

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**USO DE CYCOCEL Y PACLOBUTRAZOL EN LA PRODUCCIÓN
DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL.) EN DOSELES
ESCALERIFORMES BAJO INVERNADERO**

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

FRANCISCO BALDERAS RODRÍGUEZ

Chapingo, México. Septiembre de 2003



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



Instituto de Horticultura

**USO DE CYCOCEL Y PACLOBUTRAZOL EN LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL.) EN DOSELES
ESCALERIFORMES BAJO INVERNADERO**

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

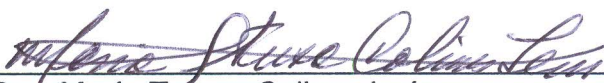
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR:



Dra. María Teresa Colinas León

ASESOR:



Dr. Aureliano Peña Lomeli

Chapingo, Estado de México. Septiembre de 2003

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor y respeto a mi madre, la Sra. Isabel Rodríguez Sosa, quien me ha apoyado incondicionalmente y me ha inculcado el ser una persona de bien.

A mis hermanas Mele, Vero y Faby por el cariño que siempre me han brindado.

A mi hermano Fer, por el apoyo moral y su compañía que siempre me han motivado.

Con mucho cariño a Elvira Rivera Núñez por su apoyo durante la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo por su valiosa dirección durante el desarrollo de este trabajo, pero sobre todo por su calidad humana.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por su colaboración en la revisión y observaciones para mejorar la calidad de ésta investigación.

A la Dra. María Teresa Colinas León por su participación en la revisión de este documento.

Datos biográficos del autor:

Francisco Balderas Rodríguez nació en Villahermosa, Tabasco el día 10 de Noviembre de 1975. Hijo de la Sra. Isabel Rodríguez Sosa y el Sr. Francisco Balderas Vázquez; tercer hijo de la familia de un total de cinco. Vivió los primeros 9 años de su vida en el poblado Estación Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. Posteriormente, la familia emigró al poblado Mezcalapa, del mismo municipio. Fue allí donde cursó sus estudios de primaria, secundaria y preparatoria. En el año 1995 al egresar del CBTa 95 Extensión No.1 se inscribe en la Universidad Autónoma Chapingo donde cursó un año de propedéutico y posteriormente la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, de la cual egresó el año 2000.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	8
1.2. Hipótesis	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1. Origen y taxonomía	10
2.2. Importancia mundial y nacional	11
2.4. Características morfológicas y anatómicas del jitomate	12
2.5. Requerimientos ambientales del jitomate	15
2.5.1. Temperatura	15
2.5.1.1. Efectos fisiológicos y anatómicos de la temperatura ambiental en la fase de crecimiento vegetativo y reproductivo	16
2.5.1.2. Efectos fisiológicos y anatómicos de la temperatura ambiental en la fructificación	16
2.6. Requerimientos de luz	17
2.7. Requerimientos de humedad del suelo	17
2.8. Aspectos edáficos	18
2.9. Importancia de la radiación solar	18

2.10. Estructura del dosel e intercepción de luz	20
2.11. Dosel de un cultivo	23
2.12. Fotosíntesis a nivel de dosel y rendimiento	25
2.13. Efectos de la radiación fotosintéticamente activa en un dosel vegetal	26
2.14. Factores que afectan la fotosíntesis	27
2.14.1. Efectos de la luz	27
2.15. Indicadores de la eficiencia fisiológica de una planta o dosel	30
2.15.1. Biomasa vegetal	30
2.15.2. Tasa de crecimiento relativo (R)	31
2.15.3. Índice de área foliar	32
2.15.4. Tasa de crecimiento del cultivo (C)	32
2.16. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel	33
2.17. Proporción de nueva materia seca translocada al producto de interés agronómico	36
2.18. Índice de área foliar y tasa de producción de materia seca	38
2.19. Densidad de población y distribución de plantas	39
2.20. Retardadores de crecimiento	42
2.21. Cycocel	42
2.22. Paclobutrazol	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1. Sitio experimental	52
3.2. Material vegetal	54
3.3. Diseño experimental	55
3.4. Aplicaciones de los retardadores	55

3.5. Manejo del cultivo	56
3.6. Caracteres evaluados	59
3.7. Análisis estadístico	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. Análisis global de tratamientos	62
4.1.1. Variables morfológicas	62
4.1.2. Rendimiento y sus componentes	67
4.2. Análisis de tratamientos por hileras	71
4.2.1. Análisis de las variables morfológicas	71
4.2.2. Análisis de los componentes de rendimiento	74
V. CONCLUSIONES	76
VI. LITERATURA CITADA	77

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Densidad de población, concentración y número de aplicaciones de paclobutrazol y cycocel aplicados a plantas de jitomate variedad Girona a diferente edad	56
Cuadro 2. Concentración de los elementos esenciales con los que se preparó la solución nutritiva durante el desarrollo de las plantas de jitomate	58
Cuadro3. Cuadrados medios de las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y altura después de la segunda aplicación para densidades y aplicaciones	63
Cuadro 4. Comparación de medias de las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar para el factor densidades	64
Cuadro 5. Comparación de medias de las diferentes aplicaciones de retardadores para las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y altura de planta después de la segunda aplicación	66
Cuadro 6. Grados de libertad y cuadrados medios de las variables, rendimiento por planta, rendimiento por unidad de superficie, número de frutos por planta, número de frutos por unidad de superficie, diámetro de fruto y peso promedio de fruto para densidades y aplicaciones	68
Cuadro 7. Comparación de medias para los niveles del factor densidad en las variables rendimiento por planta, rendimiento por metro cuadrado, frutos por planta, frutos por metro cuadrado peso promedio de frutos y diámetro promedio de fruto	68

Cuadro 8. Comparación de medias de las variables rendimiento por planta, rendimiento por metro cuadrado, número de frutos por planta, números de frutos por metro cuadrado, peso promedio de fruto y diámetro de fruto	71
Cuadro 9. Grados de libertad y cuadrados medios de las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo y área foliar	72
Cuadro 10. Comparación de medias de las variables morfológicas para las hileras inferior, intermedia y superior	74
Cuadro 11. Grados de libertad y cuadrados medios de las variables rendimiento por planta, rendimiento por unidad de superficie, número de frutos por planta, diámetro de frutos y peso promedio de fruto	75
Cuadro 12. Comparación de medias por hilera de las variables rendimiento por planta, número de frutos por planta, peso promedio de fruto y diámetro de fruto	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista general del invernadero de techo asimétrico bajo el cual se desarrolló el experimento	53
Figura 2. Tinas de lámina galvanizada donde se colocó el sustrato en que se desarrollaron las plantas	54

RESUMEN

La presente investigación se realizó en Chapingo, México; de junio a octubre de 2002 en un sistema hidropónico bajo invernadero. Se evaluó la respuesta de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Gironda a la aplicación de dos retardadores de crecimiento en dos densidades de población sobre caracteres morfológicos y componentes del rendimiento. El diseño experimental fue bloques al azar en parcelas divididas; en parcela grande se alojaron las dos densidades de población (30 y 40 plantas por m²) y en parcela chica se hicieron aplicaciones de cycocel y paclobutrazol a concentraciones de 500 y 50 mg L⁻¹, respectivamente y un testigo sin aplicación. Se manejaron dos formas de aplicación: una aplicación a los 28 días después de la siembra y tres aplicaciones a los 28, 50 y 80 días después de la siembra. Las plantas se dispusieron en hileras con orientación este-oeste en contenedores colocados a distinta altura para formar un dosel en forma de escalera, el sustrato usado fue arena de tezontle rojo y se irrigó durante todo el ciclo con una solución nutritiva balanceada. En la alta densidad se observó un incremento en el rendimiento comparada con la densidad más baja, aunque se afectó negativamente la calidad de los frutos. Los retardadores de crecimiento afectaron la altura temporalmente y redujeron el área foliar por planta, pero no influyeron en el rendimiento por unidad de superficie.

Palabras clave: Retardador de crecimiento, densidad de población, hidroponía, distribución de plantas, *Lycopersicon esculentum* Mill.

ABSTRACT

This research was carried out at Chapingo, Mexico State from June to October 2002 in a hydroponic system under greenhouse conditions. The response of Girona cv tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), to the application of two growth retardants in two plant densities on morphologic characters and yield components was evaluated. The experimental design was done with randomized blocks in split plots. In the large plot, two plant densities (30 and 40 plants per m²) were established while in the subplots, applications of cycocel and paclobutrazol at 500 and 50 mg L⁻¹ concentrations were done respectively and a control without application was established. Two types of application were used: one application was done on the 28th day after planting and three applications on the 28th, 50th and 80th days after planting. The plants were arranged in rows. Row direction was east-west in containers placed at different heights to form a canopy like a stairway. The substrate used was red tezontle sand. It was irrigated during the entire cycle with a balanced nutrient solution. In the high density block, an increase of yield was observed in comparison to the low density block, although the fruit quality was negatively affected. The growth retardants affected plant height temporarily and reduced the foliar area per plant, however they did not influence the yield per surface unit.

Key words: growth retardants, plant density, hydroponics, plant distribution, *Lycopersicon esculentum* Mill.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la producción agrícola presenta diversas limitantes debido a la interacción de factores naturales, económicos, sociales y políticos. Dentro de los factores naturales que limitan la agricultura del país se encuentran: la topografía accidentada, precipitación insuficiente, heladas, limitaciones en la calidad y disponibilidad del agua de riego y predios o parcelas pequeñas (Sánchez y Escalante, 1989).

Ante esta problemática se busca generar y adaptar tecnologías para reducir el efecto de los factores naturales adversos. Estas tecnologías van desde la colocación de acolchados y microtúneles hasta la construcción de invernaderos y el uso de la hidroponía. Por la alta inversión que implica la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, y a un manejo eficiente del espacio y del tiempo para alcanzar la máxima productividad. El uso de invernaderos en conjunción con un sistema hidropónico permiten reducir al mínimo las eventualidades del clima, optimizar el uso del agua y nutrimentos, para lograr un eficiente control del ambiente así como de plagas, enfermedades y maleza (Sánchez *et al.*, 1991).

El jitomate es un cultivo de alta demanda, en todo el año, y de alto valor económico en el mercado, por lo que se le ha puesto especial atención al incremento de sus rendimientos a través del mejoramiento genético de las variedades y del manejo de los diferentes cultivares; también se han desarrollado prácticas culturales tales

como podas, despuntes, tutorio y manejo de densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Cancino *et al.*, 1990).

En la Universidad Autónoma Chapingo, como producto de varios años de investigación, se ha logrado definir y validar comercialmente una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponía, que se basa en despuntar (eliminar la yema apical) las plantas para dejar sólo una, dos o tres inflorescencias (racimos florales) con una a dos hojas arriba de éstas; las plantas se conducen a un solo tallo, lo cual se logra mediante la eliminación de todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte, con el propósito de establecer altas densidades de población (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 1995).

Con el despunte, para dejar un racimo por planta, y la poda de brotes laterales se reduce la altura, de más de 3 m a sólo 50 cm, así como el área foliar por planta. Es decir, se induce a la planta a un crecimiento determinado, reduciendo notablemente la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que favorece a este último. Gracias a la reducción de la altura que se logra con el despunte temprano, se puede incrementar la densidad de población hasta 25 plantas por m² de superficie útil (18 plantas por m² de invernadero) en el caso de plantas conducidas a un racimo, lo que permite el establecimiento rápido y temprano de un índice de área foliar óptimo en el ciclo de cultivo, así como el mantenimiento del mismo durante todo el período de crecimiento del fruto. El poco rendimiento que se obtiene por planta se compensa con el alto número de plantas

que se pueden manejar por unidad de superficie, por lo que el rendimiento por unidad de superficie es similar al de los sistemas convencionales, pero se obtiene en menor tiempo (2.5 a 3 meses en el sistema intensivo contra 7 a 9 meses en el sistema convencional) lo que deriva en mayor rendimiento potencial anual. La principal ventaja del sistema de despuntes tempranos y altas densidades es la obtención de cosechas concentradas en aproximadamente un mes contra más de cuatro meses en los sistemas convencionales; esto permite programar la producción de jitomate para la época del año en que obtienen los precios más altos, logrando con ello mayor redituabilidad económica (Sánchez y Corona, 1994).

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

A medida que se descende en el dosel, el flujo fotónico que activa la fotosíntesis disminuye exponencialmente con la cantidad de material foliar encontrado (Monsi *et al.*, 1973). Las hojas inferiores del dosel, generalmente están limitadas en su producción de biomasa por la poca irradiancia que reciben, mientras que las de

arriba reciben más de la que necesitan. Una alta densidad de población y/o el aumento progresivo del índice de área foliar provocan que cada vez un mayor porcentaje de hojas deje de producir o incluso pierda materia seca (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

Según Gardner *et al.* (1990), si se mejorara la distribución de la radiación solar en todo el dosel (distribución más equitativa entre las hojas que lo conforman) se podría lograr una mayor producción de materia seca por día y, por lo tanto, un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo; para una misma irradiancia diaria se produce más biomasa en aquellos doseles en que la radiación incidente se distribuye más uniformemente entre todas las hojas; es decir, hay mayor producción con la mayoría de las hojas medianamente iluminadas que con la mitad de las hojas muy iluminadas y la otra mitad muy sombreadas.

Basándose en la flexibilidad de manejo de las plantas de jitomate y en la ubicación y movimientos diarios y estacionales del sol, Vázquez y Sánchez (2000), proponen buscar formas y disposiciones de plantas que mejoren la distribución de radiación solar (directa y difusa) en cada una de las hojas del dosel, permitiendo un incremento en la tasa de asimilación neta (gramos de materia seca producida por cada metro cuadrado de hoja por día) o un incremento en el índice de área foliar, sin una disminución importante de la tasa de asimilación neta, que se refleje en una mayor producción de biomasa por unidad de superficie por día. De esta manera, se podría obtener más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin

detrimento significativo del número de frutos por racimo ni del peso medio de los frutos, con lo cual se incrementaría el rendimiento y la productividad anual.

Jorge (1999) realizó un experimento que demuestra que la idea anterior es posible. En tinas orientadas norte-sur, formando un dosel en forma de escalera, manejó 25 plantas por m^2 de superficie útil distribuidas en cuadro real (cinco hileras de plantas por tina a 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras) y despuntando las dos hileras exteriores para dejar un racimo por planta, las dos hileras intermedias para dejar dos racimos por planta y la hilera central para dejar tres racimos por planta. De esta manera logró alojar 45 racimos por m^2 de tina contra 25 que se logran con el sistema de despunte a un racimo por planta ó 36 con el esquema a 3 racimos y 12 plantas m^2 (Sánchez *et al.*, 1998). Con esta disposición de plantas, formando un dosel piramidal, obtuvo un rendimiento de 26 kg m^{-2} , contra 20 kg m^{-2} en los tratamientos testigo de un racimo y 25 plantas por m^2 y de 3 racimos y 12 plantas por m^2 que son los que se aplican comercialmente.

Vázquez (2000) probó el formar, en cada tina de cultivo (de 1.2 m de ancho y con orientación este-oeste), doseles escaleriformes mediante el manejo de hileras de plantas de distintas alturas y con orientación este-oeste, que es el sentido longitudinal de las tinas. La forma de escalera se logró podando cada hilera de plantas a diferentes altura y dejándoles un diferente número de racimos por planta. Así, la hilera ubicada en el lado sur de cada tina se manejó con despuntes para dejar un racimo por planta (dando plantas de aproximadamente 50 cm de altura) y 10 plantas por metro lineal; la hilera central se despuntó para dejar tres racimos

por planta (dando plantas de alrededor de 1 m de altura) y 6.5 plantas por metro lineal; la hilera ubicada al norte de cada tina se dejó a 6 racimos por planta (dando plantas de aproximadamente 1.8 m de altura) y 4 plantas por metro lineal. Con esta disposición se lograron acomodar 44 racimos por m^2 de superficie útil, contra sólo 30 en el tratamiento testigo con dosel uniforme y 4 hileras de plantas manejadas a tres racimos y 10 plantas por m^2 de superficie útil. Con este arreglo de dosel escaleriforme el sol corrió en la dirección longitudinal de las tinas la mayor parte del ciclo de cultivo, que transcurrió durante parte del invierno y toda la primavera, con un ángulo de inclinación hacia el sur con respecto al cenit. De esta manera se logró que las hileras de plantas más grandes no sombrearan a las hileras de plantas más chicas. El rendimiento fue de 30 kg m^{-2} , en tanto que en el testigo manejado con dosel uniforme y cuatro hileras de plantas a tres racimos (36 racimos por m^2 útil) el rendimiento fue de 21 kg m^{-2} .

