuarta semana y la primera inflorescencia aparece macroscópicamente alrededor del día 45. La antesis de la mayoría de flores de ésta inflorescencia ocurre en secuencia, aproximadamente dos semanas más tarde (dos meses después de la siembra). Solamente uno o dos botones florales iniciados tarde invariablemente abortan (Kinet, 1977a).

Cuando las condiciones de luz son insuficientes, consistentes de 8 horas (días cortos) con una densidad de fotón flux de $90 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ (que ocurren constantemente en semillero), la iniciación floral así como la aparición macroscópica de la inflorescencia es más tarde que bajo luz alta, indicando que la tasa del crecimiento del racimo es más lenta. Además el desarrollo nunca continua a antesis y el fracaso de todo el racimo invariablemente ocurre. En la primera flor de la primera inflorescencia abortada, todos los órganos florales están presentes, pero el desarrollo del tejido esporogénico es interrumpido en las células madres del polen en las anteras, mientras en los óvulos el desarrollo nunca va más allá de la diferenciación temprana de las células arqueosporas (Howlett, 1936 y Kinet y Sachs, 1984).

Los niveles óptimos de luz para el cultivo de jitomate, varían de acuerdo a la etapa de desarrollo de la planta; así por ejemplo, para la producción de jitomate en invernadero en Chapingo, México ($19^{\circ} 29' \text{ N}$, $98^{\circ} 53' \text{ W}$ y 2,250 msnm), en la etapa de plántula, desde que emerge hasta que tiene cuatro hojas verdaderas, se reporta una intensidad máxima de 2,500 bujías por pie; las necesidades de luz aumentan a 4,000 bujías por pie entre al momento del trasplante y la aparición del primer racimo floral (Pérez y Castro, 1999).

La luminosidad cuando es igual o superior al óptimo no afecta el desarrollo del tallo, un descenso en la irradiancia induce a un aumento en la elongación del tallo a expensas de otras partes de la planta, dando lugar a tallos más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático (Chamarro, 1995 y Kinet, 1977). Cuando se combina baja irradiancia con alta temperatura, la planta llega a presentar hasta 18 hojas antes del primer racimo (Castro, 1992).

Con irradiancias bajas, las células esponjosas del mesófilo están dispuestas de una manera más relajada e irregular y se reduce el tamaño, número y densidad de las células en empalizada así como la densidad de los estomas. La iluminación continua puede inhibir el crecimiento de las hojas que después desarrollan zonas cloróticas y empiezan a morir, incluso si la luz continua, se interrumpe antes de que la clorosis sea visible (Chamarro, 1995). Cuando las plantas reciben poca luz, su crecimiento es débil y ello influye en una menor floración; tampoco es conveniente un exceso de iluminación repentina después de un tiempo que más bien ha sido baja, por lo que en esos casos puede ser necesario sombrear el invernadero, operación que también puede realizarse por otras causas (Sobrino, 1989).

Durante la época nublada que se presenta en los meses de septiembre y octubre, las hojas de jitomate presentan un bajo contenido de azúcares y tanto éstas como los tallos se vuelven pálidas y delgadas, pudiendo ser pequeños los racimos de frutos o incluso no llegar a cuajar varios de sus frutos. Con tiempos soleados la producción de azúcar en las hojas es muy elevada, siendo éstas oscuras y gruesas, los tallos de color verde oscuro y con mayor vigor, los racimos tendrán numerosos frutos bien cuajados y el sistema radical será muy vigoroso, pudiendo aportarse mayores niveles de nitrógeno durante este período (Resh, 1992).

Garza (1995) menciona que los requerimientos de luz oscilan entre 3,500 a 4,500 luxes; aunque los jitomates tipo bola son más exigentes que los de tipo saladette. Sin embargo, Kinet (1977) menciona que valores de radiación total diaria en torno a 0.85 MJ m^{-2} son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado.

Durante el periodo de crecimiento de los frutos, desde la floración hasta la maduración, se requieren aproximadamente 5,00 bujías por pie (Pérez y Castro, 1999).

La baja irradiancia puede reducir el tamaño de las flores y ovarios (Saito e Ito, 1972), pero hay poca información sobre los efectos en la viabilidad del óvulo. Sin embargo, flores anormales con pétalos, estambres y pistilos rudimentarios, han sido frecuentemente observados sobre las dos primeras inflorescencias producidas en invierno bajo condiciones de baja luminosidad y ha sido demostrado que el óvulo desarrollado en tales flores cesa antes o poco después de la formación del saco embrionario. El polen fue también estéril en flores anormales (Veselova, 1977).

Durante la fase de floración hay una interacción, una intensidad luminosa reducida hace descender el porcentaje de polen germinado, disminuyendo el crecimiento del tubo polínico, habiéndose constatado que en tiempo nublado la viabilidad polínica es menor y la dehiscencia de las anteras defectuosa (Maroto, 1986).

Hanna (1999) encontró que el pobre cuajado de frutos bajo condiciones de baja irradiancia en invierno e inicios de primavera, es causado probablemente por fallas frecuentes en la producción de polen o polinización que por fallas de germinación del polen, crecimiento del tubo polínico, producción de óvulo, fertilización o crecimiento del fruto. La producción de polen es sensible a períodos de baja irradiancia, por la deficiencia de carbohidratos. Asimismo indicó que la variedad de formas y tamaños observadas en granos de polen no viables, sugiere que el desarrollo del polen podría ser influenciado por la deficiencia de carbohidratos en diferentes etapas.

En condiciones de baja irradiancia, la fruta podría ser vana e irregular y las producciones tempranas no podrían ser siempre incrementadas, porque el aumento del cuajado del fruto sobre una inflorescencia puede ser acompañado por una disminución en otras, presumiblemente porque la competencia para el suministro de carbohidratos está limitada (Picken, 1984).

2.5.2. Temperatura

Cada especie vegetal tiene ciertas temperaturas críticas (algunas veces llamadas temperaturas cardinales) que definen los requerimientos de calor necesarios para su crecimiento y desarrollo. Estas temperaturas generalmente incluyen la mínima (la temperatura más baja a la cual la planta crece), la óptima (la temperatura a la cual el crecimiento y desarrollo son más grandes) y la máxima (la temperatura más alta a la cual la planta crece). También existen las temperaturas letales, las cuales provocan la muerte de la planta y son más extremas que los valores máximos o mínimos (Ortiz, 1982).

El intervalo de temperatura del suelo recomendado para jitomate es de 12 a 16 °C (Mínima 10 °C y máxima 30 °C) (Valadez, 1993). Temperaturas del suelo inferiores a 12 °C son críticas para el desarrollo radicular, con repercusión en el crecimiento de las partes aéreas.

Los umbrales máximos de temperatura del sistema radicular oscilan de 30 a 35 °C, siendo las temperaturas óptimas durante las primeras semanas del crecimiento de 25 a 30 °C y de 20 a 25 °C durante el resto del ciclo, aunque hay diferencias entre cultivares (Martínez, 1984).

La temperatura óptima para la germinación de la semilla de jitomate está comprendida entre los 25 a 30 °C, por debajo de los 10 °C la semilla no germina (Serrano, 1978). En cambio Mobayen (1980; citado por Nuez, 1995) reporta una temperatura óptima entre 20 y 25 °C. Por otra parte, Folquer (1976) indica que la temperatura a la cual es favorecida la germinación es de 26 °C en el día y 20 °C durante la noche; no obstante, para la obtención de plántulas más robustas, se recomiendan temperaturas de 24 y 18 °C en el día y la noche respectivamente, bajo las cuales la emergencia ocurre 6 días después de la siembra.

Para el desarrollo vegetativo del jitomate la temperatura ideal es de 22 a 23 °C y la que detiene su desarrollo es de 12 °C. A temperaturas por debajo de 7 °C, se hace necesaria la utilización de calefacción. Es más importante la variación alternada de la temperatura del día con respecto a la de la noche (termoperiodismo) que la media diaria o temperatura constante, no importando que sea la media óptima (Rodríguez *et al.*, 1997). Asimismo, Went (1956; citado por Folquer, 1976) indica que la temperatura óptima para el desarrollo vegetativo es de 23 °C durante el día y 17 °C durante la noche, el crecimiento se detiene a 10 °C (temperatura constante); destruyéndose la planta a temperaturas menores de 2 °C. Si las temperaturas son altas (30 °C o más) en tallo crece delgado y produce hojas pequeñas. Sin embargo, Ortiz (1982) reporta para la etapa vegetativa una temperatura óptima de 16 a 27 °C, una mínima de 10 a 13 °C y una máxima de 27 a 32 °C. Por otra parte, Valadez (1993) y Guenkov (1974) mencionan que la temperatura óptima para el crecimiento de la planta es de 22 °C.

La velocidad de elongación del tallo aumenta generalmente con la temperatura, dando lugar a tallos más delgados con una mayor proporción de tejido parenquimático y de agua. La temperatura nocturna óptima para la elongación del tallo es de unos 30 °C para las plantas jóvenes y de 13 –18 °C para las plantas más viejas (Chamarro, 1995).

Hurd y Cooper (1970) encontraron que con una temperatura promedio de 10 °C durante el crecimiento inicial de la planta de jitomate, aumentó el número de flores sobre la primera

inflorescencia. La producción de estas plantas, en las que el ápice vegetativo fue eliminado después de la primera inflorescencia, fue aproximadamente 25 % más grande que el testigo sin frío. Incrementos similares en la producción se obtuvieron de plantas sembradas a lo largo del año, excepto las cultivadas en septiembre en donde no hubo incremento. El frío retrasó la cosecha por aproximadamente 4 días con siembras en verano y algo más en invierno, pero tuvieron poco efecto sobre la duración del período de cosecha.

Maroto (1986) señala que temperaturas relativamente bajas (10–13 °C) a nivel radicular incrementan el número de flores iniciadas en el primer racimo, mientras que la misma temperatura a nivel aéreo acorta el número de entrenudos sobre el que aparece el primer racimo floral. Harssema (1977) indicó que bajas temperaturas en la parte aérea de plántulas durante la primera semana después de la expansión de las hojas cotiledonares, determinaron el número de entrenudos a la primera inflorescencia y que temperaturas radiculares relativamente bajas incrementaron el número de flores en cada inflorescencia. En plantas de jitomate sometidas durante cuatro semanas a condiciones de temperatura ambiente controlada (25 °C) y temperaturas radiculares también constantes de 16.8, 20.0, 25.3 y 29.9 °C, las tasas más altas de transpiración y crecimiento así como de la relación parte aérea/raíz corresponde a las mayores temperaturas de la raíz. La temperatura de 25 °C en el suelo durante las dos primeras semanas de desarrollo y temperaturas ambientales de 20 °C son las que ofrecen un mayor efecto.

Pérez y Castro (1999) recomiendan que la temperatura mínima de crecimiento del jitomate no sea menor de 12 °C para evitar que el desarrollo se detenga, y sobre todo, no menor de 10 °C (temperatura base). La temperatura máxima no debe exceder de 35 °C para evitar que el crecimiento sea mínimo o nulo y prevenir problemas por errática fecundación debido a la deshidratación de los granos de polen, más aún cuando dicha temperatura es acompañada por humedad relativa menor de 40 %.

Para la floración y la fecundación las temperaturas óptimas fluctúan entre 15 y 22 °C. Si la temperatura es baja (13 °C) la mayoría de los granos de polen son estériles y como consecuencia hay abscisión de las flores por falta de fecundación; cuando la temperatura es alta (37 °C) los estilos de las flores se prolongan de manera anormal antes de que las anteras se abran por lo cual no se puede realizar la polinización (Cásseres, 1971).

Bajo temperaturas óptimas pero insuficiente luz, el desarrollo floral puede ser afectado ocasionando aborto. Aunque temperaturas bajas del ambiente incrementan el número de flores, el desarrollo del fruto puede ser limitado como resultado de una producción pobre de polen, por la baja luminosidad (Picken, 1984) o completamente inhibido como resultado de una baja viabilidad del polen a una temperatura de 10 °C. Aunque, temperaturas más altas de 25 °C también pueden reducir el número de frutos. Como la temperatura afecta la iniciación floral, el desarrollo floral, la formación del fruto y el crecimiento del fruto simultáneamente en una planta indeterminada, los efectos de temperatura en la repartición de asimilados en relación al rendimiento del fruto son muy complejos (Ho, 1996).

La viabilidad del óvulo puede ser afectada adversamente por alta temperatura (Iwahori, 1966 y El Ahmadi y Stevens, 1979). La exposición a 40 °C por 3 horas en dos días consecutivos dañó la viabilidad del óvulo en plantas que de otra manera se desarrollaron a 20 °C. Las flores que fueron tratadas en antesis entre el quinto y noveno días después del tratamiento, fueron afectadas pero también la viabilidad del polen se redujo. Solamente en flores tratadas siete y nueve días antes de la antesis, se afectó la meiosis de las células madres del óvulo y la viabilidad de éste fue pobre, lo cual fue la causa principal del bajo cuajado de frutos (Picken, 1984).

Marrero (1986) menciona que la más intensa antesis se produce entre los 25 y 30 °C durante el día y en la noche 3 a 4 °C más baja. Con respecto a la fructificación, señala que la oscilación diurna y la temperatura nocturna constante comparada con la temperatura diurna alta y la temperatura nocturna baja conduce a menor desarrollo del fruto. Las temperaturas nocturnas mayores de 22 °C y menores de 10 °C dan una escasa fructificación.

En verano en condiciones de luz a 20 °C, la fertilización del núcleo de los primeros tubos polínicos tuvo lugar 18 horas después de la germinación del polen y la mayoría de los óvulos fueron fertilizados durante el lapso de 30 horas (Iwahori, 1966).

Smith (1935; citado por Ponce, 1995) estableció que en el caso de una temperatura alta, los estilos de las flores se prolongan de manera anormal antes de que las anteras se abran, por lo cual no se puede realizar la polinización. Demostró también que en caso de temperatura alta (37.7 °C) solamente el 0.1 % de los granos de polen germinaron al término de las doce horas después

de la polinización. Además, en condiciones de temperatura alta las anteras se desarrollan con mayor lentitud. Todo esto obstaculiza la polinización y la fecundación y las flores caen.

Un exceso de temperatura (más de 30 °C) o una temperatura demasiado baja (menos de 10 °C) puede provocar la formación de polen estéril. Las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y cuajado en el jitomate, puede oscilar de 14-17 °C durante la noche y 23-25 °C durante el día, siendo la humedad relativa del orden del 70 % (Maroto, 1986). El tiempo tomado por el polen para germinar depende de la temperatura y se ha demostrado que varía de 0.5 horas a 37.5 °C y 20 horas a 5 °C. La germinación fue severamente reducida a temperaturas por encima de 37-38 °C o bajo 5 °C (Picken, 1984).

Maroto (1986) reportó que en algunos cultivares se ha observado que una baja intensidad luminosa, una temperatura elevada y una abundancia de nitrógeno disponible repercuten en un desarrollo excesivamente alargado del pistilo, lo que conduce a fallas en el cuajado, superiores a lo normal. Esto concuerda con lo reportado por Naylor (1984), quien encontró que la máxima longitud del pistilo en relación a los estambres se observó a los niveles más elevados de nitrógeno, lo que aunado a fotoperíodos cortos, se asocia con la aborción estaminal y la esterilidad del polen.

La tasa de crecimiento del tubo polínico se incrementa con temperaturas por arriba de 35 °C. Temperaturas más altas inhiben el crecimiento. Las temperaturas por abajo de 10 °C, el crecimiento del tubo polínico puede ser demasiado lento para efectuar la fertilización (Picken, 1984). La temperatura influye en el tiempo en el cual ocurre la fertilización. Así, a 18 °C, los tubos polínicos penetran al ovario, 24 horas después de la polinización, mientras que a 10 °C la penetración ocurre solamente después de 84 horas (Charles y Harris, 1972; citados por Picken, 1984). La exposición a altas temperaturas, puede tener efectos adversos en la fertilización o sobre los procesos que preceden inmediatamente o seguidos de éste. Cuando las plantas crecieron a 20 °C y fueron expuestas por cuatro horas a 40 °C entre 24 a 96 horas después de la polinización, se observó degeneración del endospermo y frecuentemente menos daño al pro-embrión (Iwahori, 1966).

La temperatura óptima nocturna para la fructificación oscila entre 15 y 20 °C, si es menor de 14 °C, los frutos no se desarrollan (Ponce, 1995). Las temperaturas (26/20 °C) durante la fructificación provocan caída de flor y limitan el cuajado. Durante la floración la temperatura óptima es de 22 °C para un buen cuajado. A temperaturas inferiores a 10 °C, existen problemas de fecundación (Martínez, 1984).

Valadez (1993) menciona que cuando se presentan temperaturas altas (mayores de 38 °C) durante 5 a 10 días antes de la antesis, hay poco amarre de fruto debido a que se destruyen los granos de polen; si las temperaturas elevadas prevalecen de 1 a 3 días después de la antesis, el embrión es destruido. El amarre del fruto también es bajo cuando las temperaturas nocturnas son altas (25 a 27 °C) antes y después de la antesis. Al respecto Went (1957; citado por Ponce, 1995), estableció que con temperaturas altas durante la noche, gran parte de las flores caen antes de la fecundación, debido a la provisión de carbohidratos, los cuales son utilizados en el desarrollo vegetativo y en el proceso de respiración. Esta causa es uno de los problemas más comunes del jitomate, ocasionando que los primeros racimos no amarren el fruto. El amarre también es deficiente a bajas temperaturas sobre todo durante la noche.

Similarmente Dinar y Rudich (1985), señalaron que el amarre de fruto de jitomate es comúnmente inhibido por altas temperaturas. Con el incremento de temperatura, los niveles de sacarosa en los órganos fuente se incrementan, mientras que los niveles de almidón disminuyen. El estrés por calor da como resultado una reducción en el suministro de asimilados a las yemas florales.

Ponce (1995) indicó que la temperatura óptima nocturna para la fructificación, oscila entre 15 y 20 °C, si es menor de 14 °C, los frutos no se desarrollan. Las temperaturas elevadas y los días largos afectan la fase reproductiva, debido a que la planta no forma la cantidad suficiente de hormonas o éstas son destruidas por la luz y el calor. Según Valadez (1993), la temperatura óptima para la maduración del fruto es de 18 a 24 °C; si la temperatura es menor de 13 °C, los frutos tienen una maduración muy pobre. Asimismo, cuando la temperatura es mayor de 32 °C durante el almacenamiento, la coloración roja (licopeno) se inhibe y los frutos se tornan amarillos. A temperaturas entre 22-28 °C se obtiene una pigmentación roja óptima.

Serrano (1996) reporta que la maduración del fruto de jitomate está muy influida por la temperatura, no solamente en la precocidad, sino también en el color que toma el fruto; cuando la temperatura oscila alrededor de 10 °C, los frutos no toman color rojo, quedándose en tonalidades amarillas-anaranjadas; en verano, con temperaturas superiores a 30 °C el fruto en la maduración toma color amarillo.

Por su parte Cásseres (1984) indica que la temperatura óptima para el desarrollo del fruto de jitomate oscila entre 18 a 24 °C y que, cuando se supera esta temperatura, un buen porcentaje de frutos presentan maduración deficiente.

2.5.3. Humedad

La humedad del aire tiene un gran significado como reguladora de las pérdidas de agua por evaporación del suelo y por transpiración de las plantas.

La humedad relativa se puede definir como la cantidad porcentual de vapor de agua que en un momento dado y a una determinada temperatura contiene el aire, con relación a la máxima cantidad de vapor que a esa misma temperatura el aire puede contener (Torres, 1986).

Armstrong y Kirsby (1979; citados por Adams, 1986) encontraron que los crecimientos jóvenes se estimulan con una alta humedad relativa (95 %), atribuyendo tal respuesta a la mejor asimilación del CO₂ a través de los estomas que permanecen más abiertos. Por otro lado, Bradfield y Guttridge (1983; citados por González, 1991) reportaron que el contenido de calcio en las hojas más jóvenes fue muy bajo a humedad relativa de 50 % en comparación con la humedad relativa de 95 % durante el día y se presentó una alta incidencia de frutos con pudrición basal, debida a la deficiencia de calcio. Las condiciones de alta humedad relativa en la noche favorecen el movimiento del calcio hacia la hojas jóvenes y frutos, pero humedades relativas bajas en el día favorecen la movilización de calcio de estas partes y resultan en la acumulación de calcio en las hojas adultas. Ello se atribuye a que el calcio se mueve con el flujo transpiratorio que es mayor hacia las hojas adultas debido a su mayor área foliar y menor contenido de ceras. Así, los tejidos jóvenes que tienen una baja tasa de transpiración, reciben inicialmente mucho de ese calcio durante la noche por efecto de la presión radical que luego es transferido.

La humedad relativa más favorable es de 50 a 60 %, cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no forman fruto (Guenkov, 1974 y Rodríguez, 1975). Además puede disminuir el rendimiento hasta un 24 % en relación con las condiciones óptimas (Mortensen y Bullard, 1975; citados por Mirafuentes, 1985). En caso de baja humedad relativa y temperatura alta se observa una desecación de la superficie de los estigmas, el polen no puede germinar y las flores caen (Guenkov, 1974 y Rodríguez, 1975).

El polen puede adherirse a la superficie del estigma para lograr la fertilización. En humedades muy altas, el polen tiende a permanecer dentro de las anteras, en tanto que cuando son muy bajas, se reduce la adhesión a la superficie estigmática. Se ha encontrado que el número de granos de polen retenidos en el estigma fue más alto a 24 °C y 17 °C que a más altas o más bajas temperaturas (Van Koot y Van Rasvestijn, 1963; citados por Picken, 1984).

Maroto (1986) menciona que una humedad ambiental baja (menor al 50 %) puede repercutir en la retención estigmática del polen, mientras que la humedad relativa demasiado elevada (85 a 95 %) afecta negativamente a la dehiscencia de las anteras y a la polinización, aunque se haya producido previamente polen fértil. Por su parte, Rodríguez (1975) dice que la humedad del aire tiene una influencia muy marcada sobre la polinización. Si durante la polinización la humedad relativa del aire es elevada, el polen se apelmasa y no se libera, además de coadyuvar a posibles daños fisiológicos como la pudrición apical de los frutos por deficiencia de calcio (este elemento se absorbe mejor cuando existe transpiración normal de la planta que cuando ésta disminuye como consecuencia de una alta humedad ambiental). Por el contrario, si el tiempo es muy seco, el tubo polínico se deseca y se rompe antes de que ocurra la fecundación. Asimismo, la baja humedad relativa reduce el crecimiento de las plantas por una excesiva transpiración y se incrementa el consumo (Marrero, 1986 y Pérez y Castro, 1999).

La humedad relativa óptima dentro del invernadero debe variar de 50 a 60 %, debido a que con alta humedad en el ambiente (mayor de 70 %) (Pérez y Castro, 1999).

Rodríguez *et al.* (1984) menciona que la humedad relativa ideal para el jitomate en invernadero es de 60 a 70 % y que un exceso hace al cultivo más susceptible a enfermedades

foliares, tales como el tizón temprano (*Alternaria solani*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y (*Botrytis cinerea*). Tal exceso de humedad se puede equilibrar con ventilación, aumento de la temperatura y control de riegos. Por en contrario la falta de humedad se puede controlar aumentando los riegos o con pulverizaciones de agua tanto en pasillos como en el cultivo, también las prácticas culturales tales como podas de brotes y hojas pueden ayudar a disminuir la humedad relativa (Pérez y Castro, 1999).

2.6. Densidad de población

La densidad de población para el cultivo de jitomate varía mucho y está en función de diversos factores, tales como: tipo de cultivar, modalidad del cultivo (campo abierto o invernadero), luz disponible, forma de conducción (nivel de despunte, tipo de poda), etc.

Para el caso de producción de jitomate en hidroponia, Harris (1974), reporta una densidad de 29,625 a 39,536 pl 'ha⁻¹ que en números redondos equivale a una superficie de 0.26 a 0.33 m² por planta; ésto implica un espaciamiento de 35.56 por 55.88 cm entre plantas y entre hileras.

La densidad de plantación deberá de adecuarse al tipo de poda prevista, ampliándose el marco de plantación si se poda a más tallos de los usuales. Algunos cultivares no toleran la poda (Geisenberg y Stewart, 1986; citados por Castilla, 1995). Además, Serrano (1978), señaló que la densidad de plantación de jitomate en invernadero depende del desarrollo vegetativo que tenga la planta, el número de guías que se dejen y la altura a la que éstas sean despuntadas.

Papadopoulos y Ormrod (1990) estudiaron el efecto del espaciamiento entre plantas sobre el rendimiento de jitomate, manejando distancias entre plantas de 23, 30, 38, 45, 53 y 60 cm, teniendo densidades de 113,000, 64,000, 53,000, 40,000, 31,000 y 25,000 plantas por hectárea respectivamente, utilizando el cultivar Jumbo y Ohio CR bajo condiciones de invernadero, las plantas se manejaron a un tallo sin despunte, encontrando que el rendimiento total por planta disminuyó conforme aumentaban las densidades, pero el rendimiento total por hectárea se elevó conforme las densidades de plantas por unidad de superficie se incrementaban.

Hernández (1993) utilizó densidades de 8, 12 y 16 pl·m⁻², podadas a uno y dos tallos, con despuntes a dos y tres racimos, encontró que los rendimientos por hectárea fueron mejores en las densidades altas, obteniendo 177.84, 191.88 y 228.16 t·ha⁻¹, respectivamente; aunque la calidad del fruto fue menor para altas densidades.

Castro (1992) estableció 12 y 16 pl·m⁻², las cuales se despuntaron a tres y dos racimos respectivamente, obtuvo un rendimiento promedio de 252.24 t·ha⁻¹ al establecer 12 pl·m⁻² y 320.35 t·ha⁻¹ en la densidad de 16 pl·m⁻², sin embargo, encontró que a medida que se incrementan las plantas por unidad de superficie, la calidad del fruto se demerita.

Sánchez y Corona (1994) evaluaron cinco densidades (6, 9, 16, 20 y 24 pl·m⁻²) despuntando las plantas a una o dos inflorescencias y el testigo sin despuntar, en cuatro cultivares de jitomate (Hayslip, Florida, Florade y Río Grande), con la finalidad de determinar el cultivar, la densidad y el nivel de despunte óptimo para maximizar el rendimiento. Los resultados indicaron que a mayor densidad mayor rendimiento por m². Las densidades de 20 y 24 pl·m⁻² rindieron significativamente más que las de 9 y 16 pl·m⁻², debido a que a mayor densidad de plantación aumentó mucho el número de frutos por m² sin disminuir significativamente el peso medio del fruto, aunque el rendimiento y número de frutos por planta fue menor.

Jorge (1999) comparó diferentes densidades de población (6, 12, 16, 20, 25 y 36 pl·m⁻²) con diferente distribución de plantas (una o dos plantas por mata, en 2, 3, 4, 5 o 6 hileras) y distintos niveles de despunte, dejando 1, 2, 3 racimos por planta; en el Cv. Conteza, encontró que el arreglo de 25 plantas por m², distribuidas en 5 hileras, en donde la primera y quinta hilera se despuntaron a un racimo, la segunda y cuarta hilera a dos racimos y la tercera a tres racimos, formaron un dosel piramidal del cual se obtuvo el más alto rendimiento por m² (25.54 kg), el mayor número de frutos por m² (219) y un peso medio de frutos de 116 g.

Muñiz (2000) evaluó dos genotipos de jitomate de crecimiento determinado, Conteza y Solarset, en altas densidades de población y despuntes a uno, dos y tres racimos por planta, los resultados obtenidos mostraron que Conteza superó en rendimiento por unidad de superficie a Solarset en los tres niveles de despunte, destacando el despunte a tres racimos por planta, con un promedio de 21.14 kg·m⁻² en el primer genotipo y 16.91 kg·m⁻² en el segundo. El mayor índice de

área foliar (IAF) y mayor rendimiento por m^2 se obtuvo en el tratamiento a 3 racimos con 20 $pl\ m^{-2}$ con 22.62 $kg\ m^{-2}$.

