



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

“PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS E HIDROPONÍA EN TABASCO”

EDMUNDO GÓMEZ MÉNDEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2012

La presente tesis titulada “**PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)
BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS E HIDROPONÍA EN TABASCO**”, realizada por
el alumno: Edmundo Gómez Méndez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha
sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. GABRIEL ALCANTAR GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. MAXIMIANO ANTONIO ESTRADA BOTELLO

ASESOR:



DR. VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

ASESOR:



DRA. LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS

ASESOR:



DR. IRINEO LORENZO LÓPEZ CRUZ

Montecillo, Texcoco, Edo. De México, Noviembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a **DIOS** por que hasta el día de hoy me ha dado fuerza, vida y salud para culminar una etapa más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios doctorales.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo y en especial al programa de Edafología por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios doctorales.

A la Maestra Candita Victoria Gil Jiménez, que en su momento como rectora de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, me dio las facilidades para estudiar el doctorado.

Al M.C. Jorge Arturo Díaz González, exdirector de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, que me apoyo gestionando ante la UJAT para ser beneficiado y realizar mis estudios de doctorado

A la M.A.A. Alma Catalina Berumen Alatorre, Directora de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, por todo el apoyo brindado para culminar mis estudios doctorales.

Al M.E. José Juan Sosa Ramos Secretario General del SPIUJAT, por su apoyo en el otorgamiento de permiso adicional para culminar mis estudios doctorales.

Al Dr. Gabriel Alcántar González, por aceptar la responsabilidad de orientarme, aportar sus conocimientos e ideas en la investigación y correcciones oportunas en la redacción de la tesis.

Al Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello, por su valioso apoyo ya que financió gran parte de la investigación, además por sus valiosas aportaciones en la elaboración de la tesis.

Al Dr. Víctor Ordaz Chaparro, por su apoyo en la caracterización del sustrato y aportaciones importantes en la tesis.

A la Dra. Lucero del Mar Ruiz Posadas, por sus ideas en la conducción del experimento y aportaciones muy valiosas en la tesis.

Al Dr. Irineo Lorenzo López Cruz, por su disposición y asesoría para la realización de esta investigación.

A Melchor Hernández Hernández, mi gran amigo por todo el apoyo en la parte estadística de la tesis y su amistad incondicional.

A José Manuel Salaya Domínguez, mi amigo y compañero de trabajo, quien me motivó para estudiar el doctorado y con quien juntos emprendimos este reto.

A todos **mis profesores**, amigos especialmente **Lizeth** y compañeros durante mi estancia en el Colegio.

DEDICATORIA

A mis padres: *Ricardo Gómez Lara* y *Simona Méndez Alemán*, por darme la vida, consejos y por el cariño que siempre me han brindado.

A mis esposa *Arelhi*, por su paciencia y el apoyo que me ha dado en todo momento.

A mis hijos *Dianita* y *Carlitos*, que han traído felicidad a mi vida y que han sido el motor de mi superación.

A mis hermanos *Sergio*, *Artemio*, *Jorge*, *Ricardo*, *Bertha*, *Carmen* y *Antonia*, por la unión que siempre hemos tenido.

A mis *sobrinos* a quienes deseo alcancen sus ideales y sean siempre grandes personas.

“PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS E HIDROPONIA EN TABASCO”

Edmundo Gómez Méndez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2012.

RESUMEN

Se realizaron tres experimentos; dos fueron conducidos de noviembre de 2008 a abril de 2009 y uno más de agosto de 2009 a febrero de 2010 con la finalidad de generar información en el manejo del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo condiciones protegidas e hidroponía para el estado de Tabasco. Se plantearon los siguientes objetivos: 1) Conocer la respuesta a densidades de población en plantas conducidas con diferentes números de tallos, 2) Establecer la mejor dosis de aplicación de la auxina 2-naftoxiacético para mejorar la fructificación y rendimiento y 3) Determinar el efecto del sombreado y de las aspersiones foliares con calcio sobre la incidencia de la pudrición apical del fruto. Para todos los casos se empleó el híbrido sun-7705, tipo saladette de hábito indeterminado, con tepetzil, material de origen volcánico como sustrato y se regó con la solución de Steiner. Se determinaron variables agronómicas y de calidad de fruto, las cuales se analizaron mediante el programa SAS. Se encontró que la densidad de siembra con 4.16 bolsas por m² con una planta por bolsa conducida a dos tallos y dos plantas por bolsa conducidas a un tallo, ambos con 8.32 tallos por m² presentaron el mayor rendimiento y número de frutos. Las dosis de 30 a 70 mgL⁻¹ de la auxina 2-naftoxiacético incrementaron el peso de fruto (por un aumento en su diámetro ecuatorial); además estimuló el desarrollo partenocárpico de los frutos, que puede ser útil bajo condiciones ambientales adversas para la polinización. Las condiciones ambientales favorables, así como el buen manejo de la nutrición, facilitaron la absorción y transporte de Ca hacia los frutos, evitando la presencia de la pudrición apical. El sombreado y las aplicaciones de Ca solo y combinadas con auxinas tuvieron un efecto mínimo en las variables agronómicas y de calidad de fruto, las que presentaron valores aceptables para su comercialización.

Palabras clave: hortalizas, conducción de plantas, partenocarpia, pudrición apical, cultivo sin suelo.

TOMATO PRODUCTION (*Solanum lycopersicum* L.) UNDER PROTECTED CONDITIONS AND HYDROPONICS IN TABASCO

**Edmundo Gómez Méndez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2012.**

SUMMARY

Three experiments were conducted; two were conducted in November 2008 to April 2009 and one August 2009 to February 2010 in order to generate information on crop management of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected conditions and hydroponics to the state of Tabasco. Had the following goals: 1) To determine the response to plant population densities conducted with different numbers of stems, 2) establish the best dose application of auxin 2-naphthoxyacetic to improve performance and fruiting and 3) determine the effect shading and calcium foliar sprays on the incidence of fruit rot. For all cases we used the sun-7705 hybrid, indeterminate habit saladette with tepetzil, volcanic material as substrate and watered with a solution of Steiner. Measurements included agronomic and fruit quality, which were analyzed using SAS. We found that the seeding density of 4.16 bags per m² with one plant per bag led to two stems and two plants per bag led to a stem, both with 8.32 stems per m² showed the highest yield and number of fruits. Doses of 30 to 70 mgL⁻¹ of 2-naphthoxyacetic auxin increased fruit weight (for an increase in equatorial diameter) also stimulated the development of parthenocarpic fruits, which can be useful under adverse environmental conditions affecting the pollination. Favorable environmental conditions and good nutrition management, facilitated the uptake and transport of Ca to the fruits, avoiding the presence of blossom end rot. The shading and Ca applications combined with auxin alone and had minimal effect on agronomic traits and quality of fruit, with values acceptable for marketing.

Index words: vegetables, plant conduction, parthenocarpy, blossom end rot, soilless.

INDICE GENERAL

	Página
<i>Resumen</i>	v
<i>Summary</i>	vi
<i>Índice de cuadros</i>	ix
<i>Índice de figuras</i>	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS GENERALES	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
CAPÍTULO I. RESPUESTA DEL JITOMATE A DENSIDADES DE POBLACIÓN EN PLANTAS CONDUCCIDAS CON DIFERENTES NÚMEROS DE TALLOS...	42
Resumen.....	43
Summary.....	44
Introducción.....	45
Materiales y métodos.....	46
Resultados y discusión.....	49
Conclusiones.....	59
Bibliografía.....	59
CAPITULO II. USO DE LA AUXINA 2-NAFTOXIACÉTICO EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS E HIDROPONIA EN TABASCO	62
Resumen.....	63
Summary.....	64
Introducción.....	65
Materiales y métodos.....	67
Resultados y discusión.....	69
Conclusiones.....	82
Bibliografía.....	82

CAPÍTULO III. MANEJO DE LA PUDRICIÓN APICAL DEL TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L) EN SISTEMA PROTEGIDO E HIDROPONÍA EN EL ESTADO DE TABASCO.....	85
Resumen.....	86
Summary.....	87
Introducción.....	88
Materiales y métodos.....	90
Resultados y discusión.....	94
Conclusiones.....	107
Bibliografía.....	108
CONCLUSIONES GENERALES.....	112

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CAPÍTULO I	
Cuadro 1.1 Descripción de los tratamientos evaluados en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705), en condiciones de invernadero e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.....	47
Cuadro 1.2 Porcentaje de peso que aporta cada racimo (R) y peso promedio de racimo en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705), bajo condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.....	53
Cuadro 1.3 Porcentaje del número de frutos por racimo (R) y frutos promedio por racimo en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) bajo condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.....	54
Cuadro 1.4 Comparación de medias de variables agronómicas en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705) en condiciones de invernadero e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.....	55
CAPÍTULO II.	
Cuadro 2.1 Comparación de medias de variables agronómicas en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) tratadas con auxina bajo condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.....	71
CAPÍTULO III	
Cuadro 3.1 Comparación de medias de variables agronómicas y calidad de fruto en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) en condiciones de invernadero con malla y sin malla en hidroponía en el Estado de Tabasco, México...	102