Méndez (2002), con la idea de mantener la ventaja de concentrar la cosecha en las ventanas donde el precio del producto es mayor, evaluó un sistema escaleriforme basado en plantas de la misma edad y nivel de despunte (tres racimos por planta), pero con hileras de plantas colocadas en tinas a distintos niveles (formando cuatro escalones) con orientación este-oeste. La diferencia de altura entre escalones fue de 30 cm; la distancia entre pasillos fue de 70 cm. Utilizó el cultivar Pick Ripe de hábito semideterminado, encontrándose que la diferencia en altura entre escalones fue suficiente para evitar el sombreamiento entre hileras de plantas, pues las plantas despuntadas a tres racimos no sobrepasaron los 50 cm. Obtuvo que el rendimiento por unidad de superficie fue estadísticamente superior a los

testigos con doseles uniformes superando los 25 kg m^{-2} , lo cual representa un avance importante en el “paquete tecnológico” desarrollado, pues al permitir concentrar una alta producción en un periodo de tiempo muy corto, es posible programar la cosecha en las ventanas de mercado donde los precios son altos, maximizando las ganancias de los productores.

No obstante lo anterior, existe el problema de que los cultivares que actualmente tienen preferencia en el mercado selecto de los productos de invernadero por el tamaño y calidad de los frutos que producen (y que se reflejan en el costo unitario), son los de tipo bola de hábito indeterminado y de alto costo (Gironda, Attention, Gabriela, Alcudia, Trust, etc.). Estos cultivares despuntados a tres racimos alcanzan alturas de 80 cm a más de 1 m (Regalado, 2002), lo que dificulta su manejo en sistemas escaleriformes como el propuesto por Méndez (2002), pues con 30 cm de diferencia de altura entre tina y tina, una buena parte del follaje de cada hilera se sombrearía, perdiéndose en gran medida el beneficio que supuestamente aporta este sistema. Una forma de atacar este problema sería incrementar la diferencia de altura entre tinas de 30 cm a unos 70 cm, lo cual ocasionaría un encarecimiento del sistema por los soportes de las tinas y la mayor altura que se necesitaría para el invernadero; se tendría también una mayor dificultad de operar, pues las plantas en el nivel superior llegarían a más de 3 m de altura y hacia el invierno proyectarían una banda de sombra más ancha, lo que afectaría las tinas del nivel inferior después del espacio dejado por los pasillos.

Se sabe que el uso de retardadores de crecimiento como el cycocel y el paclobutrazol pueden disminuir el porte y altura de las plantas de jitomate, sin disminuir o incluso incrementando el rendimiento por planta al estimular la aparición de más flores por racimo (Weaver, 1976; Metwally *et al.*, 1979; Jankiewics, 1989; Rojas y Ramírez, 1993).

La idea central del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de un cultivar de hábito indeterminado de gran aceptación en el mercado (Gironda) bajo un sistema de dosel escaleriforme, con plantas despuntadas a tres racimos y una diferencia de altura entre hileras de 40 cm, buscando reducir la altura y el porte de la planta mediante la aplicación de los retardadores de crecimiento cycocel y paclobutrazol. Adicionalmente se planteó evaluar si el menor porte de las plantas permite su manejo a una densidad mayor con una distancia de 12.5 cm entre ellas.

1.1. Objetivo

Estudiar el efecto de la aplicación del cycocel y paclobutrazol en dos densidades de población, sobre los componentes morfológicos y de rendimiento del cultivar Gironda de jitomate despuntado a tres racimos por planta y manejado en forma de dosel escaleriforme, con hileras de plantas colocadas a distinta altura y orientadas en dirección este-oeste.

1.2. Hipótesis

Con la aplicación de cycocel o paclobutrazol a plantas de jitomate de dos, cuatro y ocho semanas después de la siembra, es posible obtener plantas de menor altura y menor área foliar lo que permitirá incrementar la densidad de población, haciendo más eficiente el uso de la radiación solar y por lo tanto incrementar el rendimiento por unidad de superficie; bajo el sistema de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a distinta altura, con orientación este-oeste y formando un dosel escaleriforme.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y taxonomía

Vavilov (1951) y Picken *et al.* (1986) señalan que el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) probablemente es originario de la costa oeste de Sudamérica tropical; consecuentemente, aunque puede crecer bajo un amplio rango de condiciones, no es tolerante al frío ni a condiciones de exceso de humedad en el suelo.

El jitomate es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. De acuerdo con Hunziker (1979), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Dicotyledóneas

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Subfamilia: Solanoideae

Tribu: Solanae

Género: *Lycopersicon*

Especie: *esculentum*

El género *Lycopersicon* es relativamente pequeño en número de especies dentro de la familia solanaceae, ya que lo conforman sólo ocho especies, en tanto que, el género *Solanum* está integrado por más de 1,500. Las ocho especies que conforman el género *Lycopersicon* son: *L. esculentum*, *L.*

pimpinellifolium, *L. cheesmanii*, *L. parviflorum*, *L. chmielewskii*, *L. hirsutum*, *L. chilense* y *L. peruvianum* (Picken et al., 1986).

2.2. Importancia mundial y nacional

El jitomate es la hortaliza más cultivada en el mundo, para el año 2002 la producción mundial fue de 107'972,098 toneladas, siendo China el País con la mayor producción (25,466,211 t), seguido por países como Estados Unidos de América (10,250,000 t), Turquía (9,000,000 t), India (8,500,000 t), Italia (7,000,000 t). En ese mismo año México ocupó el décimo lugar en producción de esta hortaliza, con una producción de 2,100,000 t (FAO, 2002).

El jitomate es la principal hortaliza de exportación en México. Su participación en la balanza comercial es fundamental en la generación de divisas, ocupando el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias (INEGI, 2002). Además tiene importancia desde el punto de vista socioeconómico, ya que es una fuente de empleo, pues se calcula que para el proceso inmediato de producción ocupa 140 jornales por hectárea y de la alimentación humana al aportar principalmente vitaminas C y A y algunos minerales (González, 1991).

Para el año 2000, la superficie cosechada de jitomate en México fue de 74,629 ha (INEGI 2002), siendo los estados con mayor superficie cosechada: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Jalisco y Nayarit, en orden de importancia (INEGI, 2002).

2.3. Características morfológicas y anatómicas del jitomate

El jitomate es una planta anual que en condiciones favorables puede vivir y fructificar varios años. No obstante, se prefiere la siembra anual por razones de carácter práctico (Nuez y Esquinas-Alcazar, 1995).

El sistema radicular de jitomate es muy desarrollado y está notablemente extendido. Algunas raíces alcanzan hasta 150 cm de longitud. La mayor parte de las raíces está situada en la capa del suelo que se extiende desde los 5 cm hasta los 60-70 cm de longitud. En las etapas iniciales del desarrollo de las plantas la raíz principal es muy desarrollada. Más tarde otras raíces laterales se igualan con ella debido a la rapidez de su crecimiento, por lo cual resulta difícil diferenciar unas de otras. Además de raíces verdaderas, la planta de jitomate fácilmente forma raíces adventicias en cada parte del tallo que se encuentra en contacto con el suelo húmedo y suelto. Las plantas establecidas por semillas directamente en el área permanente tienen un sistema de raíces situado a mayor profundidad, en comparación con las plantas que han sido trasplantadas (Maroto, 1986).

El tallo de las plantas jóvenes de jitomate es cilíndrico, más tarde se hace angular. Está cubierto de finos vellos; unos más largos que otros. El tallo de jitomate ramifica con profusión. Las ramificaciones se forman en las yemas de las hojas y se denominan hijos. Los hijos aparecen temprano y crecen con más vigor en las yemas de las hojas que están situadas inmediatamente debajo de

los racimos. La capacidad de ramificar de las diferentes variedades es distinta, unas ramifican más que otras. En algunas variedades el tallo principal y todas sus ramificaciones terminan en racimo. El crecimiento vertical de algunas variedades es limitado, por lo que se les denomina de hábito determinado. Lo más característico de este grupo es la rápida conversión de la yema apical de las ramificaciones de vegetativa en generativa y la posibilidad limitada de crear ramificaciones. Estas variedades maduran considerablemente más temprano. En el otro grupo de variedades, el racimo ya terminado en el seno de la última hoja forma un hijo que prosigue el crecimiento del tallo principal. Por tanto, el crecimiento vertical no está limitado por las características morfológicas de la planta. Según las condiciones ambientales y el modo de cultivo, el tallo puede alcanzar una gran altura. Este grupo de variedades se les denomina de hábito indeterminado (Chamarro, 1995; Picken *et al.*, 1986).

Las hojas son compuestas, suaves y carnosas, de tamaño variable según el cultivar, la posición y las condiciones ambientales. Las dos primeras son simples, de menor tamaño, con menos folíolos; las siguientes pueden alcanzar unos 50 cm de largo, con un folíolo terminal grande y hasta 8 folíolos laterales también grandes, los que a su vez pueden llegar a ser compuestos. Puede haber muchos folíolos simples más pequeños intercalados entre los grandes. Los folíolos grandes son generalmente peciolados, lobulados irregularmente y con bordes dentados; de la misma manera que en el tallo, presentan pelos glandulares causantes del olor característico de la planta (Russell y Morris, 1983; Picken *et al.*, 1986; Maroto, 1989).

La inflorescencia es cimosa, el eje principal está formado por ramas de distintos tipos, cada una de las cuales termina en flor. Puede ser simple (con un solo eje) o compuesta (eje de varias ramas). Según la longitud de las ramas de distintos tipos, el racimo puede ser más compacto o más disperso. En las variedades de hábito determinado, el primer racimo se forma después de 6 a 7 hojas, mientras que en las indeterminadas aparece después de 7 a 10 hojas. En las variedades indeterminadas con frecuencia los racimos se forman separados por tres hojas, y en las determinadas, a través de una o dos hojas o sin formar hojas entre racimos (Atherton y Harris, 1986).

Las flores están unidas al eje del racimo por medio de pedúnculos cortos. Se componen de seis sépalos y seis pétalos amarillos que en su base están unidos entre sí y también unidos a los filamentos de los estambres (González, 1991).

El fruto es una baya, se compone de semillas, de lóculos (donde están las semillas), de los tabiques del ovario y de la piel que recubre al fruto. El número y la extensión de los lóculos en los frutos es uno de los factores determinantes en cuanto a la caracterización de las variedades. Los frutos de jitomate se diferencian en forma, tamaño, coloración, cualidades gustativas, etc. Por su forma pueden ser deprimidos, pseudoovalados, alargados, en forma de pera, etc, lisos o rugosos. Las variedades de frutos rugosos casi no tiene importancia económica. Por el tamaño, los frutos varían dentro de límites muy amplios: desde algunos gramos (variedades silvestres) hasta más de 500 gramos (Chamarro, 1995).

Las semillas son deprimidas, ligeramente alargadas del lado del hilio. La capacidad de germinar se mantiene hasta 5 a 6 años si las condiciones de conservación son favorables (González, 1991).

2.4. Requerimientos ambientales del jitomate

2.4.1. Temperatura

El crecimiento y desarrollo del jitomate comprende de tres a cinco etapas, con duración diferente según el tipo (determinado o indeterminado), ambiente y técnicas de producción. En igualdad de condiciones lo normal es que la duración de cada etapa sea mayor en los tipos indeterminados. La germinación, el crecimiento, floración y fructificación se dan mejor bajo un ritmo alternante de temperatura entre día y noche que a una temperatura constante. El jitomate es una planta que no soporta frío, a temperaturas de 0 °C la planta muere. Su temperatura base es de 10 °C, su óptima de 22 °C, es una planta termoperiódica diaria, requiere una variación de temperatura entre 10 y 12 °C día-noche (Maroto, 1989).

2.4.1.1. Efectos fisiológicos y anatómicos de la temperatura ambiental en la fase de crecimiento vegetativo y reproductivo

Con valores mayores de 35 °C las hojas se hacen pequeñas y los tallos delgados, el crecimiento cesa y la fotosíntesis se deprime. Con temperatura media diaria de 10 a 13 °C se acorta el número de nudos sobre los que se desarrolla el primer racimo

floral. Valores menores de 12 °C retrasan la apertura de las primeras flores. Cuando se tienen temperaturas medias menores de 15 °C la floración se detiene. De 12 a 15 °C aumenta el número de flores por inflorescencia. Con temperaturas mayores de 30 °C se reduce el crecimiento del tubo polínico, provocando esterilidad y una polinización insuficiente. Hay heterostilia, por lo tanto aborto (Cuartero *et al.*, 1995).

2.4.1.2. Efectos fisiológicos y anatómicos de la temperatura ambiental en la fructificación

Maroto (1989) indica que con temperaturas mayores de 29 °C se inducen frutos pequeños, menor número, más ácidos totales, menor cantidad de ácido ascórbico y mala calidad. Temperaturas nocturnas promedio menores de 10 °C y mayores de 22 °C producen escasa fructificación en tanto que diurnas mayores de 32 °C y/o nocturnas mayores de 25.5 °C aumentan el aborto tanto de flores como de frutos. Los límites térmicos de fructificación normal son: 10 a 13 °C y un máximo de 30 a 35 °C. A temperaturas diurnas mayores de 30 °C y nocturnas mayores de 13 °C ocurre malformación de frutos. La coloración (formación de licopeno) se inicia de 13 a 15 °C, la óptima es de 22-26 °C y máxima de 29 °C.

2.5. Requerimientos de luz

A mayor intensidad, dentro de los límites establecidos, mayor crecimiento. Bajas intensidades provocan menor crecimiento, plantas débiles (ahiladas y por lo tanto más susceptibles a patógenos y cambios bruscos del ambiente). Las

bajas intensidades provocan también aborto de flores y malformación de frutos, causado por la disminución del crecimiento del tubo polínico. Cuando se tienen días cortos (menores de 12 horas) el ciclo vegetativo se alarga y el inicio de fructificación es tardío (Atherton y Harris 1986; Picken *et al*, 1986).

2.6. Requerimientos de humedad del suelo

Se considera que el jitomate es una planta de exigencias relativamente bajas en cuanto a humedad del suelo. Esto es consecuencia de la armonía estructural entre el sistema radical (toma fácilmente el agua) y sistema foliar (la gasta con dificultad), por lo que se considera una planta con alta economía hídrica. Biológicamente, desde el establecimiento del cultivo hasta el fin del crecimiento de primeros frutos, la exigencia de agua es poca, de tal forma que con el 60 a 70 % de humedad aprovechable satisface óptimamente sus necesidades. Una deficiencia de humedad provoca reducción del crecimiento, reduce la etapa de crecimiento y reducción de la vida útil de las hojas (Resh, 2001).

Gardner *et al.* (1990) y Maroto (1989) indican que en la etapa de desarrollo reproductivo el jitomate requiere un 70 a 80 % de humedad aprovechable. Las deficiencias de agua provocan aborto de flor por falta de fecundación-fertilización al desecarse rápidamente tanto el grano de polen como el estigma, reducción del tamaño del fruto, daños por golpe de sol al reducirse la cobertura foliar como consecuencia de modificar la exposición de las hojas así como su tiempo de vida. Excesos de humedad causan amarillamiento del follaje, aborto

de flor y fruto e incidencia de enfermedades. Cambios bruscos en la humedad causan aborto de flor y fruto y agrietamiento del fruto.

2.7. Aspectos edáficos

El mejor desarrollo del jitomate se tiene en texturas ligeras. Deben evitarse los suelos fuertemente compactados. Los suelos deben ser profundos con buen drenaje. La planta de jitomate es una planta moderadamente resistente a la salinidad. El pH en que mejor se desarrolla es de 6.5 a 6.9, aunque tolera pH relativamente elevado (8.5) o bajo (5.8). Con estos últimos, el rendimiento puede reducirse (Folker, 1979; Maroto, 1989).

2.8. Importancia de la radiación solar

Después del agua, la radiación solar es el principal factor que regula la vida de las plantas (Benavides *et al.*, 1993). La radiación solar es esencial para el crecimiento de la planta, porque esta provee energía para fotosíntesis y muchas de las señales ambientales que regulan el desarrollo de las plantas (Thomson y White, 1991). Las señales de luz también son empleadas a través del ciclo de vida para sincronizar el desarrollo, permitir reacciones apropiadas a la competencia, e iniciar ventaja oportuna a las perturbaciones ambientales (Smith, 1995).