Ucán (1999) al evaluar el Cv Daniela, despuntando a tres racimos por planta y a diferentes densidades (6, 8, 9 y 12 $pl\ m^{-2}$) y niveles de poda, los cuales fueron a 3 y 4 frutos por racimo y sin poda (testigo). Encontró que al aumentar la densidad de 6 a 12 $pl\ m^{-2}$, disminuyó significativamente el área foliar por planta en un 16 %; caso contrario para IAF en donde al aumentar la densidad, incrementó el IAF por planta en un 67 %. Los resultados también mostraron que la disminución de la densidad de población (incrementó la capacidad de la fuente) provocó un aumento en el tamaño y peso de los frutos; sin embargo, esto ocasionó una disminución en el rendimiento por unidad de superficie que no alcanzó a ser compensado económicamente con el mayor valor que se puede obtener por kilogramo con los frutos grandes obtenidos con la menor densidad. Concluyó que para cualquiera de las densidades evaluadas, la eliminación de un porcentaje de frutos en cada racimo provocó un mayor diámetro y peso de los frutos que permanecieron en dicho racimo al momento de la cosecha, pero la disminución del rendimiento por unidad de superficie fue de tal magnitud que el sobreprecio de los frutos grandes no alcanza a compensar económicamente esa merma.

Cancino *et al.* (1991) evaluaron tres niveles de despunte (una, dos y tres inflorescencias por planta) y dos densidades de población (9 y 16 $pl\ m^{-2}$) en dos cultivares de jitomate (Tropic y Ace 55 vf) en hidroponía bajo invernadero, obteniendo mayor rendimiento potencial anual con el tratamiento de despunte a dos inflorescencias y en la densidad de 16 $pl\ m^{-2}$ con la variedad Tropic, que fue de 17.14 $kg\ m^{-2}$ por ciclo en 114 días después del transplante, contra sólo 7.81 $kg\ m^{-2}$ en el testigo sin despuntar a una densidad de 3 $pl\ m^{-2}$, la práctica de despunte influyó significativamente sobre el intervalo del transplante al final de la cosecha, ya que las plantas despuntadas a un racimo terminaron de cosecharse 11 días antes que las dejadas a dos racimos y 20 días antes que las manejadas a tres racimos. Este trabajo muestra la posibilidad de obtener 3.4 cosechas al año ó 57.55 $kg\ m^{-2}\ a\ ño$, es decir, aproximadamente 384 $t\ ha^{-1}\ a\ ño$ ya considerando los pasillos del invernadero; también permitiría reducir o evitar los daños causados por enfermedades y fenómenos meteorológicos.

Ansewadekar (1981) sembró jitomate en tres densidades de plantación con 17,700, 26,600 y 53,300 plantas por hectárea, encontró que en el último tratamiento fue en donde obtuvo los mayores rendimientos.

Baca (1983) probó cuatro distancias de plantación en jitomate bajo hidroponia (70.0, 46.7, 35.0 y 28.0 cm) obteniendo el rendimiento más alto con la densidad de 28 cm entre plantas, aunque no encontró diferencias significativas en el rendimiento obtenido con la distancia de 35 cm, pero sí con las otras dos distancias (70.0 y 46.7 cm).

Truchi (1987) recomienda efectuar la plantación de jitomate en invernadero en filas simples de 80 x 30 cm o de 80 a 90 cm y 60 x 35 a 40 cm (tres a cuatro plantas por m^2) en filas dobles. Por su parte Sitta (1988) sugiere realizar el transplante a distancias de 80 x 30 cm (cuatro $pl\ m^{-2}$) para podar la yema terminal por encima del 5° o 6° racimo floral, además de los brotes laterales y así conducir la planta a un tallo.

Ponce (1995) evaluó cuatro densidades de población (6, 12, 16 y 24 $pl\ m^{-2}$) y tres niveles de despunte (1, 2 y 3 inflorescencias) en plantas de jitomate del cultivar Floradade en hidroponia bajo invernadero, encontrando los mejores resultados con la poda a un racimo y a una densidad de 24 $pl\ m^{-2}$, obteniendo 4.4 frutos por racimo y 481.2 g de rendimiento de frutos por racimo.

2.7. Podas y despuntes

El cultivo de jitomate, además de una alta producción debe reunir ciertas normas de calidad del fruto requeridas en los mercados, principalmente el de exportación. La calidad está relacionada con el tamaño del fruto entre otras variables y depende de los genotipos usados y del manejo que se les dé. El tamaño de los frutos puede regularse por medio de la poda, la cual consiste en eliminar yemas o brotes que generalmente no producen frutos (González, 1967).

A la poda se le considera una forma de reducir la competencia entre órganos de una misma planta para regular el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Esta práctica reduce el crecimiento total por la disminución del número de hojas y ramas, las partes que permanecen en la planta pueden ser más vigorosas y productivas al inducir el incremento en

cantidad y calidad de flores y frutos; además permite una mejor penetración de luz y CO₂ al dosel, aumentando el porcentaje de área foliar fotosintéticamente activa. Por lo tanto, el objetivo de la poda es la eliminación de partes de la planta que no contribuyen al desarrollo, lo que induce a una mayor eficiencia de las hojas (Bleasdale, 1977 y Galston *et al.*, 1980).

Por su parte Janick (1965) considera que el efecto de la poda también puede manifestarse en un crecimiento vegetativo masivo, debido a que ésta altera el equilibrio entre el crecimiento de la raíz y del tallo, este desequilibrio induce a un cambio vegetativo reproductivo, favorable al primero y consecuentemente se reduce la producción de flores y por lo tanto de frutos. Al respecto, González (1967) menciona que uno de los efectos de esta práctica, consiste en incrementar la producción temprana y al mismo tiempo el tamaño de los frutos y que una de sus desventajas es el incremento de frutos agrietados y la disminución en el rendimiento.

Serrano (1978) indicó que la poda del jitomate es una práctica muy conveniente cuando se cultiva en invernadero. Con esta operación se encausa el desarrollo vegetativo de la planta, eliminando los brotes que salen de las axilas de las hojas (chupones), que por su fuerte desarrollo vegetativo suelen quedar sin fructificar.

Rodríguez *et al.* (1984) mencionaron que la poda en jitomate consiste en dejar uno o varios tallos y eliminar todos los brotes que salen en las axilas de las hojas de estos tallos; el número de tallos que se deben dejar en la planta depende de los siguientes factores:

- a) Marco de plantación: cuanto más amplio hay mayores posibilidades de dejar más tallos.
- b) Precocidad que se presenta: cuanto menos tallos, habrá mayor precocidad en la recolección.
- c) Variedad que se cultive.
- d) Época climática del cultivo: en tiempo húmedo no conviene demasiada vegetación.

La poda a un tallo consiste en dejar crecer el tallo principal e ir cortando todas las yemas axilares durante el ciclo de cultivo de la planta. Este método fue el que le dio mayor producción a González (1967), aunque incrementó el porcentaje de frutos agrietados.

La poda a dos tallos se basa en eliminar todos los brotes, excepto el inmediato inferior a la primera inflorescencia, al cual se le permite desarrollar para obtener un segundo tallo, este método es el más recomendable desde el punto de vista económico y de precocidad (González,

1967 y INIA-CIAS, 1977). Además, se reporta que este tipo de poda incrementa la precocidad en la maduración y la calidad de los frutos (INIA, 1981).

La poda a tres tallos se fundamenta en eliminar todas las yemas del tallo, excepto las dos inmediatas inferiores a la primera inflorescencia (Mirafuentes, 1985).

La poda de despunte o descope, consiste en la eliminación de la parte superior de la planta cuando ésta ya cuenta con tres o cuatro racimos de frutos en formación. Este método sólo ofrece la ventaja de facilitar la cosecha (Porte y Wilcox, 1963; citados por Mirafuentes, 1985).

El método de poda modificada se basa en eliminar los meristemos de cada brote después de la aparición de la segunda hoja, induce la producción de frutos de mayor tamaño (González, 1967). Una práctica complementaria de la poda es el pinzamiento o despunte, que consiste en cortar las yemas o brotes terminales de los tallos guías, la cual tiene gran importancia ya que con ella se limita la cantidad de frutos que se desea recolectar, pero al mismo tiempo se disminuye el ciclo vegetativo y por consiguiente se obtiene una cosecha más precoz; también se logra un aumento en el tamaño de los frutos al disminuir su número (Serrano, 1996).

La práctica de aclareo de flores y frutos de ciertas especies tiene como finalidad disminuir la competencia entre estos órganos reproductivos; por ejemplo, al reducir el número de flores en racimos de jitomate, se incrementa el volumen y mejora el color y la calidad de los frutos al momento de la cosecha (Weaver, 1976). Cuando la fructificación es numerosa, disminuye el tamaño y baja la calidad de los frutos, por lo que es necesario hacer un aclareo de flores o frutos según convenga. (Tukey, 1975; citado por Ponce, 1995).

Fisher (1977) estudió los efectos de competencia por fotoasimilados entre los frutos, dejando distinto número de racimos por planta en jitomate del Cv. Eurocross BB y encontró que entre mayor es el número de racimos por planta, menor es el peso de cada racimo en particular y el número de frutos por racimo, explicando que se debe a la competencia entre racimos por fotoasimilados disponibles, lo que significa que el rendimiento está limitado por la capacidad de la fuente para suplir los fotoasimilados necesarios. Sugiere también que el mayor grado de competencia para un racimo en particular viene del inmediatamente superior a éste, al encontrar

que la presencia del racimo 6 disminuyó significativamente el rendimiento del racimo 5 (de 719 a 994 g).

La poda de hojas eventualmente se hace cuando el follaje es muy abundante, con ello se mejora la distribución de la radiación incidente y la ventilación favoreciendo mayor floración y mejor cuajado de frutos, mejor calidad de cosecha y mejor control de plagas y enfermedades. Esta poda debe hacerse con algunas hojas que están por abajo del primer racimo de frutos contando a partir del sustrato o suelo; deben eliminarse aquellas hojas envejecidas o enfermas para evitar que éstas sigan consumiendo energía (Serrano, 1996). Asimismo, Castilla (1995) menciona que la eliminación de hojas jóvenes junto con la de los brotes laterales tuvieron un alto porcentaje de frutos maduros antes que los testigos; después de la defoliación hubo una rápida recuperación del área foliar, ya que las hojas restantes crecieron más grandes debido, a una removilización de asimilados del tallo y de las raíces a las hojas. Aung y Kelly (1966) mencionaron que la remoción de hojas que apenas inician su crecimiento en las plantas jóvenes de jitomate, aumenta el número de flores de la primera inflorescencia, mientras que la eliminación de hojas maduras lo reduce, y sugirieron que estos efectos pueden deberse a la competencia demandante de las hojas jóvenes.

2.8. Hidroponia e Invernaderos

2.8.1. Hidroponia

Incluido dentro del rubro de producción en invernaderos, el sistema de hidroponia posee particularidades que implican la utilización de principios científicos y tecnológicos diferentes a los empleados en lo que típicamente se considera como manejo de invernaderos (Castaños, 1993).

El conocimiento actual de la hidroponia es el resultado de muchos trabajos de investigación, que datan desde épocas ancestrales. Así, en 1938 la hidroponia entró en el campo de la horticultura práctica (Sánchez y Escalante, 1988).

La hidroponia se define como una técnica de producción agrícola muy intensiva, que se caracteriza porque el sistema radicular de las plantas en vez de suelo se desarrolla en sustratos generalmente inertes desde el punto de vista químico, estériles desde el punto de vista biológico y son irrigadas con una solución acuosa que contiene todos los nutrientes esenciales en las concentraciones adecuadas y requeridas por las plantas. Aunque también las raíces de las plantas pueden desarrollarse directamente en la solución nutritiva. Este sistema ha venido cobrando importancia como una alternativa de producción en la agricultura moderna. Sus estructuras y métodos han sufrido cambios muy importantes desde la aparición de los plásticos, por lo que actualmente se le emplea con mucha frecuencia, ya que esta técnica se ofrece como una opción para producir cultivos de alto valor (Sánchez y Escalante, 1988).

Se reporta que en algunos países de Europa, se ha venido substituyendo el cultivo tradicional de jitomate en suelo por el cultivo en sustratos, debido fundamentalmente a la existencia de factores limitantes tales como salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos (Abad, 1995).

La hidroponia ha mostrado una gran flexibilidad y se puede usar con éxito bajo variadas condiciones. En los países asentados en zonas áridas, como Israel y Arabia Saudita, que cuentan con medios económicos, pero escasas disponibilidades hídricas y que por lo tanto, tienen que manejarlas con sumo cuidado, este sistema se ha utilizado con gran éxito, no sólo por los rendimientos unitarios que obtienen, sino porque han logrado eficiencias considerables en el uso del agua, se ha reportado que pierden hasta 20 veces menos volúmenes de este insumo comparado con las explotaciones agrícolas irrigadas bajo los procedimientos tradicionales. Por otra parte, en el caso de los trópicos, donde las enormes precipitaciones lixivian los nutrientes y empobrecen los suelos, con problemas de drenaje e incidencia de plagas y enfermedades, la hidroponia ha sido una alternativa viable para la producción de alimentos (Castaños, 1993).

En nuestro país, sobre todo en regiones agrícolas del centro, como en Tequisquiapan, Querétaro, existen explotaciones a base de hidroponia para cultivos como jitomate en los que se han obtenido rendimientos que superan en 10 veces a los cultivos tradicionales (Castaños, 1993).

Mediante la técnica de la hidroponia se logra un balance ideal entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; ausencia de malas hierbas, un mayor control sobre las plagas y enfermedades, el mantenimiento del pH dentro de los límites óptimos (6.0 a 6.5) y una conductividad eléctrica (CE) de 1.5 a 2.5 mmhos cm^{-2} , lo que permite utilizar altas densidades de plantación por unidad de superficie, así como la obtención de altos rendimientos por unidad de superficie (100 a 1000 % más que el cultivo convencional en suelo) y mejor calidad de los productos, repercutiendo en mejor mercado y precio de venta (Nuez, 1995 y Sánchez, 1997). Asimismo, según Sánchez y Escalante (1988) la hidroponia representa un gran número de ventajas tanto desde el punto de vista técnico como económico con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; una de las ventajas más sobresalientes es que es posible mantener el aire como el agua dentro del rango óptimo requerido por los cultivos. Los nutrimentos se proporcionan al cultivo hidropónico junto con el agua, listos para ser asimilados en forma de solución balanceada y con la presión osmótica adecuada. Las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de los fertilizantes en el suelo, desaparecen con un sistema de cultivo hidropónico.

Algunas de las desventajas principales por las cuales este sistema no se ha desarrollado satisfactoriamente en México son: a) requiere de conocimientos técnicos combinados con conocimientos de fisiología vegetal, se requiere de cierta destreza técnica, conocimiento hortícola y control científico; b) el costo para establecer un sistema de cultivo hidropónico a nivel comercial es alto; c) muchos de los fracasos de la hidroponia a nivel comercial se deben al descuido^{do} de algunos detalles como el no mezclar bien la solución nutritiva, usar tuberías o depósitos galvanizados, lo que ocasiona toxicidad por zinc, no analizar el agua para preparar la solución, etc.; d) el desconocimiento de la planta y su manejo es uno de los principales factores que ocasiona fracaso o bajos rendimientos; e) problemas de comercialización al no contar con un mercado seguro y que garantice un precio mínimo (Sánchez y Escalante, 1988).

Cualquier método de cultivo en hidroponia consta de los siguientes componentes: planta, solución nutritiva, contenedores, sustratos, sistemas de riego y drenaje (Sánchez y Escalante, 1988 y Resh, 1992).

Planta. Aunque técnicamente en hidroponia se puede cultivar cualquier vegetal, en la práctica comercial sólo se manejan cultivos de alto valor, principalmente flores y otras ornamentales, hortalizas y plantas medicinales.

Solución nutritiva. Uno de los componentes esenciales de la hidroponia es la solución nutritiva, que es la disolución de diversas fuentes de fertilizantes con nutrimentos en agua, con la cual se riegan las plantas y cuya función es la de proporcionar todos los elementos esenciales requeridos por ellas en las proporciones adecuadas. Se ha probado que los siguientes elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, fierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno. Respecto a este componente, Contreras (2001) reporta que un sistema de cultivo hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales se suministran en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto, se considera un prerequisite la solubilidad de los elementos esenciales en el agua. El nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio, el azufre y el magnesio, denominados comúnmente como macroelementos, se añaden al agua usando, casi siempre como fuente, fertilizantes comerciales. Los otros elementos: fierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno, (denominados microelementos) van a menudo incluidos como impurezas en el agua y en los fertilizantes que proporcionan los macroelementos, añadiéndolos sólo en caso necesario, a excepción del fierro que debe agregarse a la solución. Por otra parte Castro (1992) concluyó que no hay una solución nutritiva teórica ideal para un cultivo en particular, debido a que la concentración óptima de los elementos nutritivos para una especie vegetal depende de un conjunto de factores dentro de los que destacan: la parte de la planta que se va a aprovechar, estación del año, clima, calidad del agua y estado de desarrollo de la planta.

Las fuentes más comunes y baratas de los elementos esenciales son los fertilizantes comerciales, algunos de los más importantes se citan en el siguiente cuadro (Sánchez y Escalante, 1988):

Cuadro 2.1. Fertilizantes más utilizados en los cultivos hidropónicos

Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Relación de solubilidad	Costo
KNO ₃	Nitrato de potasio	101.1	1:4	Bajo
Ca(NO ₃) ₂	Nitrato de calcio	164.1	1:1	Bajo medio
(NH ₄)SO ₄	Sulfato de amonio	132.2	1:2	Medio
NH ₄ H ₂ PO ₄	Dihidrofosfato de amonio	115.0	1:4	Medio
NH ₄ NO ₃	Nitrato de amonio	80.05	1:1	Medio
(NH ₄) ₂ HPO ₄	Fosfato de amonio	132.1	1:2	Medio
KH ₂ PO ₄	Fosfato monopotásico	136.1	1:3	Muy caro
KCl	Cloruro de potasio	74.55	1:3	Caro
K ₂ SO ₄	Sulfato de potasio	174.3	1:15	Barato
Ca(H ₂ PO ₄)H ₂ O	Fosfato monocalcico	252.1	1:60	Barato
CaH ₄ (PO ₄) ₂	Superfosfato triple	Variable	1:300	Barato
MgSO ₄ , 7H ₂ O	Sulfato de magnesio	246.5	1:2	Barato
CaCl ₂ 6H ₂ O	Cloruro de calcio	219.1	1:1	Caro
CaSO ₄ 2H ₂ O	Sulfato de calcio	172.2	1:500	Barato
H ₃ PO ₄	Acido fosfórico	98.0		Caro
FeSO ₄ 7H ₂ O	Sulfato de fierro	278.0	1:4	
FeCl ₃ 6H ₂ O	Cloruro de fierro	270.3	1:2	
FEDETA	Quelato de fierro	382.1	Altamente soluble	Caro
H ₃ BO ₃	Acido bórico	61.8	1:20	Caro
Na ₂ B ₄ O ₇ , 10H ₂ O	Tetraborato de sodio	381.4	1:25	
CaSO ₄ , 5H ₂ O	Sulfato de cobre	249.7	1:5	Barato
MnSO ₄ 4H ₂ O	Sulfato de manganeso	223.1	1:2	Barato
MnCl ₂ 4H ₂ O	Cloruro de manganeso	197.9	1:2	Barato
ZnSO ₄ 7H ₂ O	Sulfato de zinc	287.6	1:3	Barato
ZnCl ₂	Cloruro de zinc	136.3	1:1.5	Barato
(NH ₄)Mo ₇ O ₂₄	Molibdato de amonio	1163.9	1:1.3	Relativamente caro
ZnEDTA	Quelato de zinc	431.6	Altamente soluble	Caro
MnEDTA	Quelato de manganeso	381.2	Altamente soluble	Caro

Fuente: Tomado de Resh (1992).

Contenedores. Los contenedores son recipientes de diferentes tamaños, formas y materiales, que contienen al sustrato en el que se cultivan las plantas. Pueden ser tinas de forma rectangular con una profundidad de 20 a 30 cm, con un ancho de 20 a 120 cm y con una longitud variable de 1 a 50 m o más; en escala comercial también se usan macetas o simplemente bolsas de polietileno (Sánchez y Escalante, 1988; Castro, 1992 y Resch, 1992).

Sustrato. Otro de los componentes de la hidroponia es el sustrato, el cual es un material inerte que sirve como medio de cultivo, su función es sustituir al suelo proporcionando a la planta las condiciones edáficas más apropiadas para su desarrollo. Existe una gran cantidad de sustratos que pueden utilizarse como medios de cultivo en hidroponia, estos pueden clasificarse de acuerdo a su origen en: orgánicos (aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, turba, etc.) e inorgánicos (arena, grava, tezontle, agrolita, lana de roca, entre otros) (Resh, 1992 y Serrano, 1996).

Sistema de riego. En los cultivos hidropónicos es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarles los nutrimentos necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera, riego por inundación o vertido, subirrigación, aspersión, goteo, capilaridad, atomización a las raíces (aeroponía) hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrimentos, pH y programador automático de riego (Internet, 2001).

El jitomate es la hortaliza que con más frecuencia se cita en la literatura referente a cultivos hidropónicos a nivel mundial; en la mayoría de los casos, en promedio (Cuadro 2) se señalan más altos rendimientos y más calidad (100 a $400 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}$) cuando se les compara con los sistemas convencionales de cultivo en suelo (20 a 30 t ha^{-1} por cosecha y con mucho más riesgo), esto constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de terreno, con poco agua o con serias limitantes de suelo (Sholto, 1976).

Cuadro 2.2. Rendimiento promedio de jitomate por planta (kg)

Producido por	Rendimiento en hidroponia	Rendimiento en suelo	Variedad
Dr. Gericke: Universidad de California	14.10 12.40		"Sutotons" "Majestic"
IWOSC; Research and Demostration Unit	10.80	4.20	"Market king" "Messina"
Hidroponic Research (East African experiments 1961-63)	8.20 11.0	3.60 4.50	Varios híbridos
F. Hiicks; Lyminteng, Hants	8.60		"Alisa Craig"
Jealatt's Hill Research Station	7.40		"Stoner's"
New Jersey Agricultural Experiment Station	9.10		"Marglobe"
Hidroponic Research (West Bengal)	11.10	3.90	"Sutton's" "Best of all"
Hydroponics Research (U.K. office)	13.70		"Sunrise"
Glenhazel Research Station (Boksburg, Transvaal)	10.20		"Marglobe"

Fuente: Sholto (1976).

El manejo de un sistema de cultivo sin suelo, irá encaminado a controlar las condiciones de la rizosfera, para que sean las más favorables en todo momento a las exigencias de la raíz, evitando oscilaciones o cambios perjudiciales a la fisiología de la planta. Los sustratos en los cultivos sin suelo, por su mayor uniformidad, reducido volumen, aislamiento y favorables condiciones físicas, permiten una más fácil actuación y estricto control, con vistas a proporcionar a las raíces las condiciones óptimas para el desarrollo de sus funciones (Nuez, 1995).

Parte de los carbohidratos sintetizados fotosintéticamente por la planta, son utilizados posteriormente como fuente de energía para ciertas funciones, liberándola por procesos respiratorios. Pues bien, en el ahorro de parte de esta energía, se basa la superioridad teórica de los sistemas de cultivo sin suelo. La raíz tiene a su disposición el agua y los elementos nutritivos minerales en el equilibrio y concentraciones apropiadas, lo que facilita su absorción y evita consumos de energía superfluos en vencer presiones osmóticas de soluciones con salinidad demasiado elevada, o antagonismos competenciales de equilibrios desajustados (Nuez, 1995).

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

2.8.2. Invernaderos

La siembra de hortalizas en invernadero, es una alternativa viable si se desea producir en un medio desfavorable o bien cuando se necesitan rendimientos elevados, en determinadas épocas del año (Castaños, 1993). Otros de los objetivos que se consiguen con esta técnica de producción son: mejorar la calidad comercial de las cosechas y obtener mejores precios en la comercialización del producto (Avitia, 1998).

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

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

Aun cuando existen muchos tipos de invernaderos, algunas de las formas más comunes pueden ser: a) invernadero de capilla a una o dos aguas; b) invernadero curvo; c) invernadero parral; d) invernaderos especiales: hinchables, torre, etc., indicando que para completar estos tipos se debe considerar la estructura soporte, distinguiéndose en este sentido: a) invernadero con estructura de madera; b) invernadero con estructura de acero; c) invernadero con estructura de

hormigón; d) invernadero con estructura de aluminio; e) invernadero mixto o combinación de algunas de las estructuras anteriores (acero y porta vidrios en aluminio) (Matallana y Montero, 2001).

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

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

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

b). Efecto invernadero. Las variaciones caloríficas infrarrojas como consecuencia de su longitud de onda, pueden encontrar un obstáculo al pasar a través del material de recubrimiento, puesto que éste, en relación con sus características contribuye a aumentar la temperatura de la atmósfera del invernadero, tanto más en cuanto es más impermeable a estas variaciones, esto es lo que se conoce como “efecto invernadero”, que permite cultivar plantas en invernaderos desprovistos de calefacción en zonas cuyas bajas temperaturas no les permitirían desarrollarse o que, por lo menos, les hará tener un ciclo vegetativo más largo (Alpi y Tognoni, 1991).

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

A nivel mundial, el incremento en las superficies con cultivos protegidos está teniendo un desarrollo asombroso; así para el caso de Holanda se reporta actualmente una superficie total de invernaderos de 8,900 ha, de las cuales el 40 % se destina a la producción de hortalizas, principalmente jitomate, pimiento y pepino. Italia cuenta con la superficie de invernaderos con mayor diversificación en el mundo, destinando su producción para el consumo interno, actualmente tiene una superficie bajo invernaderos de 25,000 ha, con un volumen de producción de 2.5 millones de toneladas, de las cuales el 15 % corresponde a productos hortícolas, de éstos sobresale el jitomate con un 31 % (7,600 ha) (Randolph, 1999b).

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

Israel es uno de los países en los que se ha dado una transición hacia los cultivos en invernadero, de 55,000 ha dedicadas a la producción de hortalizas, el 3 % (1,650 ha) se cultivan bajo invernadero, aportando el 19 % del volumen total de la producción. en invernadero, destacando por su importancia el jitomate, pimiento, pepino, melón y fresa. Específicamente para jitomate, se tiene una producción total de 174,000 toneladas para consumo en fresco y de éstas, el 60 % es producido en invernaderos, en los que se tienen rendimientos de 200 y hasta 300 t ha⁻¹ (Chávez y Bringas, 1999).

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

Canadá cuenta con una superficie de 550 ha de invernaderos dedicadas a la producción de hortalizas, destinando el 57 % de dicha superficie a la producción de jitomate, alcanzando valores de la producción de hasta 79 millones de dólares. La situación de la horticultura Argentina ha mostrado una magnífica evolución en los últimos diez años al pasar de una producción extensiva hacia una intensiva bajo invernadero, actualmente cuenta con una superficie de 2,200 ha de

invernaderos dedicadas a la producción hortícola, con un valor de la producción de 100 millones de dólares, siendo el cultivo de jitomate el más importante, con rendimientos de hasta 150 t ha⁻¹ (Bringas, 1999ab).

En México actualmente la superficie bajo invernadero es de 520 ha, distribuidas en Jalisco 156, Sinaloa 146, Baja California Sur 78, Baja California Norte 39, Yucatán 35, Sonora 33, Querétaro 11 y Morelos 8, como las principales entidades; de esta superficie, el 72 % se dedica a la producción de jitomate. Bajo este contexto, las cifras muestran que aún existe mucho campo para extenderse, ya que los jitomates de invernadero únicamente representan el 3.3 % de la superficie dedicada a este cultivo (Bringas, 1999ab)

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

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

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

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

En el microclima creado por el invernadero, con el fin de lograr en su interior un ambiente adecuado para el hábitat de la planta, existen tecnologías que modifican el ambiente natural de este sistema, tales como el apoyo lumínico con fines fotoperiódicos, inyección de anhídrido carbónico, gestión climática (informática), etc.