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I		Pág.
Figura 1.1	Conducción de plantas 1A) una planta por bolsa a 2 tallos, 1B) dos plantas por bolsas a un tallo, 1C) una planta por bolsa a un tallo, 1D) una planta por bolsa a 3 tallos.....	49
CAPÍTULO II		
Figura 2.1	Haz y envés de laminas foliares de jitomate, mostrando el efecto tóxico de la auxina 2-naftoxiacético: A) 10, 20 y 30 mg L ⁻¹ , B) 40, 50 y 60 mg L ⁻¹ , C) 70mg L ⁻¹ y testigo (hoja sana).....	70
Figura 2.2	Efecto del 2-naftoxiacético en la formación de fruto. A) Se observa presencia de semillas en frutos (testigo). B). No se observan presencia de semillas en frutos (partenocarpia) cultivado bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco.....	72
Figura 2.3	Efecto de la aplicación de la auxina 2-naftoxiacético (mgL ⁻¹) en el tamaño y forma del fruto de jitomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.) cultivado en hidroponía y bajo condiciones protegidas en Tabasco....	74
Figura 2.4	Grados Brix (°Bx) y pH en jitomate saladette tratados con diferentes dosis de auxina, cultivado bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco.	75
Figura 2.5	Temperatura y humedad relativa registradas dentro de la estructura protegida, durante el ciclo de cultivo de jitomate cultivado en hidroponía en Tabasco.....	77
Figura 2.6	Curva de liberación de agua de sustrato (tepetzil), empleado en jitomate hidropónico en Tabasco, México.....	79
CAPÍTULO III		
Figura 3.1	Temperaturas máximas, mínimas y promedio para invernadero con malla móvil (M) y sin malla (SM), durante el ciclo de cultivo de jitomate en Tabasco, México.....	95
Figura 3.2	Concentración de Ca ²⁺ en frutos de jitomates tipo saladette, SUN-7705, cultivado en hidroponía e invernadero con malla (M) y sin malla (SM) en Tabasco, México.....	96

Figura 3.3	Curva de concentración de Ca^{2+} y Mg en frutos de jitomate tipo saladette, SUN-7705, cultivado en hidroponía e invernadero en Tabasco, México.	95
Figura 3.4.	Transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero en Tabasco, México. (M) con malla y (SM) sin malla.....	97
Figura 3.5.	Efecto de la temperatura en la transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero con malla en Tabasco, México.....	98
Figura 3.6	Efecto de la temperatura en la transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero sin malla en Tabasco, México.....	99

INTRODUCCIÓN GENERAL

El fruto de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) constituye uno de los productos hortofrutícolas más ampliamente cultivado y demandado a nivel mundial, además contribuye en la agroindustria en el ámbito agroalimentario (Causse *et al.*, 2002).

En 2010 la producción mundial fue de 124, 548,597 toneladas, concentrándose en cuatro países: china (33.63%), Estados Unidos (10.36%), India (9.62%) y Turquía (8.07%). México ocupó el lugar número 10 con una producción correspondiente al 2.41% del volumen total mundial (FAOSTAT, 2011). La producción de jitomate en el país es de gran importancia económica; además de ser el principal producto hortícola de exportación, la intensidad del uso de la mano de obra en su cultivo representa una de las fuentes de empleo rural más importantes (Muñoz *et al.*, 1995). Según el SIAP (2011), durante el año agrícola de 2010, se cultivaron más de 54 mil hectáreas de jitomate, de donde se obtuvieron 2,058,424 toneladas, de las cuales 56 % de la producción nacional se produjeron en los estados de Sinaloa, Baja California, Zacatecas y Jalisco.

Aunque Tabasco no figura como productor de esta hortaliza, Aceves *et al.* (2008), reportaron un potencial climático de 2,333,401 ha para este cultivo, mientras que el potencial edafológico fue de 254,591 ha; de tal manera que la superficie con alto potencial edafoclimático, para cultivar jitomate en el estado de Tabasco fue de 250,710 ha con un rendimiento potencial de 48 t ha⁻¹; destacando que el principal factor ambiental que limita el potencial productivo para este cultivo es el suelo. Sin embargo en el año agrícola 2011, en Tabasco, se sembraron solamente 24 ha con una producción de 278 toneladas y rendimiento promedio de 11.58 t ha⁻¹, lo cual es bajo comparado con el potencial que tiene el estado y con el promedio nacional de

38.44 t ha⁻¹ obtenido ese mismo año (SIAP, 2012). Además, en Tabasco el jitomate solo se cultiva en temporal en el ciclo otoño-invierno por lo que existe un alto riesgo de pérdida por factores ambientales, plagas y enfermedades.

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A. C., (AMHPAC, 2010) la agricultura protegida en México es una de las actividades dentro del sector agropecuario más dinámicas, con un crecimiento anual de 15%; para el 2010 se reportaron 15 300 ha, distribuidas en 24 estados del país. El rendimiento es variable dependiendo del nivel tecnológico, en el nivel bajo se produce aproximadamente 120 t ha⁻¹, en el intermedio de 200 a 250 t ha⁻¹, y en el de tecnología alta se llega a obtener hasta 600 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2008).

En Tabasco es incipiente la información con respecto a este sistema de producción y solo se cuenta con lo reportado por Estrada *et al.* (2009) quienes utilizando el sistema hidropónico e invernadero obtuvieron rendimientos de 85 t ha⁻¹, de jitomate tipo saladette. Por lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVOS E HIPÓTESIS GENERALES

Objetivo general.

Producir jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, a fin de incrementar el rendimiento y calidad del producto y ofrecer a los productores del Estado nuevas alternativas de producción.

Objetivos específicos.

Conocer la respuesta a densidades de población en plantas conducidas con diferentes números de tallos.

Establecer la mejor dosis de aplicación de la auxina 2-naftoxiacético para mejorar la fructificación y rendimiento.

Evaluar el efecto del sombreado y de las aspersiones foliares con calcio sobre la incidencia de la pudrición apical del fruto.

Hipótesis general

Bajo las condiciones climáticas del Estado de Tabasco con un manejo adecuado del cultivo de jitomate en sistema protegido e hidroponía se obtiene buen rendimiento y calidad de fruto.

Hipótesis particulares

Es posible aumentar el rendimiento por m² en el cultivo de jitomate incrementando la densidad de plantas mediante el uso de tallos secundarios y terciarios.

La auxina 2-naftoxiacético incrementa el rendimiento de jitomate al mejorar el amarre y tamaño de fruto.

El sombreado móvil y las aspersiones de Ca disminuyen la incidencia de la pudrición apical del fruto en jitomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo de jitomate

Origen

El tomate o jitomate como se conoce en el centro de México, (*Solanum lycopersicum* L.), pertenece a la familia de las Solanáceas. Se cree que es originario de la faja costera del oeste en América del Sur, cerca de los 30° latitud sur de la línea ecuatorial. En la región andina del Perú se encuentran, a lo largo y ancho, numerosos parientes silvestres y cultivados del tomate, también en Ecuador y Bolivia, así como en la Isla Galápagos. Estos parientes comestibles del tomate ocupan diversas condiciones ambientales basadas en altitud y latitud y representan un amplio grupo de genes para el mejoramiento de la especie (Alcazar- Esquinas, 1981). El cultivo y domesticación del tomate parece ser que ocurrió fuera de su centro de origen y fue realizado por los primeros pobladores de México. El nombre "tomate" viene del lenguaje náhuatl de México y las variantes han seguido al jitomate en su distribución por el mundo (Heiser, 1969).

Importancia del tomate

El fruto de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) constituye uno de los productos hortofrutícolas más ampliamente cultivado y demandado a nivel mundial y constituye la mayor agroindustria en el ámbito agroalimentario (Causse *et al.*, 2002). Su amplio consumo se atribuye a la versatilidad de su uso, ya que puede utilizarse directamente o añadido a otros alimentos. Además se puede transformar en diversos productos, tales como: pastas, mínimamente procesados, jugos, salsas y sopas (Labate *et al.*, 2007).

El organismo de la ONU para la agricultura y la alimentación (FAO) reporta que el volumen de producción a nivel mundial se ha incrementado significativamente hasta en un 26% entre los años 2000-2008 (FAOSTAT, 2011). El aumento en la producción se atribuye a la introducción de nuevas variedades, además de la adopción de mejores prácticas culturales, uso de fertilizantes, manejo del riego y control de plagas (Grandillo, *et al.*, 1999).

La producción mundial en el 2010 fue de 124, 548, 597 toneladas, concentrándose en cuatro países: china (33.63%), Estados Unidos (10.36%), India (9.62%) y Turquía (8.07%). México ocupó el lugar número 10 con una producción correspondiente al 2.41% del volumen total mundial (FAOSTAT, 2011). La superficie cosechada en el mundo ha tenido modificaciones, en este sentido, China ha incrementado su producción y superficie plantada; por el contrario, México ha incrementado los rendimientos y disminuido la superficie cosechada (FAOSTAT, 2011).