Dado que las plantas dependen de la radiación solar como fuente primaria de energía, han desarrollado mecanismos para medir la intensidad luminosa (fluencia

o densidad de flujo), dirección, duración y calidad, los cuales son componentes básicos del entorno lumínico de la vegetación (Smith, 1982; Vierstra, 1993).

En ausencia de suficiente radiación fotosintéticamente activa (RFA), una planta desarrolla un estado conocido como etiolación; esto es, tallo ahilado con entrenudos largos y hojas pequeñas (Benavides *et al.*, 1993).

En una comunidad vegetal y dependiendo de la topografía, orientación y de la estructura del dosel vegetal, la radiación global que incide sobre las plantas puede descomponerse en los siguientes elementos (Fitter y Hay, 1981; Holmes y Smith, 1977):

- a) Radiación solar directa,
- b) Radiación difusa del cielo,
- c) Radiación reflejada y transmitida por tejidos vegetales y
- d) Radiación reflejada por el sustrato.

Considerando las posibles combinaciones de estos componentes, la variabilidad en características del ambiente de radiación de un dosel es muy amplia y depende, entre otras cosas, de la cantidad relativa de huecos en el dosel, del número de capas de vegetación y de la altura de las mismas, de la densidad y arreglo espacial de las plantas, de las propiedades espectrales de los tejidos vegetales y de la cantidad de área foliar presente por unidad de superficie (Gates, 1980; Holmes y Smith, 1977; Welles y Norman, 1991).

Welles y Norman (1991) mencionan que el espacio de un dosel presenta gradientes de intensidad y balance espectral de la radiación en el sentido vertical y

horizontal. Los principales cambios se refieren a la irradiancia de RFA, al balance entre los rangos espectrales rojo/rojo lejano (R:RL) y a la irradiancia relativa del azul (400-490 nm) respecto al rojo (640-700 nm).

2.9. Estructura del dosel e intercepción de luz

El arroz I. R. 8, llamado arroz milagroso, representó una de las contribuciones más significativas de la fisiología al mejoramiento de los rendimientos de las plantas cultivadas. En comparación con las variedades más antiguas, la variedad I. R. 8 tiene mayor tasa de fotosíntesis por planta. Esto se logró sin modificar el proceso fotosintético, sino mas bien, mediante la selección de un arquetipo de planta que permita en una población de plantas la penetración de más luz a las hojas inferiores, lo cual aumenta la proporción de luz incidente interceptada por el dosel. Las modificaciones de la estructura del dosel, con el propósito de una intercepción más homogénea de la radiación entre las hojas, mejoran notablemente los rendimientos. Cuando se analiza la fotosíntesis a nivel de dosel, se encuentra una diversidad entre varios tipos de vegetación. Cada comunidad tiene su patrón característico para exponer superficies fotosintéticas y por lo tanto para interceptar el flujo fotónico que activa la fotosíntesis. La presencia de muchos estratos de hojas y la disponibilidad y dirección del flujo fotónico que cambia diariamente complican el análisis. La densidad del flujo fotónico en cada nivel de un dosel, con frecuencia, es el factor determinante de la tasa de asimilación de CO_2 de hojas individuales. Para apreciar la contribución de hojas individuales a la fotosíntesis del dosel, primero se debe

considerar cómo varía el flujo fotónico hacia abajo a través de los diversos estratos de la vegetación (Nobel y Long, 1988).

La fotosíntesis de un cultivo depende tanto de la distribución del flujo fotónico entre los estratos como de la radiación total absorbida por el dosel. La absorción depende del ángulo de la hoja, la elevación del sol con respecto al horizonte, la anchura finita del disco solar, los cambios en la distribución espectral del flujo fotónico a través del dosel, las múltiples reflexiones del flujo de fotones dentro del dosel y de la disposición o arreglo de las hojas dentro del dosel (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Gardner *et al.*, 1990).

Según Monsi *et al.* (1973), a medida que se descende en el dosel, el flujo fotónico que activa la fotosíntesis disminuye más o menos exponencialmente con la cantidad de material foliar encontrado, de acuerdo a la ecuación $I=I_0 e^{-KL}$; donde:

I = RFA en un estrato cualquiera del dosel,

I_0 = RFA incidente arriba del dosel,

e = Base de los logaritmos neperianos,

K = Coeficiente de extinción de luz en el dosel y

L = Índice de área foliar por encima del estrato donde se midió I .

Tanto para un dosel heterogéneo de vegetación natural (bosque, matorral, etc.) como para un dosel relativamente homogéneo de zonas de cultivo o plantaciones

forestales, la redistribución vertical y calidad espectral en el interior de dosel y bajo el mismo nivel del suelo, es resultante de las propiedades espectrales de los tejidos vegetales y del arreglo espacial o arquitectura de las plantas (Welles y Norman, 1991). Un dosel vegetal es una eficiente trampa de luz, ya que captura o absorbe el mayor espectro de radiación incidente; sin embargo, puede verse disminuido por las estructuras epidérmicas (pubescencia, tricomas, etc.), las cuales modifican la reflectancia foliar; igualmente la orientación de las láminas foliares y la tonalidad clara u oscura de las hojas permite mayor o menor absorbancia de radiación (Gates, 1980).

Una característica distintiva del sombreado por vegetación es la fuerte modificación en el valor del cociente rojo:rojo lejano ($R:RL$), el cual modifica el fotoequilibrio del fitocromo y funciona como un detector molecular de la presencia de sombreado por otras plantas, modificando los diferentes procesos de desarrollo de las mismas (Ballaré *et al.*, 1990). Una función importante del fitocromo en plantas cultivadas bajo luz es actuar como un mecanismo propio para evitar la sombra (Salisbury y Ross, 1994); de aquí que las hojas alteren su morfología y composición, respondiendo adaptativamente al ambiente lumínico. El sombreado por las hojas superiores también altera la calidad de la luz, porque la clorofila absorbe fuertemente la luz roja, pero no la radiación del rojo lejano. Un gradiente resultante de la relación rojo/rojo lejano de la luz en un dosel tendrá un papel regulador en las reacciones controladas por el fitocromo u operación de dos fotosistemas en las hojas (Katsushiko *et al.*, 1992).

En general el cociente $R:RL$ tiende a ser más bajo para los doseles herbáceos densos que para los de un bosque, ya que en este último caso se tiene mayor contribución de la radiación de penumbra. Además, en el dosel natural la modificación en la calidad y cantidad de la radiación bajo el dosel depende del índice de área foliar (IAF), de la calidad de estructuras que funcionen como objetos opacos (troncos y ramas gruesas) y de las características morfológicas y anatómicas de las hojas (Holmes y Smith, 1977; Fitter y Hay, 1981).

2.10. Dosel de un cultivo

Al contrario de un dosel de vegetación natural, en donde la redistribución espacial de los individuos depende principalmente de los factores ambientales, en el dosel de un cultivo la distribución espacial depende de la acción humana y es generalmente simétrica y uniforme (Benavides *et al.*, 1993). La variación espectral depende de las características del sitio de cultivo, el color del suelo y de prácticas culturales como: la variación en la densidad poblacional, la poda, el uso de cultivos asociados, la orientación azimutal de los surcos o camas de siembra, la incorporación de material vegetal al suelo como acolchado, el uso de películas plásticas como acolchado del suelo, el uso túneles e invernadero y el uso de sombras neutras (malla sombra y cubiertas flotantes). En todos los casos es importante considerar que la modificación del balance espectral determina la elección entre diferentes estrategias de crecimiento y desarrollo de las plantas, y que estas sean especialmente sensibles en el estado de plántula a las señales del entorno; igualmente se sabe que las hojas más recientemente

desarrolladas son las más sensibles en una planta bien establecida en el campo (Kasperbauer, 1988; Kaul y Kasperbauer, 1988).

En cuanto a densidad poblacional, las plantas sembradas con baja densidad suelen desarrollar amacollamiento o ramificación profusa y muestran menos altura y tejidos más densos, ocurriendo lo contrario bajo poblaciones de alta densidad (Hamed y Mohamed, 1987). De las características más notables son el alargamiento del tallo y la alta relación entre la biomasa aérea/biomasa subterránea. Las plantas de la misma edad y genéticamente homogéneas desarrollan tallos más largos, menor ramificación o amacollamiento y un sistema radical más pequeño, cuando crecen en alta densidad poblacional en, con una respuesta contraria en densidades de población bajas (Kasperbauer y Hunt, 1992).

La orientación de hileras de plantas con dirección norte-sur o este-oeste modifica la calidad espectral, lo cual puede afectar el crecimiento y rendimiento de las plantas. Esto se ha visto en soya y frijol. El balance espectral se modifica en N-S con un R:RL más bajo en los surcos E-O, lo cual expresa mayor biomasa seca y semilla, ya que hay mayor reparto selectivo de fotosintatos hacia la parte aérea (Andersen *et al.*, 1985).

El ambiente de radiación encontrado en un invernadero difiere del ambiente de radiación externo. Los factores involucrados en dicha diferencia son principalmente el diseño y orientación espacial de la estructura, el tipo de material utilizado en la cubierta y el uso de iluminación suplementaria (Hensinger, 1992).

Las cubiertas plásticas fluorescentes incrementan la radiación en el rojo y la relación del rojo/rojo lejano, incrementando así la fotosíntesis y afectando la fotomorfogénesis. El uso de estos materiales como cubierta para invernadero aumentó el rendimiento en peso de jitomate en 20 %, además de un incremento de un 27 % en el número de brotes en rosales (Weiss, 1995).

2.11. Fotosíntesis a nivel de dosel y rendimiento

Según Gardner *et al.* (1990), la agricultura es básicamente un sistema de explotación de la energía solar a través de la fotosíntesis. Un estudio fisiológico de un cultivo demuestra que el rendimiento de las plantas cultivadas depende del tamaño y la eficiencia del sistema fotosintético. Una estrategia para la producción eficiente está dada por una máxima interceptación de luz, por la eficiencia con que esta radiación interceptada por el dosel es usada en la producción de materia seca y por la proporción de nueva materia seca que es traslocada al producto de interés agronómico. Por ello, para lograr un alto rendimiento se debe hacer una manipulación de la densidad de plantación, del arreglo topológico y de la promoción rápida del crecimiento de las hojas (Pearce, 1993).

El dosel de un cultivo intercepta luz directa y luz difusa. Las hojas de la parte superior del dosel reciben ambos tipos de radiación, mientras que las hojas mas bajas del dosel reciben una baja proporción de luz directa (Gardner *et al.*, 1990).

2.12. Efectos de la radiación fotosintéticamente activa en un dosel vegetal

En un dosel de plantas existen diferencias en la captación de energía solar. La principal diferencia en las respuestas lumínicas de hojas individuales y plantas completas o grupos de plantas es que las hojas de la porción superior absorben gran parte de RFA incidente, dejando poca para las hojas inferiores en esta situación. La exposición a una mayor irradiancia puede saturar las hojas de arriba, pero en este caso más RFA se transmite y refleja hacia las hojas de sombra de abajo, las cuales no están saturadas; como resultado, es probable que las plantas individuales, cultivos o bosques como un todo, rara vez reciban una irradiancia suficiente para maximizar la tasa fotosintética (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

2.13. Factores que afectan la fotosíntesis

Muchos factores afectan la fotosíntesis: agua, CO_2 , RFA, nutrimentos y temperatura, así como la edad y genética del vegetal. Las plantas superiores se ven más limitadas por agua. Los desiertos son en extremo improductivos, mientras que pantanos y bosques tropicales lluviosos son los ecosistemas más productivos, junto con ciertas áreas de cultivo irrigadas. La fotosíntesis en ausencia de agua suficiente se afecta a causa del retardo en la expansión foliar y la restricción en la captación de CO_2 (Salisbury y Ross, 1994). Otros factores afectan en gran medida la fotosíntesis. Por ejemplo: las tundras ártica y alpina tienen baja productividad,

sobre todo debido a las bajas temperaturas y la brevedad de las temporadas de crecimiento. Los océanos también tienen baja productividad por unidad de área; no obstante que tienen disponibilidad de agua, y además las temperaturas rara vez o nunca son un factor limitante, hay disponibilidad de luz solar y CO₂, sobre todo en aguas superficiales. El factor limitante en este contexto es la disponibilidad de nutrientes minerales (Gardner, 1990).

2.13.1. Efectos de la luz

Cuando se observa el comportamiento de la fijación de CO₂ durante el día, se puede ver que la máxima fijación de CO₂ se presenta hacia el medio día, cuando la irradiancia está en su punto más elevado. El hecho de que la luz muchas veces limita la fotosíntesis también se demuestra por la disminución en las tasas de fijación de CO₂ cuando las plantas se exponen a sombras de corta duración causadas por nubes. La relación promedio para el carbono neto fijado durante la luz del día, en comparación con el que se pierde por respiración en la noche, es cercano 6:1, pero varía con la planta y el ambiente. Para entender cuantitativamente cómo la luz afecta la tasa fotosintética, primero hay que examinar cuánta energía luminosa proporciona la luz del sol. En el límite superior de la atmósfera, y a la distancia media de la Tierra al sol, la irradiancia total es de 1300 Wm⁻² (la constante solar), que incluye longitudes de onda de ultravioleta a infrarrojo. Este valor varía aproximadamente $\pm 2\%$ debido a la órbita un tanto elíptica de la Tierra. Cuando esta radiación atraviesa la atmósfera hasta la superficie terrestre, gran parte de la energía se pierde por

absorción y dispersión causadas por vapor de agua, polvo, CO₂ y ozono, por lo que sólo unos 900 W m⁻² alcanzan a las plantas, dependiendo de la hora del día, época del año, elevación, latitud, condiciones atmosféricas y otros factores. De dicho valor, cerca de la mitad corresponde al infrarrojo, un 5% es ultravioleta y el resto tiene longitudes de onda entre 400 y 700 nm y es capaz de inducir fotosíntesis. Cuando se expresa en unidades de energía (watts o joules por segundo), esta radiación se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA). Bajo un cielo despejado, la RFA tiene un valor de 400 a 500 W m⁻², dependiendo de los factores antes mencionados (Salisbury y Ross, 1994).

La fotosíntesis y otras reacciones fotoquímicas dependen no solo de la energía total que hay en la luz, sino también del número de fotones o cuantos que se absorben. Un fotón muy energético, de la porción azul del espectro, tiene casi el doble de energía que uno situado en la porción del rojo, pero los dos fotones tienen el mismo efecto en la fotosíntesis. La cantidad efectiva de luz en la fotosíntesis se conoce como flujo fotónico fotosintético (FFF). Sus unidades son moles de cuantos (fotones) por metro cuadrado por segundo. La luz solar se encuentra en el intervalo micromolar; en un día despejado de verano se presentan de 2000 a 2300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$.

Según Salisbury y Ross (1994), en cualquier ambiente, la irradiancia varía dentro de una misma cobertura vegetal. Una hoja representativa del dosel absorbe del 80 al 90 % del FFF, si bien este valor varía de manera considerable con la edad y estructura de la hoja. El resto se transmite o a las hojas inferiores o al suelo, o se

refleja a los alrededores. De la radiación que se absorbe y que tiene la capacidad potencial de inducir fotosíntesis, es común que más del 95 % se transforme en calor; así, durante la fotosíntesis se captura menos del 5 %.

Por encima de cierto valor de irradiancia, conocido como punto de saturación lumínica, el incremento en la radiación ya no causa incremento en la fotosíntesis. Entre la oscuridad y el nivel de saturación existe una irradiancia a la cual la fotosíntesis está en equilibrio con la respiración (el intercambio de CO_2 neto es cero); se le conoce como punto de compensación lumínica. Este punto varía con la especie, con la irradiancia durante el crecimiento, con la temperatura a la que se efectúan las mediciones y con la concentración de CO_2 , aunque en hojas que crecen al sol, suele ser alrededor del 2 % de la luz solar plena. El incremento en el peso seco puede ocurrir solo cuando la irradiancia se encuentra por encima del punto de compensación lumínica (Salisbury y Ross, 1994).

2.14. Indicadores de la eficiencia fisiológica de una planta o dosel

2.14.1. Biomasa vegetal

La biomasa vegetal es el peso del material viviente contenido arriba y debajo de una unidad de superficie por unidad de tiempo. Producción es la biomasa o peso de la materia orgánica asimilada por una comunidad o especie por unidad de superficie por unidad de tiempo. Beadle (1988) indica que la unidad de producción es la masa por unidad de superficie por unidad de tiempo. Para

expresar la magnitud de producción de materia seca se ha empleado una amplia gama de unidades. Estrictamente, de acuerdo con las reglas del sistema internacional, el tiempo debe expresarse en segundos (s), pero normalmente tienen más significado los días (d). En muchos estudios ecológicos es común expresar el área en m^2 , aunque en estudios agrícolas la hectárea es más apropiada. La biomasa, que tiene dimensiones de masa por unidad de superficie se expresa en $g\ m^{-2}$, $kg\ ha^{-1}$ o $t\ ha^{-1}$.