El CO₂ es imprescindible en la vida de los vegetales y se puede controlar en el ambiente de los invernaderos. Este compuesto disminuye en la atmósfera del invernadero como consecuencia del proceso fotosintético, el cual puede tener limitaciones si la concentración de CO₂ disminuye sensiblemente. La reducción de la concentración de CO₂, depende del número de renovaciones que se hagan en la atmósfera confinada y de la actividad de la fotosíntesis. La concentración de CO₂ puede elevarse de 0.1-0.2 %, con aporte artificial de gas, cuando los demás factores climáticos sean óptimos. Las concentraciones superiores al 0.3 % pueden resultar tóxicas para los cultivos. La aportación de CO₂ puede hacerse mediante la combustión de sustancias que desprendan gran cantidad de este gas, o mediante la evaporación directa de gas contenido en bombas (Serrano, 1994).

Con el desarrollo de la cibernética, actualmente se dispone de modelos para hacer optimizaciones económicas y diversos equipos computarizados para el control automático de un invernadero, tomando determinados parámetros en forma correlacionada, por ejemplo la temperatura debe ser proporcional a la luz recibida, porque si la primera es excesiva y la luz es escasa se provoca un retraso en la fotosíntesis. La relación entre la luminosidad y la temperatura es del orden de 18 °C para 5,000 lux, de 23.5 °C para 25,000 lux y de 29 °C para 50,000 lux, teniendo en cuenta que en un día de pleno sol se tienen de 40,000 a 80,000 lux, en un día medio

nublado se reciben de 10,000 a 30,000 lux y en un día nublado se tienen de 500 a 5,000 lux (González, 1991).

2.9. Arquetipos

Adams (1982b) 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) define a un arquetipo (ideotipo) como un modelo biológico que se espera se comporte de una manera predecible dentro de un ambiente definido y que rinda una mayor cantidad o calidad de grano, aceite u otro producto útil cuando se desarrolle como un cultivar. También este autor lo conceptualiza como “una planta con características modelo que se sabe que influyen sobre la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento económico”.

Adams (1982b) mencionó que la arquitectura de la planta se refiere al número, tamaño, forma, arreglo y disposición de sus órganos. La arquitectura no tiene merito en el rendimiento, excepto si ésta es asociada para mejoramiento de respuestas o funciones fisiológicas. La premisa fundamental con la cual se asocia la arquitectura de la planta y el rendimiento de la especie establece que hay circunstancias agronómicas en las cuales las características arquitecturales reguladas genéticamente serán casualmente relacionadas a oportunidades especiales o superioridad productiva.

Según Sánchez (1997) la formación de un arquetipo para una especie de cultivo, es un proceso que comprende varias etapas: 1) la caracterización del medio en el que el cultivo se va a desarrollar; 2) la definición del arquetipo, es decir, la identificación de los caracteres morfológicos, anatómicos y fisiológicos de las plantas que contribuyen a maximizar el rendimiento por unidad de superficie en ese medio particular, así como la ponderación, cuidados en base a la interpretación fisiológica de la importancia de cada característica; 3) la exploración de germoplasma y la selección de los genotipos que más se acerquen al arquetipo propuesto; 4) la incorporación a los genotipos seleccionados, de las características que en el medio definido aún no alcanzan su expresión más favorable.

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 de sólo el 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 en un arquetipo están basados en consideraciones fisiológicas. 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 logrando 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 nutrimentos y competencia mínima entre plantas (plantas con pobre habilidad competitiva) (Adams, 1982b; Donald y Hamblin, 1983; Sedgley, 1991 y Adams y Kelly, 1992).

Una importante característica del arquetipo, independientemente del ambiente, es que haga 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).

Donald y Hamblin (1983) encontraron una arquitectura común en varias especies de cultivos anuales: plantas altas, ramificación o ahijamiento profuso, dosel denso de hojas grandes y orientadas horizontalmente y hábito indeterminado. Destacan que estos factores se integran para darle a las plantas una fuerte habilidad competitiva, lo que redundaría generalmente en bajos rendimientos por unidad de superficie, ya que cada planta compite fuertemente con sus vecinas. Mencionan que sobre todo en altas densidades, las plantas altamente competitivas rinden menos por unidad de superficie que las de poca habilidad competitiva caracterizadas por su baja estatura, menos área foliar por planta y menos ramas o hijos.

En algunas especies entre ellas el 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 mucho 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. Otras características que se relacionan con el rendimiento en alta densidad de población fueron: área de floema en tallo y pedúnculo, tardividad, tasa de fotosíntesis del dosel por unidad área de suelo y de tiempo y tasa de crecimiento de los frutos en su fase de crecimiento lineal; sin embargo, su influencia se dio fundamentalmente a través de las características catalogadas como más importantes.

Tollenaar (1991) señala que el mejoramiento genético del rendimiento de maíz, en las últimas 3 a 5 décadas, lo mismo que el aumento en el rendimiento de trigo y soya, se pueden atribuir al incremento en la producción de biomasa por unidad de superficie (rendimiento biológico) y éste, a su vez, se ha debido principalmente al aumento de la tolerancia de estos

cultivos a las altas densidades de población gracias a la modificación de características morfológicas y fisiológicas.

Morck y Pearce (1975) propusieron un arquetipo de maíz para la faja maicera de EUA, cuyas características permiten utilizar mejor el ambiente de producción. Este arquetipo debe tener hojas rígidas orientadas verticalmente arriba de la mazorca y hojas horizontales por debajo de ella, máxima eficiencia fotosintética, eficiencia en la conversión de fotosintatos a grano, corto intervalo entre la emisión de la espiga y la emergencia de los estigmas, proliferación (más de una mazorca por planta), tamaño pequeño de espiga, insensibilidad al fotoperiodo, tolerancia al frío en germinación y en plántula, periodo de llenado de grano tan largo como sea posible y lento envejecimiento de las hojas. Otras características que pueden conformar un arquetipo de maíz son: plantas con tallo grueso, altura de planta reducida (carácter braquíptico), menor número y longitud de entrenudos, pocas hojas pequeñas y erectas, área foliar reducida y más de una mazorca por planta (Barriga, 1972; citado por Rubio, 1994).

De acuerdo a Adams (1982), para un ideotipo en frijol, las características de planta para alto rendimiento deben mostrar: 1) número de nudos, de 12 a 15 del tallo principal; 2) número moderado de ramas basales (3 a 5); 3) crecimiento indeterminado, tamaño de planta en conjunto grande, pero no con crecimiento de enredadera extendida; 4) entrenudos superiores más grandes y más numerosos que los entrenudos basales; 5) diámetro de tallo grueso; 6) perfil de planta estrecho; 7) valores altos de componentes de rendimiento de primer orden conservando los requerimientos de clase comercial; y, 8) un valor de índice de área foliar de cuatro en floración. Otras características que pueden adicionarse a la arquitectura del ideotipo son: hojas pequeñas y capaces de orientarse a la luz inducida; duración del área foliar durante todo el ciclo; alto peso foliar específico; almacenamiento de almidón en tallo y raíz; larga duración de la fase de llenado de grano.

2.9.1 Características requeridas para tallos

Tallo grueso. A mayor grosor de tallo se espera una mayor área transversal de colénquima y esclerénquima y 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 que se traduzca en un mayor flujo de asimilados hacia los frutos. Para 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.

Porte bajo y entrenudos cortos. Para plantas con igual número de entrenudos a menor altura de planta se espera que la conducción de agua, así como la de nutrientes y fotoasimilados, sea más eficiente porque la distancia del transporte es menor y porque hay una menor fuerza de gravedad que vencer (Adams, 1982b). Dentro de una especie dada, los genotipos con entrenudos cortos presentan mecanismos genéticos que les confieren cierto grado de resistencia a sintetizar auxinas, lo que las hace tolerantes a la escasez de luz y a las dosis altas de nitrógeno, pues intervienen menos asimilados en el alargamiento celular y presentan, por lo tanto, una mayor capacidad de traslocación de fotoasimilados a frutos y generalmente un mayor índice de cosecha que las plantas con entrenudos largos (Papadakis, 1980).

2.9.2. Características requeridas para hojas y el dosel

Nobel y Long (1988) y Carámbula (1977) 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.

Field (1983) menciona que la arquitectuta del dosel determina el microambiente circundante a las hojas y el modo en que la energía luminosa es absorbida por la planta completa. También influye en la manera que los recursos deben ser distribuidos entre las hojas de diferente edad y la posición de éstas.

La estructura del dosel se refiere a la cantidad y organización de material vegetal incluyendo el tamaño, forma y orientación de hojas, flores y frutos (Norman y Campbell, 1989; citados por Adams, 1982 b).

2.9.2.1. Disposición y distribución de hojas.

Con el objetivo de maximizar la fotosíntesis total por unidad, el área y la filotaxia de las hojas deben proporcionar un arreglo de éstas que permita que la distribución de la radiación sea lo más homogénea posible a través del perfil del dosel y se logre una intercepción de casi el 100% de la misma (Loomis y Williams, 1969 y Morck y Pearce, 1975). La mayor tasa de fotosíntesis del dosel ocurre cuando la mayoría de las hojas están iluminadas a una irradiancia media que cuando sólo pequeños porcentajes de éstas reciben una intensidad de radiación alta y una mayor proporción reciben una irradiancia baja (Russell y Morris, 1982 y Shishido *et al.*, 1989).

2.9.2.2. Inclinação de la hoja

El número de hojas y tamaño son afectadas por el genotipo y el medio ambiente, la posición de las hojas en la planta es controlada por el genotipo, también tiene un efecto sobre el crecimiento de la hoja y de la capacidad de responder a las condiciones imprevistas del medio ambiente (Pearce, 1985; citado por Jorge, 1999).

Uno de los fundamentos en relación a que la inclinación de la hoja puede afectar el rendimiento, está sustentado en la hipótesis de Boysen Jensen, quien argumenta que una densidad de un cultivo con hojas erectas puede fotosintetizar más rápido que una con hojas horizontales. Boysen Jensen sugirió que en el campo, con más de la luz que desciende verticalmente, un cultivo con hojas erectas debería usar eficientemente más luz, porque ésta sería más distribuída sobre sus hojas. Esta hipótesis ha sido cuantificada por una larga serie de estudios teóricos, los cuales han sido recientemente revisados. En el primer estudio (Monsi y Saeki, 1953) predijeron la productividad de la planta como una función de la inclinación de la hoja, intensidad de la luz e índice de área foliar (Trenbath y Angus, 1975).

Tanner y Cool (1956; citados por Evans, 1983), encontraron una estrecha asociación entre rendimientos altos y hojas erectas, al examinar cultivares de cebada, trigo y avena. Por su parte Angus *et al.* (1972; citado por Evans, 1983), al comparar una variedad de cebada que poseía hojas erectas con otras de hojas laxas, encontraron que la fotosíntesis del cultivo era mayor en la primera, al igual que el rendimiento al utilizar altas densidades de siembra. Sin embargo con menores densidades, la hoja laxa presentó mayores rendimientos. Por lo tanto el incremento de la fotosíntesis no estaba necesariamente asociado con el aumento del rendimiento. Existe al menos una razón que explica por qué la penetración de luz a las hojas inferiores puede resultar ventajosa incluso en los cereales, pues estas hojas exportan una mayor proporción de sus compuestos a las raíces, en comparación con las superiores, de modo que es posible que las hojas más erectas estén asociadas con un crecimiento radicular más activo y prolongado y, por lo tanto, con una absorción de agua y nutrimentos más dilatada, así como con una exportación de citocininas al vástago vegetativo (Evans, 1983).

Pendleton *et al.* (1968) estudiaron la relación del ángulo de las hojas y la arquitectura del dosel con el rendimiento de grano y la fotosíntesis relativa del maíz. Encontraron que un híbrido portador del gen Lg2 para hojas erectas, produjo 40% más de grano que su contraparte con hojas de tipo horizontal, a una densidad de población de 59,304 plantas·ha⁻¹, dedujeron que la mayor superficie foliar expuesta a la luz causaba mayor eficiencia en la fijación de bióxido de carbono por unidad de luz, lo cual se incrementaba rápidamente a medida que las hojas eran más erectas.

Los doseles con hojas verticales necesitan IAF mayores a 4 para sobrepasar la tasa de crecimiento del cultivo, en relación a los doseles basados en hojas horizontales. A bajo IAF hay poca sombra entre hojas, de tal manera que los doseles con hojas horizontales tienen ligera ventaja sobre los basados en hojas verticales, debido a mayores irradiancias en la superficies de las hojas, sin embargo a alto IAF, los doseles con hojas verticales tienen ventaja debido a que la luz está distribuida de manera más uniforme sobre el área foliar del dosel (Gardner *et al.*, 1985).

2.9.2.3. Hojas superiores e inferiores

Las hojas completamente expuestas a la luz, absorben del 80 al 90 % de la radiación incidente en la región de 400 a 700 nm, de manera que en un medio día, las hojas superiores del

dosel absorben más de la cantidad de luz requerida para la saturación fotosintética y una gran parte de la energía absorbida puede ser disipada sin contribuir a la fotosíntesis (Loomis y Williams, 1963); por lo que las hojas superiores son los sitios de más actividad fotosintética (Milthorpe y Moorby, 1982).

Es lógico y coherente, establecer que la radiación solar que llega a las plantas, es distribuida dentro del dosel de acuerdo a su patrón de distribución y exposición de las ramas y hojas, lo cual va a limitar y determinar que se de el punto de saturación en las hojas inferiores, ya que el sombreado al que están expuestas, les restringe de gran manera poder lograr una intercepción adecuada y suficiente para satisfacer sus requerimientos necesarios para efectuar la mejor y máxima actividad fotosintética (Muñoz, 2000).

La menor intercepción de la radiación por las hojas superiores, permite la mayor penetración de luz a los estratos inferiores del dosel (Gardner *et al.*, 1985 y Loomis y Williams, 1963), comportamiento que bien sea porque posee hojas más erectas o por prácticas agronómicas, constituye una gran ventaja porque maximiza la fotosíntesis total para un dosel, en comparación de aquellos doseles donde la penetración de la luz es limitada por la posición horizontal de las hojas (Loomis y Williams, 1963).

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 de 30 a 50 % de su peso seco, por lo que al modificar la estructura del dosel se debe considerar al 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.

Bajo condiciones adecuadas de abastecimiento de agua y nutrientes en un cultivo, la cantidad interceptada de radiación fotosintéticamente activa por el dosel vegetal durante la fase vegetativa, sería la única limitante climática en la productividad del cultivo, por lo que resulta conveniente contar con cultivares cuyo dosel en el estrato superior presente hojas erectas, permitiendo que un mayor porcentaje de radiación penetre en el resto del dosel (Williams *et al.*, 1968).

2.9.2.4. Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) es la unidad del área de la superficie de la hoja por unidad de superficie del suelo (Salisbury y Ross, 1992; Mitchell, 1970 y Hunt, 1978). Este índice es un buen indicador de la superficie del follaje disponible para la captura de la radiación solar y útil para conocer el potencial fotosintético de un cultivo (Mitchell, 1970 y Hunt, 1978).

Durante las primeras fases de crecimiento de un cultivo y a medida que éste se desarrolla, la tasa de crecimiento e índice de área foliar aumentan. El incremento del IAF se da hasta alcanzar un valor óptimo y con ello la máxima intercepción de la RFA, si el IAF sigue aumentando, la tasa de crecimiento se mantiene hasta alcanzar un IAF después del cual empieza a declinar. A este nivel lo designan como IAF crítico, y es el IAF requerido para interceptar el 95 % de la RFA incidente y que generalmente corresponde a un valor de 3 a 5 (Loomis y Williams, 1969; Monteith, 1981; Gardner *et al.*, 1985 y Kamgar, 1980; citado por Ramos y Rallo, 1992).

Salisbury y Ross (1992) mencionan también que es común encontrar valores de IAF hasta de ocho para muchos cultivos bien desarrollados, dependiendo de la especie y la densidad de plantación.

Al respecto Russel *et al.* (1989) mencionaron que los IAF frecuentemente caen sobre valores de 1-12 en la mayoría de las comunidades vegetales. Los doseles con dominio de hojas horizontales (planófilo) generalmente tienen valores de IAF de 3-4, respecto a aquellos cuya mayoría de hojas son verticales (erectófilo) (IAF de 5-10).

Mitchell (1970), Molina (1975) y Mendoza y Ortiz, (1973) mencionan que existe una estrecha relación entre el rendimiento (expresado en materia seca) con el área foliar, al respecto indican que para una máxima producción de materia seca, el área foliar debe ser suficiente para ofrecer la máxima capacidad de intercepción de luz, ya que la eficiencia del área foliar depende de factores tales como el tamaño, el número de hojas y el arreglo espacial de las mismas (Mendoza y Ortiz, 1973), sin embargo, un área foliar excesiva puede crear condiciones de sombreado para gran parte de las hojas situadas hacia el interior de la cubierta vegetal,

ocasionando eventualmente que los carbohidratos producidos sean utilizados en la misma proporción de la que son sintetizados (Mitchell, 1970).

El cultivo al producir escasa cobertura del follaje, la producción de materia seca por unidad de superficie está limitada por la proporción de energía incidente que es absorbida por el dosel y en la mayoría de los cultivos anuales, manejados de manera convencional, toma una alta proporción de su ciclo de vida el que su dosel llegue a interceptar más del 75 % de la RFA incidente, lo que es una importante limitante para el rendimiento. Es decir, si un cultivo pudiera llegar muy pronto a un IAF óptimo y de ahí hasta el final de su ciclo éste se mantuviera constante, la intercepción diaria de RFA sería máxima por un mayor intervalo de tiempo, lo que se reflejaría en una mayor acumulación diaria de biomasa y probablemente en un mayor rendimiento económico (Loomis y Williams, 1969; Monteith, 1981; Gardner *et al.*, 1985 y McAvoy y Janes 1989).

Koning (1996) resaltó la importancia del IAF sobre el rendimiento de jitomate y señaló que la cantidad de materia seca (fotoasimilados) disponible para el crecimiento de los frutos es igual a la diferencia entre la tasa de producción de materia seca y la cantidad de materia seca demandada para el crecimiento vegetativo a un cierto IAF y que dentro de ciertos límites al aumentar el IAF aumenta la intercepción de RFA por el dosel y en consecuencia hay un aumento en la producción de materia seca por unidad de superficie y por unidad de tiempo.

2.9.2.5. Hojas pequeñas y eficiencia.

La consideración de la característica de hojas pequeñas en el arquetipo para altas densidades, se basa en que a menor longitud de las hojas el diámetro que ocupa cada planta en su proyección vertical es menor, lo que permite una menor distancia entre plantas (mayor densidad) pues los efectos adversos de la baja intensidad luminosa que ocurre cuando se establecen en altas densidades es mayor en poblaciones compuestas por plantas con hojas de mayor longitud (Adams y Kelly, 1992). Partiendo de que se forman de 7 a 8 hojas por debajo de la primera inflorescencia y que en el sistema de producción de jitomate a un racimo, las plantas se despuntan dos hojas arriba de la inflorescencia, se tienen aproximadamente 9 a 10 hojas por racimo, en contraste con los sistemas convencionales donde hay una gran cantidad de hojas por planta, pero la proporción

se reduce a casi tres hojas por racimo. Por ello es razonable pensar que en el sistema a un racimo existe una capacidad suficiente de la fuente (hojas) para abastecer fotoasimilados (Sánchez, 1997).

2.9.3. 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 y, 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 caracter 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).

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 a un menor periodo de crecimiento de los frutos pero a tasas mayores. El hábito determinado con plantas de un solo tallo y sin ramas, minimiza la competencia por asimilados entre órganos reproductivos y vegetativos, favoreciendo a los primeros. Generalmente estas plantas son más compactas y se pueden cultivar a mayor densidad y, por otro lado, su ciclo es más corto, posibilitando la obtención de más cosechas por año (Sánchez, 1997).

2.10. Distribución de fotoasimilados

2.10.1. 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.

También 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.

2.10.2. Factores que determinan la distribución de asimilados

La repartición de asimilados a los órganos de crecimiento, está determinada por las relaciones y las conexiones físicas entre los suministradores y los receptores de asimilados y esta relación fuente y conexión es afectada por las condiciones de crecimiento.

2.10.2.1 Factores internos

El radio del floema de una planta de jitomate, consiste en un floema interno (perimedularmente) y un floema externo. A lo largo del tallo, el movimiento hacia arriba (acropétalo) de los asimilados, generalmente tiene lugar en el floema interno, mientras que el movimiento hacia abajo (basipétalo) ocurre en el floema externo (Bonnemain, 1965).

Una hoja durante sus primeras fases de desarrollo importa fotoasimilados vía floema interno y cuando alcanza $\frac{3}{4}$ partes del tamaño total, exporta asimilados vía floema externo (Bonnemain, 1969 y Ho y Shaw, 1977). Así, cuando el primer racimo está floreando, las hojas más jóvenes encima de la inflorescencia exportan principalmente a la raíz, mientras que la inflorescencia es abastecida principalmente por las hojas más viejas que están por abajo (Khan y Sagar, 1966). En fructificación, los racimos importan asimilados tanto por la vía de floema interno como externo de las hojas tanto de arriba como de abajo, respectivamente; ya que el área del elemento criboso del floema interno en el pedicelo es más grande que aquel de el floema externo, más asimilados pueden ser importados a través del floema interno de las hojas que están abajo (Bonnemain, 1966). Considerando que el área foliar de la hoja subtendida es más grande que la de la hoja justo por encima del racimo y que el floema interno en el pedicelo desarrolla más que el floema externo, la hoja subtendida podría ser la principal abastecedora a los racimos.

Un número de procesos puede regular el rango del importe de asimilados por un fruto de jitomate. Esto varía desde el transporte de sacarosa en el tejido conductor del floema a la acumulación de hexosa en la vacuola de las células de almacenaje. Se ha observado que la sacarosa es descargada, ya sea simplásticamente vía plasmodesmos o apoplásticamente del tejido conductor floemático a las células de almacenaje adyacentes en el fruto (Damon *et al.*, 1988 y Johnson *et al.*, 1988). En cualquier caso, el transporte de azúcares por medio de la membrana entre las células de almacenaje y entre el citoplasma y la vacuola dentro de las células, podría

ocurrir. Por lo tanto, la regulación del transporte de azúcares por la membrana, puede jugar un papel en el importe de asimilados. El asimilado es descargado regularmente a lo largo del tejido vascular del fruto de jitomate, sin algún punto de descarga específico (Walker, 1975).

La frecuencia de las conexiones plasmodesmatales entre los tubos cribosos y las células acompañantes o entre las células acompañantes y las células parenquimatosas del floema en el fruto joven de jitomate en menos de 20 días de edad, es suficiente para la descarga simplástica (Johnson *et al.*, 1988 y Offler y Horder, 1992). Conforme al crecimiento del fruto de jitomate, la amplitud del espacio intercelular y la frecuencia de plasmodesmatos entre las células parenquimatosas del floema disminuye, el transporte de azúcares entre las células de almacenamiento puede ocurrir principalmente por rutas apoplásticas (Johnson *et al.*, 1988). En el fruto de crecimiento rápido, a los 25-30 días de edad, el área transversal plasmodesmatal se reduce, mientras que el área superficial del plasmalema disminuye y es suficiente para una descarga apoplástica (Offler y Horder, 1992). Si el modo de la descarga afecta el rango de importe, no es aún seguro. Sin embargo, los recientes hallazgos en la acumulación de sacarosa marcada asimétricamente por frutos de jitomate de acumuladores de hexosas o sacarosa, dan soporte a la idea de una transición de un modo de descarga simplástica a una descarga apoplástica durante el desarrollo del fruto (Dali *et al.*, 1992).

2.10.2.1.1. Filotaxia, sistema vascular y competencia de la demanda

La competencia entre los órganos demandantes por asimilados, puede ser facilitada por la vía de transporte común entre algunos órganos demandantes y sus hojas fuente común. Hay cuatro ramales verticales en el tallo conectados con las hojas adyacentes (Shishido *et al.*, 1988; citados por Ho, 1996). El arreglo de las hojas bajo la primera inflorescencia puede ser ubicada a 2/5 de la filotaxia en el tallo (Russell y Morris, 1983 y Ho, 1996). La primera inflorescencia es principalmente abastecida por las hojas 1, 3, 6 y 8 con una divergencia de menos de 90° de la inflorescencia, mientras que el ápice es abastecido por las hojas 1 y 4 y las raíces por las hojas 5 y 9. Como las hojas 1, 3, 6 y 8 abastecen la primera inflorescencia así como el ápice y las raíces, y todas estas hojas están conectadas por el mismo ramal vascular, hay una competencia directa entre estos órganos demandantes por la misma fuente de asimilados.

Encima de la primera inflorescencia, hay tres hojas entre inflorescencias adyacentes, con dos más abajo cerca de 90° de la inflorescencia, y una por arriba a los 180° de la primera inflorescencia. En efecto, todas las inflorescencias están en una hilera vertical y todas las hojas en 3 hileras. Más comúnmente cada racimo de frutos podría atraer asimilados principalmente de las hojas de las dos hileras adyacentes, ambas justo debajo y cerca de los racimos. Debido a la falta de una conexión vascular directa entre los racimos y las hojas opuestas, relativamente menos asimilados de esas hojas podrían abastecer a los racimos (Shishido y Hori, 1991). Debido a que el fruto atrae asimilados localmente, el abastecimiento de éstos al ápice y las raíces puede ser principalmente confinado a unas pocas hojas superiores y las hojas basales respectivamente. Tales patrones de distribución de asimilados en plantas de jitomate fructificando, son consistentes con la alta proporción de acumulación de materia seca por el fruto. Dentro de cada racimo, el fruto en un lado tiende a recibir más asimilados de las hojas en el mismo lado del tallo (Shishido y Hori, 1991). Sin embargo, la distribución localizada de asimilados por un fruto individual o racimo, no es absoluta. La trayectoria del asimilado para un racimo puede ser redistribuida rápidamente a los racimos tanto cerca como abajo, si el racimo es removido y la ganancia en aquellos racimos permanentes abarca arriba del 70 % de los asimilados excedentes (Slack y Calvert, 1977).

2.10.2.1.2. Relaciones fuente-demanda

2.10.2.1.2.1. 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 (1977a) 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 más alta que la 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). 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, 1983).

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 tales 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 todas 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).

También hay 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, también hay 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, 1996).

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 2 a 4 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) señalaron 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, deprimiendo 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.

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

El crecimiento de un fruto de jitomate depende de la acumulación 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 (p.e. fuerza de la demanda), varía entre frutos dentro del mismo racimo (Ho *et al.*, 1983) y entre cultivares (Demnitz-King, 1993).

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, 1996).

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 (Thornley 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 ser atrasados o podrían 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).

2.10.2.1.2.3. Regulación hormonal de la prioridad de la demanda

Aunque la prioridad entre los órganos demandantes para asimilados puede ser determinada por su fuerza relativa de la demanda (Ho *et al.*, 1989), ni las condiciones de la fuerza de la demanda ni el mecanismo de la competencia de la demanda en jitomate están bien definidos. Aún no es conocido por qué una inflorescencia inicial podría ser una demanda más débil que la de los brotes apicales. Sin embargo, una inflorescencia al borde del aborto debido a una débil competencia por un suministro limitado de asimilados, puede ser rehabilitada por la aplicación de citocininas y ácido giberélico al ovario (Kinet *et al.*, 1978). En este caso, la secuencia de los eventos sugiere, que el tratamiento hormonal restauró la división celular en el ovario (Kinet *et al.*, 1986) y fue seguido por el metabolismo del azúcar intensificado antes de que hubiera un incremento del aporte de asimilados a expensas de aquellos para el ápice. Esto sugiere que la baja fuerza de la demanda normal de las flores, es debida a la baja actividad de división celular y que la actividad de la división celular en el ovario causado por el tratamiento hormonal puede generar una demanda mayor que la del ápice. En este sentido, la distribución de asimilados del ápice a la flor es debido a un cambio de prioridad, el cual es alterado por la fuerza de la demanda aumentada de la flor.

Efectos similares de hormonas en la regulación de la fuerza de la demanda a través de la actividad de la división celular se observaron también cuando el ácido 4-clorofenoxiacético (4-CPA), se aplicó con ácido giberélico o AIA induciendo partenocarpia en el fruto de jitomate (Bunger *et al.*, 1982). Parece ser que la actividad de la división celular en el ovario antes y después de la antesis puede determinar la fuerza de la demanda, la cual puede ser regulada por hormonas endógenas. Sin embargo, las investigaciones sobre el cuajado y desarrollo son aún insuficientes (Varga y Bruinsma, 1976).