La producción de jitomate en el país es de gran importancia económica. Además de ser el principal producto hortícola de exportación, la intensidad del uso de la mano de obra en su cultivo representa una de las fuentes de empleo rural más importantes en México (Muñoz *et al.*, 1995). La cosecha y comercialización de jitomate son actividades que generan 72 mil empleos directos y aproximadamente 10.7 millones de empleos indirectos (SAGARPA, 2010). La superficie de cultivo en invernadero, ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años lo que ha permitido alcanzar mayores rendimientos, en épocas y condiciones que difícilmente se lograrían a campo abierto (García, *et al.*, 2010). A este factor se le puede atribuir el incremento de la producción en el país en los últimos años.

Requerimientos climáticos del jitomate.

Temperatura. La temperatura óptima para la germinación de jitomate está comprendida entre los 20 y 30 °C con buena humedad (por debajo de los 10 °C la semilla no germina) y para el crecimiento es de 21 a 26 °C. Una temperatura permanente menor de 15 °C detiene la floración y si esta llega a los 10 °C la planta detiene su crecimiento (Morales, 2006; Rodríguez *et al.*, 2006). Temperaturas diurnas de 25 a 30 °C y nocturnas de 8 a 16 °C propician una buena floración y fructificación (Morales, 2006). En caso de elevarse a más de 35 °C la fotosíntesis disminuye formando hojas mas pequeñas, tallos mas delgados que ocasionan desprendimiento de ramas y racimos pequeños. El crecimiento máximo (producción de biomasa) se obtiene con una temperatura diurna de 24 °C y nocturna de 17 °C (Muñoz, 2004). Estos factores fluctúan en relación con la intensidad de la luz, la edad y el balance de agua en la planta (Rodríguez *et al.*, 2006; Velasco y Nieto, 2006).

En la etapa de floración, por ser una planta termoperiódica responde favorablemente a fluctuaciones de temperatura diurna-nocturna, esta oscilación térmica entre el día y la noche debe ser al menos de 8 °C, lo que favorece su crecimiento y la formación de mayor número de flores (Gil *et al.*,2003), en esta etapa la planta requiere en el día de 23 a 26 °C y en la noche de 15 a 18 °C, temperaturas mayores a 28 °C reducen el número de flores y racimos por planta; las flores son pequeñas y pueden caer sin ser polinizadas, debido a la falta de carbohidratos que se consumen por las partes vegetativas de la planta (Rodríguez *et al.*, 2006). Con temperatura por encima de 35 °C los granos de polen se deshidratan, el pistilo de las flores se prolonga de manera anormal situándose por encima de los granos de polen antes de que las anteras se abran, por lo cual no puede realizarse la polinización creando poco amarre de frutos y muy desuniformes (Guenkov, 1974). Temperaturas inferiores a 12 °C ocasionan que el polen

pierda parcialmente su viabilidad o definitivamente muere, reduciéndose con eso la autopolinización provocando la caída de flores o frutos demasiado pequeños y con ello disminución del rendimiento (Maroto, 1990). Esta es la etapa más sensible en cuanto a temperaturas se refiere y tanto las altas como las bajas temperaturas son condiciones que pueden afectar significativamente la producción al disminuir tanto la cantidad como la calidad de frutos, por lo que hay que tener especial cuidado en las temperaturas máximas y mínimas registradas durante esta etapa (Velasco y Nieto, 2006).

En la etapa de fructificación las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y amarre del fruto se pueden establecer entre los 14 y 18 °C durante la noche y de 23 a 26 °C durante el día, poniendo especial atención en la temperatura nocturna, ya que esta tiene mayor influencia sobre estos procesos (Maroto, 1990). Durante la etapa de llenado de frutos, las altas temperaturas redundan en la disminución del tamaño de frutos cuajados ya que se retarda la fotosíntesis, la respiración se acelera y las células son más pequeñas (Gil y Miranda, 2000). La coloración deseada en el fruto es la roja, propiciada por el licopeno, el cual se manifiesta mejor en temperaturas que van de los 15 a 29 °C, de lo contrario, aparecen colores verdes, amarillos, o rosados propiciados por los carotenos y las xantofilas. La temperatura óptima diaria para el mejor desarrollo del color rojo del jitomate está entre 18 y 24 °C; cuando la temperatura pasa los límites de 26 a 29 °C, considerados como desfavorables, se acentúa el color amarillo del fruto (Maroto, 1990). La maduración puede ser anormal cuando ocurre una temperatura promedio de 15 °C durante 95 h en la semana anterior a la cosecha. Temperaturas inferiores a 8 °C pueden disminuir la calidad del fruto provocando un agrietamiento muy ligero en forma circular (Velasco y Nieto, 2006; Miranda y Hernández, 2002).

Humedad relativa.

La humedad relativa más favorable es de 50 a 60%, cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no se polinizan y caen (Maroto, 1990). La humedad relativa del 80% o más favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y moho gris o botrytis (*Botrytis cinérea*) (Hurd y Sheard, 1981); se presentan agrietados de frutos y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores (Velasco y Nieto, 2006). La humedad relativa del 50%, o menos, dificulta la fijación del polen al estigma de la flor además de que el polen se deshidrata muy rápidamente y disminuye el amarre de frutos; otro problema es que la transpiración de la planta disminuye creando problemas por deficiencia de calcio sobre todo en los frutos debido a que este elemento además de ser poco móvil dentro de la planta, solo circula por el xilema movido por la fuerza transpiratoria (Cadahia, 1995)

Existen varias formas para mantener el nivel óptimo de humedad en el ambiente dentro del invernadero, una de ellas y muy importante es tomar en cuenta el área de ventilación del invernadero, de modo que con la apertura de las ventanas tanto laterales, cenitales y frontales, se puede tener una buena circulación e intercambio de aire, facilitando con esto la salida de humedad o bien con el uso de extractores de aire. (Rodríguez *et al.*, 2006).

La humedad en el invernadero interviene en varios procesos: a) amortiguamiento de los cambios de temperatura, b) aumento o disminución de la transpiración, c) crecimiento de los tejidos, d) viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores y e) desarrollo de enfermedades (Bautista y Alvarado, 2005).

Luz

El jitomate es una planta sensible al fotoperiodo, en lo que concierne a su floración. Este tipo de respuesta es el control de la producción de un pigmento amarillo en la cutícula en ciertos frutos adecuados genéticamente (Velasco y Nieto, 2006).

Es conveniente que la luminosidad sea intensa cuando la planta de jitomate está en producción (coloración del fruto), 12 horas diarias de luz es el mejor fotoperiodo, si es menor el desarrollo es lento y si es mayor, la síntesis de proteínas se dificulta y los carbohidratos se acumulan en exceso (Rodríguez *et al.*, 2001).

En invierno, los días de fotoperiodo cortos con promedios de luminosidad baja, limitan la producción de carbohidratos. Esto podría ser la causa principal de la reducción en el amarre del fruto. Iluminaciones limitadas, al reducir la fotosíntesis neta, implica competencia mayor por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y la producción, ya que disminuye el tamaño de los frutos, por lo que para el desarrollo normal de la planta de jitomate se requiere generalmente días de 11 a 12 horas luz solar, en días más largos las plantas empiezan a fructificar más temprano (Guenkov, 1974).

A plena exposición solar una gran cantidad de Ca^{2+} se dirige hacia las hojas. En éstas la tasa de transpiración es más alta que en los frutos. Sólo en la noche, cuando no hay transpiración o es reducida, una proporción de flujo xilemático incrementada se desvía hacia los frutos. Así, la transpiración se da a gran velocidad con luz brillante, en particular si la humedad ambiental es baja. Estas condiciones estimulan el crecimiento de la fruta pero no el suministro de Ca^{2+} . Por otra parte, las altas conductividades eléctricas en la solución reducen el ascenso y el transporte de Ca^{2+} hacia los frutos (Ho *et al.*, 1993).

Calidad de fruto en jitomate.

Existen diferentes estándares de calidad para facilitar el intercambio de productos y definir con precisión los principales aspectos que lo integran. De esta manera, el gobierno de Estados Unidos reporta sus normas para la importación de tomates fresco (USDA, 1991), mientras que en México existe la norma MCS Tomate (2005) donde se indican los diferentes requerimientos del producto para la venta al consumidor. La palabra “calidad” proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es “grado de excelencia o superioridad” (Kader, 2002). En la calidad del fruto de tomate como en todas las hortalizas, tiene un intenso efecto la nutrición, la variedad y el ambiente del cultivo (Winsor, 1979). No obstante, Kader (1996) señala que todos los frutos con algunas excepciones, alcanzan su calidad óptima para consumo cuando se maduran completamente en la planta. En jitomate la calidad del fruto depende de múltiples componentes, tanto externos como internos. Entre ellos se consideran el tamaño, peso, vida de anaquel, la forma y firmeza del fruto, además de aspectos relacionados con el sabor, el aroma, acidez, contenido de sólidos solubles y vitaminas (Causse *et al.*, 2003)

Firmeza.

Es el principal atributo textural medido en frutos y vegetales. Es una prueba estándar obtenida por la fuerza necesaria para causar la penetración a una distancia específica dentro del producto. Dentro del Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad fuerza es el Newton (N) por lo tanto, este debe ser usado para reportar los resultados (Shewfelt, 1993).