Según Beadle (1988) si se desea medir la bioproductividad de un ecosistema natural o de un cultivo, el componente de interés inmediato es la producción primaria neta o el rendimiento total. En muchos casos es necesario restringir el interés a las partes aéreas. En los cultivos, puede sólo ser de importancia el rendimiento agronómico (como el grano en los cereales).

Generalmente esto se expresa como Índice de Cosecha:

$$\text{Índice de Cosecha} = \frac{\text{Rendimiento Agronómico}}{\text{Rendimiento Biológico}} \times 100$$

en donde al rendimiento biológico en muchos cultivos se le ha considerado como el total de la materia seca de la porción aérea. Sin embargo, se tendría un mejor entendimiento del desarrollo del cultivo si se usara la materia seca total como denominador en la ecuación. Esas cifras nos dicen poco acerca de los cambios que ocurren durante el crecimiento del cultivo. De manera similar, el análisis del intercambio de gas fotosintético se puede usar para describir las

respuestas de la fijación de carbono a cambios en el ambiente y finalmente se puede usar para calcular el rendimiento total, pero no se obtiene información acerca de la asignación de materia seca en una nueva área foliar que puede tener influencia considerable en la producción (Beadle, 1988).

2.14.2. Tasa de crecimiento relativo (R)

Beadle (1988) menciona que la tasa de crecimiento relativo se define, en cualquier instante del tiempo (t), como el incremento del material presente y es el único componente del análisis del crecimiento que no requiere el conocimiento del tamaño del sistema asimilatorio. La tasa de crecimiento relativo es la pendiente instantánea de la curva de producción de biomasa con relación al tiempo (kg día^{-1}).

2.14.3. Índice de área foliar

Si deseamos específicamente considerar la productividad de cultivos o de ecosistemas naturales, es conveniente expresar su comportamiento por unidad de área de terreno. Por lo tanto, la razón de área foliar es inapropiada y se usa un segundo término. Este es el área foliar por área unitaria de terreno, o índice de área foliar (abreviado LAI o simplemente L).

Se puede expresar como:

$$L = \frac{S1}{P}$$

Donde: S1 es la superficie foliar funcional del dosel del cultivo que se encuentra en la superficie del terreno P. Como normalmente S y P se miden como superficies (m²), L es adimensional, S1 se puede referir a la superficie total de las hojas; esto es, tanto a la superficie superior como a la inferior, a la superficie de una sola cara o a la proyectada por las hojas que no son planas, como en las coníferas. Al hacer comparaciones, se debe cuidar que L se mida sobre la misma base (Beadle, 1988).

2.14.4. Tasa de crecimiento del cultivo (C)

El índice de área foliar se puede usar para calcular la tasa instantánea de crecimiento del cultivo (en cualquier tiempo t), que sirve como un índice simple de la productividad agrícola.

Se define como:

$$C = E \cdot L = \frac{1}{P} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{1}{S1} \cdot \frac{dW}{dt} \times \frac{S1}{P}$$

donde:

C: tasa de crecimiento del cultivo

L: índice de área foliar

E: tasa de asimilación neta

dt: intervalo de tiempo

P: superficie de terreno

S1: superficie foliar funcional

y se expresa en términos de peso por unidad de superficie y tiempo (kg m⁻² s⁻¹).

Por lo tanto, C es conceptualmente similar a R y al igual que R, C en raras ocasiones es igual al producto $E \times L$. Los elementos de la tasa de crecimiento del cultivo se pueden usar para estimar la importancia relativa de la variación en L o E como determinantes de la tasa de crecimiento del cultivo. En general, se ha concluido que C es más sensible a L que a E (Beadle, 1988).

2.15. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel

De acuerdo con Charles-Edwards *et al.* (1986), la eficiencia con que una planta usa la energía radiante interceptada en la producción de nueva materia seca (ϵ) puede medirse como la pendiente de regresión resultante de considerar a la cantidad de energía radiante interceptada en un intervalo de tiempo (J), como variable independiente y a la producción bruta de materia seca obtenida en ese intervalo, como variable dependiente. La unidad de medición puede ser, por ejemplo, microgramos de materia seca por joule de energía radiante interceptada ($\mu\text{g J}^{-1}$). Si se considera todo el ciclo biológico del cultivo la tasa neta de crecimiento se puede equiparar con el rendimiento biológico (B), es decir con la biomasa acumulada a lo largo del ciclo de vida de las plantas consideradas.

Entonces:

$$B = \epsilon J - T_p$$

Donde:

T_p = tasa de pérdidas (respiración, fotorrespiración, caída de hojas, etc.).

La máxima eficiencia teórica con que una hoja puede usar la energía radiante en la asimilación de CO_2 es de $12 \mu\text{g} (\text{CO}_2) \text{J}^{-1}$ (llamada eficiencia fotoquímica o rendimiento cuántico de la hoja); sin embargo, como un mol de CO_2 (44 g) produce un mol de $(\text{CH}_2\text{O})_n$ (30 g), el rendimiento cuántico se reduce a aproximadamente $8 \mu\text{g}$ de materia seca por joule. Estas son estimaciones que no se dan en realidad, pero proporcionan un límite a la eficiencia con que una planta puede convertir la energía interceptada en nueva materia seca (Nobel y Long, 1988; Salisbury y Ross, 1994).

Lawlor (1993) menciona que, en general, la eficiencia de conversión de RFA en materia seca para diferentes cultivos agrícolas oscila entre 1 y 2 g de materia seca por MJ de RFA absorbido por el dosel, siendo los valores más altos para plantas de ciclo fotosintético C_4 , mientras que Charles-Edwards *et al.*, (1986) reportan eficiencias promedio de $2.5 \mu\text{g} \text{J}^{-1}$ para la mayoría de las especies de plantas creciendo en condiciones ambientales óptimas. Citan un trabajo en donde se encontró ese valor de $2.5 \mu\text{g} \text{J}^{-1}$ en plantas jóvenes de girasol (dicotiledónea C_3) y amaranto (dicotiledónea C_4), otro de $2.4 \mu\text{g} \text{J}^{-1}$ para plantas de avena (monocotiledónea C_3) y uno más de $2.6 \mu\text{g} \text{J}^{-1}$ en sorgo (monocotiledónea C_4). Como se puede apreciar, los valores son muy similares tanto para monocotiledóneas como para dicotiledóneas, y tampoco influye el que tengan un mecanismo fotosintético C_3 ó C_4 . Warren (1981) y Picken *et al.*, (1986) definen a la tasa de asimilación neta (TAN) como una medida de la eficiencia del uso de la RFA, y se refiere a la tasa de producción de materia seca por unidad de área foliar

por unidad de tiempo. La razón de área foliar (RAF) la definen como la cantidad total de superficie foliar por unidad de peso seco de la planta, y la consideran como un indicador de la capacidad fotosintética.

Hurd y Thornley (1974) indican que la TAN y la tasa relativa de crecimiento (TRC) total son máximas en plantas jóvenes de jitomate y que tienden a disminuir con la edad debido al auto-sombreado de las hojas, al mayor requerimiento de energía de mantenimiento por el aumento de tamaño y a la senescencia de las hojas. Al respecto, Picken *et al.* (1986) reportan, para la misma especie, valores de TRC total de hasta 0.6 g de materia seca por gramo de materia seca presente por día en condiciones óptimas de crecimiento y una tasa absoluta de crecimiento (TAC) total de hasta 194 kg ha⁻¹ día⁻¹ en peso fresco.

Lawlor (1993) y Salisbury y Ross (1994) mencionan que el rendimiento de los cultivos se ha mejorado en muchas especies en décadas recientes gracias al aumento en el índice de cosecha y que, al menos hasta ahora, los intentos de incrementar la eficiencia fotosintética de las hojas ha tenido poco o ningún éxito.

En forma similar, Somerville (1990) menciona que, considerando que el crecimiento vegetal es dependiente en última instancia de la fijación neta de CO₂, se ha despertado el interés por incrementar el rendimiento mediante la identificación de genotipos con más altas tasas de fotosíntesis foliar; sin embargo, destaca que no ha sido posible demostrar correlaciones estrechas

entre la tasa de fotosíntesis neta por unidad de área foliar (medida en una sola hoja y en un sólo momento) y el rendimiento biológico, lo que indica la presencia de otros factores que limitan el rendimiento y concluye que la limitación se da a tal grado que la variación en la capacidad fotosintética es generalmente irrelevante. Sin embargo, menciona estudios recientes en los que la cantidad de fotosíntesis del dosel entero se ha medido o estimado a lo largo de la estación de crecimiento, y que han demostrado una relación lineal entre tasa de fotosíntesis neta del dosel y rendimiento por unidad de superficie.

2.16. Proporción de nueva materia seca translocada al producto de interés agronómico

El ambiente en el que crece la planta y el estado de desarrollo en que se encuentra, afectan las proporciones en que la nueva materia seca es repartida entre sus diferentes órganos. Por ejemplo, se ha observado que en suelos poco fértiles, una mayor proporción de la materia seca producida por la planta es derivada hacia las raíces. Cuando una planta determinada entra en su fase reproductiva se da un cambio en el patrón de distribución de materia seca conforme la producción de nuevas hojas cesa, favoreciéndose a los nuevos órganos reproductivos; cambios menos definidos pero también importantes ocurren en la distribución de materia seca en plantas indeterminadas (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Salisbury y Ross, 1994).

Sonnewald y Wilimitzer (1992), entre muchos otros autores, indican que los órganos de las plantas pueden dividirse en: a) órganos fuente, definidos como exportadores netos de fotoasimilados (hojas maduras, tubérculos y otras estructuras de reservas en los momentos en que exportan sus azúcares almacenados), y b) órganos de demanda, definidos como importadores netos de carbono fijado (yemas terminales o apicales en crecimiento, meristemos en raíces, hojas que inician su crecimiento, flores y frutos en proceso de crecimiento, semillas, etc.); estos órganos son incapaces de fotosintetizar, o su producción de fotosintátos es insuficiente para cubrir sus necesidades. Los órganos de demanda se pueden subdividir en demandas de utilización (tejidos de crecimiento rápido con metabolismo alto y activo como meristemos, hojas inmaduras y frutos que inician su crecimiento), y demandas de almacenamiento (donde los carbohidratos se almacenan como almidones, ácidos grasos o proteínas, como en tubérculos, raíces o semillas).

Los órganos que constituyen la fuente están relacionados con los demandantes por un sistema de transporte de fotoasimilados denominado floema. La sacarosa es el principal fotoasimilado que circula por este transporte y lo hace a través de gradientes de concentración, desde las regiones de alta concentración de sacarosa (fuente) hasta las de menor concentración (demanda). En general, entre mayor es el gradiente de concentración mayor es el flujo de asimilados (cantidad traslocada por unidad de tiempo). El gradiente se puede producir por un aumento de la concentración en el órgano fuente, por

una disminución de la concentración en el órgano demandante, o por una combinación de ambos (Salisbury y Ross, 1994; Martínez, 1995).

2.17. Índice de área foliar y tasa de producción de materia seca

Van de Voren *et al.* (1986) mencionan que, para las plantas viviendo en poblaciones, después de que se sobrepasa un cierto índice de área foliar, como un efecto del sombreadamiento mutuo, se producen menos fotoasimilados por planta, lo que puede conducir a un menor número de frutos por planta y un menor diámetro y peso de los mismos.

La fotosíntesis de la hoja es más eficiente (CO_2 fijado por unidad de luz) a bajos niveles de radiación. Por lo general las hojas expuestas a la radiación solar directa se encuentran por arriba de su punto de saturación por luz. En un dosel donde las hojas están colocadas de manera perpendicular a la luz y en ausencia de otros factores limitantes, las hojas de arriba realizan fotosíntesis máxima por estar saturadas por luz, mientras que las de abajo pueden tener una fotosíntesis reducida debido al sombreadamiento; ésto limita el aumento de la fotosíntesis total del dosel ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ de suelo cubierto por el dosel) al incrementar el índice de área foliar. Teóricamente un dosel podría ser más eficiente (mayor fotosíntesis total por unidad de área de suelo) si la radiación estuviera distribuida más homogéneamente entre todas las hojas. Esto último podría lograrse con un dosel donde las hojas de arriba las hojas fueran erectas y las de abajo perpendiculares a la radiación (Gardner *et al.*, 1990).

Van de Voren *et al.* (1986) mencionan que la intercepción eficiente de energía radiante por la superficie del cultivo requiere del desarrollo de un área foliar adecuada, uniformemente distribuida para lograr una completa cobertura del suelo. Esto se logra manipulando la densidad de plantas y su distribución, así como combinando técnicas como los despuntes, las podas, el tutoreo y las imbricaciones, cuando las especies se prestan para ello.

2.18. Densidad de población y distribución de plantas

El objetivo para el logro de altos rendimientos es interceptar tanta radiación solar como sea posible y lograr su distribución homogénea entre todas las hojas del dosel, así como la distribución equidistante de las plantas es la que da la más temprana y máxima intercepción de luz. La altura de las plantas afecta la densidad óptima. La densidad debe aumentar y la distancia entre hileras debe disminuir en plantas de poca altura para una intercepción óptima de la radiación fotosintéticamente activa y alcanzar así el potencial de rendimiento del cultivo. La eficiencia en la intercepción de la energía solar incidente en la superficie de un cultivo requiere de una adecuada área foliar, uniformemente distribuida, para tener una completa cobertura. Esto es factible manipulando la densidad de población (Gardner, 1990).

La mayoría de las publicaciones sobre la producción de jitomate en invernadero recomiendan dar 0.28 a 0.37 m² por planta en los cultivos

tradicionales; esto representará de 36,300 a 27,225 plantas por hectárea, respectivamente. En California y Arizona se han obtenido cosechas con muy buenos rendimientos y calidad utilizando un cultivo hidropónico con una densidad de plantación de 46,250 plantas por hectárea (0.2 m^2 por planta). El marco normal en invernadero de jitomate es de unos 0.3 m^2 por planta. Las plantas se colocan en una doble hilera por bancada, con una separación de 40 a 50 cm entre hileras y de 30 a 36 cm entre estas. El marco preciso está en función de las condiciones de radiación. En áreas meridionales que tienen mejores condiciones de radiación se pueden utilizar marcos de plantación más estrechos, mientras que en latitudes más septentrionales se pueden usar marcos más anchos. Las plantas se pueden colocar de forma que las de una hilera coincidan con el punto medio de las opuestas (tresbolillo), para obtener así la mayor exposición de las hojas a la luz solar, y la menor interferencia física de las hojas entre plantas (Resh, 2001).

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, con densidades de 113,000, 64,000, 53,000, 40,000, 31,000 y 25,000 plantas por hectárea respectivamente, utilizando el cv Jumbo y Ohio CR, bajo condiciones de invernadero, las plantas se manejaron a un tallo y no se despuntaron, encontraron que el rendimiento total por planta disminuyó conforme aumentaban las densidades, pero el rendimiento total por hectárea aumentaba conforme las densidades de plantas se incrementaba.

Rodríguez (1995), al establecer 10,000, 20,000, 30,000 y 40,000 plantas de jitomate por hectárea, podando a uno o dos tallos y sin despuntarlas, encontró que los rendimientos más altos fueron al utilizar 40,000 plantas con poda a uno o dos tallos; obteniendo 27.05, 45.41, 88.18 y 98.97 ton ha⁻¹ para plantas conducidas a un tallo y de 40.88, 83.88, 83.42 y 101.40 ton ha⁻¹ respectivamente, las conducidas a dos tallos.

Cancino *et al.* (1990), al evaluar dos densidades de plantas (9 y 16 plantas por m²) despuntadas a uno, dos y tres racimos, en dos variedades de jitomate (Tropic y Ace 55 vf); observaron que el rendimiento por racimo y por planta disminuyó en densidades de 16 plantas por m², pero aumentó el rendimiento por unidad de superficie, lo cual es un indicio de que el grado de competencia entre plantas no ha llegado a un punto en que influya negativamente en el rendimiento y calidad de los frutos.

2.19. Retardadores de crecimiento

Son sustancias que actúan en forma antagónica a las giberelinas y parcialmente a las auxinas en el sentido morfológico, por lo que inhiben el crecimiento de entrenudos de los brotes, pero frecuentemente promueven el desarrollo del sistema radical y la tuberización (Jankiewics, 1989).