El tamaño del fruto a menudo se correlaciona positivamente con el número de semillas. Estas relaciones varían con la temperatura entre racimos en la misma planta y entre genotipos (Rylski, 1979). Sin embargo, se ha sugerido que las auxinas producidas por las semillas son el factor regulador del crecimiento del fruto, el pico de la actividad de las auxinas en un fruto ocurre después del pico de crecimiento del fruto (Varga y Bruinsma, 1976). Es posible que el potencial del número de semillas esté relacionado al número de óvulos y ellos pueden estar en proporción al número de células en el fruto. Por lo tanto, el tamaño potencial del fruto puede ser determinado por factores reguladores del número de células y del número de semillas más que por el número de semillas en sí. Como un fruto partenocarpico todavía puede crecer a un tamaño apreciable, el número de semillas puede no ser una medición física del tamaño de la demanda, la cual es definida como la construcción física de la fuerza de la demanda (Ho, 1992).

2.10.2.1.2.4. Importe 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, 1969). 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 grandemente cuando el rango de crecimiento total del fruto alcanza un máximo (Hurd *et al.*, 1979). Mucha 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 *et al.*, 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, aunque el tejido del pericarpio contiene más azúcares y almidón (Demnitz- King, 1993).

2.10.2.1.2.5. 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, estos azúcares 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 (Dinar 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 luz y el aumento en la acumulación de almidón (Guan y Janes, 1991b). Esto sugiere que el alto 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, 1996) mientras la actividad de sólidos solubles se incrementó (Demnitz-King, 1993). Sin embargo, este incremento de acumulación de almidón en alta salinidad, no resulta en una importación alta de materia seca por frutos de jitomate.

La acumulación de almidón en etapas tempranas de alargamiento celular puede proveer una capacidad extra para almacenar azúcares importados, y así mantener una presión osmótica óptima en el tejido del fruto de jitomate. Por lo tanto, los cultivares con una capacidad alta para acumular almidón pueden ser capaces de importar más asimilados durante el desarrollo del fruto (Dinar y Stevens, 1981). Comparación entre dos accesos de *L. chesmanii* demostraron que el bajo acceso de sólidos solubles de *L. tipicum* tuvo una alta tasa de acumulación de almidón que el alto acceso de sólidos solubles, *L. minor* (Garvey y Hewitt, 1991). En este caso, aunque la alta acumulación de almidón no tenga éxito con un alto contenido de sólidos solubles, la acumulación de materia seca en el fruto fue muy alta. Claramente, otros factores como la capacidad de la célula para acumular almidón, tal como número de células o tamaño de células, puede afectar la tasa de importe de asimilados y el contenido de materia seca en el fruto (Ho, 1996).

Douglas *et al.* (1982) al evaluar jitomate Cherry (cv. Farthest North) para probar si el cuajado de fruto involucra la movilización de sacarosa al ovario o si la movilización ocurre sólo después de comenzar el crecimiento del fruto, mediante la aplicación de ^{14}C -sacarosa seguido de un tratamiento de auxinas, encontró que la radioactividad de la aplicación foliar de ^{14}C -sacarosa

no fue más grande en los ovarios tratados con auxinas que en el testigo tratado con agua. La translocación de la fuente a la demanda estuvo más estrechamente asociada con el crecimiento del fruto.

2.10.2.2. Factores externos

El suministro y demanda por asimilados están determinados por procesos fisiológicos tanto en fuentes (fotosíntesis en las hojas) como en las demandas (utilización de asimilados en frutos). Por lo tanto, los cambios en este proceso, debidos a factores ambientales, afectarán la repartición de asimilados dentro de la planta (Ho y Hewitt 1986).

2.10.2.2.1. Luz y CO₂

Según Ramos y Rallo (1992) el rendimiento final de un cultivo depende fundamentalmente de tres factores: la intercepción de la radiación solar a lo largo del ciclo del cultivo por los órganos fotosintéticos de las plantas, la eficiencia con la que esta radiación interceptada es utilizada para producir biomasa y la fracción de esta biomasa total que se destina a los órganos cosechables.

La saturación luminosa es la condición ordinaria de las hojas completamente expuestas a plena luz del sol. Para las plantas que crecen a la sombra de otras plantas y para las hojas inferiores de una planta que están sombreadas por el follaje de encima, la luz es frecuentemente un factor limitante de la fotosíntesis. Una reducción de la intensidad de la luz que no afectase a las hojas superiores podría ser gravemente limitadora para las inferiores y, por lo tanto, reduciría la fotosíntesis en toda la planta (Wilson y Loomis, 1968).

Conforme se incrementa gradualmente el nivel de luz, se aumenta la fotosíntesis hasta alcanzar el punto de compensación por luz. Si la intensidad luminosa sigue aumentando hay un incremento de la tasa de fotosíntesis neta, pero después de cierto punto, hay cada vez menos incremento en la tasa de fotosíntesis neta por cada unidad que aumenta la intensidad luminosa, hasta que se alcanza el punto de saturación por luz. Cualquier incremento de intensidad de luz

después del punto de saturación, ya no incrementa significativamente la tasa de fotosíntesis neta (Hall y Rao, 1977 y Gardner *et al.*, 1985).

Según Donald (1968) para una misma irradiancia fotosintética se puede lograr una mayor tasa de fotosíntesis del dosel o tasa de asimilación neta, si un alto porcentaje de las hojas es iluminado a una intensidad media, que si una menor proporción de hojas reciben alta intensidad de RFA y una mayor proporción reciben poca, como consecuencia del sombramiento mutuo. Hojas muy sombreadas pueden inclusive perder más materia seca a través de la respiración que la que ganan en la fotosíntesis.

Papadakis (1980) señaló que una menor incidencia de radiación (por sombreado artificial o por muy alta densidad) ocasiona un debilitamiento, adelgazamiento y alargamiento del tallo con una mayor proporción de parénquima y menor de tejido vascular, conduciendo a menores tasas de translocación, menor número de estructuras reproductivas de menor peso y por lo tanto a menores rendimientos.

El llenado de fruto depende fundamentalmente de la actividad fotosintética, de la luminosidad y la concentración de CO_2 , y la velocidad de exportación de los fotoasimilados de la hoja durante el periodo de luz, es proporcional a la actividad fotosintética. Dado que los fotoasimilados fijados concurrentemente son la principal fuente de suministro de las plantas cultivadas con baja iluminación, la velocidad de exportación está más afectada por la intensidad de la luz que por la integral de la iluminación (Chamarro, 1995).

La tasa de fotosíntesis es principalmente afectada por la irradiancia y concentración de bioxido de carbono, y la tasa de exportación de asimilados de una hoja durante el período de luz, es proporcional a la tasa fotosintética concurrente. Cuando las tasas de fotosíntesis de hojas de jitomate se incrementan de 7 a 19 $\text{mg de CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ mediante el aumento del flujo de luz, la tasa de exportación se incrementa de 1 a 3.5 $\text{mg C} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Sin embargo, la removilización de las reservas en una hoja, como una fuente de asimilados disponibles, es crucial para sostener la tasa de exportación cuando la tasa de fotosíntesis concurrente es muy baja (Ho, 1976). Dado que las reservas de la hoja son muy bajas en plantas desarrolladas en luz pobre (Ho, 1976), la tasa de exportación de tales hojas puede ser reducida en condiciones desfavorables de luz a un nivel

mucho mayor que aquel de las hojas desarrolladas en luz plena. En general, cuando los asimilados disponibles son limitados, las demandas más fuertes toman una mayor importancia en la repartición normal de asimilados, así que demandas débiles sufren más que aquellas más fuertes (Kinet, 1977 y Yoshioka y Takahashi, 1979).

En bajas intensidades de luz, las hojas de frijol tienden a expandirse mas que en altas intensidades y en consecuencia usualmente tienen muy bajo peso específico de materia seca de hoja (Adams, 1982 b).

Cuando la luz es insuficiente, la luminosidad suplementaria y el enriquecimiento con CO₂ incrementan la producción de asimilados para asegurar el suministro de éstos a las flores. Bajo un suministro limitado de asimilados, las flores también pueden obtenerlos mediante el desvío de asimilados del crecimiento vegetativo, si el crecimiento de hojas jóvenes o raíces es retardado ya sea por baja temperatura, restricción física o estrés hídrico. En adición, la estimulación hormonal del desarrollo floral o llenado del fruto también puede reforzar el importe de asimilados para el crecimiento reproductivo a expensas del crecimiento vegetativo. Sin embargo, para un cultivo de estación larga el rendimiento total del fruto es determinado por el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. A menos que el asimilado sea suficiente para el crecimiento balanceado persistirá aumento del crecimiento reproductivo, pudiendo reducirse el crecimiento vegetativo al punto que el crecimiento de la planta puede ser seriamente retardado y el rendimiento posterior grandemente reducido (Ho, 1996).

Plantas de jitomate del Cv. Laura, podadas a un racimo simple, fueron expuestas a una luminosidad suplementaria fotosintética de 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (400 a 2200 HR) durante los periodos de desarrollo: a) de antesis a inicio de cuajado de fruto, b) antesis a maduración-verde de fruto, c) antesis a maduración-roja de fruto. La respuesta del rendimiento fue comparado con plantas testigo, d) que no recibieron luz suplementaria fotosintética después de inicio de antesis. El incremento más grande en el peso promedio del fruto fue producido con un continuo suplemento de luz durante el periodo inicial de desarrollo del cuajado del fruto a la etapa de verde-maduro. La actividad fotosintética neta $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, fue la más grande en el dosel durante la antesis temprana y después declinó constantemente con el envejecimiento de éste. La actividad fotosintética neta de la planta en general, ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{min}$ por planta) se incrementó

constantemente después de la etapa temprana de antesis a una tasa máxima durante la etapa de desarrollo rápido de fruto. La actividad fotosintética de la planta entera, declinó cuando la planta se aproximó a la etapa verde maduro (McAvoy y Janes, 1989).

El potencial del cuajado del fruto es determinado por el desarrollo floral. En la práctica comercial, el cuajado del fruto bajo luminosidad reducida, puede ser alcanzado mediante restricción temporal del crecimiento de la raíz (Cooper y Hurd, 1968) o removiendo algunas hojas jóvenes (Kinet, 1977). En efecto, el cuajado del fruto es facilitado por la reducción o remoción de los órganos demandantes para un mejor suplemento de asimilados. Sin embargo, este tipo de tratamiento físico, tanto como los tratamientos fisiológicos tales como baja temperatura, solamente dan un beneficio temporal a favor del crecimiento reproductivo. Como la remoción de hojas jóvenes, reduce el área de fotosíntesis y así el suplemento de asimilados, el crecimiento del fruto de racimos subsecuentes retardará. (Ho, 1996).

2.10.2.2.2. Temperatura

Las altas temperaturas modifican todas las funciones de la planta, pues llegan a impedir la fotosíntesis y a desorganizar los sistemas enzimáticos necesarios. En el jitomate cultivado, se produce la síntesis de proteínas específicas de choque térmico cuando se somete a la planta a temperaturas iguales o superiores a 35 °C, con un máximo de síntesis de estas proteínas de 37 °C (Fender y O' Connell, 1990; citados por Cuartero *et al.*, 1995). A esa o superior temperatura son esperables modificaciones en las funciones de la planta, pero no todas esas modificaciones afectan por igual desde el punto de vista económico, mientras que la fotosíntesis puede detenerse por un periodo y posteriormente reanudarse, el daño de las altas temperaturas en las estructuras reproductivas tiene como consecuencia deficiencias de cuajado de fruto y disminución en la producción (Cuartero *et al.*, 1995).

Las bajas temperaturas afectan directamente a la fotosíntesis porque retardan todas las reacciones termoquímicas e indirectamente por inhibir al crecimiento (Carlson, 1990).

A temperaturas menores de 12 °C el crecimiento de la planta se retarda seriamente. Mientras, la exportación de asimilados de las hojas (Yoshioka *et al.*, 1977) y la absorción de

nutrimentos por las raíces (Moorby y Graves, 1980) es fuertemente reducida. El efecto benéfico del CO₂ en el rendimiento de frutos es incrementado por altas temperaturas (Calvert, 1973). Sin embargo, la temperatura responsable del crecimiento de los diversos órganos de la planta es diferente. Muchos asimilados se trasladan a los racimos en fructificación a costa de las raíces en una temperatura ambiental de 30 °C durante el día y 24 °C en la noche, mientras que el movimiento a las raíces a costa de los racimos en fructificación es de 17 °C en el día y 12 °C durante la noche (Shishido y Hori, 1979). Como resultado, las plantas cultivadas a 17/12 °C son pequeñas pero acumulan más materia seca en la parte inferior del tallo y raíces. Con la misma temperatura del día (18 °C), temperaturas bajas durante la noche (8 °C) se incrementa el importe por el tallo y las raíces. Mientras que altas temperaturas durante la noche (18 °C) incrementa el importe por el fruto (Yoshioka y Takahashi, 1981).

La velocidad de translocación en el jitomate es alrededor de 1 cm min⁻¹ a 26 °C, pero el enfriamiento del fruto a 10 °C reduce la velocidad por 15-30% (Moorby *et al.*, 1974). El rendimiento total del fruto es reducido por temperaturas ambientales bajas de 18 °C. El importe por el fruto puede ser alterado por la temperatura del fruto únicamente (Walker y Ho, 1977) y el cambio de partición observado en una planta de jitomate fructificando puede ser determinado principalmente por la respuesta del racimo a la temperatura.

La temperatura tiene un efecto más complejo en el tamaño final del fruto. Por un lado temperaturas altas incrementan el grado de impación de carbono (Walker y Ho 1977) y el aumento del volumen cuando el fruto no está bajo estrés hídrico (Pearce *et al.*, 1993). Por otro lado, las temperaturas más altas pueden aumentar la transpiración del dosel lo que induce estrés hídrico, resultando en un crecimiento de volumen más bajo (Pearce *et al.*, 1993). Como una respuesta adaptativa a largo plazo para alta temperatura la duración del crecimiento del fruto así como el tamaño final del fruto se ven a menudo reducidos (Koning, 1996). Por lo tanto el efecto benéfico de alta temperatura en el incremento del tamaño del fruto puede sólo darse cuando el suministro de asimilados es ilimitado y el estrés hídrico se evita (Ho, 1996).

2.10.2.2.3. Agua, CO₂ y nutrimentos

El 0.1 %, del agua absorbida por las plantas se utiliza en la fotosíntesis como fuente de hidrógeno (Wilson y Loomis, 1968), la cual es pequeña comparada con la transpirada o almacenada por las plantas en cualquier tiempo dado, la condición hídrica de la planta influye severamente en el crecimiento de la misma y en la producción de biomasa, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y raíz (Beadle *et al.*, 1985). Por otra parte, el mantenimiento de la turgencia de la planta y la transpiración del dosel del cultivo depende del sostenimiento de la absorción de agua por las raíces en la interfase suelo raíz. Entre más extenso y denso sea el sistema radical, con mayor eficiencia se cubrirán esas demandas, pero a medida que el suelo se seca, el encogimiento, tanto de éste como el de la raíces, disminuye el contacto. El efecto final es una reducción en la absorción de agua, cierre de estomas y una reducción en la fotosíntesis y en la producción de biomasa ((Wilson y Loomis, 1968; Wolf y Rudich 1988 y Santiago *et al.*, 1998).

Algunos estudios han indicado que el transporte de electrones y fotofosforilaciones puede ser inhibida como un resultado de una reducción en el contenido de agua celular (Kozlowski, 1976). Condiciones extremas de falta de agua son acompañadas por una disminución en la tasa de crecimiento de la hoja y pueden causar senescencia de hojas (Begg y Turner, 1976).

Se ha reconocido que en invierno, un precoz y mejor cuajado de fruto puede ser incrementado por la reducción del riego o restricción del desarrollo de las raíces sobre la aparición de las primeras flores. Bajo estrés de agua, el crecimiento vegetativo es retardado y el crecimiento reproductivo es acelerado (Cooper y Hurd, 1970 y De Konning y Hurd, 1983).

La tasa diaria del volumen de crecimiento es aumentada por temperaturas elevadas, pero reducida por estrés hídrico (Pearce *et al.*, 1993). Aunque el crecimiento del fruto radica primeramente en el suministro de asimilados, el volumen diario de crecimiento no está relacionado a la tasa fotosintética concurrente. El suministro de asimilados al fruto puede ser sostenido hasta un día cuando la planta es mantenida sin luz. En suma el estrés hídrico tiene un efecto más profundo e inmediato en el crecimiento del volumen del fruto (Pearce *et al.*, 1993). La tasa de crecimiento del fruto y el tamaño final del fruto se pueden reducir substancialmente por

estrés osmótico, pero la importación de asimilados no es afectada. Parece ser que el estrés hídrico en la planta reduce el volumen de savia del floema pero incrementa la concentración de savia de modo que la tasa de importación de asimilados puede permanecer constante (Ho *et al.*, 1987).

La más importante de las restricciones externas en la productividad, es la disponibilidad del agua y del CO₂ que están íntimamente relacionados. La disponibilidad de CO₂ depende del suministro externo del mismo, de la permeabilidad de los poros de los estomas (lo cual está sujeto a una regulación interna) y de la eficiencia de las reacciones de fijación de CO₂. Existe una variación considerable en el comportamiento de los estomas de las especies bajo cultivo; sin embargo, se desconoce el grado de variación genética en las especies agrícolas (Carlson, 1990).

La fracción del CO₂ reducido utilizado para construir nuevos dispositivos fotosintéticos es decisivo y concluyente en la productividad e incluso algunas veces supera factores tales como la disponibilidad del agua. La selección de plantas con una apropiada y elevada capacidad de crecimiento puede tener más efecto sobre la fotosíntesis total y la productividad del cultivar que la selección de cualquier otro carácter. La sincronización del crecimiento y de almacenamiento de las fases propias del desarrollo con los cambios de estaciones, también son muy importante al determinar la productividad (Carlson, 1990).

El dióxido de carbono se absorbe principalmente a través de las paredes celulares del mesófilo. Se disuelve en el agua, en la superficie de las paredes celulares, entrando al protoplasma tanto directamente como en forma de H₂CO₃, un ácido inestable formado por la reacción con el agua. Gran parte del CO₂ y del H₂CO₃ se transforma inmediatamente en otros compuestos inestables al entrar al protoplasto. Estos compuestos, a su vez, con facilidad ceden el CO₂ a la superficie del cloroplasto en donde es utilizado para la fotosíntesis. Algo de dióxido de carbono se absorbe directamente a través de las células epidérmicas, a pesar de la cutícula. La cantidad de CO₂ en el aire a menudo es un factor limitante para la fotosíntesis. Concentraciones más elevadas tienden a retardar la fotosíntesis, variando el óptimo de acuerdo con la clase de planta y las condiciones ambientales. Concentraciones mayores de 0.5 % son dañinas para la mayoría de las especies y se encontró que una concentración del 0.3 % (10 veces la normal) perjudica a las plantas de jitomate después de un periodo inicial favorable. Las plantas en los invernaderos y aún a campo abierto, pueden ser fertilizadas con efectividad, añadiendo

CO₂ al aire, con frecuencia aumentando el rendimiento hasta un 100 al 200 %, pero este tratamiento no es económico, excepto para cultivos de invernaderos en algunas regiones (Cronquist, 1981).

Cuando la luz, el agua y otros factores son óptimos, la concentración de dióxido de carbono es generalmente un factor limitante del índice de fotosíntesis en las plantas. Por lo que es necesario incrementar la fotosíntesis aumentando la concentración de gas carbónico en el aire que rodea las hojas. Se reporta que en los invernaderos, donde la concentración de CO₂ llega a ser muy baja (menos de 0.01 %) se añade frecuentemente dióxido de carbono para aumentar la fotosíntesis, soltando el gas de cilindros a alta presión o, lo que es más económico, quemando gas natural (CH₄) para producir calor y CO₂. También puede usarse el propano (CH₃CH₂CH₃) (Wilson y Loomis, 1968).

Durante la fructificación, un enriquecimiento de CO₂ aumenta tanto la velocidad fotosintética neta como la velocidad de exportación de los fotoasimilados. El aumentar 350 µl l⁻¹, puede aumentar el rendimiento en un 5-15 % (Hand, 1984).

El enriquecimiento de CO₂ mejora marcadamente el rendimiento en jitomate, principalmente por el incremento en el cuajado y el tamaño final del fruto (Wittwer y Robb, 1964; Kretchman y Howlett 1966; Hand y Postlethwaite, 1971 y Bauerle y Krtchman, 1973). Este efecto de adición de CO₂ es sin duda debido a un aumento en el contenido de carbohidratos en la planta a través del incremento de la fotosíntesis neta (Hurd 1968 y Bishop y Whittingham, 1968).

La repartición de asimilados en una planta de jitomate puede ser afectada por la carencia o el desbalance de nutrimentos minerales, ya que la iniciación y el desarrollo de órganos demandantes y la función de los órganos fuente requieren un adecuado suplemento de nutrimentos (Adams, 1986).

El potasio y el nitrógeno son los principales nutrimentos usados en el cultivo de jitomate, y una concentración de 5 mM de potasio se requiere para un buen rendimiento. Si el suministro de potasio es bajo, el desarrollo de flores o el cuajado de frutos se reduce. Por lo tanto, el suministro

insuficiente de potasio reduce el número de frutos y en consecuencia el rendimiento de frutos (Besford y Maw, 1975).

El suministro bajo de potasio reduce el crecimiento vegetativo y la formación del fruto en plantas jóvenes reproductivas y también la biomasa y la repartición de materia seca de las hojas así como de raíces en plantas fructificando. Los frutos son los más fuertes demandantes tanto de asimilados como de potasio. En algunos jitomates determinados, la demanda por potasio durante el crecimiento rápido del fruto está por encima de su capacidad y el potasio en las hojas viejas se removiliza, resultando en deficiencia foliar (Widders y Lorenze, 1979). A bajos suministros de potasio, el fruto aún acumula la misma cantidad de materia seca y el 80 % de potasio en relación a aquellos con un alto suministro de potasio, y cuando la biomasa y el contenido de potasio en la planta se reducen sustancialmente, parece que el crecimiento vegetativo sufre más y altera la repartición de asimilados a favor del crecimiento del fruto. (Haeder y Mengel, 1972).

Mientras que los niveles por debajo del óptimo de calcio y nitrógeno pueden reducir el crecimiento vegetativo, particularmente de hojas más que el crecimiento reproductivo, la falta de fósforo puede reducir el crecimiento reproductivo más que el crecimiento vegetativo. Hay evidencias de que la deficiencia de fósforo puede afectar el desarrollo floral por la reducción del transporte de citocininas. Entre los micronutrientes, la carencia de boro reduce el rendimiento del fruto, mientras que la falta de cobre, hierro y manganeso reduce tanto el crecimiento de la planta como el rendimiento del fruto (Menary y Van Staden, 1976).

2.11. 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).

Según Adams (1982) el rendimiento económico de los cultivares dependerá: a) del tamaño y actividad de la fuente, que involucra al área foliar, la eficiencia fotosintética y la partición química de carbohidratos, b) tamaño y actividad de la demanda, constituida por el número de frutos, tamaño, posición y etapa de desarrollo, tasa de crecimiento, disponibilidad de energía metabólica y sacarosa. c) tamaño y eficiencia del transporte que implica, la carga, el flujo y la descarga del floema.

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 alto cuajado de fruto y plantas altas. El futuro incremento en rendimiento, dependerá de un mayor periodo de llenado de frutos, número y tamaño (Ho, 1996).

A pesar del mejoramiento hecho en el rendimiento de jitomate en invernadero, el control automatizado del medio ambiente facilita la propuesta del potencial para optimizar las condiciones de crecimiento y obtener altas cosechas de frutos. Hay todavía una larga lucha en productividad entre cultivadores. Por ejemplo el promedio anual de rendimiento de jitomate en Holanda en 1993 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, 1996).

2.11.1. 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, 1996). 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).

Fátula (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.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

La presente investigación se realizó del 11 de febrero al 15 de junio de 1999, en un invernadero de la empresa “Industrial Agropecuaria Junco”, ubicada en la localidad de Cuautlalpan, Estado de México, a 10 kilómetros hacia el sur de la Universidad Autónoma Chapingo. Geográficamente se localiza a los 19° 29' latitud norte y a los 98° 53' de longitud oeste, con una altitud de 2,251 msnm; el clima es Cb (Wo) (W) (i')g, que corresponde a un templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano, la temperatura promedio es de 15.2 °C y una precipitación media anual de 635.5 mm.

3.2. Material vegetal

Se utilizaron 10 cultivares de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), de los cuales cinco son de crecimiento determinado y cinco de crecimiento indeterminado, los cuales se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.1. Algunas características generales de 10 cultivares de jitomate.

Cultivar	Hábito	Características de la planta	Características del fruto	Resistencias incorporadas
V- 1125	Determinado	Planta compacta	Fruto globoso, redondo y con firmeza	
Celebrity ¹	Determinado	Planta compacta, de alto rendimiento. Gran número de frutos medianos a altas densidades, 72 días a maduración	De forma globosa con un peso medio de 230 g.	<i>Alternaria</i> , <i>Fusarium</i> raza 1 y 2, Virus del mosaico del tabaco, <i>Stemphyllium</i> , Vt.
Conteza ²	Determinado	Es un híbrido, de tamaño de planta mediano, 72 días a maduración	Frutos grandes de forma redonda y de consistencia muy firme, llegando a pesar hasta 230 g. Soporta el transporte a grandes distancias, presenta buen sabor y calidad	<i>Fusarium</i> , Nemátodos, VMT, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphyllium</i>
Pick ripe	Determinado	Compacto, es un híbrido de alto rendimiento y precoz	De gran firmeza y sabor, en forma de globo	Es resistente a enfermedades y tolerante a estrés.
Solarset ³	Determinado	La planta es compacta y precoz	De frutos esféricos o bola, grandes de 150 a 200 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> raza 1 y 2, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphyllium</i> .
Beef master	Indeterminado	Ciclo de 80-85 días y porte alto	asurcados	Resistente a VFNASt.
V-7200	Indeterminado	Ciclo de 85 días y porte alto	Redondos y firmes	
IV-2700	Indeterminado	Ciclo de 83 días y porte alto	Redondos	
Supersteak	Indeterminado	Porte alto, altamente rendidor.	asurcados	con resistencia a <i>Fusarium</i> raza 1
Big beef	Indeterminado	Es el mejor para tutoreo, 73 días a cosecha.	Son frutos grandes de 280 a 340 g, redondos y alto rango de calidad y sabor	Buena tolerancia a enfermedades,

Tomado de: ¹ Petoseed, 1985. ² Murillo, 1989. ³ Petoseed, 1996

3.3. Semillero

La siembra en semillero se realizó el día 11 de febrero de 1999, utilizando charolas de poliestireno de 65 cm de largo, 30 cm de ancho y 8 cm de profundidad con 200 cavidades cada una. El sustrato utilizado para rellenar las charolas fue peat-moss (Grow-Mix), el cual es exclusivamente para germinación. Para ello se humedeció hasta punto de escurrimiento, después se colocó una semilla por cavidad, tapándola con una capa de 5 mm de vermiculita y aplicando un riego muy ligero. Luego se estibarón todas las charolas cubriéndolas con un plástico blanco lechoso durante cuatro días para conservar la humedad del sustrato y favorecer la germinación, posteriormente se destaparon y se distribuyeron en los bancales. Los riegos se aplicaron diario, excepto en días calurosos en los que únicamente se suministraban dos riegos ligeros con una solución nutritiva al 50 % de la concentración con respecto a la aplicada al cultivo después del transplante. Los cultivares mostraron variación en los días a la emergencia, ocurriendo la mayoría de ésta a los ocho días después de la siembra, apreciándose en general un crecimiento rápido en los cultivares indeterminados.

Una vez que emergieron las plántulas, se realizaron dos aplicaciones preventivas contra plagas y deficiencias nutrimentales, a base de productos químicos como Intergusan a razón de 1 g · L de agua (30 g · 30 L de agua) y Nutriplant Plus a una dosis de 1 ml · L de agua (30 ml · 30 L).