Color.

Es una característica física importante en la determinación del punto de maduración, vida postcosecha y un factor determinante en la decisión de compra por parte de los consumidores (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008). Los dos grupos principales de pigmentos presentes en los frutos de jitomate incluyen a los carotenos y las clorofilas. El color de los frutos al alcanzar la madurez de consumo está condicionado por la cantidad total y concentración de los diferentes carotenoides (Foolad, 2007). Particularmente, el licopeno y el β -caroteno representan los componentes primarios de la pigmentación de la fruta madura (Giovannoni, 2004). El licopeno es el pigmento que provee el color rojo al jitomate y es el carotenoide que se encuentra en mayor cantidad (Foolad, 2007). La concentración de licopeno aumenta con la maduración de los jitomates, cuando los cloroplastos cambian a cromoplastos y la síntesis de licopeno aumenta causando el desarrollo de color rojo (Arias *et al.*, 2000). El color puede ser definido a través de tres componentes: el matiz (Hue) que nos indica si el objeto es rojo, amarillo, verde, azul o violeta; la saturación también llamada concentración (Chroma) que nos indica la pureza del color y la luminosidad (L) que es la capacidad que tiene el objeto de reflejar la luz desde el blanco hasta el negro (HunterLab e Izasa, 2001). El color se define como la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo y puede evaluarse por medio de colorímetros o espectrofotómetros (La Guía MetAs, 2009).

Sólidos solubles totales (SST).

En jitomate están constituidos de ácidos orgánicos, minerales y azúcares. Dentro de este grupo de compuestos predominan los azúcares reductores, fructosa y glucosa y cantidades traza de sacarosa, los cuales a su vez contribuyen de manera importante al sabor y por lo general llega

a ser muy intenso cuando sus azúcares alcanzan su mayor contenido (Salunkhe *et al.*, 1974). El contenido de azúcares puede ser medido por procedimientos químicos, pero resulta más fácil e igualmente útil determinar los sólidos solubles totales de una muestra mediante un refractómetro o un densímetro. Estos instrumentos se basan en la medida de la refracción de la luz a su paso a través de una muestra pequeña del jugo y en la relación entre la densidad del jugo y el contenido de azúcares (Wills *et al.*, 1998). La unidad de medida del refractómetro es el grado Brix, el cual es una unidad representativa del contenido de azúcares de una solución acuosa, 1°Brix corresponde a 1 g de sacarosa en 100 g de solución y esto representa la concentración de la solución como un porcentaje con base a peso. Los SST, aumentan conforme madura el fruto, (Winsor *et al.*, 1962), el jitomate contiene en promedio de 3.5 a 6 %, principalmente azúcares, variando de acuerdo al genotipo (Cantwell *et al.*, 2007; Turham y Seniz, 2009).

Acidez titulable o acidez libre.

Representa los ácidos orgánicos que se encuentran libres y se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una base fuerte. Los ácidos orgánicos son importantes por su efecto tanto en el sabor del fruto como en los procesos de industrialización (Anthon, *et al.*, 2011). La acidez del jitomate tiene un fuerte componente genético ya que está determinado en gran medida por la variedad (Nuez, 2001). Los ácidos orgánicos, cítricos y málicos, son los que contribuyen más en el sabor del tomate (Salunkhe *et al.*, 1974). El ácido predominante en el fruto del tomate maduro es el ácido cítrico, seguido del málico, ambos encontrados principalmente en la cavidad locular y en baja proporción en el mesocarpio (Chamarro, 1995). La acidez titulable se determina en el jugo extraído, mediante titulación con una disolución alcalina (habitualmente NaOH 0.1 N) hasta el viraje por un indicador de pH (generalmente

fenolftaleína) o hasta alcanzar un pH específico (Wills *et al.*, 1998). Shewfelt (1993), menciona que la acidez determinada por titulación se expresa en términos del ácido predominante, siendo en tomate el ácido cítrico. Cantwell *et al.* (2007), señala una oscilación de 0.34-0.35 de acidez titulable en el fruto de tomate, el cual tiende a disminuir a medida que avanza el proceso de maduración. La relación de la acidez titulable y el pH es compleja y es conveniente medir ambas características, debido a que sus valores influyen en el almacenamiento (Saliba-Colombani *et al.*, 2001)

pH,

Es una medida más objetiva del sabor agrio que la acidez titulable (Stevens, *et al.*, 1977). La relación entre estos dos rasgos es compleja pues algunos amortiguadores de pH pueden influir en ella, por lo cual es conveniente medir ambos parámetros (Saliba-colombani *et al.*, 2001). La acidez titulable y el pH no están directamente relacionados, dado que el pH depende de la concentración de iones hidrógeno libre y de la capacidad tampón del jugo extraído y se obtiene con ayuda de un pH metro. García y Barret (2006) señalan que este parámetro es muy importante porque influye en la acidez y en las condiciones de procesamiento térmico requerido para la producción de alimentos seguros y aunque en frutos maduros este parámetro puede exceder el valor de 4.6 los productos del tomate son generalmente clasificados como alimentos ácidos. Sin embargo, un pH 4.4 es sugerido como máximo para evitar un deterioro potencial causado por microorganismos anaeróbicos butíricos y termofílicos y un pH 4.25 como valor óptimo para el procesamiento de tomates (Monti, 1980; Anthon, *et al.*, 2011), en cambio si el pH es mayor de 5, se dificulta eliminar microorganismos.

Tamaño y forma.

La preferencia para un tamaño dado de tomate varía entre los consumidores y depende en algún grado de la utilización prevista de los frutos. Del mismo modo, su forma y tamaño varía enormemente entre los cultivares, pudiendo ser esféricos, ovalado, alargado o tipo pera (Kader, 1986).

Desórdenes fisiológicos.

Pudrición apical del fruto (BER).

La inducción de BER se asocia con la expansión rápida de la célula en el tejido distal de la fruta, la cual puede ser inducida por varias condiciones de cultivo, tales como niveles bajos de Ca^{2+} (Paiva *et al.*, 1998; Adams, 2002) o bajo suministro de P (Ho, 1998), alto contenido de Mg (Hao y Papadopoulos, 2004), alto contenido de N (particularmente NH_4) (Barker y Ready, 1994; Nukaya *et al.*, 1995), contenido alto de K (Adams, 2002) alta salinidad (del Amor *et al.*, 2001; Dorais *et al.*, 2001), sequía (Van der Boon, 1973) o las inundaciones en la zona radicular (Tachibana, 1988), y la baja humedad (De Kreij, 1996), luminosidad alta o temperatura alta en el ambiente (Ho *et al.*, 1993). Dado que estas condiciones pueden inhibir o promover el crecimiento, BER parece no estar relacionado con la tasa de crecimiento de las plantas, pero si con la tasa de crecimiento de la fruta y / o el tamaño potencial del fruto entre cultivares (es decir, forma de las frutas y tasa de expansión de las mismas), y hay una clara influencia genética en la susceptibilidad de los diferentes cultivares a BER (Adams y Ho, 1992; Ho *et al.*, 1995; Sperry *et al.*, 1996).

La inducción de la BER en producción de tomate en invernadero rara vez es causada por Ca^{2+} insuficiente en la nutrición. Más bien ocurre en plantas con un adecuado suministro, pero donde existe reducción del transporte del Ca^{2+} al tejido distal del fruto que crece rápidamente, lo cual se debe a una demanda por una acelerada expansión de la fruta (Ho, 1998).

En la práctica, se puede prevenir aumentando el transporte del Ca^{2+} hacia el fruto mediante la reducción de la transpiración de las hojas (Li *et al.*, 2001) o por aspersiones de Ca hacia los frutos jóvenes (Wada *et al.*, 1996; Ho, 1998; Schmitz-Eiberger *et al.*, 2002).

Plieth (2001); Saure, (2001); Suzuki *et al.*, (2003), mencionan que BER es el resultado de la ruptura de la membrana del plasma en respuesta a los niveles bajos de Ca^{2+} en el apoplasto, por lo que se requiere mayor concentración de este elemento para que la membrana funcione adecuadamente. Se manifiesta como áreas blancas o cafés del tejido locular. Como lesión interna aparece dañado el tejido en la placenta del fruto y de manera externa el pericarpio. En este aparece una pequeña mancha húmeda cerca de la cicatriz floral. Conforme la mancha se ensancha el tejido afectado tiende a secarse y se torna ligeramente café oscuro, generalmente se desarrolla de manera bien definida una mancha corchosa hundida (Shanon *et al.*, 1996).

Ho *et al.* (1993) indican que la cantidad de Ca^{2+} que llega al fruto durante el período de rápida expansión celular es más importante que la cantidad de Ca^{2+} que toma la planta. El período crítico se presenta aproximadamente dos semanas después de la antesis, cuando la tasa de crecimiento del fruto es mayor.

Como el Ca^{2+} es transportado preferentemente en el conducto del xilema, esta distribución en la planta es afectada por el flujo de la transpiración, por lo que los factores que afectan la

capacidad del transporte del xilema al fruto pueden también ser involucrados en el desarrollo de la pudrición apical del fruto (Morgan y Ho, 1993).