Los retardadores del crecimiento de las plantas retrasan la división y elongación celular en tejidos de brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas, sin

provocar malformaciones en las hojas o tallos. Dichos compuestos intensifican también el color verde de las hojas y afectan indirectamente la floración. Los retardadores del crecimiento vegetal pueden inducir a las plantas que normalmente crecen alto, a desarrollar un tipo de crecimiento de roseta. El efecto de los retardadores de crecimiento es frecuentemente el opuesto exacto de las giberelinas (Weaver, 1976).

2.20. Cycocel

El clormequat, conocido como cycocel (cloroetil trimetil amonio), es un producto cuya acción se dice que es antigiberélica, pues tiene efectos contrarios a los del ácido giberélico, pero su acción no es bloquear o destruir al ácido giberélico. En realidad no se conoce la acción básica del clormequat, pero es sugerente su parecido con la colina, molécula muy activa en el metabolismo y con la betaína, producto que aparece en condiciones de estrés por sequía (Rojas y Ramírez, 1993). Según Lenton *et al.*, (1987), el clormequat tiene el mismo efecto de los genes de enanismo en los trigos Norin, provocando acortamiento de los tallos y el aumento en el número de granos.

Uno de los efectos típicos del clormequat es dar a las plantas resistencia al estrés. Aún cuando induce tallos cortos y hojas más pequeñas, su efecto protector no radica en estos cambios morfológicos sino en alguna acción fisiológica (Borkowski 1992 y Rojas y Ramírez, 1993).

Metwally (1979) menciona que al aplicar cycocel a jitomate 'Ace' en concentraciones de 500, 1000 y 1500 mg L⁻¹ en invierno, se obtuvieron rendimientos mayores a los obtenidos en plantas no tratadas, lo que se debió principalmente al incremento en floración y fructificación de las plantas.

Millica *et al.* (1984) señalan que al aplicar cycocel a 500 y 1000 mg L⁻¹ se redujo el crecimiento de tallo, estimulando la diferenciación floral, floración y fructificación, se aceleró la maduración, se mejoró la calidad y se incrementó el rendimiento de los cultivares de jitomate Export 11, Memarex y Sonato.

El cycocel es la sustancia utilizada para inducir floración en peral y para otros propósitos en concentraciones de 2000 a 3000 mg L⁻¹. Para inhibir temporalmente el crecimiento de plántulas de jitomate antes de trasplantarlas, se aplican dos tratamientos (125 mg L⁻¹) a intervalos de una semana (Jankiewics, 1989).

Las aspersiones de cycocel concentrado a 500 mg L⁻¹, aplicadas al surgir la primera hoja verdadera, fomentan la floración temprana en jitomate en condiciones de día largo (Weaver, 1976; Jankiewics, 1989; Atherton y Harris, 1986).

Picken *et al.* (1986) y Atherton y Harris (1986), señalan que el Cycocel, aplicado al follaje o como solución al suelo, produce plantas con entrenudos más cortos, una tasa más baja de producción de materia seca, hojas de menor tamaño y

color verde oscuro; además, cuando la aplicación se realiza al principio de la iniciación floral, frecuentemente se reportan aumentos en el número de flores y el porcentaje de frutos amarrados. Por lo general el crecimiento normal es reasumido posteriormente y las plantas tratadas pueden llegar a alcanzar el mismo tamaño que los testigos. Destacan que el modo de acción del cycocel no está claro, pero que muchos de sus efectos son opuestos a los de las giberelinas, por lo que se piensa que puede influir sobre su síntesis.

Abdul *et al.* (1978) aplicaron cycocel como solución al suelo o foliarmente, α -ciclopropil- α -4-metoxifenil- α -pirimidin-5-1-metanol (ancymidol) como solución al suelo y foliar y ácido N-dimetil-amino succínico (B-9) únicamente por vía foliar, cuando la tercera hoja iniciada tenía una longitud de 2 cm. Los tres retardadores disminuyeron la altura de planta, pero sólo el cycocel y el ancymidol aumentaron significativamente el número de flores de la primera inflorescencia (de 5 a 10 con el cycocel y de 5 a 9 con el ancymidol). Cuando se aplicó ácido giberélico vía foliar, los efectos fueron contrarios al cycocel y al ancymidol (mayor altura y reducción del número de flores en la inflorescencia de 7 a 4). Cuando el cycocel se aplicó en conjunción con el ácido giberélico los efectos del primero se redujeron. Esto, según ellos, es consistente con la teoría de que las giberelinas incrementan la fuerza demandante del tallo y las hojas en crecimiento en perjuicio de la inflorescencia, y que el cycocel actúa, al menos en parte, inhibiendo la biosíntesis de las giberelinas. Esto último lo comprueban con otro experimento donde la aplicación de cycocel redujo significativamente la cantidad de giberelinas difusibles en el ápice del tallo, lo que no pasó con el B-9.

Atribuyen al ancymidol un efecto semejante al cycocel en cuanto a la inhibición de giberelinas.

Atherton y Harris (1986) comentan que esa inhibición de la síntesis de giberelinas provoca una reducción en las tasas de crecimiento de las partes vegetativas de la planta, permitiendo la desviación de mayor cantidad de asimilados hacia la inflorescencia que se está iniciando.

Morgan (1986) reporta que el uso de cycocel en forma de solución aplicada al suelo (1.58 mg L^{-1}) al inicio de la iniciación floral, redujo en un 38 % la altura de planta, disminuyó el peso seco de la plántula al momento del trasplante en un 30 % y el número de flores en la primera inflorescencia se incrementó significativamente, siendo mayor el efecto en condiciones de alta luminosidad. Destaca también que otro efecto positivo de los retardadores como el cycocel es el de facilitar el manejo de plantas a altas densidades.

Read y Fieldhouse (1970), reportan incrementos de hasta 50 % en el rendimiento de dos cultivares de jitomate de tipo determinado (cv Heinz 1350 y Delaware 6553-2), con la aplicación foliar, al momento de la aparición macroscópica de la cuarta hoja, de ácido succínico 2,2-dimetil hidrazida (Alar), y en menor proporción con la aplicación de cycocel. Este aumento en rendimiento lo atribuyen a una combinación de efectos (tallos más gruesos con más capacidad de almacenar y conducir asimilados, mayor resistencia al estrés de agua y al calor) y a la

producción de más flores por inflorescencia (hasta 100 % más) y por tanto más frutos por planta. Las aplicaciones en etapas posteriores no tuvieron ese efecto. Según ellos, el aumento en el número de flores estuvo relacionado tanto con la mayor proporción de inflorescencias ramificadas en las plantas tratadas, como con la aparición de flores más tarde en la ontogenia de la inflorescencia, las cuales abortaban (según determinación microscópica) en las plantas no tratadas. Discuten que estos efectos se pueden deber a que los retardadores promovieron una mayor acumulación de fotoasimilados y eficiente actividad fotosintética debida a modificaciones anatómicas producidas (tallos más gruesos, hojas con más células en palizada, mayor número de cloroplastos y menos espacios intercelulares, lo que facilita la asimilación de CO₂).

Morgan (1986) observó un aumento importante en el número de flores y frutos amarrados en la primera inflorescencia con la aplicación foliar de ácido n-metaltolilalámico (200 mg L⁻¹) inmediatamente antes de la iniciación floral (20.5 flores contra 7.5 en el testigo), aunque encontró un alto porcentaje de frutos con defectos formativos.

Nourai y Harris (1983), en plantas de jitomate (cv Eurocross BB) crecidas con limitaciones de luz (50 % de sombra), lograron reducir en un 50 % el número de flores abortadas en la primera inflorescencia (de 5.7 a 2.3) con la aplicación de cycocel en solución al suelo (64 mg L⁻¹) cuando la primera inflorescencia se tornó visible microscópicamente. El tratamiento de sombra produjo disminución

del peso seco de la inflorescencia. El efecto del cycocel fue aumentar el crecimiento y peso seco de la inflorescencia mientras se reducía el crecimiento de resto de la parte aérea, tanto en plantas sombreadas como no sombreadas. Esto lo interpretan en el sentido de que el cycocel, al reducir el crecimiento vegetativo de la parte aérea, permite que se deriven asimilados y/o reguladores de crecimiento endógenos a la inflorescencia, aumentando su fuerza demandante.

Budykina *et al.* (1995) menciona que al trasplantar plantas tratadas con cycocel en 10 y 20 mg por planta, se incrementó la resistencia al frío, se retrasó el crecimiento de los tallos principales, se indujo la formación de plantas de bajo porte con sistema radical desarrollado, se adelantó la floración de una a dos semanas y se adelantó la cosecha.

Emmerk y Gordeeva (1982) asperjaron plántulas con cycocel en 0.5, 1.0 y 2.0 %. A concentraciones de 1.0 a 2.0 % aumentó el rendimiento total de jitomate en un 16.5 % y 25.2 %, respectivamente. Los tratamientos aumentaron la producción y el número de flores, así como el contenido de clorofila.

Rojas y Ramírez (1993) indican que el cycocel ha aumentado la cantidad de flores y la precocidad en algunos casos en jitomate. Tiene efectos positivos sobre el rendimiento debido a una combinación de resistencia al acame, al estrés de sequía y calor y también al mayor número de flores.

El cycocel es también un producto usado para dar resistencia al estrés por sequía y frío. Hay diversos reportes de que el cycocel aumenta la cantidad de flores y la precocidad en jitomate (Weaver, 1976). Sin embargo, los experimentos de Castro *et al.* (1983), indican que el clomequat a 1000 mg L⁻¹ reduce la altura de la planta de jitomate, pero causa disminución en el rendimiento. Rojas y Ramírez (1993) atribuyen los efectos positivos del clomequat sobre el rendimiento a una combinación de resistencia al acame, al estrés de sequía y calor y también al mayor número de flores.

2.21. Paclobutrazol

El paclobutrazol, conocido como cultar o PBZ (clorofenil dimetiltriazol pentano) es un producto no hormonal derivado de los triazoles. Sus efectos anatómicos y fisiológicos son la reducción de la altura de las plantas y el engrosamiento de los tallos, incrementa el contenido de clorofila en las hojas y el desarrollo de las raíces (Fletcher y Hofstra; 1988 y Berova y Zlatev, 2000). Este producto también se usa para resistencia a heladas, así mismo controlar el crecimiento vegetativo y aumenta la floración y el desarrollo del fruto en pomáceos y drupáceos (Borkowski, 1992; Rojas y Ramírez, 1993).

El efecto bioquímico de los triazoles es principalmente la reducción en la síntesis de giberelinas y el incremento en el contenido de clorofila (Dalziel y Lawrence, 1984; Davis y Curry, 1991; Rademacher, 1991).

El paclobutrazol causa fuerte reducción del crecimiento vegetativo (en nectarinas hasta 69%) por lo que se inducen árboles muy compactos; sin embargo, aumenta el sombreado interno e induce la reducción del área foliar. En los nuevos brotes se han encontrado más botones florales por unidad de longitud. La relación de raíces a brotes aumenta. Así, la acción del paclobutrazol muestra los rasgos típicos para todos los retardadores. Su influencia sobre la disminución del uso del agua se explica por la reducción del área foliar (Wample y Culver, 1983; Swietlik y Miller, 1983; Dejong y Doyle, 1984).

Davis y Curry (1991) mencionan que el paclobutrazol es usado en diferentes cultivos como perales, manzanos, cítricos, mango, ciruelo, hortalizas y cultivos ornamentales, para disminuir el porte de las plantas, inducir floración y adelantar la cosecha.

El efecto del paclobutrazol en tomate ha sido reportado por diferentes investigadores. Souza-Machado *et al.* (1999) mencionan que el paclobutrazol a una concentración de 50 mg L^{-1} , aplicado al follaje antes del trasplante, induce resistencia al estrés por bajas temperaturas y sequía, además de inducir precocidad de la cosecha, la cual puede adelantarse de 7 a 10 días en comparación con el testigo.

Petrikova (1989) realizó evaluaciones de rendimiento en jitomate cv Petomech durante dos ciclos de cultivo. Hizo aplicaciones del compuesto EMA (paclobutrazol+cloromecuat) y cloromecuat a 0.18 % a plántulas en la etapa de 4

hojas y señala que el compuesto EMA a una concentración de 0.01 % incrementó el rendimiento en el primer año de evaluación y en el segundo ciclo de evaluación ambos retardadores tuvieron un efecto similar.

Giovinazzo *et al.* (2001) mencionan que las aplicaciones de paclobutrazol a jitomate cv Fancysset, Pavia y Montego en etapa de plántula, redujeron el tamaño de la planta hasta en un 45 %, incrementó el diámetro de tallo un 9 % en comparación con plantas no tratadas y aumentó el rendimiento en un 13 %. Sin embargo, cuando las aplicaciones de paclobutrazol se hacen a las semillas, se reduce significativamente la emergencia de las plantas.

Souza-Machado *et al.* (1997) hicieron aplicaciones de paclobutrazol a concentraciones de 25 y 50 mg L⁻¹ en plántulas de 6 cultivares de jitomate: OH7983, Peto 2196, H9230, CC390, Peto 696 y H9478. Las plántulas tratadas con paclobutrazol a 50 mg L⁻¹ mostraron mejor calidad en el semillero. Las plántulas en semillero de todos los cultivares eran de menor altura, tallos vigorosos, de color verde oscuro, más uniformes, y una relación raíz:tallo más alto que las plántulas testigo. Después de cuatro semanas de ser trasplantadas a campo, las plantas tratadas presentaron la misma altura que las plantas testigo.

Asao *et al.* (1996) al evaluar los efectos de los retardadores de crecimiento uniconazole (1.25 y 2.5 mg L⁻¹) y paclobutrazol (12.5 y 100 mg L⁻¹) y la poda de raíces en el crecimiento y producción de plantas de jitomate desarrolladas en hidroponía y bajo condiciones de alta temperatura, encontraron que las plantas

tratadas con los retardadores disminuían su altura, efecto que fue más notorio en las plantas con raíz podada y las tratadas con paclobutrazol a 100 mg L^{-1} . Todos los tratamientos de retardadores disminuyeron el número de nudos al primer racimo y adelantaron la antesis. Cuando los retardadores de crecimiento fueron aplicados en la etapa de dos hojas, la reducción del crecimiento entre el primer y segundo racimo fue significativo. La aplicación de retardadores provocó un adelanto en la cosecha del primer racimo por más de dos semanas, mientras que con la poda de raíz solo una.

Kozłowska y Borowski (1995) hicieron aplicaciones de paclobutrazol en drench a plántulas de tomate cv Pearly F1 en concentraciones de 0, 1, 3 y 6 mg L^{-1} , observando que la altura de planta y el área foliar disminuían cuando la concentración de paclobutrazol se incrementaba. El rendimiento incrementó solo cuando se hicieron aplicaciones de 1 y 3 mg L^{-1} . Los sólidos solubles del fruto y el contenido de ácido ascórbico también se incrementaron a concentraciones mayores del retardador. Sanz *et al.* (2000) menciona que el paclobutrazol causa engrosamiento de las hojas de jitomate e inhiben el crecimiento de la raíz.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio experimental

El presente trabajo se inició el 17 de mayo de 2002 y se concluyó el 10 de octubre del mismo año. Se llevó a cabo en un invernadero orientado este-oeste, el cual se encuentra en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a los 19° 29' de Latitud Norte y 98° 53' de Longitud oeste, a 2,240 msnm.

El invernadero bajo el cual se desarrolló el experimento fue diseñado *ex profeso* para captar la mayor radiación solar en la época de invierno, para lo cual se construyó con orientación este-oeste en el sentido longitudinal; el techo es asimétrico a dos vertientes, la más ancha esta orientada al sur; la cubierta es de polietileno parcialmente pigmentado UVI calibre 720 color blanco lechoso (30% de sombra) para inducir una mayor proporción de radiación difusa (Figura 1). Sus dimensiones son: 24 m de largo, 11 m de ancho, 2 m de alto a los largueros perimetrales y 4 m de alto a la cumbrera.

La ventilación es natural, para lo cual cuenta con ventanas laterales de 1.8 m de alto a lo largo de las paredes, las cuales se encontraban cubiertas con malla antiáfidos. El piso está recubierto con "ground cover" color blanco para evitar la contaminación con el suelo, provocar refracción de la luz y evitar la proliferación de maleza.



Figura 1. Vista general del invernadero de techo asimétrico en el cual se desarrolló el experimento.