3.4. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde cada tratamiento se ubicó en forma aleatoria en una unidad experimental de 2 m² (1.30 m de tina), dejando la parcela útil de 1 m².

Los tratamientos estudiados y su distribución se muestran a continuación:

Cuadro 3.2. Distribución de tratamientos, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
Supersteak	0.50 m	V- 1125-FD	1.30 m
Big beff		Conteza	
I-V- 2700		Big beff	
Solarset		IV-7200	
Pick ripe		Solarset	
Beff master		Beff master	
Conteza		I-V- 2700	
IV-7200		Celebrity	
V- 1125-FD		Pick ripe	
Celebrity		Supersteak	
REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 4	
Big beff	0.50 m	IV-7200	1.30 m
Solarset		Pick ripe	
Pick ripe		Beff master	
Conteza		Solarset	
Celebrity		V- 1125-FD	
Supersteak		Celebrity	
IV- 2700		Conteza	
IV-7200		Supersteak	
Beff master		IV- 2700	
V- 1125-FD		Big beff	

3.5. Manejo del cultivo

3.5.1. Características del invernadero y sustrato

El invernadero que se utilizó para establecer el experimento, es de tipo dos aguas, con estructura metálica, techos y paredes de vidrio, orientado de norte a sur, con ventanas laterales de 1.50 m de ancho que corren a todo lo largo de ambos costados del invernadero; las cuales están cubiertas con malla antiáfidos y cortinas abatibles de lámina galvanizada. El invernadero consta de 70 m de largo, 11.3 m de ancho y una altura máxima de 3.8 m; comprende 12 tinas, con las siguientes dimensiones: seis miden 36.5 m de largo y las otras seis miden 30.5 m de largo, divididas por un pasillo central de 1 m de ancho. Las tinas tienen 1.30 m de ancho por 35 cm de

altura, los costados de éstas están hechos con lozas de ferrocemento reforzados con malla electrosoldada y separadas por pasillos cementados de 50 cm de ancho.

Los sustratos que contenían las tinas constaron de, abajo hacia arriba, de una capa de 10 cm de grava de tezontle rojo con partículas de diámetro de 2 a 4 cm; sobre ésta se colocó otra capa de 25 cm de arena de tezontle rojo, cuyas partículas oscilan entre 1 a 4 mm de diámetro, estrato en el que se desarrolla el sistema radicular de las plantas.

Antes del transplante, se desinfectó el sustrato de las tinas mediante un riego pesado y posteriormente se espolvoreó con Agrosul 93^{MR} (ingrediente activo, azufre agrícola al 93 %, Rhone Poulenc Agro, S.A. de C.V.), a una dosis de 63 g de producto comercial por m² de tina, empleándose para tal fin botes con orificios pequeños en la base; inmediatamente se dio un segundo riego pesado y al siguiente día se removió el sustrato y se niveló.

3.5.2. Transplante

El transplante se realizó el 13 de marzo de 1999, 32 días después de la siembra. Dos días antes de esta práctica se aplicó un riego pesado al sustrato de las tinas, manteniendo la humedad hasta el transplante. Con un marcador de metal se fue señalando sobre el sustrato la distancia entre plantas (22 cm) y la distancia entre hileras (50 cm) acorde a la densidad de 9 pl · m⁻² útil. Se abrieron las cepas con una estaca de madera de un diámetro de 5 cm. Las características de las plántulas transplantadas eran de 10 a 13 cm de altura, 2 pares de hojas verdaderas, cepellón y apariencia sana. Esta labor se efectuó cuidando de que la raíz quedara vertical y el cuello de la plántula al nivel del sustrato. También se colocó una sombra temporal con plástico transparente de 200 galgas de grosor a 2 m de altura de las plántulas recién establecidas, con el objeto de disminuir el riesgo de marchitamiento.

3.5.3. Riego y solución nutritiva

A partir del transplante, se irrigó diariamente con una solución nutritiva, a razón de 5 a 10 L · m² · día, dependiendo de las temperaturas y del estado de desarrollo de la planta. Para

evitar acumulación de sales en el sustrato, cada ocho días se irrigaba con agua sola. Los nutrimentos y concentraciones de la solución nutritiva se indican en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.3. Nutrimentos, concentración y fuente de fertilizante para la solución nutritiva utilizada en el experimento de 10 cultivares de jitomate.

Nutrimento	Concentración (mg · L)	Fuente
Nitrógeno (N)	250.0	Nitrato de calcio: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Fósforo (P)	60.0	Fosfato diamónico: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Potasio (K)	300.0	Sulfato de potasio: K_2SO_4
Calcio ^z (Ca)	300.0	
Azufre ^z (S)	200.0	
Magnesio (Mg)	75.0	Sulfato de magnesio: $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Hierro (Fe)	3.0	Sulfato ferroso: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Manganeso (Mn)	0.5	Sulfato de manganeso: $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Boro (Bo)	0.5	Acido bórico: H_3BO_3
Cobre (Cu)	0.1	Sulfato de cobre: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zinc (Zn)	0.1	Sulfato de zinc: $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

^z Fueron calculados a partir de las fuentes nitrato de calcio y los sulfatos

La solución nutritiva empleada fue preparada de la siguiente manera:

- ✓ Se llenaba con agua la cisterna hasta el 50 % de su capacidad total.
- ✓ Se pesaba la cantidad requerida de cada fertilizante por separado en función del volumen de la cisterna.
- ✓ Cada fertilizante por separado se diluía en un depósito de 200 litros, se dejaba reposar y se agregaba a la cisterna sin los sedimentos (que normalmente son impurezas insolubles). Se tomaba en cuenta, que algunos fertilizantes, como el sulfato de potasio son menos solubles, por lo que la cantidad necesaria para la cisterna no se diluía de una sola vez en el tambo, requiriendo agregar más agua después de hacer un vaciado del mismo (unos 3 a 4 llenados de agua del tambo, o bien se diluía una cuarta parte de la cantidad necesaria para la cisterna por cada tambo de 200 litros de agua.
- ✓ Por otro lado, todos los micronutrimentos se mezclaron en un solo tambo.
- ✓ Específicamente, al diluir el nitrato de calcio se formaba en la superficie una capa de grasa que se eliminaba antes de vaciar a la cisterna.
- ✓ Posteriormente se llenaba la cisterna hasta el 100% de la capacidad considerada y.

- ✓ Por último se eliminaban los sedimentos dejados en los tambos de 200 litros, quedando listos para la próxima preparación.

3.5.4. Tutorio

Con el objetivo de mantener los tallos de las plantas de jitomate en una posición erguida y lograr un mejor manejo sanitario, a los 20 días después del trasplante, se realizó el tutorio, para lo cual fue necesario colocar en la parte superior de las tinas, paralelas a la longitud de éstas, tres hileras de alambre 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 segunda hoja), dándole dos a tres vueltas en espiral hacia arriba para fijarlo al alambre señalado a una altura aproximada de dos metros.

3.5.5. Podas y despuntes

La arquitectura de la planta de jitomate estuvo caracterizada por el manejo a un tallo para lo cual fue necesario eliminar los brotes axilares durante todo el ciclo del cultivo, esta práctica se hizo en forma manual y se inició a los 20 días después del trasplante, procurando que la eliminación de los brotes fuera cuando éstos tenían un tamaño de 4-5 cm. El despunte se hizo después de que el tercer racimo estaba en floración (eliminación de la yema terminal), dejando dos hojas arriba de éste. Esta práctica se realizó en el lapso de 38-42 días después del trasplante en los cultivares determinados y de 42-52 días en los cultivares indeterminados

3.5.6. 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, ISHIIHARA de México, S.A. De C.V.) a una dosis de $2 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ de agua.

Los cultivares Beef master y Supersteak, 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. Asimismo hubo presencia de Alternaria, afectando aproximadamente el 25 % de los

10 cultivares estudiados, para ello se aplicó una mezcla de Aliette 80 P.H.^{MR} (ingrediente activo: Fosetil-Al 80% Rhone Poulenc Agro, S.A. de C.V.) y Funcozeb 800 P.H.^{MR} (ingrediente activo: Mancozeb. Rhone-Poulenc Agro, S.A. de C.V.) a razón de 3 g · L de agua de cada producto. Asimismo hubo incidencia de mosquita blanca empleando para su control la mezcla de Thiodan 25 C.E.^{MR} y Decis 2.5 C.E.^{MR}. (ingrediente activo: Endosulfan al 33.5 % y Delta metrina al 2.5%, Química 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

3.6. Colecta de material vegetativo y reproductivo y preparación de cortes anatómicos

Se colectaron inflorescencias de plantas de jitomate desde los 27 hasta los 37 días después del transplante, cuando la primera flor estaba en antesis (de 1-2 pétalos desplegados), considerando un tamaño de muestra del 25% para cada tratamiento. Posteriormente se fijaron en una solución de 3:1 de alcohol etílico-ácido acético glacial (Solución Farmer).

Respecto al material vegetativo, se obtuvieron porciones de tallo de la parte media de la planta, arriba de la primera inflorescencia. Los tallos se fijaron en la solución Farmer y el tamaño de muestra fue la misma que el de la inflorescencia.

Los cortes anatómicos de tallo, pedúnculo, pedicelo y ovario se realizaron con un micrótopo manual, obteniéndose cortes de un grosor de 50 µ. Posteriormente éstos se tiñeron, empleando safranina 0 (xilema) y verde fijo (floema), usando como diferenciador una solución de xilol-fenol. Las preparaciones se hicieron permanentes, aplicando bálsamo de Canadá.

3.7. Variables evaluadas

a) Variables morfológicas

Altura de planta. Se midieron con una regla graduada en centímetros, todas las plantas, considerando desde la base hasta la última hoja, después del despunte .

Número de hojas. Se cuantificaron en todas las plantas, el número de hojas, a partir de hojas de 2 o mas centímetros, después del despunte.

Longitud de entrenudos. Se midieron en todas las plantas los entrenudos, después del despunte.

Área foliar por planta. Para determinar el área, se consideró una muestra del 25% de plantas de cada tratamiento, esta medición se realizó mediante el uso de un integrador de área, el cual fue calibrado teniendo una área conocida de 100 cm², procediendo a obtener las mediciones correspondientes. Cabe aclarar que por cada hora de trabajo se procedía a su calibración.

Diámetro de tallo. Para la medición de esta variable se tomó como punto de referencia la parte media de la planta que se ubica sobre la primera inflorescencia, para ello se empleó un vernier.

Diámetro de pedúnculo de la 1ª inflorescencia. Se midió el pedúnculo de la 1ª inflorescencia con vernier, considerando una muestra del 25% de plantas de cada tratamiento, llevándose acabo ocho días después de la antesis.

Diámetro de pedicelo de la 1ª flor en la 1ª inflorescencia. Se midió el pedicelo con un vernier, considerando una muestra del 25% de plantas de cada tratamiento

Diámetro de ovario de la 1ª flor en la 1ª inflorescencia. Se midieron los ovarios de la 1ª flor en una muestra del 25% de cada tratamiento, a través de cortes anatómicos y mediante el uso de un microscopio esteroscópico.

b) Variables anatómicas

Área total de tallo (áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima), área total de pedúnculo (áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima), área total de pedicelo (áreas de floema externo e interno, xilema y parénquima) y área de ovario

Para la determinación de estas variables se procedió a la medición de diámetros reales de tallo, pedúnculo, pedicelo y ovario, utilizando para tal fin las preparaciones anatómicas de las

estructuras indicadas, colocándolas sobre una escala milimétrica fijada en la plataforma del microscopio esteroscópico, haciendo coincidir un extremo del corte con una línea delgada perpendicular de la propia escala para realizar de esta forma la cuantificación. En seguida se procedió a la evaluación de las áreas, para lo cual se proyectaron los cortes anatómicos sobre un pliego de papel, mediante un proyector de diapositivas, manipulando siempre con el foco al máximo aumento, dibujando las imágenes proyectadas y delineando el contorno de floema externo, xilema, floema interno y parénquima (corteza, cambium y médula), posteriormente los dibujos se recortaron y se llevaron al integrador de área, obteniendo de esta manera las áreas proyectadas para cada estructura, expresadas en cm^2 .

Con el propósito de calcular las áreas reales de cada una de las estructuras consideradas, se realizaron algunas operaciones aritméticas, se dividió el diámetro proyectado de cada uno de los tejidos entre diámetro real y el resultado se elevó al cuadrado, obteniendo el número de veces que aumenta el diámetro real en el diámetro proyectado. En seguida las áreas proyectadas de cada tejido obtenido en el integrador de área, se dividieron entre el aumento de la imagen proyectada y se multiplicaron por 100 para obtener así las áreas reales, expresadas en mm^2 .

Los porcentajes de áreas reales de las diferentes estructuras (tallo, pedúnculo y pedicelo) se obtuvieron considerando el área total real de cada una como un 100%, y por regla de tres se obtuvo el porcentaje equivalente a sus componentes.

Número y tamaño de células. El conteo de células se realizó, utilizando un microscopio óptico adaptado con una lente que delimita un área (recuadro), misma que fue determinada mediante una reglilla graduada en micras, obteniendo así el número de células por área (μ^2). El número de muestreos aleatorios realizados en el ovario fue de seis, obteniendo el número de células promedio correspondiente; cuando el número de células no era exacto en relación al área mencionada, se sumaban las fracciones hasta completar la unidad o se registraba la fracción medida.

El tamaño de células se obtuvo contando las células que se encontraban en una sola línea a lo largo del área (recuadro predefinido), dividiendo la longitud de dicha línea entre el número de células para obtener el tamaño de cada una, expresado en micras.

Número de óvulos por ovario. Esta variable se determinó mediante el empleo de un microscopio óptico, realizando tres muestreos aleatorios a nivel de lóculo, obteniendo de esta manera el número promedio de óvulos por ovario.

c) Variables de rendimiento y sus componentes.

Número de frutos. m^2 . El número de frutos por unidad de superficie se cuantificó sumando el número de frutos de los cortes realizados (siete cortes) más el número de frutos por racimo, más el número de frutos por hilera, más el número de frutos de cada tratamiento por metro cuadrado.

Rendimiento ($kg. m^2$). Esta variable se obtuvo realizando la sumatoria de los pesos de los frutos de los siete cortes realizados, más la sumatoria de los tres racimos racimos por hilera, más la sumatoria de las tres hileras de cada tratamiento por metro cuadrado.

Peso promedio de fruto (g). Para la obtención de esta variable se dividió el rendimiento ($kg. m^2$) entre número de fruto (m^2).

Número de frutos cosechados por hilera. Esta variable se obtuvo de la sumatoria del número de frutos cosechados de los cortes, más la sumatoria del número de frutos por racimo de cada hilera, más la sumatoria del número de frutos por hilera de los tratamientos.

Rendimiento por hilera (kg). Esta variable se obtuvo de la sumatoria de los pesos de fruto de los cortes, más la sumatoria del peso de los racimos, más la sumatoria de los pesos de los frutos por hilera de los tratamientos.

Peso promedio de frutos por hilera (g). Para la obtención de esta variable se dividió el rendimiento por hilera (kg) entre el número de frutos cosechados por hilera.

Número de frutos del primer racimo. Para esta variable se sumaron todos los frutos del primer racimo de todos los tratamientos.

Rendimiento del primer racimo. Para la cuantificación de esta variable se sumaron todos los pesos del primer racimo de todos los tratamientos.

Peso promedio del primer racimo. Esta variable se obtuvo de dividir el rendimiento entre el número de frutos del primer racimo de todos los tratamientos.

Rendimiento de tres racimos. Esta variable se determinó mediante la sumatoria del peso de los tres racimos de todos los tratamientos.

Peso promedio de frutos de tres racimos. Esta variable se calculó dividiendo el rendimiento de los tres racimos entre el número de frutos de los tres racimos de todos los tratamientos.

3.8. Análisis de datos.

A los datos obtenidos, de las variables morfológicas, anatómicas y de rendimiento, se les aplicó el análisis de varianza, prueba de comparación de medias (tukey $\alpha=0.05$) y análisis de correlaciones del paquete estadístico SAS. Cabe señalar que en el análisis de correlaciones se excluyeron los cultivares Beef Master y Supersteak por ser atípicas.

A las variables anatómicas de tallo, pedúnculo y pedicelo se les calculó el porcentaje de tejido vascular (floema interno y externo y xilema) y tejido parenquimático.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Variables morfológicas

En el análisis de varianza para las variables morfológicas estudiadas (Cuadro 4.1) se pueden apreciar diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares, medidas tres meses después de la siembra (ocho días posteriores al despunte).

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y niveles de significancia de cinco caracteres morfológicos en 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	CUADRADOS MEDIOS				
		Diámetro de tallo	Altura de planta	Longitud de entrenudos	Número de hojas por planta	Área foliar por planta
Cultivares	9	0.03**	964.49**	0.56**	19.56**	1363.89**
Bloque	3	0.03	48.92	0.27	0.06	39.74
Error	27	0.009	13.44	0.08	0.16	54.96
C.V. (%)		7.15	4.43	4.86	2.84	7.97
Media general		1.31 (cm)	82.76 (cm)	5.89 (cm)	14.03	93.03 (dm ²)

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.2), se puede observar que Beef master mostró el mayor diámetro de tallo (1.48 cm) y es estadísticamente superior al resto de los cultivares, que presentaron similitud estadística. En general hubo poca variabilidad para esta característica. Aún cuando el carácter de tallo grueso es complejo, su variación genética es fácil de medir y seleccionar y está asociado positivamente con el rendimiento, por lo que puede considerarse como un carácter morfológico adecuado para el arquetipo de jitomate.

En el Cuadro 4.2, se pueden observar dos grupos de cultivares con diferencias estadísticas significativas. El primero lo integran los cultivares Supersteak, Beef master, Big beef, IV-2700 y V-7200, los cuales por ser indeterminados mostraron mayor altura de planta que el segundo grupo, destacando Beef master y Big Beef, que son estadísticamente iguales, pero superados por

Supersteak que tuvo plantas más altas (103 cm), que el resto de los cultivares. Los cultivares determinados: V-1125, Celebrity, Conteza, Pick ripe y Solarset, conforman el segundo grupo, los cuales registraron valores bajos de altura de planta; dentro de este grupo destacan Conteza y Celebrity con mayor altura de planta (73.34 y 74.06 cm respectivamente).

En el grupo de los indeterminados, la altura de planta fue más variada entre cultivares, pues los valores oscilaron de 87 cm (V-7200) a 103 cm (Supersteak), mientras que en los de hábito determinado, la altura va de 64 (Pick ripe) a 74 cm (Celebrity).

Este comportamiento se debe a que los cultivares indeterminados poseen una yema terminal vegetativa, que les permite crecer indefinidamente, sus racimos están más espaciados en el tallo principal (cada tres o cuatro hojas) empezando desde la 8ª hasta la 18ª (González, 1991 y Maroto, 1986); al respecto Hewitt y Marrush (1986) reportaron que este tipo de crecimiento puede alcanzar hasta nueve metros de altura, produciéndose más de 35 racimos al año en invernadero.

Los cultivares de hábito determinado comprenden plantas cuya yema terminal es floral, generalmente son plantas de tamaño pequeño o mediano (Enríquez, 1993). Emiten inflorescencias en ramas, cada una o dos hojas, empezando desde la quinta (González, 1991). Hewitt y Marrush (1986) mencionaron que el hábito determinado de jitomate puede desarrollarse como un arbusto de un metro de altura, produciéndose de tres a nueve racimos, en un período de tres a cuatro meses.

Para la variable longitud de entrenudos, se puede apreciar que, Solarset, Supersteak y IV-2700 son estadísticamente iguales y registraron los mayores valores con 6.29, 6.28 y 6.25 cm, respectivamente, siendo Celebrity y V-1125 los cultivares con entrenudos más cortos con 5.33 y 5.35 cm, respectivamente. En general se puede apreciar que los cultivares de crecimiento determinado presentaron menor longitud de entrenudos, variable que está determinada por el tipo de hábito de crecimiento (Maroto, 1986 y González, 1991), pero hay excepciones que indican la presencia de variabilidad genética importante para este carácter (Sánchez, 1997); ya que Solarset

mostró la mayor longitud, respecto a todos los cultivares incluyendo los de crecimiento indeterminado.

Cuadro 4.2. Comparación de medias de cinco variables morfológicas para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud de entrenudos (cm)	Número de hojas por planta	Área foliar por planta (dm ²)
V- 1125 ^D	1.25 b	66.39 de	5.35 c	12.44 e	86.76 cd
Celebrity ^D	1.29 ab	74.06 d	5.33 c	13.89 cd	99.85 abc
Conteza ^D	1.34 ab	73.34 d	5.49 bc	13.36 de	105.94 ab
Pick ripe ^D	1.16 b	63.86 e	5.86 abc	10.91 f	80.21 de
Solarset ^D	1.22 b	66.78 de	6.29 a	10.62 f	65.59 e
Beef master ^I	1.48 a	101.42 ab	6.07 ab	16.71 a	114.97 a
V-7200 ^I	1.33 ab	87.43 c	5.98 abc	14.63 bc	104.82 ab
IV-2700 ^I	1.29 ab	93.50 bc	6.25 a	14.96 b	92.78 bcd
Supersteak ^I	1.38 ab	103.21 a	6.28 a	16.43 a	114.75 a
Big beef ^I	1.30 ab	97.64 ab	5.97 abc	16.36 a	64.62 e
DMS	0.23	8.92	0.69	0.97	18.03

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

Para la variable número de hojas, se aprecian diferencias estadísticas entre cultivares, registrando los mayores valores Beef master, Supersteak y Big beef con 17, 16 y 16 respectivamente, seguidos por IV 2700 y V 7200 con 15. Los cultivares que presentaron menos hojas por planta fueron Pick ripe y Solarset con 11. En general se puede observar que los cultivares de crecimiento indeterminado presentaron mayor número de hojas que los de crecimiento determinado, esto se debe a que en los indeterminados sus racimos florales están espaciados cada tres o cuatro hojas, empezando desde la 8ª hasta la 18ª (González, 1991 y Maroto, 1986). Sin embargo, los de hábito determinado emiten racimos florales cada una o dos

hojas empezando desde la 5ª (González, 1991). Asimismo hay diferencias dentro de cada grupo de cultivares, lo que según Pearce (1983), es afectado por el genotipo y el ambiente.

Respecto al área foliar por planta, se presentan diferencias estadísticas entre cultivares, destacando Supersteak y Beef master con 114.7 y 114.9 dm² respectivamente. Las menores áreas foliares fueron para Big Beef y Solarset con 64.6 y 65.6 dm² cada una. En los cultivares indeterminados, se aprecia mayor área foliar por planta, que en los determinados, destacando en este último grupo el cultivar Conteza con 105.9 dm², lo que indica que el área foliar depende del tamaño y número de hojas y arreglo espacial (Mendoza y Ortiz, 1973), sin embargo, un área foliar excesiva puede crear condiciones de sombreado para gran parte de las hojas situadas hacia el interior de la cubierta vegetal, ocasionando eventualmente que los carbohidratos producidos sean utilizados en la misma proporción de la que son sintetizados (Mitchell, 1970).

De manera general, se aprecia que los cultivares indeterminados presentaron los mayores valores para altura de planta, longitud de entrenudos, número de hojas y área foliar por planta, en relación a los cultivares determinados.

Continuando con las variables morfológicas (Cuadro 4.3), el análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares, para las variables diámetro de pedúnculo en la primera inflorescencia, diámetro de pedicelo de la primera flor en la primera inflorescencia y diámetro de ovario de la primera flor en la primera inflorescencia, medidas ocho días después de antesis.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.4), para la variable diámetro de pedúnculo, se observan diferencias estadísticas entre cultivares, registrando los valores más altos Beef master y Supersteak, con 4.71 y 5.1 mm de diámetro respectivamente, el resto de los cultivares son estadísticamente iguales. El cultivar Big beef desarrollo los pedúnculos más delgados (2.9 mm).

Cuadro 4.3. Análisis de varianza de tres variables morfológicas de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L	CUADRADOS MEDIOS		
		Diámetro de pedúnculo en 1ª inflorescencia	Diámetro de pedicelo de 1ª flor en 1ª inflorescencia	Diámetro de ovario de 1ª flor en 1ª inflorescencia
Cultivares	9	2.44**	4.05 **	15.16**
Bloque	3	0.86	0.09	0.13
Error	27	0.30	0.07	0.32
C.V. (%)		15.84	12.48	14.99
Media general		3.47 (mm)	2.12 (mm)	3.79 (mm)

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

Para el diámetro de pedicelo de la primera flor en primera inflorescencia, el comportamiento de los cultivares fue similar al de pedúnculo, siendo Beef master y Supersteak superiores estadísticamente (3.84 y 3.94 mm respectivamente) en relación al resto. Solarset registró menor diámetro de pedicelo con 1.47 mm (Cuadro 4.4).

En el Cuadro 4.4 se puede apreciar que los cultivares indeterminados presentaron tanto pedúnculos como pedicelos ligeramente más gruesos que los determinados, pero sus valores son muy variados y van de 5.1 y 3.94 mm para Supersteak a 2.91 y 1.51 mm para Big beef respectivamente, mientras que en el grupo de los determinados no existen diferencias estadísticas entre ellos, por lo que su variación fue menor, así tenemos que para diámetro de pedúnculo sus valores oscilan de 2.94 mm en V-1125 a 3.37 mm en Celebrity, y para pedicelo de 1.47 mm (Solarset) a 1.89 mm (Conteza).

Cuadro 4.4. Comparación de medias de tres variables morfológicas para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Diámetro de pedúnculo en 1ª inflorescencia (mm)	Diámetro de pedicelo de 1ª flor en 1ª inflorescencia (mm)	Diámetro de ovario de 1ª flor en 1ª inflorescencia (mm)
V- 1125 ^D	2.94 b	1.54 b	3.02 c
Celebrity ^D	3.37 b	1.87 b	2.90 c
Conteza ^D	2.99 b	1.89 b	2.87 c
Pick ripe ^D	3.15 b	1.55 b	3.02 c
Solarset ^D	2.95 b	1.47 b	2.80 c
Beef master ^I	4.71 a	3.84 a	8.17 a
V-7200 ^I	3.36 b	1.75 b	2.88 c
IV-2700 ^I	3.20 b	1.63 b	2.45 c
Supersteak ^I	5.10 a	3.94 a	6.64 b
Big beef ^I	2.91 b	1.51 b	3.13 c
DMS	1.34	0.64	1.37

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

La expresión de los grosores de pedúnculos y pedicelos dentro de los grupos de cultivares de hábito determinado e indeterminado obedece al factor genético y ambiental (Sánchez, 1997) y está relacionado a la función que ambas estructuras tienen desde antes de la antesis y hasta unos días después de la polinización en el que los pedúnculos y pedicelos de las inflorescencias pueden hacer aportaciones complementarias importantes a las flores, a través de la removilización de las reservas del parénquima, hasta que empieza el crecimiento rápido del ovario como consecuencia de una llegada importante de asimilados procedentes de las hojas (Archbold *et al.*, 1982 y Starck *et al.*, 1988).

Tomando en cuenta, que los pedúnculos y pedicelos gruesos implican una selección indirecta hacia mayor área de floema, sería conveniente considerarlos como caracteres a incluir en el arquetipo de jitomate en alta densidad y en ambiente no restrictivo (Sánchez, 1997).

Para diámetro de ovario de primera flor en la primera inflorescencia, evaluada ocho días después de la antesis, se muestran diferencias estadísticas entre cultivares, destacando el cultivar Beef master con grosor de ovarios de 8.17 mm, seguido por Supersteak con 6.64 mm., el resto de los cultivares son estadísticamente iguales. IV-2700 mostró los ovarios más pequeños con 2.45 mm.

En los cultivares de hábito indeterminado, se pueden apreciar variaciones en el tamaño de ovario, con valores de 2.4 mm (IV-2700) a 8.2 mm (Beef master) en comparación con los cultivares de crecimiento determinado, en donde no existen diferencias estadísticas entre ellos y sus valores fluctúan de 2.8 mm (Solarset) a 3.1 mm (V-1125). Las diferencias en diámetros de ovario se fundamentan en que en los cultivares Beef master y Supersteak, la flor apical de cada inflorescencia es voluminosa e inicia su desarrollo antes que el resto, afectando el desarrollo de las flores subsecuentes. Dicha flor da origen a frutos grandes que por estar fuera de tipo son poco comerciales (Serrano, 1978).