La incidencia de la pudrición apical del fruto está relacionada linealmente con el producto promedio de la radiación diaria y temperatura diaria durante todo el año, en donde la temperatura es el factor que parece ser el que mayor induce este desorden fisiológico, además de la competencia entre la hoja y fruto para la obtención del Ca^{2+} (Ho, *et al.*, 1993). La alta humedad reduce la importación del Ca^{2+} en las hojas pero se incrementa en el fruto (Adams y Ho, 1993).

Ho y White (2005) han demostrado que la absorción global de Ca^{2+} por la fruta reduce el riesgo de desarrollo de BER. Por otro lado Adams y Ho (1992); Guichard *et al.* (2005) han sugerido que la absorción del Ca^{2+} por el fruto puede ser promovida por la disminución de la transpiración de las hojas y/o mediante el aumento del número de vasos del xilema en el fruto (Ho *et al.*, 1993; Taylor y Locasio, 2004; Ho y White, 2005)

El transporte del Ca^{2+} disminuye con la distancia al pedúnculo, de manera que los tejidos de la parte distal siempre contienen menos Ca^{2+} que los tejidos proximales, al tener la parte distal del fruto menos haces vasculares y menor relación xilema/Floema (Ho *et al.*, 1993; Marcelis y Ho, 1999).

Tonetto, *et al.* (2011) mencionan que la absorción del Ca^{2+} en el fruto y las hojas dependen del movimiento de agua por el xilema, el cual es conducido por la transpiración. Además cuando la transpiración de la hoja es alta se cree se restringe el movimiento del Ca^{2+} hacia los frutos, lo que aumenta la susceptibilidad de la fruta a la deficiencia de Ca^{2+} , ocasionando la pudrición apical (BER).

Los factores genéticos que influyen la susceptibilidad de cultivares individuales incluye frutos de gran tamaño, una rápida tasa de elongación celular y quizás la inhabilidad del sistema vascular para transportar rápidamente el Ca^{2+} a la parte distal del fruto.

Agricultura protegida.

Es aquella que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas cultivadas. Así, mediante el empleo de diversas estructuras y técnicas se reducen al mínimo algunas de las condiciones restrictivas del clima sobre los vegetales (Bastida, 2006).

Entre los principales factores ambientales que impiden la expresión del potencial genético de los cultivos están la baja fertilidad de los suelos, las enfermedades, las plagas, la competencia con otras plantas, condiciones climáticas poco favorables; entre ellas falta de agua y bajas o altas temperaturas, así como métodos y técnicas inadecuadas de cultivo. Factores todos ellos que inciden sobre los cultivos cuando se desarrollan a campo abierto o al aire libre, dando como resultado bajo rendimiento (Bastida, 2006).

Técnicas y estructuras para proteger cultivos.

Las técnicas y estructuras para proteger a los cultivos se enfocan a minimizar el efecto de alguno o varios de los elementos que afecta la producción agrícola, como el viento, el granizo, las heladas y bajas temperaturas, el exceso de radiación lumínica y las altas temperaturas, la evaporación y la protección del suelo, entre otras. Entre estas técnicas se encuentran los acolchados, cubiertas flotantes o mantas térmicas, redes o mallas antigranizo, mallas corta

vientos o contra vientos, casas sombra, pantallas térmicas, cubiertas protectoras o cubiertas de plástico, mini invernaderos o túneles bajos, macro túneles o túneles altos e invernaderos (Tesi, 2001).

Casas sombra.

Las casas sombra y las mallas sombra son dos elementos que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos. Así en los últimos años se ha generalizado el uso de mallas en la horticultura intensiva de los países de clima cálido (Núñez, 2000).

Las mallas sombras también se usan en los invernaderos para disminuir la luminosidad, colocadas sobre o por encima de la cubierta de plástico con el propósito de proporcionar sombra y disminuir la cantidad de energía luminosa que penetra al interior, en este caso se requiere de una estructura de unos 30 a 40 cm por arriba del plástico. Cuando se colocan por debajo de la cubierta de plástico, se disminuye la luminosidad pero aumenta la temperatura, ya que la luz retenida se transforma en calor que la malla irradia aumentando la temperatura dentro del invernadero (Tesi, 2001).

Pantallas térmicas.

Las pantallas térmicas son mallas de plástico, con un tejido alternativo de cinta de aluminio y franjas abiertas, de diferentes anchos, que permiten disminuir un cierto porcentaje de iluminación, se emplean para la retención del calor o energía infrarroja que es reflejada del interior del invernadero y de esta forma conservar por más tiempo el calor en el ambiente interno del invernadero, también se usa para reflejar la luz solar cuando se tiene exceso. Pueden colocarse por debajo o por arriba de las cubiertas de los invernaderos, con efectos

diferentes en cada caso. Existen de diferentes anchos de cinta lo que determina diferentes porcentajes de iluminación y retención de calor. Las pantallas de aluminio se usan principalmente en invernaderos dedicados a la producción de flores y hortalizas de alta calidad (Barrañón, 2005).

A un tipo de pantalla térmica se le conoce como pantalla termo-reflectora aluminizada, la cual consiste de una red que extendida sobre un cultivo produce un efecto térmico al reducir el paso de la energía calórica infrarroja, a la vez que refleja luz difusa sobre el cultivo, este material de cubierta aprovecha la propiedad del aluminio de no ser traspasado por la frecuencias infrarrojas (Matallana y Montero, 1995).

Cubiertas protectoras o cubiertas de plástico.

Consiste de una cubierta de plástico que se coloca sobre los cultivos, cuya estructura consiste de postes o arcos que la sostiene, por lo general no presenta protección laterales. Las cubiertas protectoras tienen como finalidad proteger los cultivos de las lluvias, el granizo y en parte de los vientos y la alta radiación solar. En algunas condiciones tropicales, los invernaderos tienen una cubierta de plástico que protege los cultivos de las lluvias mientras los laterales se cubren con mallas anti áfidos, con ello se logra mayor ventilación para reducir la temperatura (Bastida, 2006).

Invernaderos

Los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el desarrollo y crecimiento de las especies vegetales, ya que en su interior se reproducen micro climas artificiales ideales para aumentar los rendimientos agrícolas, al margen de las condiciones ambientales externas. De esta forma, la

finalidad de los invernaderos es proteger cultivos de los factores y elementos adversos a su desarrollo, como son altas y bajas temperaturas, granizadas, vientos, lluvias torrenciales, calidad y cantidad de energía luminosa. Factores y elementos que pueden ser modificados y controlados eficientemente mediante el diseño, construcción y manejo apropiado de cada invernadero, considerando las condiciones climáticas locales y los requerimientos de cada especie agrícola a cultivar dentro de ellas (Bastida, 2004).

Sánchez (2005), define al invernadero como una construcción agrícola, con una cubierta translúcida que tiene por objeto reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior. Para lograr el objetivo se recurre al diseño y equipamiento del mismo.

Manejo de condiciones ambientales en invernadero

a) La luz y la temperatura.

La luz y la temperatura son dos factores de gran importancia para el desarrollo de los cultivos, ambos tienen como origen la energía irradiada por el sol. Esta energía llega hasta la superficie de la tierra en forma de ondas electromagnéticas, ondas que son parcialmente eléctricas y parcialmente magnéticas, de diferentes longitudes de onda y diferentes frecuencias, que comprende de los rayos cósmicos a las ondas hertzianas (Hewitt, 1995; Serrano, 2002).

La energía total que llega del sol y alcanza la capa exterior de la atmósfera de la tierra es en promedio de $2 \text{ calorías} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{minuto}^{-1}$. A este valor se le conoce como constante solar y de

ella, a la superficie terrestre, llega aproximadamente el 45%. Para México, los valores diarios en un día sin nubes, en verano varían de 500 a 700 calorías $\text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, considerando todo el año, días nublados y días despejados, a la superficie de la República Mexicana llegan un promedio diario de 350 a 500 calorías $\text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$. Los valores más bajos se presentan en el Golfo de México, mientras los valores mayores ocurren en el noroeste (Ayllón, 1996; Torres, 1983).

b) Importancia de la luz para las plantas.

Cada especie vegetal requiere de una cantidad específica de radiación luminosa para desarrollar la fotosíntesis y expresar su potencial productivo. Dentro de un invernadero una cantidad excesiva de luz traerá como consecuencia temperaturas altas y baja humedad relativa, aumentando la transpiración de las plantas y el consumo de agua. La cantidad de iluminación, dentro de los invernaderos, se pueden manejar empleando mallas sombra y pantallas aluminizadas (Martínez, 2002).

c) La luz dentro del invernadero.

En la actualidad existen varios tipos de cubiertas de plástico, mallas sombra y pantallas con las cuales se puede controlar tanto la calidad como la cantidad de energía luminosa dentro del invernadero. La luminosidad aumenta en los invernaderos con cubiertas de forma cilíndrica o parabólica ya que el flujo luminoso que llega al invernadero es del 90% de la luz total y una fracción superior al 75% podrá pasar a través de la cubierta (Bastida, 2006).

d) Estrategias para aumentar y reducir luminosidad.