Las tinas para formar el dosel escaleriforme se colocaron en juegos de tres con una separación de 70 cm entre pasillos y una diferencia de 40 cm altura entre ellas, su orientación fue la misma que la del invernadero. Las dimensiones de las tinas fueron 20 cm de ancho, 20 cm de altura por 2.4 m de largo. Estas fueron alineadas y posteriormente llenadas con arena de tezontle rojo, con la mayoría de sus partículas entre 1 y 3 mm de diámetro (Figura 2). Las tinas fueron construidas con lámina galvanizada e impermeabilizadas con pintura de alberca para evitar reacciones con la solución nutritiva. En la base de las tinas se hicieron perforaciones de 0.5 cm de diámetro (cada 30 cm) para permitir el drenaje libre del exceso de solución nutritiva.

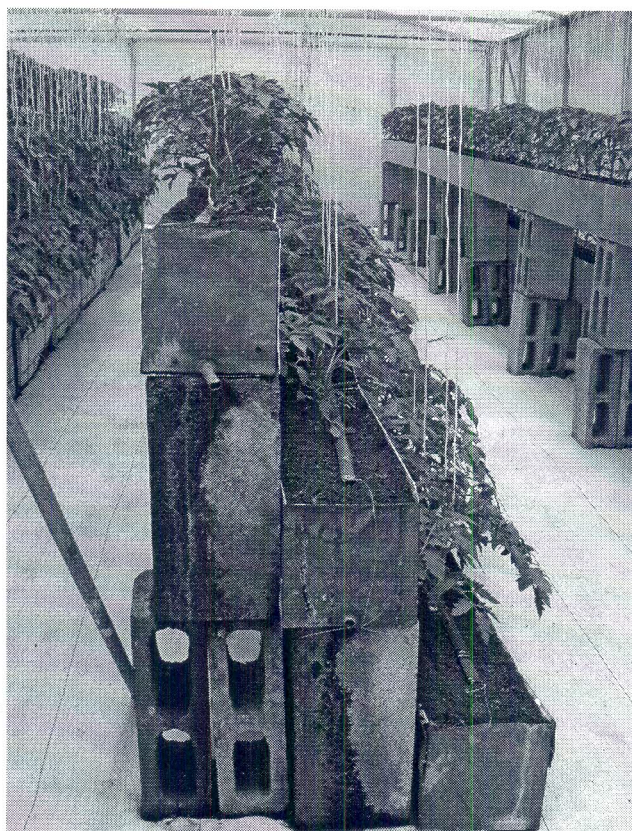


Figura 2. Tinas de lámina galvanizada donde se colocó el sustrato en que se desarrollaron las plantas.

3.2. Material vegetal

Se utilizó el híbrido comercial “Gironda” de la empresa Enza Zaden. La planta es vigorosa con buena cobertura del follaje, presenta resistencia al virus del mosaico del tabaco, *Verticilium alboatrum* y a *Fusarium oxysporum* raza 1+2. Este híbrido se adapta en diversas regiones del mundo donde se cultiva jitomate. El fruto es redondo, de larga vida de anaquel y tiene un peso promedio de 200 g (Marín, 2000).

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. En este trabajo se evaluaron dos factores: densidades de población y diferentes aplicaciones de retardadores. En la parcela grande del experimento se alojaron dos diferentes densidades: 30 y 40 plantas por m² útil (seis y ocho plantas por metro lineal de tina) y en parcela chica se hicieron las diferentes aplicaciones de retardadores a las plantas. El tamaño de la unidad experimental fue 0.6 m², donde se establecieron 30 y 40 plantas para las densidades baja y alta, respectivamente.

3.4. Aplicaciones de los retardadores

Las diferentes aplicaciones de retardadores consistieron en asperjar al follaje tratamientos con una solución de paclobutrazol a una concentración de 50 mg L⁻¹ y cycocel a una concentración de 500 mg L⁻¹; además se tuvieron una y tres aplicaciones. En el caso de una aplicación, esta se realizó 28 días después de la siembra, para el caso de tres aplicaciones estas se hicieron 28, 50 y 80 días después de la siembra. Se manejaron dos densidades de población: 20 cm entre hileras y 16.5 cm entre plantas (densidad baja) y plantas a 12.5 cm y 20 cm entre hileras (densidad alta) en juegos de tres hileras de plantas a diferente altura, equivalente a 30 y 40 plantas por m² de superficie útil, respectivamente. En el Cuadro 1 se describen los 10 tratamientos estudiados.

Cuadro 1. Densidad de población, concentración y número de aplicaciones de paclobutrazol y cycocel aplicados a plantas de jitomate variedad Girona a diferente edad.

Tratamiento	Densidad de población	Paclobutrazol (50 mg L ⁻¹)	Cycocel (500 mg L ⁻¹)
1	30 plantas por m ²	1 aplicación	
2	30 plantas por m ²	3 aplicaciones	
3	40 plantas por m ²	1 aplicación	
4	40 plantas por m ²	3 aplicaciones	
5	30 plantas por m ²		1 aplicación
6	30 plantas por m ²		3 aplicaciones
7	40 plantas por m ²		1 aplicación
8	40 plantas por m ²		3 aplicaciones
9	30 plantas por m ²		Sin aplicación
10	40 plantas por m ²		Sin aplicación

3.5. Manejo del cultivo

La siembra se realizó el día 17 de mayo de 2002, en charolas de poliestireno de 65 cm de largo, 30 cm de ancho y 8 cm de profundidad, con 200 cavidades cada una.

Las charolas se llenaron con una mezcla comercial de “peat moss” especial para semillero, la cual se humedeció para después depositar una semilla por cavidad. Con la finalidad de acelerar la germinación de las semillas se procedió a apilarlas y a cubrirlas con polietileno para guardar humedad y provocar un incremento de la temperatura. Transcurridos tres días, cuando las semillas habían germinado, se extendieron las charolas en el invernadero para permitir

la libre emergencia y crecimiento de las plántulas. Durante los primeros días después de la germinación las plántulas fueron regadas con agua sola; posteriormente, desde los 15 días después de la siembra se le empezó a aplicar solución nutritiva.

El trasplante se realizó el día 19 de junio de 2002. Previamente se humedeció el sustrato donde se establecerían las plantas definitivamente y se procedió al trasplante.

El riego, a partir del trasplante, se efectuó con una solución nutritiva balanceada a través de un sistema con cinta de goteo de polietileno flexible con goteros cada 20 cm, aplicando en tres a cuatro riegos diarios la cantidad necesaria de solución para mantener el sustrato a su capacidad de retención. Las fuentes de fertilizantes y la concentración de cada uno de los elementos para preparar la solución nutritiva se indican en el Cuadro 2.

Las plantas se condujeron con tutores a un solo tallo, eliminando los brotes laterales. Se realizó despunte de las plantas a tres racimos a los 90 días después de la siembra, dejando dos hojas por arriba del tercer racimo.

Una vez que aparecieron las flores e inició la antesis, cada tercer día se movían los alambres que sujetaban a los tutores, con la finalidad de favorecer la polinización de las flores.

Cuadro 2. Concentración de los elementos esenciales con los que se preparó la solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de las plantas de jitomate.

Nutrimento	Concentración del nutrimento en la solución (mg L ⁻¹)	Fuente
Nitrógeno	250	Nitrato de calcio
Fósforo	60	Ácido fosfórico al 85 %
Potasio	250	Sulfato de potasio
Calcio	250	Nitrato de calcio
Azufre	200	Sulfato de potasio, sulfato de magnesio
Magnesio	60	Sulfato de magnesio
Hierro	3	Sulfato ferroso
Manganeso	0.7	Sulfato de manganeso
Boro	0.5	Borax
Cobre	0.1	Sulfato de cobre
Zinc	0.1	Sulfato de zinc

El control de plagas y enfermedades fue preventivo principalmente, para lo cual en las ventanas laterales se colocó malla antiáfidos y en la entrada del invernadero un tapete sanitario para evitar la contaminación con partículas de polvo que pudieran llevar esporas de patógenos. Para evitar la incidencia de mosquita blanca se sumergieron las charolas con las plántulas antes de ser trasplantadas en una solución del insecticida sistémico confidor (i.a imidacloprid al 0.1 %). Al final del ciclo se presentó tizón temprano (*Alternaria solani*), aunque la incidencia fue baja se aplicó cupravit mix (i.a. oxiclورو de cobre 39 % + mancozeb 30 %).

3.6. Caracteres evaluados

Altura de planta. Esta variable se midió con una cinta graduada, se consideró la longitud del tallo desde el cuello de la raíz hasta el brote apical. Se realizaron tres

mediciones; la primera se hizo al momento de la primera aplicación (28 días después de la siembra) y las otras dos se realizaron a los 50 y 80 días después de la siembra.

Diámetro del tallo. Esta variable se midió con un vernier a la altura del octavo entrenudo. La medición se aproximó un dígito. De esta variable se registraron dos mediciones, a los 50 y 80 días después de la siembra.

Largo y ancho de hojas. Estas mediciones se realizaron con la finalidad de buscar un factor de corrección con el que se pudiera estimar el área foliar en plantas que no se consideraron en el muestreo destructivo. La medición de esta variable se hizo a los 80 días después de la siembra.

Área foliar. Se midió con un integrador de área foliar para el caso de las plantas donde se hicieron muestreos destructivos. Para el caso de las plantas que no se destruyeron se hizo la estimación de su área foliar correlacionando el ancho y largo de las hojas y multiplicándolo por el factor de corrección arriba mencionado.

Radiación fotosintéticamente activa. Esta variable se midió con un Ceptómetro lineal de cuarenta sensores cuánticos (Decagon Devices, Inc. Pullman, Washington, EUA). Se tomó la radiación total incidente encima de las tres hileras que formaban el dosel, inmediatamente se realizaba mediciones a

la altura del tercer racimo contado de abajo hacia arriba en cada una de las hileras de plantas para obtener el porcentaje de radiación que era interceptada por cada una de las hileras de plantas. Esta variable no fue analizada estadísticamente, pero los datos se utilizaron en la discusión de resultados.

Peso de frutos. Se pesaron los frutos de cada tratamiento para calcular el peso medio de los mismos. Se realizaron cinco cortes de frutos durante el ciclo del cultivo y en cada uno de éstos se registró el peso de los frutos, el cual se tomó usando una balanza granataria. Con los datos obtenidos se estimó el rendimiento por planta, el rendimiento por metro cuadrado útil y el rendimiento por hilera.

Diámetro ecuatorial de los frutos. Al momento de realizar la cosecha de los frutos se midió con un vernier el diámetro ecuatorial de cada fruto, para calcular el diámetro promedio de los mismos.

3.7. Análisis estadístico

Se realizaron dos tipos de análisis.

1) Comparación global de los tratamientos.

Se efectuaron análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) y pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) para comparar el efecto de las densidades (seis y ocho

plantas por metro lineal) y los productos y formas de aplicación (paclobutrazol 50 mg L⁻¹ y cycocel 500 mg L⁻¹, en una y tres aplicaciones).

El análisis global de los tratamientos se hizo con los promedios de tres hileras de plantas (superior, intermedia e inferior), dentro de las cuales se alojaron dos densidades de población diferente (alta y baja), y para cada densidad se hicieron diferentes aplicaciones de retardadores (paclobutrazol y cycocel en una y tres aplicaciones y el testigo sin aplicación). Esto generó un total de 40 subparcelas.

2) Comparación de las variables por hilera.

El análisis por hilera se realizó para conocer el comportamiento de las plantas en cuanto a las variables morfológicas y de rendimiento en cada uno de los niveles del dosel, debido a que se observó un comportamiento diferencial en las condiciones de radiación, humedad y movimiento del aire.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis global de tratamientos

4.1.1. Variables morfológicas

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 3) se encontraron diferencias significativas entre densidades de población para las variables área foliar por planta y altura de planta después de la segunda aplicación; no así para la altura de planta y diámetro de tallo a los 90 días después de la siembra. No se detectaron diferencias significativas entre los niveles del factor retardadores ni para la interacción densidad por retardadores en ninguna de las variables evaluadas.

Cuadro 3. Cuadrados medios de las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y altura después de la segunda aplicación para densidades y aplicaciones.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios			
		Altura de planta a los 60 dds	Área foliar por planta a los 90 dds	Diámetro de tallo a los 90 dds	Altura de planta a los 90 dds
Bloque	3	5.2	3436961	0.008	872.1
Densidad	1	9.3*	4236571*	0.02	202.7
Ea=BloquexDensidad	3	0.68	370249	0.01	747.0
Aplicación	4	59.0	4591276	0.007	93.8
DensidadxAplicación	4	1.5	1582481	0.005	158.8
Error b	24	4.2	1131120	0.006	62.1
Total	39				
C.V.		9.4	15.4	5.9	7.01
Media		21.7 (cm)	68.6 (dm ²)	1.3 (cm)	112.3 (cm)

F.V.: fuentes de variación; G.L.: grados de libertad; dds: días después de la siembra;

*=significancia con $\alpha = 0.05$

En el Cuadro 4 se observa que para las dos densidades establecidas, la variable diámetro de tallo fue estadísticamente igual.

La altura de planta fue estadísticamente mayor (aunque solo por 1 cm de diferencia) para la densidad alta a los 60 dds; pero estadísticamente igual a la densidad baja medida a los 90 dds. Saglam y Yazgan (1995) mencionan que al incrementar la densidad de población se reduce el tamaño de la planta, sin afectar la distribución de materia seca, mientras que Ghattas y Economakis (1993) encontraron que al incrementar la densidad de población se incrementó la altura de planta y el número de hojas. Salisbury y Ross (1994) mencionan que las plantas en alta densidad incrementan su altura debido a una mayor síntesis de auxinas.

Las densidades empleadas en el presente experimento fueron altas (30 y 40 plantas por m²), pero no la reducción en diámetro de tallo y la poca diferencia en altura pudieron deberse a la distribución de plantas en distintas alturas (dosel escaleriforme), que favorecieron una mejor distribución de la luz interceptada y a que el análisis se efectuó considerando el promedio de tratamientos que involucraban aplicaciones de retardadores incluyendo al testigo sin aplicación, por lo que se esperaba que las diferencias en altura se minimizaran.

El área foliar por planta a los 90 dds presentó diferencia significativa siendo menor en la alta densidad, lo cual coincide con lo reportado por Benavides *et al.* (1993),

quienes mencionan que en ausencia de suficiente RFA una planta desarrolla un estado conocido como etiolación, con entrenudos largos y hojas pequeñas, aunque en el presente experimento no se alcanzó tal situación, pues numéricamente sólo disminuyó el área foliar por planta en 6.5 dm².

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar para el factor densidades.

Densidad	Altura de planta a los 60 dds (cm)	Área foliar por planta a los 90 dds (dm ²)	Altura de planta a los 90 dds (cm)	Diámetro de tallo a los 90 dds (cm)
Baja	21.2b	71.9a	110.0a	1.37a
Alta	22.2a	65.4b	114.5a	1.32a
DMS	0.8	6.1	27.5	0.13

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$), DMS: diferencia mínima significativa.

Algunos autores (Morgan, 1986; Mohamoud, *et al.*, 1986; Budykina, *et al.*, 1995) mencionan que tanto el cycocel como el paclobutrazol son efectivos en la reducción del tamaño de las plantas. Como se esperaba (Cuadro 5), el paclobutrazol y cycocel en sus diferentes aplicaciones disminuyeron significativamente la altura de planta (en los tratamientos de tres aplicaciones) con relación al testigo después de la segunda aplicación (60 dds). Sin embargo, el efecto fue temporal ya que la altura de planta a los 90 días después de la siembra y el diámetro de tallo no presentaron diferencias significativas para el factor aplicaciones, resultado que coincide con lo reportado por Souza-Machado *et al.* (1999), Jankiewics (1989), Atherton y Harris (1986), Borkowski y Jagoda (1977), quienes mencionan que el efecto antigiberélico del paclobutrazol desaparece 4 a

5 semanas después del trasplante en campo, por lo que la reducción del crecimiento no es evidente a largo plazo.

El área foliar por planta a los 90 dds disminuyó significativamente con el tratamiento de tres aplicaciones de paclobutrazol en relación con el testigo (Cuadro 5), resultado similar al obtenido por Sanz *et al.* (2000), quienes señalan que el paclobutrazol ocasiona reducción el área foliar de las plantas y engrosamiento de las hojas.

Cuadro 5. Comparación de medias considerando las diferentes aplicaciones de retardadores para las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y altura de planta después de la segunda aplicación.