4.2. Variables anatómicas

Para las variables anatómicas de tallo, pedúnculo y pedicelo, se realizó el análisis de varianza, prueba de comparación de medias Tukey, y un análisis de los porcentajes de áreas ocupadas por los diferentes tejidos (floema externo e interno, xilema y parénquima) en cada órgano. Para obtener los porcentajes de cada tejido, se consideró el área total de cada estructura como el 100 % y los valores corresponden al promedio de los diez cultivares.

4.2.1. Variables anatómicas de tallo

En el Cuadro 4.5, se presenta el análisis de varianza para las variables anatómicas de tallo, se aprecia que existen diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre cultivares, excepto para área de xilema.

Cuadro 4.5. Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de tallo de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	CUADRADOS MEDIOS				
		Área total de tallo	Área de floema externo	Área de floema interno	Área de xilema	Área de parénquima
Cultivares	9	1502.72 *	22.86*	1.80 *	34.40	961.59 *
Bloque	3	834.42	6.58	0.94	7.33	614.85
Error	27	579.63	9.54	0.69	20.63	310.58
C.V.		18.78	22.86	19.78	21.39	19.79
Media general		128.19 (mm ²)	13.51(mm ²)	4.21(mm ²)	21.23(mm ²)	89.07 (mm ²)

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

De acuerdo a la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.6) para área total de tallo, existen diferencias estadísticas entre cultivares. Conteza y V-7200 presentaron la mayor área con 149 y 152.90 mm² respectivamente, en relación al resto de los cultivares, los cuales son estadísticamente iguales, siendo Pick ripe el que registró el menor valor con 87.83 mm².

Para área de floema externo, aunque el análisis de varianza mostró diferencias significativas, la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) no detectó diferencias estadísticas, sin embargo destacaron numéricamente V-7200 y IV-2700 con 16.63 y 16.81 mm². En el caso de floema interno se presentaron diferencias estadísticas entre cultivares, destacando Conteza con 5.39 mm²; el resto de los cultivares son estadísticamente iguales. Pick ripe registró el menor valor con 2.93 mm².

Para área de xilema, todos los cultivares son estadísticamente iguales, pero se puede apreciar superioridad numérica del cultivar IV-2700 con 25.8 mm² (Cuadro 4.6).

En cuanto a área de parénquima, existen diferencias estadísticas significativas entre los cultivares, destacando V-7200 y Conteza con mayor área (106.85 y 109.54 mm² respectivamente), siendo Pick ripe quien presentó menor área (59.81 mm²). El resto de los cultivares son estadísticamente iguales.

Cuadro 4.6. Comparación de medias de cinco variables anatómicas de tallo para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Área total de tallo (mm ²)	Área de floema externo (mm ²)	Área de floema interno (mm ²)	Área de xilema (mm ²)	Área de parénquima (mm ²)
V- 1125 ^D	126.76 ab	14.25 a	3.82 ab	22.95 a	85.74 ab
Celebrity ^D	139.22 ab	11.87 a	4.70 ab	21.12 a	101.52 ab
Conteza ^D	149.00 a	14.14 a	5.39 a	19.93 a	109.54 a
Pick ripe ^D	87.83 b	9.34 a	2.93 b	15.75 a	59.81 b
Solarset ^D	112.04 ab	14.06 a	4.14 ab	19.52 a	74.31 ab
Beef master ^I	124.01 ab	12.14 a	4.08 ab	23.68 a	84.10 ab
V-7200 ^I	152.90 a	16.63 a	4.56 ab	23.11 a	106.85 a
IV-2700 ^I	143.54 ab	16.81 a	4.56 ab	25.81 a	96.35 ab
Supersteak ^I	126.79 ab	11.06 a	4.32 ab	18.32 a	93.08 ab
Big beef ^I	119.88 ab	14.78 a	3.61 ab	22.12 a	79.36 ab
DMS	58.56	7.51	2.03	11.05	42.86

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

En general, las diferencias encontradas entre los cultivares respecto a las variables anatómicas consideradas, son de orden genético, ya que las proporciones de áreas de tejidos del tallo, son similares a las reportadas por Sánchez (1997).

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).

No se aprecian diferencias claras entre cultivares determinados e indeterminados para las áreas indicadas, sin embargo, se observó mayor uniformidad en los de crecimiento indeterminado.

En los cortes anatómicos de tallo (Figura 1), se observa que del porcentaje del área total (100 %), el tejido vascular ocupó el 30.6 %, correspondiendo la mitad de esta área a xilema (16.7 %), lo cual es similar a lo reportado por Sánchez (1997) para otros cultivares. Del área total ocupada por floema (13.9 %), el 76.3 % correspondió a floema externo y el 23.7 % a floema interno (relación 3.2:1).

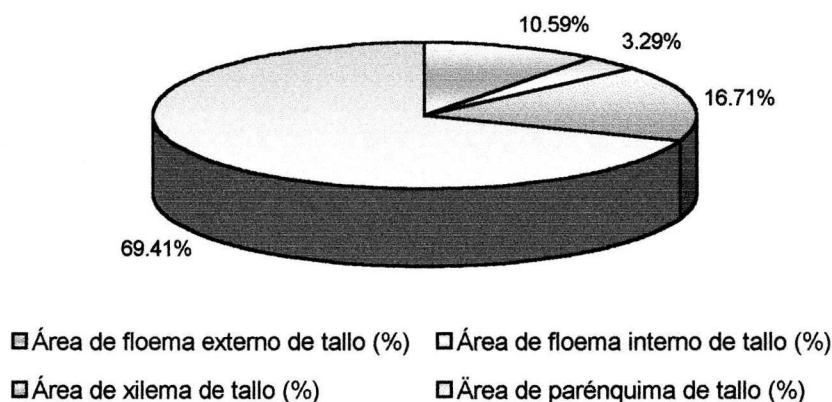


Figura 1. Porcentaje de áreas ocupadas por los diferentes tejidos en un corte transversal de tallo.

4.2.2. Variables anatómicas de pedúnculo de la primera inflorescencia

El análisis de varianza correspondiente a las variables anatómicas de pedúnculo (Cuadro 4.7) muestra diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares para todos los caracteres evaluados.

No se aprecian diferencias claras entre cultivares determinados e indeterminados para las áreas indicadas, sin embargo, se observó mayor uniformidad en los de crecimiento indeterminado.

En los cortes anatómicos de tallo (Figura 1), se observa que del porcentaje del área total (100 %), el tejido vascular ocupó el 30.6 %, correspondiendo la mitad de esta área a xilema (16.7 %), lo cual es similar a lo reportado por Sánchez (1997) para otros cultivares. Del área total ocupada por floema (13.9 %), el 76.3 % correspondió a floema externo y el 23.7 % a floema interno (relación 3.2:1).

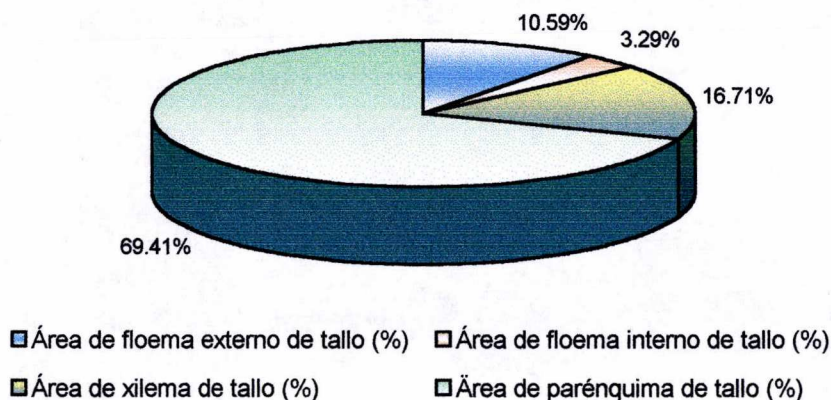


Figura 1. Porcentaje de áreas ocupadas por los diferentes tejidos en un corte transversal de tallo.

4.2.2. Variables anatómicas de pedúnculo de la primera inflorescencia

El análisis de varianza correspondiente a las variables anatómicas de pedúnculo (Cuadro 4.7) muestra diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares para todos los caracteres evaluados.

Cuadro 4.7. Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de pedúnculo de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L	CUADRADOS MEDIOS				
		Área total de pedúnculo	Área de floema externo de pedúnculo	Área de floema interno de pedúnculo	Área de xilema de pedúnculo	Área de parénquima de pedúnculo
Cultivares	9	51.11**	0.27 **	0.20**	0.12**	34.71**
Bloque	3	5.28	0.01	0.02	0.02	3.74
Error	27	2.5	0.04	0.01	0.01	1.80
C.V. (%)		18.64	23.82	19.38	20.69	19.86
Media general		8.48 (mm ²)	0.83 (mm ²)	0.51 (mm ²)	0.39 (mm ²)	6.76 (mm ²)

* Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.8) se encontró que los cultivares con mayor área total de pedúnculo fueron, Beef master y Supersteak con 14.38 y 15.88 mm² respectivamente, éstos registraron mayor área ocupada por los diferentes tejidos (área de floema externo, de floema interno, de xilema y de parénquima). Los cultivares con menor área total fueron Big beef y Solarset con 5.8 y 6.2 mm² respectivamente. Los cultivares indeterminados en general registraron mayores valores de área total de pedúnculo y de los diferentes tejidos que los conforman, en relación a los de crecimiento determinado, que son estadísticamente iguales, destacando Celebrity por presentar mayores valores para los caracteres evaluados.

Las áreas de tejidos de floema y xilema en pedúnculo guardan una relación de 4:1, lo que sugiere que en la etapa posterior a la antesis, el crecimiento del fruto implica una mayor fuerza de la demanda de fotoasimilados, los que son transportados vía floema (Schumacher, 1930, citado por Vicente, 1976). Esta demanda de fotoasimilados posiblemente propicia un mayor desarrollo del floema, tejido que además de translocar compuestos orgánicos, transporta compuestos inorgánicos en una proporción que puede ser 10 veces mayor a la que se transporta vía xilema (Bidwell, 1993).

Cuadro 4.8. Comparación de medias de cinco variables anatómicas de pedúnculo de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Área total de pedúnculo (mm ²)	Área de floema externo de pedúnculo (mm ²)	Área de floema interno de pedúnculo (mm ²)	Área de xilema de pedúnculo (mm ²)	Área de parénquima de pedúnculo (mm ²)
V- 1125 ^D	6.53 b	0.75 bc	0.35 b	0.29 b	5.13 b
Celebrity ^D	7.51 b	0.93 abc	0.53 b	0.35 b	5.71 b
Conteza ^D	6.60 b	0.79 bc	0.43 b	0.29 b	5.08 b
Pick ripe ^D	6.66 b	0.48 c	0.42 b	0.36 b	5.50 b
Solarset ^D	6.24 b	0.70 c	0.34 b	0.25 b	4.95 b
Beef master ^I	14.38 a	1.21 ab	0.90 a	0.77 a	11.49 a
V-7200 ^I	7.70 b	0.78 bc	0.45 b	0.34 b	6.13 b
IV-2700 ^I	7.54 b	0.75 bc	0.40 b	0.34 b	6.05 b
Supersteak ^I	15.88 a	1.32 a	0.95 a	0.64 a	12.98 a
Big beef ^I	5.78 b	0.60 c	0.34 b	0.24 b	4.59 b
DMS	3.85	0.48	0.24	0.19	3.27

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

Una mayor área de parénquima puede implicar mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados por los frutos en crecimiento (Moorby, 1981).

En el caso de pedúnculo (Figura 2), el 20.69 % del área total estuvo ocupada con tejido vascular, proporción que es menor a la encontrada en tallo, además la relación xilema/floema fue diferente, ya que hubo mayor proporción de floema que de xilema (3.5: 1). Del área total ocupada por floema (16.14 %) el 62.83 % correspondió a floema externo y el 37.17 % a floema interno, asimismo la relación entre estos dos tejidos fue de 1.7: 1, la cual es menor que en tallo. El 79.31 % del área total correspondió a parénquima.

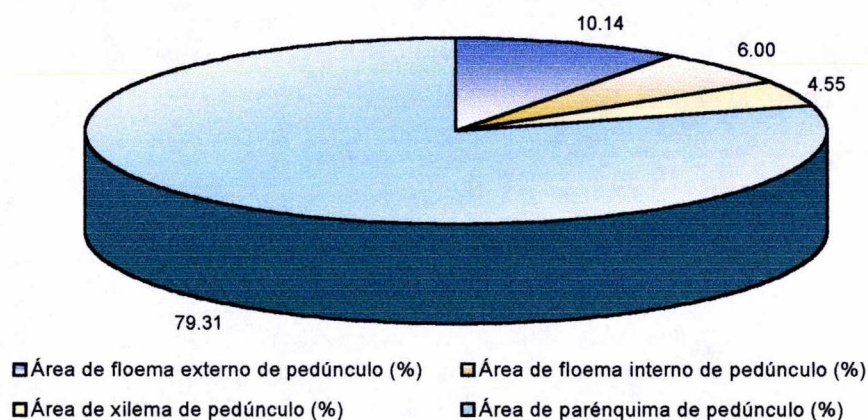


Figura 2. Porcentaje de áreas ocupadas por los diferentes tejidos de un corte transversal de pedúnculo de la primera inflorescencia.

4.2.3. Variables anatómicas de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia

Para las variables anatómicas de pedicelo (área total de pedicelo, de floema externo e interno, de xilema y de parénquima), se encontraron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares (Cuadro 4.9).

La prueba de comparación de medias para todas las variables anatómicas de pedicelo analizadas (área total de pedicelo, de floema externo e interno, de xilema y de parénquima), indica que Supersteak y Beef master mostraron superioridad estadística respecto al resto de los cultivares que son estadísticamente iguales entre sí. V- 1125, Solarset, Pick ripe y Big beef, presentaron inferioridad estadística en estos caracteres evaluados. También se encontró que los cultivares de crecimiento determinado son estadísticamente iguales, pero presentan tendencias a menores valores que los indeterminados, aunque la diferencia entre tipos de cultivares está representada por Supersteak y Beef master (Cuadro 4.10).

Las proporciones de áreas de tejido de floema encontrado en pedicelo, mostraron un comportamiento similar a las obtenidas para el caso de pedúnculo. En ambas estructuras, la función fundamental es el abastecimiento de fotoasimilados hacia el fruto (Sarck *et al.*, 1988).

Cuadro 4.9. Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACION	G.L.	CUADRADOS MEDIOS				
		Área total de pedicelo	Área de floema externo de pedicelo	Área de floema interno de pedicelo	Área de xilema de pedicelo	Área de parénquima de pedicelo
Cultivares	9	15.055**	0.082**	0.061**	0.035**	10.138**
Bloque	3	1.080	0.017	0.002	0.004	0.716
Error	27	0.508	0.013	0.001	0.002	0.371
C.V. (%)		23.582	31.022	20.334	31.739	26.149
Media general		3.023(mm ²)	0.366 (mm ²)	0.190 (mm ²)	0.134 (mm ²)	2.330 (mm ²)

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 4.10. Comparación de medias de cinco caracteres anatómicos de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Área total de pedicelo (mm ²)	Área de floema externo de pedicelo (mm ²)	Área de floema interno de pedicelo (mm ²)	Área de xilema de pedicelo (mm ²)	Área de parénquima de pedicelo (mm ²)
V- 1125 ^D	1.79 b	0.27 c	0.10 c	0.07 b	1.34 b
Celebrity ^D	2.62 b	0.34 bc	0.17 c	0.10 b	2.01 b
Conteza ^D	2.57 b	0.33 bc	0.16 c	0.09 b	1.99 b
Pick ripe ^D	1.86 b	0.24 c	0.13 c	0.12 b	1.34 b
Solarset ^D	1.82 b	0.28 c	0.12 c	0.06 b	1.36 b
Beef master ^I	7.11 a	0.67 a	0.47 a	0.28 a	5.68 a
V-7200 ^I	2.30 b	0.29 c	0.16 c	0.10 b	1.75 b
IV-2700 ^I	2.12 b	0.29 c	0.12 c	0.07 b	1.64 b
Supersteak ^I	6.16 a	0.58 ab	0.35 b	0.33 a	4.89 a
Big beef ^I	1.87 b	0.36 bc	0.10 c	0.11 b	1.29 b
DMS	1.73	0.28	0.09	0.10	1.48

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

Por último, el 24.2 % del área total de pedicelo de la primera flor estuvo constituido por tejido vascular, de éste, el 81.6 % correspondió a floema y el 18.39 % a xilema (proporción 4.4:1), y la relación área de floema externo/área de floema interno fue de 2.1:1 (Figura 3). El 75.8 % del área total fue ocupada por parénquima

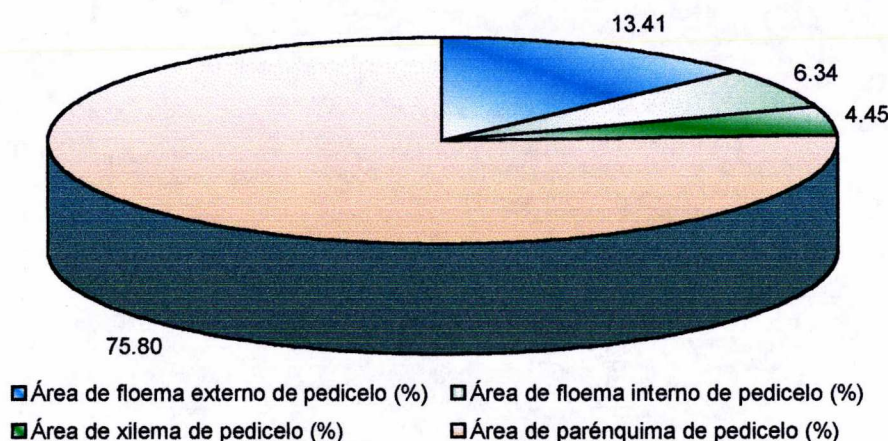


Figura 3. Porcentaje de áreas ocupadas por los diferentes tejidos de un corte transversal de pedicelo de la primera flor de la primera inflorescencia

4.2.4. Comparaciones de áreas de tejidos (tejido vascular y parenquimático) en diferentes estructuras de jitomate

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.11), se muestran los porcentajes de áreas ocupadas por cada tejido en cortes transversales de tallo, pedúnculo y pedicelo.

El pedicelo registró porcentajes de floema externo, interno y total estadísticamente superiores al pedúnculo y tallo.

El área de xilema fue mayor en tallo, y en pedúnculo y pedicelo fueron estadísticamente iguales.

Por último, el área total de tejido vascular fue mayor en el tallo y menor en el pedúnculo y pedicelo, y el porcentaje de área de parénquima (tejido no vascular) fue mayor en el pedúnculo y menor en el tallo.

Cuadro 4.11. Medias de área ocupada por diferentes tejidos en cortes transversales de tallo, pedúnculo y pedicelo en 10 cultivares de jitomate.

ÓRGANO	TEJIDOS (%)					
	Tejido vascular	Área de floema	Área de floema externo	Área de floema interno	Área de xilema	Área de parénquima
Tallo	30.46 a	13.84 c	10.55 b	3.29 b	16.62 a	69.41 c
Pedúnculo	20.45 c	15.88 b	9.84 b	6.05 a	4.57 b	79.69 a
Pedicelo	22.84 b	18.41 a	12.11 a	6.31 a	4.43 b	77.02 b
DMS	2.22	1.47	1.07	0.72	1.41	2.14

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan diferencias significativas

Las mayores proporciones de tejido floemático en pedúnculo y pedicelo, le dan el carácter de estructuras especializadas en la conducción de fotoasimilados. En cambio el tallo, además de ser un tejido de conducción de compuestos orgánicos, transporta grandes cantidades de agua y nutrientes, además de constituirse como un sostén para la planta.

4.2.5. Variables anatómicas de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia

En el análisis de varianza correspondiente a las variables anatómicas del ovario de la primera flor de la primera inflorescencia (Cuadro 4.12) se encontraron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares para todas las variables estudiadas.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 4.13) se observa que el área total de ovario para Beef master fue estadísticamente superior con 28.37 mm², seguido por Supersteak con 22.68 mm², el resto de los cultivares son estadísticamente iguales. Los cultivares con menor área de ovario fueron IV-2700 y Solarset con 4.37 y 5.72 mm² respectivamente.

Cuadro 4.12. Cuadrados medios y niveles de significancia de caracteres anatómicos de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L	CUADRADOS MEDIOS			
		Área total de ovario	Número de células en ovario	Tamaño de células en ovario	Número de óvulos promedio de ovario
Cultivares	9	280.14**	11.77**	0.61**	115887.57**
Bloque	3	1.05	3.34*	0.001	310.07
Error	27	3.04	3.22	0.005	1422.62
C.V.		17.63	12.40	17.54	22.09
Media general		9.90 (mm ²)	14.61	0.39 (mm)	170.68

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

Las primeras flores de la inflorescencia generalmente son las más cercanas al pedúnculo, sin embargo, en los cultivares Supersteak y Beef master la primera flor que se desarrolla es la distal, con la característica de ser una flor mucho más grande que el resto de flores en cada racimo simple que conforman a la inflorescencia compuesta, características que concuerdan con lo reportado por González (1991), dando origen a ovarios más grandes que el resto de las flores de los cultivares.

En el grupo de cultivares de hábito determinado, el área total de ovario no mostró diferencias estadísticas; sin embargo para los cultivares indeterminados, el área total de ovario presentó mayor variabilidad.

En referencia al número de células en ovario, se encontraron diferencias estadísticas entre cultivares, destacando Conteza con 16.55, el resto de los cultivares mostraron ser estadísticamente iguales, siendo Solarset el que registró menor número (10.91) Para el tamaño de células en ovario, se observa que Beef master fue estadísticamente superior con 1.31 mm, seguido por Supersteak con 0.89 mm, el resto de los cultivares son estadísticamente iguales. Los cultivares IV-2700 y V-7200 presentaron células más pequeñas (0.15 y 0.17 mm, respectivamente).

Cuadro 4.13. Comparación de medias de caracteres anatómicos de ovario de la primera flor de la primera inflorescencia para 10 cultivares de jitomate.

CULTIVAR	Área total de ovario (mm²)	Número de células en ovario	Tamaño de células en ovario (mm)	Número de óvulos promedio de ovario
V- 1125^D	6.50 c	16.07 ab	0.19 c	157.11 c
Celebrity^D	5.95 c	14.10 abc	0.23 c	74.26 c
Conteza^D	6.28 c	16.55 a	0.20 c	99.20 c
Pick ripe^D	6.35 c	14.65 abc	0.21 c	80.91 c
Solarset^D	5.72 c	10.91 c	0.26 c	94.78 c
Beef master^I	28.37 a	12.17 bc	1.31 a	555.13 a
V-7200^I	6.15 c	15.19 abc	0.17 c	70.79 c
IV-2700^I	4.37 c	14.90 abc	0.15 c	67.22 c
Supersteak^I	22.68 b	14.75 abc	0.89 b	411.93 b
Big beef^I	6.58 c	15.32 ab	0.25 c	95.51 c
DMS	4.24	4.36	0.17	91.74

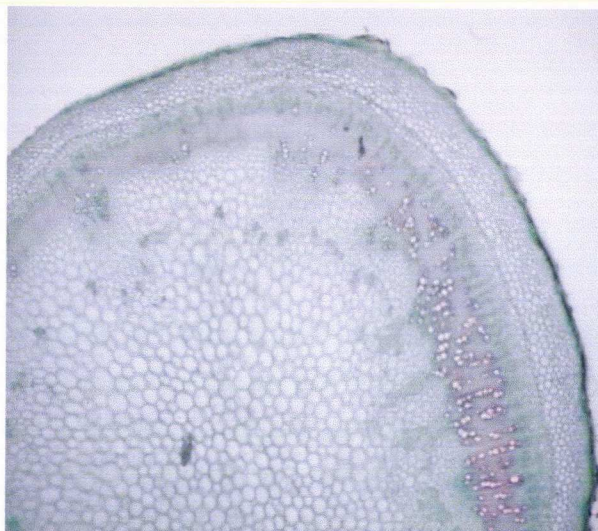
Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

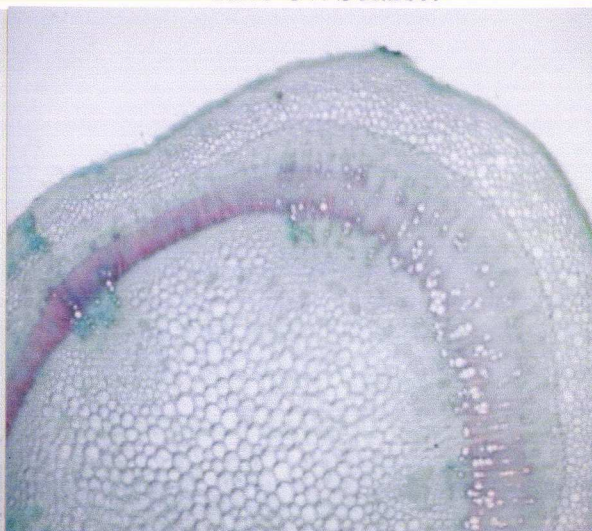
En cuanto al número de óvulos por ovario se obtuvo que Beef master y Supersteak mostraron ser estadísticamente superiores, con valores de 555 y 412 respectivamente; el resto de los cultivares son estadísticamente iguales, siendo V-7200 y IV-2700 los que tuvieron menos óvulos por ovario, con 71 y 67 respectivamente (Cuadro 4.13). Para esta variable, los cultivares Supersteak y Beef master presentaron un número superior al de la media, lo cual probablemente se deba a las características ya mencionadas de sus flores apicales, el resto de los cultivares se encuentran en el rango de 50-200 semillas que es lo normal según Chamarro (1995).

En resumen, podemos decir que los cultivares con ovarios más grandes presentaron mayor tamaño de células y número de óvulos.