La luminosidad dentro de un invernadero debe regularse en función de las necesidades de luz de los cultivos presentes en su interior. La intensidad fotosintética de la mayoría de las hojas aumenta con la intensidad de la luz hasta un punto de saturación en la que ya no tiene influencia positiva y se hace independiente de la cantidad de luz. Así mismo existen especies en las cuales la actividad fotosintética disminuye al aumentar la cantidad de luz. La respuesta de la fotosíntesis a la luz está influenciada por otros factores ambientales, por ejemplo la temperatura y las concentraciones de CO₂ varían con el desarrollo de la planta. Las diferentes hojas de una planta presentan intensidades netas de fotosíntesis diferentes no solo en la posición de la hoja sobre la planta sino en relación con la edad, en parte es una consecuencia del cambio de exposición a la luz. En el tomate la intensidad máxima de fotosíntesis neta disminuye rápidamente con la edad de la hoja (Alpi y Tognoni, 1991). La reducción de la intensidad y cantidad de luz dentro de los invernaderos se puede realizar mediante varios mecanismos de sombreo, como uso de cubiertas lechosas y opacas, encalado de la cubierta, uso de mallas sombra, uso de pantallas térmicas y uso de cortinas negras. Las mallas sombra pueden usarse como protección directa, mediante la construcción de casas sombra, o emplearse sobre la cubierta para reflejar y retener un determinado porcentaje de luz sin aumentar temperatura. Si la malla sombra se coloca por debajo de la cubierta del invernadero disminuye luminosidad pero aumenta la temperatura, esta condición puede resultar benéfica en invierno. Existen mallas sombra de diferentes colores; blanco, negro, verde, azul, cuyo efecto en el aumento de la temperatura es diferencial. Las pantallas térmicas son cubiertas de aluminio que reflejan una parte de la energía solar y permiten que un porcentaje entre al

invernadero. Al igual que las mallas sombra, las pantallas pueden colocarse por debajo de la cubierta o en el exterior con las mismas consecuencias (Martínez, 2002).

e) La temperatura.

La temperatura es la expresión cuantitativa que indica la intensidad o cantidad de calor que tiene un cuerpo, por lo tanto la temperatura es la medida del calor. El calor es una forma de energía resultado del estado de agitación de las moléculas o partículas de la materia. Como energía, la luz que llega al interior de los invernaderos se transforma en calor aumentando la temperatura por arriba de la que existe en el exterior, con ello se propician condiciones microclimáticas particulares, que pueden ser propicias para el desarrollo de los cultivos, siempre y cuando no exceden determinados límites. La temperatura varía en forma inversa con la altura y directamente con la cantidad de horas de energía radiante; a mayor altura sobre el nivel del mar menor temperatura, a menor altura sobre el nivel del mar mayor temperatura; a mayor número de horas luz temperaturas más altas (Hewitt, 1995).

f) La temperatura dentro del invernadero.

Durante el día la temperatura de las hojas de las plantas, como consecuencia de la absorción de la energía radiante del sol, puede llegar a ser unos grados más elevada que la del ambiente, situación que provoca mayor consumo de agua para enfriar las células y como consecuencia se presenta una mayor transpiración, por lo que se introducen mayor cantidad de nutrientes a su sistema de circulación y fotosintético. Las radiaciones más importantes para la temperatura, dentro de un invernadero, son las infrarrojas cortas, que pasan a través de los materiales de recubrimiento y son absorbidas por las plantas, por el terreno y por los otros materiales

presentes en el invernadero, aumentando la temperatura interna e irradiando calor que calienta el aire que está en contacto con dichos materiales (Bastida, 2006).

Dentro del invernadero el calor del aire se mueve por convección y produce la transmisión del calor de un punto a otro, mediante desplazamiento, de las partes con temperaturas altas a las zonas con temperaturas bajas. Sin embargo siempre se conserva la primera ley de la termodinámica, que indica que los gases calientes son más ligeros y tienden a elevarse por arriba de los gases de menor temperatura. Esto implica que dentro de un invernadero el aire caliente tiende a concentrarse en la parte alta y salir por las ventanas cenitales o superiores, cuando estas existen (Tesi, 2001).

En el interior de los invernaderos se registra un gradiente de temperatura que varía de un mínimo en la parte baja a un máximo en el techo. En la parte superior del invernadero el aire caliente tiende a salir por efecto de una mayor presión, mientras que en la parte baja el aire frío tiende a entrar como consecuencia de la depresión que se forma al elevarse el aire caliente. La temperatura dentro de los invernaderos se puede regular y controlar de diversas formas; mediante ventilas, extractores y ventiladores, muros húmedos para enfriar, aspersores de agua, con cubiertas opacas y mallas sombra, estos son mecanismos pueden emplearse para reducir la temperatura (Martínez, 2002).

g) Estrategias para reducir y aumentar temperatura.

La estrategia más común para controlar la temperatura dentro de los invernaderos consiste en instalar sistemas de ventilación eficientes, paredes húmedas y diferentes sistemas de calefacción. La disminución de temperatura se puede realizar mediante varias estrategias como son, el uso de cubiertas opacas, mallas, pantallas térmicas y encalados, otros mecanismos son,

el uso de ventiladores y extractores para forzar el flujo de aire dentro de los invernaderos y facilitar la ventilación. Además del uso de aspersores y muros húmedos. Parte central del manejo de la temperatura dentro de los invernaderos son los sistemas de ventilas para evacuar el aire caliente (Martínez, 2002).

h) La humedad ambiental.

La humedad ambiental se refiere al vapor de agua presente en la atmósfera y es uno de los constituyentes más variables de ella. La concentración de este elemento varía entre 0 a 4% en el volumen de la atmósfera, cerca de la superficie del suelo y representa un 3% del peso de la misma (Elías y Castellvi, 2001).

La cantidad de vapor es más alta en los climas tropicales húmedos y más escasa en los climas secos o áridos. La mayor o menor capacidad del aire para contener vapor de agua depende de la temperatura ambiental, así el aire caliente puede contener mayor cantidad de vapor que el aire frío (Elías y Castellvi, 2001).

La forma más común de expresar el contenido de vapor de agua en la atmósfera es la humedad relativa, que puede definirse como la relación que existe entre la cantidad de vapor que contiene el aire, a una temperatura determinada y el máximo de vapor que puede contener a esa temperatura. Se expresa en porcentaje de saturación, así, cuando se toma 1 m³ de aire saturado como aquel que tiene el 100% de humedad relativa a una temperatura determinada, cuando solo contiene la mitad de lo que puede contener se dice que la humedad relativa es del 50%. Estos son aspectos que se deben considerar para la instalación y equipamiento de invernaderos (Torres, 1983; Elías y Castellvi, 2001).

i) La humedad ambiental del invernadero.

La humedad relativa dentro del invernadero interviene en varios procesos, como; el amortiguamiento de los cambios de temperatura, el aumento o disminución de la transpiración, el crecimiento de los tejidos, la viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores y en el desarrollo de enfermedades y plagas. Cuanto mas húmedo esté el ambiente, menos posibilidades existen de aumentar la evaporación y la transpiración de las plantas, a no ser que aumente la temperatura del ambiente. A mayor temperatura dentro del invernadero menor humedad relativa. A menor humedad relativa mayor consumo de agua. Cuando la transpiración es intensa, como consecuencia de la falta de humedad en el ambiente o por las altas temperaturas, puede ocurrir mayor concentración de sales en las partes donde se realiza la fotosíntesis y quedar disminuida esta función (Serrano, 2002).

Cultivos hidropónicos.

El término “hidroponía” proviene del vocablo griego *hydros* (agua) y *ponos* (cultivo, labor). Sánchez y Escalante (2001), mencionan que la palabra hidroponía, se puede definir como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se emplea como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución; con el objetivo principal de optimizar las funciones que el suelo desempeña, es decir proporcionar al cultivo un sustrato con las condiciones físicas, químicas y fitosanitarias idóneas, eliminando la acción de aquellos factores que en el suelo, lo llevan inevitablemente a modificaciones que se traducen en

limitaciones para el desarrollo de los cultivos. Además la hidroponía garantiza a las plantas las mejores condiciones de desarrollo y crecimiento, así como se obtiene mayor productividad y menor gasto por unidad de superficie (Maroto, 1990; Samperio, 1997).

La producción comercial de cultivos hidropónicos tiene aproximadamente más de 70 años de haberse iniciado, anteriormente se consideraba como un complemento y en ciertos casos como un sustituto de los métodos tradicionales de cultivo, debido a que se puede realizar en todas aquellas partes en donde el suelo no es fértil o cuyo acondicionamiento resulta costoso, además se puede realizar en cualquier tipo de clima (Zárate, 2005) y se ha perfilado como una importante alternativa para la producción de plantas con fines alimenticios, ornamentales y forrajes (Resh, 2001).