Retardador	Altura de planta a los 60 dds (cm)	Área foliar a los 90 dds (dm ²)	Altura de planta a los 90 dds (cm)	Diámetro de tallo a los 90 dds (cm)
Testigo				
(sin aplicación)	26.2a	77.5a	116.7a	1.39a
Cycocel				
1 aplicación	21.9b	71.9ab	114.1a	1.34a
Cycocel				
3 aplicaciones	21.0b	72.1ab	112.7a	1.36a
Paclobutrazol				
1 aplicación	19.7b	62.7ab	109.7a	1.31a
Paclobutrazol				
3 aplicaciones	19.6b	59.0 b	108.1a	1.34a
DMS	3.0	15.6	11.6	0.11

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$), DMS: diferencia mínima significativa.

Algunos autores (Picken *et al.*, 1989; Atherton y Harris, 1986) mencionan que el cycocel aplicado al follaje o como solución al suelo produce hojas de menor tamaño y de color verde oscuro; sin embargo, los resultados obtenidos (Cuadro 5) indican que el cycocel no presentó diferencias estadísticas para la variable área foliar por planta, en comparación con el testigo.

Sólo el tratamiento de tres aplicaciones de paclobutrazol disminuyó significativamente el área foliar final por planta en relación al testigo sin aplicación (Cuadro 5), efecto que fue más duradero ya que la diferencia se mantuvo al menos hasta los 90 dds (edad que tenían las plantas al momento de la medición) que equivale a 10 días después de la tercera aplicación. Esto coincide con lo reportado por Latimer (1992), quien menciona que al aplicar paclobutrazol a concentraciones de 14 y 60 mg L⁻¹ se observó una reducción en el área foliar de las plantas, reducción de la longitud de tallos y peso seco de los brotes.

4.1.2. Rendimiento y sus componentes

En el análisis de varianza (Cuadro 6), sólo se observó diferencia significativa sólo entre densidades de población para la variable rendimiento por unidad de superficie. Para el resto de las variables no se encontró significancia estadística en ninguno de los dos factores de estudio ni en su interacción.

Cuadro 6. Cuadrados medios de las variables, rendimiento por planta, rendimiento por unidad de superficie, número de frutos por planta, número de frutos por unidad de superficie, diámetro de fruto y peso promedio de fruto para densidades y aplicaciones.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios					
		Rendimiento por planta	Rendimiento	Frutos por planta	Frutos por unidad de superficie	Diámetro de fruto	Peso promedio de fruto
Bloque	3	41556	44.7	4.1	6966	0.30	115
Densidad	1	63289	760.9*	0.39	111513	0.0009	124
Error a	3	66843	72.9	8.5	11354	0.28	145
Aplicación	4	10082	13.8	0.2	513	0.20	16
Dens*Aplic	4	25641	32.5	2.7	3405	0.24	91
Error b	24	25480	31.5	3.1	3534	0.21	49
Total	39						
C.V.		13.9	14.0	15.4	14.7	8.0	7.1
Media		1146.9 (g)	39.9 (kg m ⁻²)	11.4	403	5.7(cm)	98.4 (g)
					(frutos m ⁻²)		

F.V.: fuentes de variación; G.L.: grados de libertad; C.V.: coeficiente de variación;

*:significancia con $\alpha = 0.05$

La prueba de comparación de medias para el factor densidades de población, en promedio de los tratamientos de aplicaciones de retardadores (Cuadro 7), muestra que sólo hubo diferencias significativas entre densidades para el rendimiento por unidad de superficie, siendo este mayor en el tratamiento de densidad alta. La presión de densidad no fue suficiente para afectar negativamente los componentes del rendimiento (número de frutos por planta y peso promedio de los frutos), lo que se reflejó en una fuerte tendencia a mayor número de frutos por unidad de superficie en la alta densidad. Este resultado es similar a los obtenidos por Heuvelink (1995) y

Saglam y Yazgan (1995), quienes mencionan que al incrementar la densidad de población en jitomate el número de racimos y frutos no se afecta significativamente. Sin embargo, hay que considerar que al incrementar la densidad de población, la calidad de frutos se puede afectar negativamente (Saglam, 1995; Cockshull, 1995; Castro *et al.*, 1994; Mullins, 1992; Osvald *et al.*, 2001).

Cuadro 7. Comparación de medias para los niveles del factor densidad en las variables rendimiento por planta, rendimiento por metro cuadrado, frutos por planta, frutos por metro cuadrado, peso promedio de frutos y diámetro promedio de fruto.

Densidad	Rendimiento por planta (g)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Frutos por planta	Frutos por metro cuadrado	Peso promedio de frutos (g)	Diámetro promedio de frutos (cm)
Baja	1186.6a	35.5b	11.5a	350.7a	100.1a	5.72a
Alta	1107.1a	44.2a	11.3a	456.3a	96.6a	5.71a
DMS	260.19	8.5	2.9	107.2	12.1	0.5

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$), DMS: diferencia mínima significativa.

Algunos autores mencionan que el incremento en densidad de población de jitomate produce frutos de menor tamaño y de menor resistencia al transporte (Rajinder *et al.*, 2000; Moccia and Katcherian, 1999; Ghattas y Economakis, 1993); a su vez, Mullins (1992) menciona que al establecer altas densidades se tienen plantas de menor vigor, susceptibles a enfermedades y frutos de menor tamaño, además se incrementan considerablemente los costos de producción.

En el presente trabajo de investigación aunque se incrementó significativamente el rendimiento por unidad de superficie en la densidad alta, se observó una menor calidad de frutos en cuanto al color y la consistencia de los mismos. La densidad de 40 plantas por m², ocasionó la obtención de frutos de menor calidad, pero un mayor rendimiento en relación con la densidad de 30 plantas por m². Esto sugiere que la densidad alta podría establecerse cuando el destino de la producción es la industria; en caso contrario, lo más conveniente sería establecer la densidad más baja.

Al analizar el efecto de las diferentes aplicaciones de productos retardadores de crecimiento, se observa una ausencia de significancia para las variables rendimiento por planta, rendimiento por unidad de superficie, número de frutos por planta, número de frutos por unidad de superficie, peso promedio de frutos y diámetro promedio de fruto (Cuadro 8).

Morgan (1986), reporta que el cycocel a una concentración de 10⁻⁴ M reduce el rendimiento de jitomate en un 12 %, debido principalmente a la reducción del tamaño de los frutos y a la precocidad en la cosecha; también Adler (1987) indica que el efecto residual del cycocel disminuye el rendimiento debido a la reducción en tamaño y número de frutos. Otros autores, mencionan que la aplicación de cycocel al follaje reduce el rendimiento por planta y el número y tamaño de frutos (Morgan, 1986; Adler, 1987; Budykina *et al.*, 1995; Castro *et al.*, 1994). También Souza-Machado *et al.*, (1999) y Latimer (1992), mencionan que al adicionar paclobutrazol a plantas de jitomate se reduce el rendimiento total de frutos.

Aunque se dio una ligera tendencia en ese sentido, en el presente trabajo no se encontró disminución alguna para el rendimiento por unidad de superficie o cualquiera de sus componentes principales.

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables rendimiento por planta, rendimiento por metro cuadrado, número de frutos por planta, números de frutos por metro cuadrado, peso promedio de fruto y diámetro de fruto.

Retardador	Rendimiento por planta (g)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Frutos por planta	Frutos por metro cuadrado	Peso promedio de fruto (g)	Diámetro promedio de frutos (cm)
Testigo						
(sin plicación)	1202.2a	41.8a	11.5a	410a	99a	5.7a
Cycocel						
1 aplicación	1152.7a	40.2a	11.7a	410a	98a	5.6a
Cycocel						
3 plicaciones	1131.9a	39.8a	11.4a	403a	99a	5.5a
Paclobutrazol						
1 aplicación	1105.6a	38.1a	11.2a	391a	96a	5.5a
Paclobutrazol						
3 plicaciones	1141.9a	39.5a	11.4a	401a	98a	5.9a
DMS	235.1	8.2	2.6	87.5	12	0.6

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

Una causa probable de la ausencia de diferencia significativa puede ser que la mayoría de trabajos donde se reportan incremento en el número de flores de las plantas y rendimiento con la aplicación de retardadores (Abdul *et al.*, 1978; Morgan, 1986; Emmerk y Gordeeva, 1982; Petrikova, 1989; Giovinazzo, 2001; Kozłowska y Borowski, 1995) se han realizado a campo abierto, donde los retardadores le dan cierta ventaja a las plantas tratadas (resistencia a estrés por sequía, alta temperatura y sistema radical más desarrollado) en comparación con

las condiciones donde se desarrolló la presente investigación (bajo invernadero) donde existen condiciones ambientales más favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

4.2. Análisis de tratamientos por hileras

Ya que se observaron condiciones distintas en las hileras superior, intermedia e inferior, se decidió analizar los tratamientos considerando cada una de éstas como un ambiente diferente (tratamiento).

4.2.1. Análisis de las variables morfológicas

En los análisis de varianza para las hileras (Cuadro 9), en relación con las variables morfológicas, se observa que hubo diferencia estadística para altura de planta a los 60 dds, diámetro de tallo y área foliar por planta, no así para altura de planta a los 90 días después de la siembra.

Cuadro 9. Grados de libertad y cuadrados medios de las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo y área foliar.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios			
		Altura de planta a los 90 dds	Diámetro de tallo a los 90 dds	Área foliar por planta a los 90 dds	Altura de planta a los 60 dds
Hilera	2	222	0.04*	25974*	1.4*
Bloque	3	223	0.002	1040963	1.3
Error	11				
C.V.		7.7	3.2	0.3	1.3
Media		111 (cm)	1.34 (cm)	69.81 dm ²	21.6 (cm)

F.V.: fuentes de variación; G.L. grados de libertad; dds: Días después de la siembra;

*: significancia $\alpha = 0.05$; C.V.: coeficiente de variación.

En la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), se observó que hubo diferencia significativa para la altura de planta a los 60 días después de la siembra, teniendo las plantas de las hileras inferior e intermedia mayor altura. La altura de planta a los 90 días después de la siembra no presentó diferencia significativa en las hileras debido a que el efecto de los retardadores fue temporal y fue más notable en las plantas a los 60 dds.

Las plantas de la hilera superior presentaron el mayor diámetro de tallo a los 90 días después de la siembra (Cuadro 10), difiriendo estadísticamente de las plantas de las dos hileras inferiores. El mayor grosor de tallo se debió principalmente a la mayor radiación captada por las plantas de la hilera superior. Efectivamente de acuerdo a las mediciones de RFA a los 80 dds, a la altura del tercer racimo (contado de abajo hacia arriba) de esa hilera superior llegaba una radiación equivalente al 30 % de la incidente encima del dosel, mientras que para las hileras intermedia e inferior, a la altura del mismo racimo, sólo llegaba el 15 y el 7 % respectivamente. Benavides *et al.*, (1993), mencionan que en ausencia de suficiente RFA hay etiolación. A su vez Gardner, *et al.* (1990) señalan que las plantas en condiciones de sombreado incrementan la síntesis de auxinas, lo cual provoca incremento en la longitud de los tallos por el alargamiento de entrenudos.

En la justificación de este trabajo se planteó que la distribución de las plantas en un dosel en forma de escalera y orientadas en dirección este-oeste favorecería una

distribución homogénea de la RFA en las plantas; sin embargo, esto no ocurrió. Debido a que Girona es una variedad vigorosa, creció mucho y las plantas de la hilera superior se inclinaron hacia el lado sur sombreando a las hileras inferiores. Otro factor desfavorable en el presente experimento, fue la estrecha distancia entre las hileras. Por ello, se sugiere que para trabajos posteriores se establezcan variedades de hábito semideterminado o determinado, de menor porte o plantas despuntadas a un menor número de racimos. También se sugiere ampliar la distancia entre hileras en el caso de variedades de hábito indeterminado o vigorosas.

El área foliar también se incrementó significativamente en las plantas de las hileras intermedia e inferior (Cuadro 10) debido al sombreamiento que recibían de la hilera superior. Las plantas en presencia de sombra incrementan su área foliar y se hacen más delgadas como una forma de adaptación a las condiciones de baja intensidad luminosa (Salisbury y Ross, 1994).

Cuadro 10. Comparación de medias de las variables morfológicas para las hileras inferior, intermedia y superior.

Hilera	Altura de planta a los 90 dds (cm)	Diámetro de tallo a los 90 dds (cm)	Área foliar a los 90 dds (dm ²)	Altura de planta a los 60 dds (cm)
Inferior	116a	1.25b	70.1a	21.7a
Intermedia	114a	1.32b	70.3a	22.1a
Superior	102a	1.46a	68.8b	20.9b
DMS	18.7	0.09	4.6	0.6

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

4.2.2. Análisis de los componentes de rendimiento

Los análisis de varianza entre las hileras de plantas, para las variables rendimiento por planta, rendimiento por metro cuadrado, número de frutos por planta, diámetro de fruto y peso promedio de fruto (Cuadro 11), indican que existe diferencia significativa para todas ellas.

Cuadro 11. Cuadrados medios de las variables rendimiento por planta, rendimiento por unidad de superficie, número de frutos por planta, diámetro de frutos y peso promedio de fruto.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios			
		Rendimiento por planta	Frutos por planta	Diámetro de fruto	Peso promedio de fruto
Hilera	2	465011*	12.6*	0.15*	700*
Bloque	3	13283	1.2	0.03	48
Error	11				
C.V.		11.4	6.9	1.7	5.7
Media		1140 (g)	11.5	5.6 (cm)	97 (g)

F.V.: fuentes de variación; G.L.: grados de libertad; C.V.: coeficiente de variación;

*:Diferencia significativa $\alpha = 0.05$

De acuerdo a la prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$), el rendimiento por planta, el número de frutos por planta, el peso promedio de frutos y el diámetro promedio de frutos presentaron diferencia significativa entre hileras, siendo la hilera superior la que presentó el mayor valor en estas variables (Cuadro 12). El bajo rendimiento de las hileras intermedia e inferior fue provocado principalmente por el sombreado de la hilera superior hacia las otras dos hileras incrementado por el excesivo vigor que mostró el cultivar en dicha hilera.

Como se aprecia en el mismo Cuadro, el mayor rendimiento obtenido en las plantas de la hilera superior se debió al mayor número de frutos por planta y mayor peso promedio de los mismos obtenido en las plantas de esta hilera.

Las plantas de la hilera superior fueron las que tuvieron mayor valor en cuanto a componentes del rendimiento, debido a una mayor captación de radiación fotosintéticamente activa (30 % de la RFA total incidente), presentando un rendimiento por planta de 1534 g, lo cual equivale a un rendimiento de 53 kg m⁻² útil. Esto indica que si se lograra distribuir homogéneamente la radiación en todo el dosel se podrían obtener altos rendimientos por unidad de superficie en ciclos de cultivo relativamente cortos, que permitirían concentrar la cosecha en épocas en que el jitomate alcanza altos precios en el mercado. Hamed y Mohamed (1987), mencionan que en alta densidad dónde la radiación no penetra en los diferentes niveles de un dosel vegetal el rendimiento por planta se ve disminuido. Por otro lado Charles-Edwards *et al.*, (1986), indican que el rendimiento se puede incrementar cuando existe mayor captación de radiación fotosintéticamente activa y una distribución más homogénea de la misma dentro del dosel para mantener activas a las hojas superiores e inferiores.

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

Hilera	Rendimiento por planta (g)	Frutos por planta	Peso promedio de fruto (g)	Diámetro de fruto (cm)
Inferior	919b	10.3b	88b	5.5b
Intermedia	969b	10.6b	92b	5.5b
Superior	1533a	13.5a	112a	5.8a
DMS	282	1.7	12.1	0.20

Dentro de cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). DMS: diferencia mínima significativa.

V. CONCLUSIONES

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

Las aplicaciones de retardadores cycocel y paclobutrazol a concentraciones de 500 mg L⁻¹ y 50 mg L⁻¹, respectivamente, en una y tres aplicaciones no afectaron el rendimiento por unidad de superficie ni sus componentes número de frutos por unidad de superficie y peso medio de fruto.

La aplicación de los retardadores de crecimiento cycocel y paclobutrazol sólo afectaron temporalmente los caracteres morfológicos altura de planta y área foliar.

El mayor rendimiento por unidad de superficie se obtuvo con la densidad de población alta (40 plantas por m² útil) en relación a la densidad baja (30 plantas por m² útil).