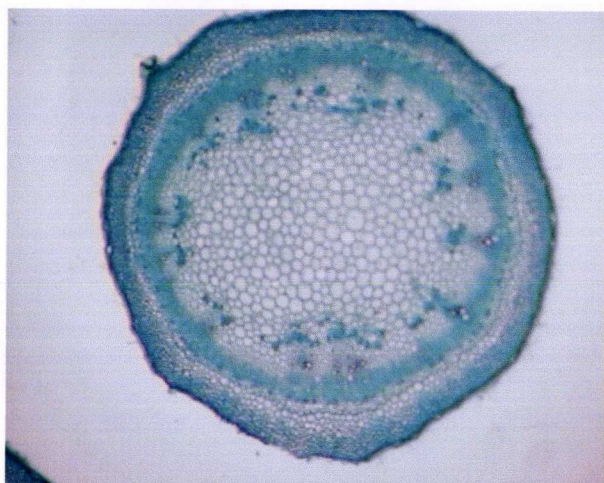
Tallo Cv. Conteza



Tallo Cv. Solarset



Pedúnculo Cv. IV-2700

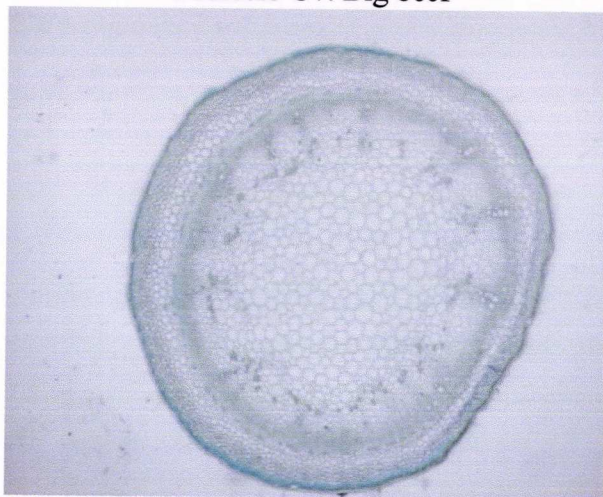


Pedúnculo Cv. Solarset

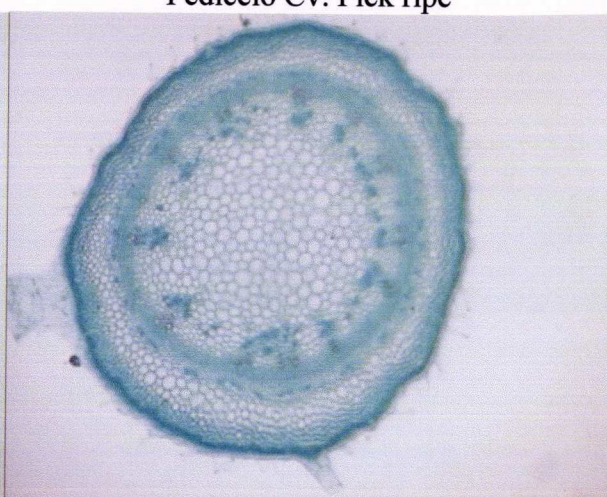


Figura 4. Cortes anatómicos de tallo y pedúnculo

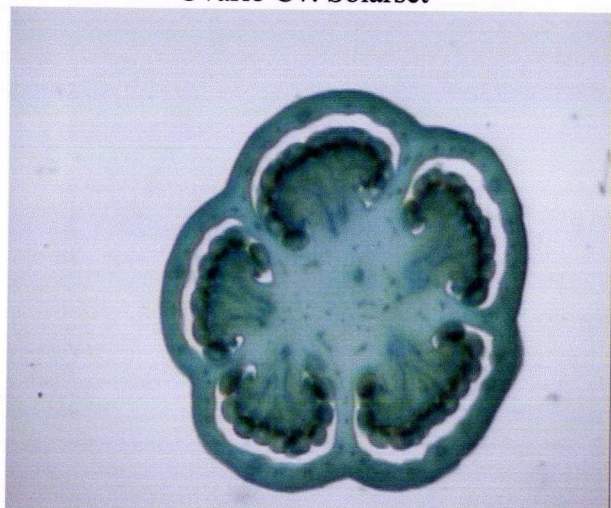
Pedicelo Cv. Big beef



Pedicelo Cv. Pick ripe



Ovario Cv. Solarset



Ovario Cv. Big beef

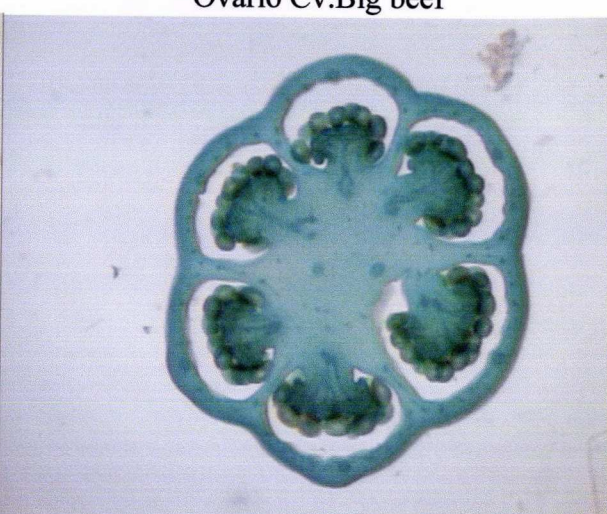


Figura 5. Cortes anatómicos de pedicelo y ovario

4.3. Variables de rendimiento

El análisis de varianza para rendimiento presentó diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) y para sus componentes (número de frutos por unidad de superficie y peso medio de fruto) mostró diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre cultivares (Cuadro 4.14).

Cuadro 4.14. Cuadrados medios y niveles de significancia de componentes de rendimiento de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L	CUADRADOS MEDIOS		
		Rendimiento (kg·m ⁻²)	Frutos (número·m ⁻²)	Peso medio de fruto (g)
Cultivares	9	6.96*	1716.72**	387.94**
Bloque	3	18.0	945.26	498.26
Error	27	2.52	147.15	61.56
C.V.		13.49	9.64	8.32
Media general		11.77 (kg·m ⁻²)	125.81 (frutos·m ⁻²)	94.34 (g)

*Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

En la prueba de comparación de medias para rendimiento, se encontraron diferencias estadísticas entre cultivares, destacando Big beef con 14.01 kg·m², seguido por IV- 2700 con 13.39 kg·m², el resto de los cultivares fueron estadísticamente iguales, y los que tuvieron menor rendimiento resultaron ser Conteza y Supersteak con 10.05 y 10.37 kg·m⁻² respectivamente (Cuadro 4.15).

Para los componentes del rendimiento: número de frutos por unidad de superficie y peso medio de frutos (Cuadro 4.15), se encontró que existen diferencias estadísticas entre cultivares. El cultivar IV- 2700 fue el mejor, puesto que dio más frutos por unidad de superficie (171), solamente seguido por V-7200 (149 frutos). Supersteak tuvo menos frutos por unidad de superficie con 98. Respecto a peso medio de fruto, Big beef fue estadísticamente superior (110 g) que el resto de los cultivares, seguido por Superteak (106 g), siendo el cultivar IV-2700 el que registró menor peso promedio de fruto (78 g).

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).

Fátula (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, bien 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 supeditado al amarre de los frutos. Además el número de frutos involucra procesos fisiológicos relacionados con la relación fuente demanda (Wereing y Patrick, 1975), así en esta investigación era de esperarse que los cultivares con racimos compuestos como son Beef master y Supersteak tuvieran un mayor número de frutos, sin embargo el porcentaje de amarre de fruto fue bajo, no así en el caso de Big beef, en donde a pesar de poseer un racimo simple, registró un mayor número de frutos, lo que indica mayor amarre de frutos.

La influencia del peso medio de fruto en relación al rendimiento de los cultivares evaluados, mostró variaciones marcadas, así el mayor peso medio de fruto del cultivar Big beef, sí se refleja en el mayor rendimiento (14.01 kg.m^2), no así para el caso del cultivar IV-2700, que registró el peso medio de fruto más bajo de todos los cultivares y sin embargo ocupó el segundo lugar en rendimiento (apreciándose que el rendimiento fue compensado por el número de frutos), esto se fundamenta en lo reportado por Flores (1980; citado por Cancino, 1990), quien indicó 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, pero agregaron que dicho tamaño también es afectado por 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.

Los cultivares con hábito de crecimiento indeterminado, mostraron mayores rendimientos, ésto se debe principalmente a que produjeron el mayor número de frutos (Hanna, 1999). En referencia a su peso promedio (ligado al tamaño de fruto), éste presenta variación entre cultivares, el cual está controlado por el factor genético adjudicado a cinco pares de genes (Ascrofi *et al.*, 1993).

Los cultivares determinados mostraron menor rendimiento, aspecto atribuido a una menor producción de frutos; pero en general presentaron mayor peso promedio de frutos. Dentro de estos cultivares destacan Pick ripe y Solarset con 11.61 y 11.92 kg. m².

Cuadro 4.15. Comparación de medias de tres variables de rendimiento para 10 cultivares de jitomate

CULTIVAR	Rendimiento (kg·m⁻²)	Frutos (número · m⁻²)	Peso medio de fruto (g)
V- 1125^D	10.99 ab	112.00 cd	97.76 abc
Celebrity^D	10.60 ab	121.12 bcd	87.12 cd
Conteza^D	10.05 b	113.12 cd	89.06 bcd
Pick ripe^D	11.61 ab	115.75 cd	100.19 abc
Solarset^D	11.92 ab	122.25 bcd	97.24 abcd
Beef master^I	11.95 ab	128.75 bc	91.29 abcd
V-7200^I	12.78 ab	148.75 ab	85.80 cd
IV-2700^I	13.39 ab	171.00 a	78.29 d
Supersteak^I	10.37 ab	97.62 d	106.48 ab
Big beef^I	14.01 a	127.75 bc	110.19 a
DMS	3.86	29.50	19.08

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia

^D = Hábito determinado, ^I = Hábito indeterminado

4.4. Análisis de variables morfológicas y componentes de rendimiento por hilera

En el análisis de varianza (Cuadro 4.16) se reporta que existen diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) para las variables número de frutos cosechados, rendimiento total y longitud de entrenudos, así como diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) en peso medio de fruto, para el factor hileras. No se presentó significancia para la interacción tratamiento por hilera.

Cuadro 4.16. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas y de rendimiento para el factor hileras de 10 cultivares de jitomate.

FUENTES DE VARIACIÓN	CUADRADOS MEDIOS					
	G.L	Número de frutos cosechados	Rendimiento total (kg.)	Peso medio de fruto (g)	Diámetro de tallo (cm)	Longitud de entrenudos (cm)
CULTIVARES	9	2287.7 **	9.27**	2150.20**	0.05**	2.61**
HIL	2	825.3**	20.43**	786.80*	0.01	1.35**
TRAT*HIL	18	142.1	1.79	158.81	0.005	0.07
ERROR	81	145.8	2.30	212.21	0.003	0.06
C.V.		14.40	19.36	13.86	4.56	4.29
Media general		83.83	7.84	105.09	1.29	5.84

* Significancia $\alpha \leq 0.05$, ** altamente significativo $\alpha \leq 0.01$.

Respecto al número de frutos cosechados, existen diferencias estadísticas entre hileras, siendo la hilera uno la que tuvo mayor número de frutos con 88.9, y la hilera dos tuvo menos con 80.1 (Cuadro 4.17).

En cuanto al rendimiento por hilera y sus componentes, las hileras uno y tres son estadísticamente iguales, siendo la hilera uno la que presentó mayor rendimiento con 8.5 kg. y la hilera dos la de menor rendimiento con 7.1 kg.

Respecto al peso medio de frutos, las hileras uno y dos presentaron diferencias estadísticas, siendo la hilera uno la de mayor peso de fruto con 108.81 g y la hilera dos la de menor peso de fruto con 100.18 g.

Lo anterior puede explicarse debido a que las plantas de las hileras exteriores (1 y 3) por no tener competencia completa, ya que dan hacia los pasillos, tienen mayor captación de luz solar durante el día y mayor espacio para su desarrollo, permitiendo con ello una mayor producción y acumulación de fotoasimilados para exportar a los órganos de demanda de interés agronómico (fruto), a diferencia de las plantas interiores (hilera 2), cuyas hojas al estar sombreadas, en promedio reciben menos luz y posiblemente realicen menos fotosíntesis (Nobel y Long, 1988) que tiene repercusiones en el rendimiento.

Para diámetro de tallo, no hubo diferencias estadísticas entre hileras. Para longitud de entrenudos se presentaron diferencias estadísticas entre hileras, siendo la hilera dos la que presentó la mayor longitud de entrenudos (6.03 cm) la hilera uno mostró la longitud más baja (5.7 cm). Uno de los efectos del sombreado que en este caso repercute sobre la hilera dos es una mayor elongación de entrenudos, efecto morfogenético debido a la elongación celular por una mayor síntesis de auxinas en condición de sombra (Salisbury y Ross, 1992).

Cuadro 4.17. Comparación de medias por hilera para variables morfológicas y de componentes de rendimiento en 10 cultivares de jitomate

HILERA	N° frutos cosechados	Rendimiento total (kg.)	Peso medio de fruto (g)	Diámetro de tallo (cm)	Longitud de entrenudos (cm)
1	88.90 a	8.51 a	108.81 a	1.29 a	5.66 c
2	80.12 b	7.10 b	100.18 b	1.31 a	6.03 a
3	82.50 ab	7.93 a	106.29 ab	1.28 a	5.83 b
DMS	6.45	0.81	7.77	0.03	0.13

Medias con la misma letra dentro de la misma columna no presentan significancia

4.5. Análisis de correlaciones de rendimiento y sus componentes

Del análisis de correlaciones (Cuadro 4.18) de rendimiento por metro cuadrado y sus componentes de ocho cultivares de jitomate con despunte a tres racimos y nueve plantas por metro cuadrado (excluyendo a los cultivares Beef master y Supersteak por ser atípicos), se puede deducir, que el rendimiento está dado principalmente por número de frutos, puesto que presentó una correlación altamente significativa y positiva (0.703**). Se sugiere que el número de frutos

según Fátula (1972; citado por Ponce, 1995) está asociado a las partes morfológicas, tales como el tipo de inflorescencias que posean los cultivares, bien sean simples o compuestos (Rodríguez *et al.*, 1997). Los racimos compuestos poseen un mayor número de flores y consecuentemente un mayor número de frutos, influyendo en este componente el porcentaje de frutos cuajados, comportamiento mostrado en esta investigación por el cultivar Big beef, en donde a pesar de poseer un racimo simple, manifestó el mayor amarre de frutos.

Cuadro 4.18. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento y sus componentes de 8 cultivares de jitomate.

	Número de frutos por metro cuadrado	Peso medio de frutos de tres racimos
Rendimiento por metro cuadrado	0.703**	0.378*
Número de frutos por metro cuadrado		-0.385*

* Significativo $\alpha \leq 0.05$, **altamente significativo $\alpha \leq 0.01$

El peso medio de los frutos, tuvo menor influencia en el rendimiento por unidad de superficie, mostrando una correlación significativa y positiva (0.368*), ésto supone que al existir muchos frutos, la cantidad de fotoasimilados producidos por las plantas, posiblemente no fue suficiente para abastecer la demanda de los frutos.

Asimismo, el análisis de correlaciones para rendimiento mostró una correlación altamente significativa y negativa con peso medio de frutos (-0.385**), comportamiento expresado por el cultivar Pick ripe. Este cultivar presentó pocos frutos (116), con mayor peso (100 g por fruto), lo que puede atribuirse a que existe una gran dominancia fenotípica para alto número de frutos, pero con bajo peso de los mismos (Sión, 1979). 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 (estrechamente relacionado con peso medio de frutos), siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta. Por Otra parte, Flores (1980; citado por Cancino, 1990) indicó que el tamaño del fruto (relacionado con el peso del fruto) depende de tres a cinco pares de genes.

4.6. Análisis de correlaciones de las variables morfológicas con rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 4.19 se presentan los coeficientes de correlación entre las variables altura de planta, longitud de entrenudos y número de hojas con relación a los componentes: rendimiento por metro cuadrado de tres racimos y número de frutos por metro cuadrado de tres racimos, rendimiento del primer racimo y número de frutos del primer racimo, aclarando que sólo se discutirán las correlaciones correspondientes a los componentes de rendimiento de tres racimos, no así para el caso de los componentes de rendimiento del primer racimo, ya que éstos se derivan de los componentes de rendimiento de tres racimos. Para el caso de la variable diámetro de pedúnculo de primera inflorescencia, se discutirán únicamente las correlaciones existentes con los componentes de rendimiento del primer racimo.

Cuadro 4.19. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento y las variables morfológicas de 8 cultivares de jitomate.

	Rendimiento por metro cuadrado	Número de frutos por metro cuadrado	Número de frutos del primer racimo	Rendimiento del primer racimo
Altura de planta	0.610**	0.652**	0.662	0.589*
Longitud de entrenudos	0.634**	0.522**	0.390*	0.405*
Diámetro de tallo	0.317ns	0.416*	0.471**	0.408*
Diámetro de pedúnculo	0.119ns	0.367*	0.430*	0.245ns
Numero de hojas	0.349*	0.450*	0.534**	0.448*

* Significativo $\alpha \leq 0.05$, **altamente significativo $\alpha \leq 0.01$

Las interpretaciones que se derivan del análisis de correlaciones son las siguientes: se aprecian correlaciones altamente significativas y positivas entre las variables altura de planta con rendimiento. m² de tres racimos (0.610**); altura de planta con número de frutos. m² de tres racimos (0.652**); longitud de entrenudos con rendimiento. m² de tres racimos (0.634**); longitud de entrenudos con número de frutos. m² de tres racimos (0.522**); número de hojas con

número de frutos. m² de tres racimos (0.450**). Resultando también correlaciones significativas y positivas para diámetro de tallo con número de frutos. m² de tres racimos (0.416*); número de hojas con rendimiento. m² de tres racimos (0.349*); diámetro de tallo con rendimiento del primer racimo (0.408*) y diámetro de pedúnculo con número de frutos del primer racimo (0.430*).

Las correlaciones encontradas respecto a altura de planta y longitud de entrenudos se fundamentan en las características mostradas por el hábito de crecimiento, así, según lo reportado por González (1991) y Maroto (1986), los cultivares indeterminados poseen una yema terminal vegetativa, que les permite crecer indefinidamente, sus racimos están más espaciados en el tallo principal (cada tres o cuatro hojas) empezando desde la 8ª hasta la 18ª.

En cambio, los cultivares de hábito determinado comprenden plantas cuya yema terminal es floral, generalmente son de tamaño pequeño (Enríquez, 1993). Emiten inflorescencias en el tallo principal cada una o dos hojas, empezando desde la quinta (González, 1991).

Los resultados obtenidos muestran que para ambos hábitos de crecimiento, las plantas con menor altura (determinadas: Pick ripe y Solarset (64-67 cm) e indeterminadas: V-7200 y Big beeg (87-97 cm)) (Cuadro 4.2) y plantas con mayor longitud de entrenudos (ambos hábitos de crecimiento que van de 5.86-6.29 cm) mostraron los más altos rendimientos (Cuadro 4.15).

La hipótesis planteada referente a que a menor altura de planta y menor longitud de entrenudos se produce mayor rendimiento, se rechaza.

De las correlaciones de número de hojas con número de frutos por metro cuadrado de tres racimos, se deduce que a mayor número de hojas y menor área foliar, se obtuvieron más altos rendimientos (Big beef, IV-2700 y V-7200)(Cuadro 4.2); excepto Pick ripe y Solarset, ya que éstos presentaron menos hojas pero pequeñas, aunque también mostraron altos rendimientos.

Las correlaciones obtenidas permiten aceptar la hipótesis planteada de que a mayor número de hojas mayores rendimientos, siempre y cuando el área foliar no sea excesiva.

De la correlación de diámetro de tallo con número de frutos por metro cuadrado de tres racimos, se deduce que, aunque el diámetro de tallo no mostró gran variabilidad (Cuadro 4.2), ésta influye de manera significativa en el rendimiento, ya que como lo mencionaron Stevenson y Mertens (1980), Esau (1976) y Adams (1982) el tallo es un órgano de sostén, translocación de agua, nutrimentos y asimilados, de arquitectura y de almacén, funciones de gran importancia en la productividad de los cultivos. Dada la poca variabilidad de los cultivares estudiados es necesario seguir buscando genotipos que manifiesten variabilidad para este órgano.

La correlación de diámetro de pedúnculo con número de frutos del primer racimo, sugiere que a mayor grosor de pedúnculo mayor número de frutos, lo que se fundamenta en el sentido de que el pedúnculo es un órgano de reserva temporal y que en la preantesis puede removilizar fotoasimilados hacia las partes reproductivas (Schumacher, 1930; citado por Vicente, 1976) para posteriormente tomar la función principal de un órgano de conducción.

La hipótesis planteada de que a mayor diámetro de tallo, pedúnculo y pedicelo incrementa el número de frutos y en consecuencia el rendimiento se acepta, exceptuando al pedicelo.

4.7. Análisis de correlaciones de variables anatómicas con rendimiento

El resultado de las correlaciones de las variables anatómicas (área total de pedúnculo, área de xilema de pedúnculo y área de parénquima de pedúnculo) con rendimiento (número de frutos del primer racimo), muestran correlaciones significativas y positivas (Cuadro 4.20). Comportamiento que indica que aun cuando las áreas son pequeñas, con poca variabilidad (Cuadro 4.2) contribuyen en la obtención de un mayor número de frutos, ya que sus funciones son vitales, 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.

Cuadro 4.20. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las variables de rendimiento y las variables anatómicas de 8 cultivares de jitomate.

	Número de frutos del primer racimo
Área total de pedúnculo	0.393*
Área de xilema de pedúnculo	0.359*
Área de parénquima de pedúnculo	0.398*
Número de óvulos en ovario	0.526**

* Significativo $\alpha \leq 0.05$, **altamente significativo $\alpha \leq 0.01$

En referencia a la correlación de número de óvulos en ovario con número de frutos del primer racimo, se encontró que ésta fue altamente significativa y positiva, lo que sugiere que el número de óvulos (67-95) está asociado con un alto número de frutos

La hipótesis referente a las variables anatómicas de tallo, pedúnculo, pedicelo y ovario en el sentido de que permiten tener un mayor número de frutos y mayor peso de frutos se acepta parcialmente, ya que solamente pedúnculo y número de óvulos en ovario mostraron correlación con el componente de rendimiento número de frutos.

V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la presente investigación, para plantas de jitomate en hidroponia bajo invernadero, conducidas a tres racimos a una densidad de 9 pl. m², se concluye lo siguiente:

1. El rendimiento por unidad de superficie estuvo determinado principalmente por el número de frutos.
2. En general, los cultivares con características morfológicas de baja altura (determinado: Solarset 66.78 cm; e indeterminado: Big beef: 97.64 cm), longitud de entrenudos largos (5.86-6.29 cm), alto número de hojas (15-16 y reducida área foliar), tallo grueso (1.22-1.30 cm), pedúnculos gruesos (2.95-3.20 mm) y número de óvulos en ovario (67-95), caracteres que correlacionaron positivamente con el número de frutos, dando por resultado mayor rendimiento por unidad de superficie.
3. La característica de mayor diámetro de ovario correlacionó positivamente con el peso medio de frutos.
4. El caracter anatómico de área total de pedúnculo y área total de su parénquima se correlacionaron positivamente con el número de frutos del primer racimo, dando por resultado mayor rendimiento.
5. Los tejidos vasculares (floema externo e interno y xilema) de tallo y pedicelo, mostraron poca variabilidad, por lo que no correlacionaron con el rendimiento.
6. Las plantas de jitomate de las hileras exteriores presentaron mayor rendimiento y de sus componentes número y peso medio de frutos, ocurriendo lo contrario para la hilera interior, en donde las plantas mostraron tallos delgados y entrenudos largos.

7. Los cultivares de hábito indeterminado que expresaron las mejores características morfológicas y anatómicas para altos rendimientos fueron: Big beef y IV-2700 y los de hábito determinado fueron Solarset y Pick ripe.

8. Para un arquetipo de plantas de jitomate en un sistema de producción en hidroponía bajo invernadero, con 9 pl.m², con despunte a tres racimos, se pueden incluir las siguientes características: altura de planta, longitud de entrenudos largos, alto número de hojas, tallo grueso, pedúnculo grueso, número intermedio de óvulos en ovario. Las características morfológicas y anatómicas que contribuyen a la conformación de un arquetipo de jitomate manejado con despunte a tres racimos y a una densidad de 9 pl/m² en hidroponía bajo invernadero son: longitud de entrenudos (5.86-6.29 cm), número de hojas (15-16), pedúnculos gruesos (áreas de xilema y parénquima) y número de óvulos (65-95).

V. LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: F. Nuez. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. pp. 132-166.
- Acosta, C.; C. Alfaro; E. Alfaro y Ma. T. Colinas L. 1986. Prácticas del curso de fisiología vegetal. Tercera ed. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Adams, M. W. 1982. Arquitectura de la planta y mejoramiento de las cosechas. Iowa State Journal of Research. 56(3):225-254.
- Adams, M. W. 1982a. Plant development and crop productivity. In: Handbook of agricultural productivity. Rechcigl, M. Jr. (Ed.) CRC Press. 1:151-183.
- Adams, M. W. 1982b. Plant architecture and yield breeding. Iowa State Journal of Research. 56 (3): 225-254.
- 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).
- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. In: J. G. Atherton y Rudich (Eds.). The tomato crop. Chapman y Hall. pp. 280-334.
- Alpi, A. P. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en invernadero. Tercera edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Ansewadekar, K. W. 1981. Effect of spacing, staking and pruning of tomato. Hort. Abst. 51(12): 800.
- Ashcrofl, W. J.; S. Gurban; R. J. Holland; C.T. Warers and H. Nirk. 1993. Arcadia and Goulburn: Determinate fresh market tomatoes for arid production areas. HortScience 28:(8) 854-857.
- Atherton, J. G. and G. P. Harris. 1986. Flowering. In: J. G. Atherton, and J. Rudich (Eds.). The tomato crop. A scientific basis for improvement. Chapman and Hall. London, England. pp. 171-173.
- Aung, L. H. 1976. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101(4):358-360.

- 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.
- Aung, L. H. and W.C. Kelly. 1966. Influence of defoliation on vegetative, floral and fruit development in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). Proc Amer. Soc. Hort. Sci. 89:563-570.
- Avitia, G. E. 1998. Esquemas para el curso de propagación de plantas. Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 45-72.
- Baca, G. A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de riegos, el sustrato y la densidad de siembra en los cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 172 p.
- 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.
- Bauerle, W. L. and D. W. Kretchman. 1973. Further studies on the effects of CO₂ enrichment and temperature on yield and quality of several new TMV-resistant tomato lines and cultivars. Research Summary of the Ohio Agricultural Research and Development Center. 66:17-20
- 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.
- Beadle, C. L.; S. P. Long; S. K. Imbomba; D. O. Hall and R. Olembro. 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems. Tycooly International, Oxford. 568 p.
- Begg, J. E. and N. C. Turner. 1976. Crop water deficits. Adv. Agron. 28:161-217.
- Besford, R. T. and G. A. Maw. 1975. Effects of potassium nutrition on tomato plant growth and fruit development. Plant Sci. 42:395-412.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología vegetal. AGT Editor, S.A. México D.D. pp. 328-329.
- Bishop, P. M. and C. P. Whittingham. 1968. The Photosynthesis of tomato plants in a carbon dioxide enriched atmosphere. Photosynthetica. 2:31-38.

- Bleasdale, J. K. 1977. Plant physiology in relation to horticulture. The VI Publishing Company, Inc. pp. 73-76.
- Bohner, J. and F. Bangerth. 1988. Effects of fruits set secuense and defoliation on cell number, cell size and hormone levels of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.) withing a truss. Plant Growth Reg. 7:141-155.
- Bonnemain, J. L. 1965. Sur le transport diurne des produits d'assimilation lors de la floraison chez la tomate. C.R. Acad. Sci. Paris. 260:2054-2057.
- Bonnemain, J. L. 1966. Sur les modalités de la distribution des assimilates chez la tomate et sur ses mécanismes. C.R. Acad. Sci. Paris. 262, 1106-1109.
- Bonnemain, J. L. 1969. Transport du ^{14}C assimilate á parti des feuilles de toamte en voie de croissance et vers celles-ci. C.R. Acad. Sci. Paris. 269:1160-1163.
- Bringas, G. L. 1999a. Canadá. Investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 5, Mayo 1999. México. pp. 18-20.
- Bringas, G. L. 1999b. Invernaderos globales. Argentina y México. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 4. Abril 1999. México. pp. 36-47.
- Calvert, A. 1969. Studies on the post-initiation development of flower buds of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of Horticultural Science. 44:117-126.
- Calvert, A. 1973. Environmental responses. In: The United Kingdom Tomato Manual. Growers Books. London, England. pp. 19-34.
- Cancino, B. J. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en Hidroponia bajo invernadero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Cancino, B. J.; F. Sánchez Del C. y P. Espinoza R. 1991. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en Hidroponia bajo invernadero. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 15 (73-74):26-30.
- Carlson, S. P. 1990. Biología de la producción de cultivos. AGT editor S. A. México D. F. pp. 45-62.
- Cásseres, E. 1971. Producción de hortalizas. 2ª Ed. Edit. Herrero Hermanos, S. A. San José, Costa Rica. pp. 27-67.

- Cásseres, E. 1984. Producción de hortalizas. IICA. A. San José, Costa Rica. 287 p.
- Castañón, C. M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Dirección General del Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 527 p.
- Castilla, N. 1995. Manejo del cultivo intensivo de jitomate con suelo. En Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed Mundi-Prensa. Barcelona, España. pp. 190-225.
- Castro, B. R. 1992. Respuesta a la aplicación de B-9 y tipo de poda en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en altas densidades de población bajo invernadero en sistema hidropónico. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 117 p.
- Contreras, A. P. 2001. Producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo un sistema hidropónico rústico en Rosamorada, Nayarit. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 1109 p.
- 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.
- Cronquist, A. 1981. Introducción a la botánica. Segunda edición. Edit. Continental. México. pp. 526-554.
- Cuartero, J.; R. Fernández-Muñoz y J. J. González-Fernández. 1995. Estréses abióticos. En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa Barcelona, España. pp. 352-383
- Curtis, P. J. 1996. Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 104-115.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Ed Mundi-Prensa Barcelona, España. pp. 43-91
- Chávez, R. C. y L. Bringas. 1999. Invernaderos de Israel. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 4, Abril 1999. México. pp. 50-55.
- Dali, N.; D. Michaud and S. Yelle. 1992. Evidence for the involvement of sucrose phosphate synthase in the pathway of sugar accumulation in sucrose-accumulating tomato fruits. Plant Physiol. 99:434-438.