Los sistemas hidropónicos pueden ser clasificados como:

- Sistemas de circuito abierto donde una vez que ha sido suministrada la solución nutritiva a la planta, no se vuelve a utilizar.
- Sistema de circuito cerrado donde la solución es captada en un tanque de almacenamiento; se repone el agua evapotranspirada verificando el pH y conductividad eléctrica y nuevamente es reciclada (Jensen y Collins, 1985).

Según Resh (1997), las ventajas más importantes del cultivo hidropónico frente al sistema tradicional de utilizar suelo y fertilizantes con macro elementos son una mayor eficiencia de la regularización de nutrición, su posibilidad de empleo en regiones del mundo que carecen de tierras cultivables, una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, más fácil y bajo costo de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento de cosecha por unidad superficie. Aunque este sistema presenta múltiples ventajas,

sin embargo, algunas de las principales desventajas de los cultivos hidropónicos son los elevados costos iniciales; algunas enfermedades como *Fusarium* y *Verticilium*, las cuales pueden extenderse rápidamente a través de este sistema, sobre todo en tinas o “camas” y la aparición de problemas nutricionales complejos al hacerse más dependiente del hombre (Resh, 1997). Brunet *et al.* (1991) mencionan como otras desventajas el hecho de ser una técnica compleja y novedosa, por lo que se tiene una falta de equipo y poca disponibilidad de insumos; además de que se requieren conocimientos de fisiología vegetal y química.

Reguladores de crecimiento

Las hormonas tienen una función importante en la fisiología de plantas. En la actualidad, estas sustancias conocidas también como biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola. El uso de hormonas tiene la ventaja de producir efectos temporales y por lo tanto, de modificar el fenotipo del producto de acuerdo a las necesidades del mercado (Ramírez, 2003). La aplicación de auxinas, giberelinas y citocininas reducen la caída de flores y por lo tanto, incrementan el cuajado de frutos (Raviraja *et al.*, 2008; Sridhar *et al.*, 2009).

Una forma de disminuir la caída de flor en tomate y chile según Bustamante, citado por Rojas (1980), es realizando aplicaciones de ácido clorofenoxiacético (auxina) en una concentración de $70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, cuando un 50 % de las flores están abiertas y un 50 % están en botón. Dichas aplicaciones promueven en las plantas tratadas un amarre promedio de 132 frutos por planta, mientras que las no tratadas amarran en promedio 124 frutos. Los reguladores de crecimiento de las plantas son usados en la horticultura para mejorar el crecimiento de los cultivos

aumentando el número de frutos, cuajado del fruto y el tamaño. La mejora en el crecimiento vegetativo y de los caracteres de la producción puede aumentar la productividad de los cultivos. La productividad en el sistema hortícola a menudo depende de la manipulación de las actividades fisiológicas de los cultivos por medios químicos (Yeshitela *et al.*, 2004). Según Gianfagua (1987), los reguladores de crecimiento en las plantas pueden modificar el desarrollo interfiriendo en la biosíntesis, metabolismo o traslocación de hormonas endógenas, o suministrándose hormonas endógenas cuando los niveles en las plantas son bajos. El incremento de la floración puede producir más frutos y junto con el aumento del tamaño aumentaría la producción en los cultivos frutales (Dyer *et al.*, 1990).

Las hormonas juegan un papel importante en los procesos fisiológicos que tienen lugar en la planta. Las auxinas participan directamente en el crecimiento a través de las respuestas fisiológicas, tales como el alargamiento y división celular. Las auxinas sintéticas son eficaces en mejorar el crecimiento del fruto (Westwood, 1993). Estas son conocidas por su capacidad para aumentar el tamaño de la célula (Davies, 2004).

Las auxinas sintéticas, que se usan en forma de aerosol o de polvo, tienen varias aplicaciones en la agricultura una de ellas es la de obtener frutos sin semillas (partenocárpicos) como tomates, higos y sandías, y para estimular el crecimiento de raíces en esquejes como el Ácido Indol Butírico (IBA) y Ácido Naftaleno Acético (NAA).

La aplicación de auxinas o giberelinas en la pared del ovario durante la primera fase de la senescencia provocaría la acumulación de reguladores en niveles adecuados para permitir el proceso de división y agrandamiento celular que conduce al establecimiento y desarrollo de frutos partenocárpicos, aun antes de lo que ocurriría en ovarios autopolinizados (Fos *et al.*, 2003). Las auxinas no solo inducen partenocarpia sino también el desarrollo de placentas y

óvulos rudimentarios, generando frutos de tamaño y aspecto similar a los polinizados (Castillo *et al.*, 2005). Auxinas y giberelinas (GA) actúan también como factores importantes en la iniciación temprana del desarrollo de la fruta. La aplicación de cualquiera de estas dos hormonas en los ovarios de tomate conduce a la producción de frutos sin la necesidad de polinización y fertilización, y resulta en la formación de frutos sin semillas (partenocárpicos) (Bünger-Kibler y Bangerth, 1982)

BIBLIOGRAFÍA

- Aceves, N. L., Juárez, L. J.F., Palma, L. D.J., López, L. R., Rivera, H.B., Rincón, R. J. A., Morales, C. A. R., Martínez, S. A. 2008.** Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el estado de Tabasco. Tomo XIX. INIFAP, SAGARPA, GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO, CP. 22 p.
- Adams P. 2002.** Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D, Passam H, eds. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens, Greece: Embryo Publications, 211–261.
- Adams P, Ho LC. 1992.** The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *Journal of Horticultural Science* 67: 827–839.
- Adams, P. and Ho, L.C. 1993.** Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom end rot. *Plant and Soil* 145:127-132
- Alcazar-Esquinas, J.T. 1981.** Genetics Resources of Tomatoes and Wild Relatives. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Alpi A. y Tognoni F. 1991.** “Cultivo en invernadero” Ediciones mundi-Prensa. Madrid, España. 115 p.

- AMHPAC. 2010.** Situación actual de la agricultura protegida en México. Fundación Produce Sinaloa A.C. www.fps.org.mx/. consulta 15/01/2011.
- Anthon, G.E., M. LeStrange and D.M. Barrett . 2011.** Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of food Science*. 11785-1181 pp.
- Arias, R., T. C. Lee, L. Logendra, and H. Janes. 2000.** Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *J Agric. Food Chem.* 48: 1697-1702.
- Ayllón, T. 1996.** Elementos de meteorología y climatología. Trillas, México. 170 p.
- Barrañón, A. 2005.** Pantalla termo-reflectora aluminizada. *Rev. Tecnoagro*. No. 21. Editorial Elto. México, D.F. 25 p.
- Barker AV, Ready KM. 1994.** Ethylene evolution by tomatoes stressed by ammonium nutrition. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119: 706–710.
- Bastida T. A. 2004.** Tipificación estructural de invernaderos de láminas flexibles en la zona central de México. Departamento de mecanización y tecnología agraria, universidad Politécnica de Valencia, España. Universidad de Guanajuato, México. 80 p.
- Bastida T. A. 2006.** Manejo y operación de invernaderos agrícolas. UACH AGRIBOT. 238 p.
- Bautista, N. y Alvarado, J. 2005.** Producción de jitomate en invernadero. Colegio de Postgraduados, México. 233 p.
- Brunet L. R.; N. Valle R; E. Acosta M. 1991.** La producción de tomates en condiciones de hidroponía. Editorial Científico-Técnico. La Habana, Cuba. 63 p.
- Bünger-Kibler, S. and Bangerth, F. 1982** Relationship between cell number, cell size and fruit size of seeded fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and those

induced parthenocarpically by the application of plant growth regulators. *J. Plant Growth Regul.* 1, 143–154.

Cadahia C. 1995. Fertilización en: El cultivo del Tomate Editor Fernando Nuez. Esp. 793 p.

Cantwell M., S. Stoddard, M. LeStrange and B. Aegerter. 2007. Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluation for 2006. UCCE fresh Market tomato Variety trial 2006 Postharvest Evaluation. UC Davis, Davis CA. USA. 16 p.

Casierra-Posada F. y O. E. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2): 300-307.

Castillo, O.; Barral, G.; Rodríguez, G.; Miguelisse, N.; Agüero, M. 2005. Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: efecto de fitoreguladores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo.* 32(2): 83-91.

Cause, M., V. Saliba-colombani, L. Lecomte, P. Duffe, P. Rousselle and M. Buret. 2002. QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany.* 53: 2089-2098.

Cause, M., M. Buret, K. Robini y P. Verschave. 2003. Inheritance of nutritional and Sensory Quality Traits in Fresh Market Tomato and Relation to Consumer Preferences. *Journal of food Science.* 68: 2342-2350.

Chamarro L. J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. In: Nuez F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi Prensa. Madrid. Esp. Pp. 43-90.

Davies, P. J. 2004. The plant hormones: their nature, occurrence and functions. In: Davis, P.J. (Ed.), *Plant Hormones.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 1-15.