Las plantas de la hilera superior produjeron un mayor número de frutos, un mayor peso promedio por fruto y por tanto, un mayor rendimiento que las plantas ubicadas en las hileras intermedia e inferior en el dosel escaleriforme.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdul, K. S.; Canham, A. E. and G. P. Harris. 1978. Effects of CCC on the formation and abortion of flowers in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Annals of Botany* 42: 617-625.
- Adler, P. R. and G. E. Wilcox. 1987. Salt stress, mechanical stress, or chlormequat chloride effects on morphology and growth recovery of hydroponic tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(1): 22-25.
- Andersen, R. A., M. J. Kasperbauer., and H.R. Burton. 1985. Shade during growth effects on chemical composition and leaf color of air cured Buley tobacco. *Agron. J.* 77: 543-546.
- Asao, T.; Ito, N.; Hosoki, T.; Ohta, K. and K. Endo. 1996. Effects of plant growth retardants and root pruning on growth and yield of tomato cultured hydroponically. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 65(1): 89-94.
- Atherton, J. G and G. P. Harris. 1986. Flowering. *In: The tomato crop.* Atherton, J. G.; Rudich, J. (eds). University press. Cambridge, USA. pp 167-200.
- Azcón-Bieto, J. Y M. Talón. 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal.* Mc Graw Hill Interamericana. Madrid, España. 522 p.
- Ballaré C., L., Scopel A., L. and R. A. Sánchez. 1990. Far red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. *Science* 247: 329-332.
- Beadle, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. *In: Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad.* Combs, J., Hall D. O., Long, S. P., Scurlock, J. M. O. (eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 17-21.
- Benavides, A. R., Maiti, R. K. y G. E. Terán. 1993. El balance espectral de la radiación y la fotomorfogénesis y la productividad de los vegetales. *Monografía técnica.* Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. 46 p.

- Berova, M. and Z. Zlatev. 2000. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Plant Growth Regulation 30: 117-123.
- Borkowski, J. 1992. Influence of retardants on tomato transplants. Biuletyn Warzywniczy 39: 5-12.
- Borkowski, J. and J. Jagoda. 1977. Tratamiento de plántulas de jitomate con CCC para facilitar su siembra mecánica. Ogronictwo 12: 132.
- Boshnakov, 1989. Results of treating some tomato varieties with the retardant chlormequat chloride (CCC) and gibberelic acid (GA₃). Fiziologiya na Rastenyata 14(3): 43-47.
- Budykina, N. P. 1980. Efecto de retardantes del crecimiento en producción y resistencia al frío. Acta Hort. 126: 45-50.
- Budykina, N. P., Drozdov, S. N. and V. K Kurets. 1995. Effectiveness of treating tomatoes with chlorine chloride depending on environmental conditions. Agrokhimiya 10: 94-95.
- Cancino B., J., Sánchez del C., F. y P. Espinoza R. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Revista Chapingo 73: 26-30.
- Castro B., R., Espinoza R., P. and R. J. Campbell. 1994. Response to B-9 application and type of pruning in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) crops at high population densities under greenhouse conditions in a hydroponic system. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 38: 232-235.
- Castro, P. R. C.; Malavolta, E. and G. D. Oliveira. 1983. Effects of growth regulators on mineral nutrition of tomato. Journal of Plant Nutrition 6(8): 717-724.

- Chamarro L., J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. *In*: El cultivo del tomate. Nuez V., F y Rodríguez del R., A. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 43-91.
- Charles-Edwards, D. A., Doley, D. and G. M. Rimmington. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Sidney, Australia. 235 p.
- Cockshull, K. E. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *Journal of Horticultural Science* 70(3): 395-407.
- Cuartero Z., J., Fernández-Muñoz, R. y J. J. González-Fernández. 1995. Estréses abióticos. *In*: El cultivo del tomate. Nuez V., F y Rodríguez del R., A. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 351-382.
- Davis, T. and E. Curry. 1991. Chemical regulation of vegetative growth. *Critic Review Plant Science* 10: 204-216.
- Dalziel, J. and D. Lawrence. 1984. Biochemical and biological effects of kaurene oxidase inhibitors such as paclobutrazol. *In*: Biochemical aspects of synthetic and naturally occurin plant growth regulators. British Plant Growth Regul Group Monograph 11: 43-57.
- Dejong, T. M. and J. F. Doyle 1984. Leaf gas exchange and growth response of mature 'fantasia' nectarine trees to paclobutrazol. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 878-882.
- Emmerk, F. and J. Gordeeva. 1982. Effect of chlormequat chloride in the tomato production. *Ann. Agr. Sci.* 20(3): 73-75.
- Esquinas-Alcazar, J. y F. Nuez V., 1995. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. *In*: El cultivo del tomate. Nuez V., F y Rodríguez del R., A. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 36.
- FAO. 2002. Anuario de producción de alimentos. Roma, Italia.
- Fitter, A. H. and R. K. M. Hay. 1981 *Enviromental Physiology of Plants*. Academic Press Inc. New York. 83 p.

- Fletcher, R. and G. Hofstra. 1988. Triazoles as potencial plant protectans. *In*: Sterol Synthesis inhibitors plant protection. Berg, D and Plempel, M (eds).. Cambridge: Ellis Horwood Ltd. pp. 321- 331.
- Folker, F. 1979. El tomate. Estudio de la planta y su producción. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 105 p.
- Gardner, P. F., Pearce, R. B. and R. L. Mithchel. 1990. Physiology of crop plants. Iowa, State University Press. Iowa, USA. 327 p.
- Gates, D. M. 1980. Biophysical Ecology. Springer-Verlag Ney York, Inc. New York.
- Ghattas, E. N. and C. Economakis. 1993. The influence of plant density on growth and yield of tomatoes in nutrient film technique in Greece. Proceedings of the 8th International Congress on Soilless Culture. pp.165-172.
- Giovinazzo, R., Souza-Machado, V. and T. K. Hartz. 2001. Paclobutrazol respon-ses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae* 542: 355-358.
- González I., A. 1991. El jitomate. Aspectos relevantes para su cultivo en México. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 708 p.
- Guencov, G. 1974. Fundamentos de la horticultura cubana. Instituto cubano del libro. La Habana, Cuba. 355 p.
- Hamed, Y. N. and A. A. H. Mohamed. 1987. Effect of cutting stage, nitrogen fertilization and seeding rate on yield and quality of hybrid forage sorghum. *Agric. Sci.* 5: 135-148.
- Hensinger, B. 1992. *Botrytis* control achieved by blocking UV light in the greenhouse. *Grower Talks* 55(12): 23
- Hernández G., V. M. 1989. Respuesta a la distancia de plantación y tipo de poda en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero rústico. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 54 p.

- Heuvelink, E. 1995. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 64(3):193-201.
- Holmes, M. G. and H. Smith. 1977. The function of phytochrome in the natural environment. The influence of vegetation canopies on the spectral energy distribution of the natural daylight. *Photochem. Photobiol.* 25: 539-546.
- Hunziker, A. T. 1979. South American Solanaceae. A synoptic survey. *In: The biology and taxonomy of solanaceae.* Hawkes J. G.; Lester R. N.; Skelding A. D. (eds.). Academic Press. New York. 4985 p.
- Hurd, R. G. and J. H. Thornley. 1974. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO₂ concentrations. *Annals of Botany* 338: 375-378.
- INEGI. 2002. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México. 664 p.
- Jankiewicz, L. S. 1989. Desarrollo Vegetal. Sustancias Reguladoras. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 121 p.
- Jorge S., M. 1999. Densidades, arreglos de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, México. 92 p.
- Kasperbauer, M. J. and P. G. Hunt. 1992. Root size and shoot/root ratio as influenced by light environment of shoot. *J. Plant. Nutr.* 15: 685-697.
- Katsuhiko, O., Inoue Y. and K. Satoh. 1992. Effects of light on degradation of chlorophyll and proteins during senescence of detached rice leaves. *Plant Cell Physiol.* 33: 1183-1191.
- Kaul, K. and M.J. Kasperbauer. 1988. Row orientation effects on FR/R light ratio, grow and development of field-grown bush bean. *Plant Physiol.* 74: 415-717.

- Kozłowska, L. and E. Borowski. 1995. Morphology and cropping of tomato cv. Pearly F1 plants treated with paclobutrazol. *Wydziału Ogrodniczego Akademii Rolniczej Lublinie* 6: 509-511.
- Latimer, J.G. 1992. Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(2): 243-247.
- Lawlor, D. W., 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. Longman Scientific and Technical. Londres, Inglaterra. 318 pp.
- Lenton, J. R., Edden., P. M. and D. Gale. 1987. Hormone action in plant development. London, England. 160 p.
- Logendra L. S., Gianfagna, T. J., Specca, D. R. and H. W. Janes. 2001. Greenhouse tomato limited cluster production systems: crop management practices affect yield. *Hort. Science* 36(5): 893-896.
- Mahmoud, V. S. H., Metwally, A. M. and M. M Mahmoud. 1986. Biochemical effects of chloroflurenol methyl ester and chlormequat chloride on carbohydrate and protein metabolism in winter tomato. *Acta Hort.* 190: 339-346.
- Mangal, J. L., Lai, S., Sing, G. R. and S. K. Arora. 1995. Induction of salt tolerance in tomato. *Haryana Journal of Horticultural Science* 24(2): 148-151.
- Marín, R. J. 2000. *Vadécum de variedades hortícolas*. Editorial Gráficas Alpe. Almería, España. 360 p.
- Maroto B., J. V. 1989. *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 566 p.
- Maroto B., J. V. 1990. *Elementos de horticultura general*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 343 p.

Martínez, F. G., 1995. Elementos de Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1147 pp.

Méndez G., T. 2002. Formación de doseles ecaleriformes con hileras de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orientadas en dirección este-oeste. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo. México. 136 p.

Metwally, A. M. 1979. Effect of some regulators of the growth in the development and yield in tomato. Agricultural Research Review. Horticulture 57(3): 147-158.

Millica, C. I. 1983. Effect of retardants in physiology processes in fruits of tomato. Sci. Inst. Agron. 27: 25-26.

Moccia, S. and F. Katcherian. 1999. Effects of density on the yield components of cherry tomato. Horticultura Argentina 16: 40-41.

Monsi, M., Uchijima, Z. And T. Oikawa. 1973. Structure of foliage canopies and photosynthesis. Ann. Rev. Ecol. System. 4: 301-327.

Morgan, J. V. 1986. Chemical and environmental control of growth during propagation of tomato plants for transplanting. Acta Hort. 190: 523-530.

Mullins C. A. 1992. Tomato plant spacing. Tennessee Farm and Home Science 164: 29-33.

Nobel, P. S. and S. P. Long 1988. Estructura del dosel e intercepción de la luz. In Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Combs, J., D.O. Hall, S.P. Long y J. M. Scurlock (Eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 258 p.

Nourai, A. H. A. and G. P. Harris. 1983. Effects of growth retardants on inflorescence development in tomato. Scientia Horticulturae 20: 341-348.

- Osvald J., Petrovic, N. and J. Demsar. 2001. Sugar and organic acid content of tomato fruits (*Lycopersicon lycopersicum* Mill.) grown on aeroponics at different plant density. *Acta Alimentaria Budapest* 30(1): 53-61.
- Papadopoulos, A. P. and D. P. Ormrod. 1990. Plant spacing effects on yield of the green house tomato. *Canadian Journal of Plant Science* 70(2): 565-573.
- Pearce, B. D., Grange, R. I. and K. Hardwick. 1993. The growth of young tomato fruit. *Journal Horticultural Science* 68 (1): 1-11.
- Petrikova, K. 1989. The effect of the retardant EMA on young tomato plants. *Acta Universitatis Agriculturae, Facultas Horticulturae* 4(2): 25-31.
- Picken, A. J. F., Steward, D. and D. Klopwijk. 1986. Germination and vegetative development. *In: The Tomato Crop*. Athernon, J. G. and Rudich, J. (eds.) London, England. pp. 110-166.
- Ponce, O. J., 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en hidroponia. Universidad Autónoma Chapingo, Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México 96 p.
- Rademacher, W. 1991. Inhibitor of gibberellin biosynthesis: Applications in agriculture and horticulture. *In: Takahashi N.; Phinney, B. and McMillan, J. (eds). Gibberellins*. New York: Springer-Verlag pp. 296-310.
- Rajinder, S.; Sandhu, K. S.; Daljit, S.; Sandha M. S.; Singh, R. and D. Singh. 2000. Quality response of tomato varieties to population density and training methods. *Haryana Journal of Horticultural Science* 29(3): 235-236.
- Read, E. P. and D. J. Fieldhouse. 1970. Use of growth retardants for increasing tomato yields and adaptation for mechanical harvest. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95(1): 73-78.

- Regalado O., Ma. del C. 2002. Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo. México. 161 p.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. 5ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona; España. 558 p.
- Rodríguez A., E. 1995. Efecto de la poda y densidades de población en el rendimiento y calidad del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.
- Rojas, G. M. y H. Ramírez. 1993. Control hormonal del desarrollo de las plantas: fisiología, tecnología-experimentación. Editorial LIMUSA. S.A. de C.V. D.F. México. 263 p.
- Russell, C. R. and D. A. Morris. 1983. Invertase activity, soluble carbohydrates and inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Annals of Botany 49: 89-98.
- Saglam, N. and A. Yazgan. 1995. The effects of planting density and the number of trusses per plant on earliness, yield and quality of tomato grown under unheated high plastic tunnel. Acta Horticulturae 412: 258-267.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica. México, D.F. 759 p.
- Sánchez Del C., F. y E. Escalante R., 1989. Hidroponia: un sistema de producción. UACH. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez Del C., F. y T. Corona, S., 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo. Serie Horticultura 1(2): 109-114.
- Sánchez Del C., F., Espinoza, P. R. y E. Escalante R., 1991. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Hidroponia bajo invernadero. Avances de investigación. Revista Chapingo 78: 62-68.

- Sánchez Del C., F., Ortiz C., J., Mendoza C., C., González H., V. and O. Bustamante J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.
- Sanz, M. A., Blanco, A. and J. Val. 2000. Growth inhibition of tomato plants by calcium-induced deficiency. *ITEA Producción Vegetal* 96(3): 207-217.
- Serrano C., Z. 1978. Cultivo de Hortalizas en invernadero. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 431 p.
- Serrano C., Z. 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Editorial RALLI, S. A. Sevilla, España. 638 p.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33: 481-518.
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 46: 289-315.
- Sonnewald W. and L. Willmitzer. 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. *Plant Physiology* 99: 1267-1270.
- Souza-Machado, V., Ali, A., Pitblado, R., and P. May. 1997. Enhancement of tomato seedling quality involving triazole seed priming and seedling nutrient loading. American Society for Horticultural Science.
- Souza-Machado, V., Pitblado, R., Ali, A. and P. May. 1999. Paclobutrazol in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) for improved tolerance to early transplanting and earlier harvest maturity. *Acta Hort.* 487: 139-143.
- Swietlik, D. And S. S. Miller. 1983. The effect of paclobutrazol on growth and response to water stress of apple seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 1076-1080.
- Teramura, A.H. 1987. Effects of ultraviolet-B irradiances on soybean. *Rev. Plant Physiol.* 65: 483-488.

- Thompson, H. F. and M. J. White. 1991. Physiological and molecular studies of light regulated nuclear genes in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 423-466.
- Ucán, Ch. I. 1999. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño del fruto en jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, Méx. 92 pp.
- Van de Voren, J., Welles, G. W. H. and G. Hayman. 1986. Glasshouse crop production. *In: The Tomato Crop*. Atherto, G; Rudich, J. (eds). Chapman and Hall. London England. pp. 582-624.
- Vavilov, N. V. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. The Ronald Press Company. New York. 364 p.
- Vázquez R., J. C. y F. Sánchez Del C. 2000. Doseles escaleriformes para (aumentar) el uso de luz en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. DF. México. 97 p.
- Vierstra, R. D. 1993. Illuminating phytochrome functions. There is at the end tunnel. *Plant Physiol.* 103: 679-684.
- Wample, R. L. and E. B. Culver. 1983. The influence of paclobutrazol, a new growth regulator on sunflowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 122-125.
- Warren, W. J. 1981. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. *Annals of Botany* 48: 507-512.
- Weaver, R. J. 1976. Reguladores del Crecimiento de las Plantas en la Agricultura. Ed. Trillas. D. F., México. 622 p.

Weiss, D. 1995. Plastic greenhouse covers as light filter to control plant development. Tecnologías agrícolas con plásticos. Simposium internacional de tecnologías agrícolas con plásticos. (memorias). León, Guanajuato. México. pp 93-95.

Welles, J. M. and J. M. Norman. 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. Agron. J. 83: 818-825.