- Damon, S.; J. Hewitt; M. Nieder and A. B. Bebbet. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. II. Phloem unloading and sugar uptake. *Plant Physiol.* 87: 731-736.
- 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.
- De Koning, A. R. G. Hurd. 1983. A comparison of winter-sown tomato plants grown with restricted and unlimited water supply. *J.Hort. Sci.* 58:106-112.
- De Santiago, J. 2000. Resultados del ajuste económico. En: productores de hortalizas. Globalización del mercado. Ed. Rick Meinick. Año 9, No 10. pp. 29-31.
- Demnitz-King, A. C. 1993. Sucrose metabolism in relation to import and compartmentation of carbohydrates in developing tomato fruit (*Lycopersicon spp.*) Ph. D. Thesis. Wye College, London University England.
- Dinar, 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.
- Dinar, M. and J. Rudich. 1985. Effect of heat stress on assimilate metabolism in tomato flower buds. *Annals of Botany.* 56: 249-257.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica.* 17:385-403.
- Donald, C. M. and J. Hamblin. 1983. The convergente evolution of annual seed crops in agriculture. *Adv. Agr.* 36:97-143.
- Douglas D. A.; F. G. Dennis Jr. and J. A. Flore. 1982. Accumulation of ^{14}C -labelled material from foliar-applied ^{14}C sucrose by tomato ovaries during fruit set and initial development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(1):19-23.
- El Ahmadi, A. B. and M. A. Stevens. 1979. Reproductive responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 104:686-91.
- Enriquez del V., J. R. 1993. Características de producción de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cv *Contessa* obtenidas in vitro. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. pp. 5-7.
- Esau, K. 1976. Anatomía vegetal. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. 779 p.

- Evans, L. T. 1983. Fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina. 384 p.
- FAO, 1998. Anuario de producción. Vol. 52. pp. 124-125.
- FAO, 2000. Anuario de producción. Vol. 54. pp. 10-18.
- Fisher, K. J. 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. *Scientia Horticulturae*. 7:37-42.
- Folquer. 1976. El tomate: Estudio de la planta y su producción. 2ª ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos aires, Argentina. 104 p.
- Font, Q. P. 1962. Plantas medicinales. Editorial Labor S.A. Barcelona, España. pp. 857-858.
- Galston, W. A.; J. P. Davies and L. R. Satter. 1980. The life of the green plant. 3ª Edition. Prentice-Hall, Inc. Englewood cliffs, N. J. 370 p.
- Garvey, T. C. and J. D. Hewitt. 1991. Starch and sugar accumulation in two accessions of *Lycopersicon cheesmannii*. *J. A.m. Soc. Hortic. Sci.* 116: 77-79.
- García, E. 1967. Apuntes de Climatología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 119. p
- García, F. 1999. Invernaderos globales. España. Productores de hortalizas. Año 8, Publicación No. 5, Mayo 1999. México. pp. 12-14.
- Gardner, F. P.; R. B. Pearce and R. L. Mitchel. 1985. Physiology of crop plant. Iowa State University Press. Iowa, EUA. 327 p.
- Garza, L. J. 1995. Apuntes de evaluación de proyectos. Departamento de Fitotecnia Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Gent, M. P. N.; J. H. Thorne and D. E. Aylor. 1979. Split-night temperatures in a greenhouse: The effects on the physiology and growth of plants. *Conn. Agr. Exp. Sta. Bull.* pp. 781
- George, A. R. 1989. Producción de semillas en las plantas hortícolas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 213-226.
- Gillaspy, G.; H. Ben-David and W. Gruissem. 1993. Fruit: A developmental perspective. *Plant Cell*. 5:1439-1451.

- González, I. A. 1991. El jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) aspectos relevantes para su cultivo en México. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 708 pp.
- González, R. A. 1967. Efecto de los diferentes sistemas de poda sobre el rendimiento y calidad de fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 72 p.
- Grange, R. I. and J. Andrews. 1993. Growth rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. J. Hortic. Sci. 68:747-754.
- Groenewegen, C.; G. King and B. F. George. 1994. Natural cross pollination in California commercial tomato fields. HortScience 29:1088.
- 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.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de horticultura cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 350 p.
- Haeder, H. E. and K. Mengel. 1972. Translocation and respiration of assimilates in tomato plants as influenced by K nutrition. Z. Pflanz. Boden. 131:139-147.
- Hall, D. O. and K. K. Rao. 1977. Photosynthesis. Second edition. Edward Arnold Publishers. England. 71 p.
- Hand, D. V. 1984. Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment. Acta Hort. 162:45-64.
- Hand, D. W. and Postlethwaite, 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.
- Hanna, H. Y. 1999. Assisting natural wind pollination of field tomatoes with an air blower enhances yield. HortScience 34 (5): 846-847.
- Harris, D. 1974. Hidropinics growing without soil. Trhird edition. A. Wheaton & Co. L.T.D. England. 218 p.

- Harris, D. 1978. Hidropinics. Davod & Charles Pub. Newton Abbot, London, England. pp.160-165.
- Harssema, H. 1977. Root temperature and growth of young tomato plants. Dept. of Horticulture. Agriculture University. Wagenigen, Netherlands. 85 p.
- Hay, R. K. M. and A. J. Walker. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical. John Willey and Sons, Inc. New York, EUA. 292 p.
- Hayward, H. E. 1953. Estructura de las plantas útiles. Editorial ACME, S.A. Tomo II. Buenos Aires, Argentina. pp. 547-574.
- Hendricks, S. E. 1958. Photoperiodism. Agronomy Journal. 50(12): 724-728.
- Hernández, G. A. 1993. Evaluación de tres densidades y dos tipos de poda en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Hewitt, J. D. y M. Marrush. 1986. Remobilization of Nonstructural Carbohydrates from vegetative tissues to the fruits in tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111 (1):142-145.
- 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. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. Plant Growth Reg. 2: 277-285.
- 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. Seminar Series 47, Cambridge. pp. 101-124.
- Ho, L. C. 1996. Tomato. In: Samsky, E. and A.A. Schasser fotoasimilate distribution in: Plant and Crop. Edit. Marcel Deber. Nueva York, EUA. pp. 709-728.
- Ho, L. C. and Shaw, A. F. 1977. Carbon economy and translocation of ^{14}C in leaflets of the seven leaf of tomato during leaf expansion. Ann. Bot. 41:833-48.
- Ho, L. C.; J. Hewitt D. 1986. Fruit development. In: J. G. Atherton,; J. Rudich, (Eds.). The tomato crop. University Press, Cambridge. pp. 201-239.
- Ho, L. C; V. Sjut 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.; R. I. Grange and A. J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell Environ.* 10:157-1622
- 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. and P. Adams. 1994. The physiological basis for high fruit yield and susceptibility to calcium deficiency in tomato and cucumber. *J. Hortic. Sci.* 69:367-376.
- Howlett, F. S. 1936. The effect of carbohydrate and of nitrogen deficiency upon microsporogenesis and the development of the male gametophyte in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Annals of Botany.* 50:767-804.
- Hurd, R. G. 1968. Effects of CO₂ enrichment on the growth of young tomato plant in low light. *Ann. Bot.* 32: 531-542.
- Hurd, R. G. and D. Price. 1977. Root death and mid-crop wilting of tomatoes in nutrient film. *Hort. Ind.*, January. 8-15.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. The Institute of Biology Studies in Biology. No. 96. First Published by Edward Arnold. 69 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.; A. J. Gay and A. C. Mountifield. 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.
- INIA. 1981. *Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del Campo Experimental Zacatepec, Morelos*. CAEZACA. México. 30 p.
- INIA-CIAS. 1977. *Guía para la asistencia técnica agrícola para el Valle de Culiacán*. SAG. pp. 69-75.
- Internet. 1997. [http:// www. mexico-business line.com](http://www.mexico-businessline.com).
- Internet. 2001. <http://hidroponia.itgo.com>.

- Iwahori, S. 1966. High temperature injury in tomato. V. Fertilización and development of embryo with special reference to the abnormalities caused by high temperature. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 35:379-86.
- Janick, J. 1965. *Horticultura científica e industrial*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 243-512.
- Johnson, C.; J. L. Hall and L. C. Ho. 1988. Pathways of uptake and accumulation of sugars in tomato fruit. *Ann. Bot.* 61: 593- 603.
- 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.
- Jones, H. G. 1992. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press. London, England. pp. 339-354.
- Jorge, S. M. 1999. Densidades, arreglos de plantación y niveles de despunte en jitomate cultivado en hidroponia bajo invernadero. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 98 p.
- Kerr, E. A. and L. Kribs. 1955. Electrical vibrators as an aid in greenhouse tomato production. *Agr. Inst. Rev.* 10:34.
- Khan, A. A. and G. R. Sagar. 1966. Distribution of ^{14}C -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. *Horticultural Research*. 7:61-69.
- Khan, A. A. and G. R. Sagar. 1969. Changing patterns of distribution of the product of photosynthesis in the tomato plant with respect to time and to the age of a leaf. *Ann. Bot.* 33:763-79.
- Kinet, J. M. 1977. Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*. 6:27-35.
- Kinet, J. M. 1977a. Effect of light condition on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hortic*. 6:15-16.

- Kinet, J. M.; D. Hurdebise; A. Parmentier and R. Stainier. 1978. Promotion of inflorescence development by growth substance treatment to tomato plants growth in insufficient light conditions. J. A. M. Soc. Hortic. Sci. 103:724-729.
- Kinet, J. M. and Sachs. 1984. Tomato. In: H. C. Wien The physiology of vegetable crops. CABI. Publishing. Cornell University. Ithaca, New York, EUA. 662 p.
- Kinet, J. M.; V. Zime; A. Linotte; A. Jaacqmond and G. Bernier. 1986. Resumption of cellular activity induced by cytokinin and gibberellin in treatments in tomato flowers targeted for abortion in unfavourable light conditions. Plant Physiol. 64:67-73.
- 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.
- Koning, A. N. M. 1996. Model predictions of optimum shoot density and truss size in glasshouse tomato. International Workshop on Greenhouse Crop Models. Acta Horticulture. 417:99-116.
- Kozlowski, T. T. 1976. Water supply and leaf Shedding. In: T. T. Kozlowski (Edit.), water deficits and plant growth. Academic Press. New York, EUA. pp. 4:191-232.
- Kretchman, D. W. and , F. S. Howlett. 1966. The relationship of day temperature and CO₂ enrichment to fruit set and yield of greenhouse tomatoes. Research Summary of the Ohio Agricultural Research and Development Center. 8:5-8.
- Lee, D. R. 1988. Vasculature of the abscission zone of tomato fruit: implications for transport. Can. J. Bot. 67:1899-1902.
- León, J. 1968. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA) de la Organización de Estados Americanos. San José, Costa Rica. pp. 197-202.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Ed. IICA. San José, Costa Rica. pp. 166-170.
- Leopold, A. C. and S. L. Lam. 1960. A leaf factor influencing tomato earliness. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 76:543-547.
- Leonard, M.; J. M. Kinet; M. Bodson and G. Bernier. 1983. Enhanced inflorescence development in tomato by growth substance treatments in relation to ¹⁴C-assimilate distribution. Physiologia Plantarum. 57:85-89.

- Liverman, J. L. and S. P. Johnson. 1957. Control of arrested fruit growth in tomato by gibberellins. *Science*. 125:1086-1087.
- Loomis, R. S. and W. A. Williams. 1963. Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Science* 3:67-72.
- Loomis, R. S. and W. A. Williams. 1969. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. In: *Physiological aspect of crop yield*. C. R. Dinauer. (editor). American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, EUA. pp. 27-51.
- Luna, R. M. y Martinez. 1995. Automatización del sistema de calefacción y ventilación en invernaderos. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Maher, M. J. 1976. Growth and nutrient content of glasshouse tomato crop grown in peat. *Sci. Hortic.* 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.
- Maroto, B. J. V. 1986. *Horticultura herbácea especial*. 2ª ed. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 340-383.
- Marr, C. and I. G. Hillyer. 1968. Effects of light intensity on pollination and fertilization of field and greenhouse tomatoes. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 92:526-30.
- Marrero, L. P. 1986. Influencia de algunos factores ecológicos sobre el crecimiento y desarrollo del tomate. ISCA. La Habana, Cuba. pp. 13-31.
- Martínez, P. F. 1984. Mejora de la fructificación del tomate en invernadero. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica. Madrid, España.
- Matallana, G. A. y J. I. Montero C. 2001. *Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación*. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 209 p.
- Mc Avoy, 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.

- Menary, R. C. and J. Van Staden 1976. Effect of phosphorus nutrition and cytokinins on flowering in the tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. Aust. J. Plant Physiol. 3:201-203.
- Mendoza, L. U. A. 1995. Evaluación de 15 variedades precoces e intermedias de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Chapingo, México. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.
- Mendoza, O. L. y J. Ortiz C. 1973. Estimadores del área foliar e influencia del espaciamiento entre surcos, la densidad de siembra y la fertilización sobre el área foliar en relación con la eficiencia en la producción de grano de dos híbridos de maíz. Agrociencia. 11:57-71.
- Milthorpe, F. L. y J. Moorby. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur, S. A. Argentina. 259 p.
- Mirafuentes, H. F. 1985. Efecto de la poda en la producción de dos genotipos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de campo e invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 66 p.
- Mitchell, R. L. 1970. Crop growth and culture. The Iowa State University Press. Ames. 349 p.
- Mohr, W. P. and M. Stein. 1969. Fine structure of fruit development in tomato. Can. J. Plant. Sci. 49:549-553.
- Molina G., O. 1975. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunos componentes fisiológicos del rendimiento y contenido de nitrógeno en la planta, en seis variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 77. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 66 p.
- Monselise, S. P.; A. Varga and J. Bruinsma. 1978. Growth analysis of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ann. Bot. 42:1245-1247.
- Monsi, M. and T. Saeki. 1953. Concerning the light factor in plant communities and its significance for dry-matter production. Japanese Journal of Botany. 14:22-52.
- Monteith, J. L. 1981. Does light limit crop production. In: Physiological processes limiting plant productivity. Johnson C. B. (Ed.). The Camelot Press. London, England. pp.23-38.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman Scientific and Technical. New York, EUA. 169 p.
- Moorby, J. and C. J. Graves. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. Acta Hort. 98:29-43.

- Moorby, J.; J. H. Troughton and B. G. Currie. 1974. Investigations of carbon transport in plants. II. The effects of light and darkness and sink activity on translocation. J. Exp. Bot. 25:237-244.
- Morck, J. J. and R. B. Pearce. 1975. An ideotype of maize. Euphytica. 24:613-623.
- Muñiz, V. A. 2000. Densidad de población y niveles de despunte en dos genotipos de jitomate de crecimiento determinado. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97 p.
- Muñoz, R. M.; J. R. Altamirano C.; J. Carmona M.; J. D. Trujillo F.; G. López C. y A. Cruz A. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: el caso del tomate rojo. Editorial La Fuente. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México. 120 p.
- Naylor, A. W. 1984. Fruction of the genus *Lycopersicon*. U. D. Agric. Misc. Publ. 382 p.
- 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.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Offler, C. E. and B. Horder. 1992. The celular pathway of short distance tranfer of photosynthates in developing tomato fruit. Plant Physiol. 99:41.
- Ortiz, C. J.; J. L. Mendoza O. y V. González H. 1985. La fisiotecnia en la formación de arquetipos vegetales. Ciencia y Desarrollo. 60:115-120.
- Ortiz, S. C. 1982. Apuntes de agrometeorología. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 47-55.
- Papadakis, J. 1980. Ecología de cultivos, pasturas y suelos. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina. 283 p.
- Papadopoulos, A. P. and D. P. Ormrod 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. Canadian Journal of Plant Science. 70(2):565-573
- Pearce, B. D.; R. Y. Grange and K. Hardwick. 1993. The growth of young tomato fruit In: Effects of temperature and irradiance on fruit growth in controlled environments. Journal of Horticultural Science 68(1):1-11

- Pendleton, J. W.; G. E. Smith; S. R. Winter and T. J. Johnston. 1968. Field investigations of the relationship of leaf angle in corn (*Zea mays* L.) to grain yield and apparent photosynthesis. *Agronomy Journal*. 60:422-424.
- Pérez, G. M. y R. Castro B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de Divulgación No. 3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science*. 59(1):1-13.
- Picken, A. J. F.; K. Stewart 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.
- Ponce, O. J. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 96 p.
- Quiros, C. F. and A. Marcias. 1978. Natural cross pollination and pollinator bees of the tomato in Celaya, Central México. *Hort. Science*. 13:290-291.
- Ramos E. y L. Rallo. 1992. Nueva horticultura. Tecnología y economía de los sistemas hortícolas intensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 57-135
- Randolph, A. 1999. Tips de producción intensiva: análisis de los diferentes sistemas de producción. *Productores de hortalizas* Abril de 1999, No. 4. pp. 16-18.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. 3ª. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Rick, C. M. 1978. The tomato. *Sci. Amer*. 239 (2):76-89.
- Rick, C. M. and W. H. Dempsey. 1969. Position of the stigma in relation to fruit setting of the tomato. *Botanical Gazette*. 130:180-6.
- 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.

- Rodríguez R. R.; J. M. Tavares, R. y J. A. Medina S. J. 1984. Cultivo moderno del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 205 p.
- Rodríguez R. R.; J. M. Tavares, R. y J. A. Medina S. J. 1989. Cultivo moderno del tomate. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Rodríguez, R. R.; J. M. Tavares R. y J. A. Medina S. J. 1997. Cultivo moderno de tomate. 2ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rodríguez, C. A. E. 1995. Efecto de la poda y densidad de población en el rendimiento y calidad de fruto de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 79 p.
- Rodríguez, Del R. A. 1975. El tomate para conserva. ISBN: Madrid, España. pp. 28-33.
- Rubio, C. M. A. 1994. Relaciones entre la arquitectura de la planta de maíz (*Zea mays* L.) y la intercepción y uso de la radiación fotosintéticamente activa. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 113-157.
- Rudich, J.; E. Zamski and Y. Regev. 1977. Genotypic variation for sensitivity to high temperature in the tomato: pollination and fruit set. Botanical Gazzete. 138:448-52.
- Russell, C.R. y D. A. Morris. 1982. Invertase activity, soluble carbohydrate and inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Ann. Bot. 49:89-98.
- Rusell, C. R. and D. A. Morris., 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lyccopersicon esculentum* Mill.) Annals of Botany 52:357-364.
- Rylski, I. 1979. Fruit set and development of seeded and seedless tomato fruits under diverse regimes of temperature and pollination. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 104:835-838.
- SAGAR. 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Centro de Estadística Agropecuaria. Tomo I. México, D. F.
- SAGAR. 2000. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Centro de Estadística Agropecuaria. Tomo I. México, D. F.

- Saito, T. and H. Ito. 1967. Studies on the growth and fruiting in the tomato. IX. Effects of the early environmental conditions and the cultural treatments on the morphological and physiological development of flowers and the flower drop. (I). Effects of night temperature, light intensity and fertility of bed soil. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 36:195-205.
- Saito, T. and H. Ito. 1972. Studies on the growth and fruiting in the tomato. XIII. Effects of light intensity and fertility of bed soil on the development of flower, especially that of the ovary and its locule. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 41:179-194.
- Salisbury, F. B. y W. Ross. 1992. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamericano. México, D. F. 759 p.
- 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. 1991. Apuntes para el curso de sistemas especiales para la producción de hortalizas y flores I. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 116 p.
- 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.
- Sánchez, 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, México. 189 p.
- Sánchez, Del C. F.; P. Espinoza R. y E. Hernández R. 1986. Producción superintensiva de jitomate en hidropónia bajo invernadero rústico. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 1-18 (mimeógrafo).
- Sánchez, Del C. F. y T. Corona S. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo. Serie Horticultura 1(2): 109-114.
- Sánchez, Del C. F. y E. Escalante R. 1988. Hidroponia. Principios y métodos de cultivo. Dirección General del Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Santiago, J.; M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana. 9 (1):59-65.

- Sarck, Z.; Wazynska, Z.; Kucewicz, O.; Witek-Czuprynska, B. 1988. Institute of Plant Biology, Warsaw Aggricultural University, 02-528 Warsaw, Poland. Acta- Physiologiae-Plantarum 10:2, 151-169.
- Sedgley, R. H. 1991. Appraisal of the Donald ideotype after 21 years. Field Crops Research. 26:93-112.
- Serrano, C. Z. 1978. Tomate, pimiento y berenjena en invernadero. Publicaciones de extensión agraria. Madrid, España. pp. 7-159
- Serrano, C. Z. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 445 p.
- Serrano, C. Z. 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Ed. Rali, S. A. Sevilla, España. pp. 517-538.
- Shishido Y. and Y. Hori. 1979. Studies on translocation and distribution of photosynthetic assimilates in tomato plants. III. Distribution pattern as affected by air and root temperatures in the night. Tohoku J. Agric. Res. 30:87-94.
- Shishido, Y.; N. Seyama; S. Imada and Y. Hori. 1989. Carbon budget in tomato plants as affected by night temperature evaluated by steady state feeding with $^{14}\text{CO}_2$. 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.
- Sholto, D. J. 1976. Advance guide to hydroponic. Drake publisher, Inc. New York, EUA. 333 p.
- Sión, M. F. 1979. Evaluación del rendimiento y calidad de fruto en cinco líneas de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Apodaca, N. L. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N. L.
- Sitta, G. 1988. El ABC de la agricultura protegida. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 31-35.
- Slack, G. and A. Calvert. 1977. Effect of truss removal on the yield of early sown tomatoes. Journal of Horticultural Science. 52:309-315.
- Snyder, R. G. 1977. Greenhouse tomato handbook. Mississippi State Univ. Est. Ser. Publ. 1828 p.

- Sobrinho, I. A. 1989. Tratado de horticultura herbácea. Hortalizas de flor y de fruto. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 352 p.
- Sonnevald, W. and L. Willnitzer. 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. *Plant Physiol.* 99:1267-1270.
- Stenvers, N. and Staden, D.L., 1976. Growth, ripening and storage of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.). 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.
- Stevenson, F. F y T. R. Mertens 1980. Anatomía vegetal. Serie instrucción programada. Ed. Limusa, México. 209 p.
- Tanaka, A. and 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, A.; K. Fujita and K. Kikuchi. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant. I. outline of growth and nutrient absorption. *Soil Sci. Plant Nutr.* 20:57-68.
- Taylor, I. B. 1986. Biosystematics tomato. In: The tomato crop. A scientific basic for improvement por Atherton y Rudich (Eds.) Chapman & Hall. pp.1-30.
- Thornley, J. H. M. and R. G. Hard. 1974. An analysis of growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO₂ concentrations. II. A mathematical model. *Ann. Bot.* 38:389-400.
- Tollenaar, M. 1991. Phisyological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science* 31:119-124.
- Torres, R. E. 1986. Agrometeorología. Ed. Diana. México, D. F. 150 p.
- Toth, R. 1982. An introduction to morphometric citology and its application to botanical research. *Ann. J. Bot.* 69:1694-1706.
- Trenbath, B. R., and J. Angus F. 1975. Leaf Inclination and crop production. *Field Crops Abstracts*, 28(5):241-243.
- Truchi, A. 1987. Guía práctica de horticultura. Ed. CEAC, S.A. Barcelona, España. pp. 214-215.

- Ucán, C. I. 1999. Efecto del manejo de la relación fuente-demanda sobre el tamaño del fruto del jitomate. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Valadez, L. A. 1993. Producción de hortalizas. Ed. Limusa. México. pp. 197-211
- Van Dongen, S. y L. Bringas. 1999. Producción de Invernaderos en Estados Unidos. Productores de hortalizas. Año 8, Publicacion No 5, mayo 1999. México. p. 17.
- Van Ravestjin, W. 1970. Setting of fruit in tomatoes peppers and strawberries. Annual Report of the Glasshouse Crops Research and Experimental Station for 1969, Naaldwijk. pp. 57-62.
- Varga, A. and J. Bruinsma. 1976. Roles of seeds and auxins in tomato fruit growth. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie. 80:95-104.
- Vavilov, N. I. 1951. Origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Roland Press. New York, EUA. pp. 90-99.
- Verkerk, K. 1957. The pollination of tomatoes. Neth. J. Agr. Sci. 5:37-54.
- Veselova, T. D. 1977. Abnormalities in reproductive organ development in tomatoes due to insufficient light. Biological Abstracts. 66:29713.
- Vicente, C.C. 1976. Fisiología vegetal. H. Blume Ediciones. Madrid, España. pp. 359-361.
- Villareal, R. 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Serie "Investigacion y desarrollo No. 6". Edit. CIDIA. San José, Costa Rica. pp. 65-147.
- Vriesenga, J. D. and S. Honma. 1974. Inheritance of tomato inflorescence. The Journal of Heredity. 65: 43-47.
- Walker, A. J. 1975. A study of the mechanism of unloading in the tomato fruit. Ph. D. Thesis. Sussex University, England.
- Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato carbon import and fruit growth. Ann. Bot. 41:813-23.
- Warren, W. J. 1967. Ecological data on dry-matter production by plants and plant communities. In: E. F. Bradley and O. T. Demmead (Editors), The Collection and Processing of Field data. Wiley, New York, EUA. pp. 77-123.

- Weaver, R. J. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. México. D.F. pp. 375-393.
- Weier, T. E.; C. R. Stocking y M. G. Barbour. 1980. Botánica. Quinta Ed. Edit. Limusa. México, D. F.
- Wereing, P. F. and J. Patrick. 1975. Source-sink relations and partition of assimilates. In: J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge Univ. Press. pp. 481-499.
- Widders, I. E. and O. A. Lorenze. 1979. Tomato root development as to potassium nutrition. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 104: 216-220.
- Wilson, C. L. y W. E. Loomis. 1968. Botánica. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México, D. F. 682 p.
- Wilson, J. W. 1972. Control of crop processes. In: Crop processes in controlled environments. A. R. Rees (Ed.) Academic Press. New York, EUA. pp. 7-30.
- Williams, W. A.; R. S. Loomis; W. G. Duncan; A. Dovrat and A. F. Núñez. 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci. 8:303-308.
- Wittver, S. H. and W. Robb, 1964. Carbon dioxide enrichment of greenhouse atmospheres for food crop production. Economic Botany. 18:34-56.
- Wolf, S. and J. Rudich. 1988. The growth rates of fruits on different parts of the tomato plant and the effect of water stress on dry weight accumulation. Scientia Horticulturae. 34:1-11.
- Yoshioka, H. and K. Takahashi. 1979. Studies on the translocation and accumulation of photosynthates in fruit vegetables. II. The translocation and distribution of ^{14}C -photosynthates in tomato plants during reproductive development and effects of topping and shading. Bull. Veg. Ornam. Crops Res. Stn. Japan. Ser. A. 71-84.
- Yoshioka, H. and K. Takahashi. 1981. Studies on the translocation and accumulation of photosynthates in fruit vegetables. V. Translocation of photosynthates in a day, and effects of light conditions and night temperature on translocation and distribution of ^{14}C -photosynthates in tomato plants. Bull. Veg. Ornam. Crops Res. Stn. Japan. Ser. A. 9, 63-81.

Yoshioka, H.; K. Takahashi; K. Arai and M. Nagaoka. 1977. Studies on the translocation and accumulation of photosynthates in fruit vegetables. I. Effects the night-and-root-temperatures as well as of the previous treatmennts with light intesities and nitrogen levels on the translocation an distribution of ^{14}C - photosynthates in tomato plants. Bull. Veg. Ornam. Crops Res. Stn. Japan. Ser. A. 3, 31-41.