- de Kreij C. 1996.** Interactive effects of air humidity, calcium and phosphate on blossom-end rot, leaf deformation, production and nutrient contents of tomato. *Journal of Plant Nutrition* 19: 361–377.
- del Amor FM, Martinez V, Cerda A. 2001.** Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience* 36: 1260–1263.
- Dorais M, Papadopoulos AP, Gosselin A. 2001.** Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21: 367–383.
- Dyer, D.; J. C. Cotterman, C. D. Cotterman, P. S. Kerr and D. R. Carlson. 1990.** Cytokinins as metabolic stimulants, which induce pod set. *In: Pilaris and Rood's. Plant Growth Substances*, R. P. Pilaris and S.B. Rood (Eds.). Springer-Verlag, Berli, pp: 457-467.
- Elías C. F. y Castellvi S. F. 2001.** Agrometeorología. 2ª Edición. Mundi-Prensa. Madrid España. 130 p.
- Estrada-Botello M. A., de La Cruz-Lázaro E., Brito-Manzano N. P., Gómez-Vázquez A., Mendoza-Palacios J. de D., Gómez-Méndez E. y Ulises-López N. 2009.** Producción de tomate rojo en hidroponia bajo condiciones protegidas en el trópico húmedo. Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco México. 30 p.
- FAOSTAT. 2011.** (Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Foolad, R. M. 2007.** Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics*. 2007:64358.
- Fos, M.; Proaño, K.; Alabadí, D.; Nuez, F.; Carbonell, J.; García-Martínez, J. L. 2003.** Polyamine metabolism is altered in unpollinated parthenocarpic *pat-2* tomato ovaries. *Plant Physiol*. 131: 59-366.

- García, M. M., S. Balasch, F. Alcon, M. A. Fernández, Z, (2010)**, Characterization of technological levels in Mediterranean horticultural greenhouses. Spanish Journal of Agricultural Research. 8(3), 509-525.
- García E. and D. M. Barret. 2006.** Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. Journal of Food Processing and Preservation 30: 20-36.
- Gianfagna, T. J. 1987.** Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural and agronomic crops. *In: Davies's. Plant Hormones and Their Role in Plant Growth and Development*, P. J. Davies (Ed.). Martinus Nijhoff, Boston, pp: 614-635.
- Gil, V. I. y Miranda, V. I. 2000.** Producción de tomate rojo en hidroponía bajo invernadero. Manual de manejo. ABRIBOT. UACH. 63p.
- Gil, V. I.; Sánchez del C. F. y Miranda, V. I. 2003.** Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Manual de manejo. AGRIBOT. UACH. 90 p.
- Giovannoni, J. J. 2004.** Genetic regulation of fruit development and ripening. Plant Cell. 16: 170-180.
- Grandillo, S., H. Ku, and S. D. Tanksley. 1999.** Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. Theoretical and Applied Genetics. 99: 978-987.
- Guenkov G. 1974.** Fundamentos de la horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. Pp 123-143.
- Guichard S, Gary C, Leonardi C, Bertin N. 2005.** Analysis of growth and water relations of tomato fruit in relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load. Journal of Plant Growth Regulation 24, 201–213.
- Hao X. and Papadopoulos AP. 2004.** Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. HortScience 39: 512–515.

- Heiser, C.J. 1969.** Lave apples. In *Nightshades: The Paradoxical Plants*. Freeman San Francisco CA, pp. 53-55.
- Hewitt P. G. 1995.** Física conceptual. Addison-Wesley iberoamericana. 150 p.
- Ho LC. 1998.** To quantify environmental and physiological factors controlling calcium uptake, transport and utilization on yield and quality of tomato and sweet peppers in glasshouses. Final report on MAFF project HH1309SPC.
- Ho LC, White PJ. 2005.** A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95, 571–581.
- Ho, L., R. Belda, M. Brown, J. Andrews and P. Adams. 1993.** Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossomend rot in tomato. *J. Exp. Bot.* 44(259), 509-518
- Ho LC, Adams P, Li XZ, Shen H, Andrews J, Xu ZH. 1995.** Responses of Ca-efficient and Ca-inefficient tomato cultivars to salinity in plant growth, calcium accumulation and blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science* 70: 909–918.
- HunterLab e Izasa, 2001.** Principios básicos de medida y percepción de color. Reston. Virginia, USA. 124 p.
- Hurd, R. G. and Sheard, G. F. 1981.** Fuel saving in greenhouse; the biological aspect. Growers. Books, London.
- Jensen M. and Collins W. 1985.** Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 7:483-559 p.
- Kader A. A. 1996.** Maturity, ripening and quality relationships of fruit vegetables. *Acta Horticulturae* 434:249-255.
- Kader A. A. 2002.** Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. In: Kader A. A. (ed). *Postharvest technology of horticultural crops*. Third Edition. University of California. Agriculture and Natural Resources Pub. 3311. USA. pp. 279-286.

- Labate, J. A., S. Grnadillo, T. Fulton, S. Muños, A. L. Caicedo, I. Peralta, Y. Ji, R. T. Chetelat, J. W. Scott and M. J. Gonzalo.2007.** Tomato. *In: Genome mapping and molecular breeding in plantas.* Vol. 5, Vegetables. Ed: C K Springer-Verlag. Berlin, Alemania. Pp 1-125
- La Guia MetAs. 2009.** Medición de color. Boletín LGM-09-07. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán. Zapotlán, Jal. Méx. C.P. 49000. 12 p.
- Li YL, Stanghellini C, Challa H. 2001.** Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Scientia Horticulturae* 88: 11–29.
- Marcelis, L. and L. Ho. 1999.** Blossom-end rot relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *J. Exp. Bot.* 50(332), 357-367.
- Maroto B. J. V. 1990.** Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. 343 p.
- Martínez G. P. F. 2002.** Materiales plásticos para cubiertas de invernadero. Valencia España 85 p.
- Matallana, G. A. y Montero, C. J. I. 1995.** “Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 95 p.
- MCS (México Calidad Suprema) Tomate 2005. PC-020-2005** pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate. SAGARPA. BANCOMEX. SECRETARÍA DE ECONOMÍA. México. D.F. 22p.
- Miranda V. I. y J. Hernández O. 2002.** Hidroponia. Departamento de Preparatoria Agrícola, UACH. Chapingo, Méx. 73 p.
- Monti, L. M. 1980.** The breeding of tomatoes for peeling. *Acta Horticulturae* 100: 341-349.
- Morales, P.J. 2006.** Manejo de cultivos: cultivo de tomate. *In: Bastida, T.A. (Ed).* Manejo y operación de invernaderos agrícolas. Editorial. AGRIBOT. UACH. 183-190 pp.

- Morgan, M. B. and Ho, L.C. 1993.** Factors affectin calcium transport and basipetal IAA movement in tomato fruit in relation to blossom-end rot. *Journal of experimental Botany*, vol.44, No.264, 1111-1117 pp.
- Muñoz, R. J. J. 2004.** El cultivo de tomate en invernadero. In: J.Z. Castellanos (Ed). *Manual de Producción de Hortícola en Invernadero*. 2ª Ed. INTAGRI. México. 231-256 pp.
- Muñoz, R. M., J. R. Altamirano C., Carmona M., J. de D. Trujillo F., G. López C. y A. Cruz A. 1995.** Desarrollo de Ventajas Competitivas en la Agricultura: el caso del tomate rojo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo, México. p. 4, 15-19.
- Nuez, 2001.**El cultivo de jitomate. Mundi-Prensa.793 p.
- Nukaya A, Goto K, Jang H, Kano A, Ohkawa K. 1995.** Effect of NH₄-N level in the nutrient solution on the incidence of blossom-end rot and gold specks on tomato fruit grown in rockwool. *Acta Horticulturae* 401: 381–388.
- Núñez, J. 2000.** Films plásticos para cubiertas y acolchados. En tecnología para cultivos de alto rendimiento. Novedades agrícolas, S. A. Murcia, España.
- Paiva EAS, Martinez HEP, Casali VWD, Padilha L. 1998.** Occurrence of blossom-end rot in tomato as a function of calcium dose in the nutrient solution and air relative humidity. *Journal of Plant Nutrition* 21: 2663–2670.
- Plieth C. 2001.** Plant calcium signaling and monitoring: pros and cons and recent experimental approaches. *Protoplasma* 218, 1–23.
- Ramírez, H. 2003.** El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-22.
- Raviraja, S. G.; Krishna, M. R.; Vishwanath, A. P.; Kempegowda, K.; Raghavendra. 2008.** Influence of pruning and growth regulators on the shelf life of coloured

capsicum (*Capsicum annuum* L.) CV. Bombi under greenhouse. Mysure Journal Agricultural Science 42(1): 33-37.

Resh, H.M. 1997. Cultivos Hidropónicos, 4th ed., Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 509 p.

Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos, Nuevas técnicas de producción. 5ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. 558 p.

Rodríguez F.H., Muñoz L.S. y Alcorta G.E. 2006. El tomate rojo. Sistema hidropónico. Trillas.82 p.

Rodríguez R, R.; J.M. Tabares R.; J. A. Medina S.J. 2001. Cultivo Moderno del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. Pp 15-23.

Rojas G. M. 1980. Manual Teórico practico de Herbicidas y Fitorreguladores. Editorial Limusa, D. F. México. pp. 93- 105.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2008. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagr2c.html. (Consulta: 9 febrero 2010).

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagr2c.html. (consulta. Marzo 15, 2011).

Saliba-Colombani V, M. Cause, D. Langlois, J.Philouze, M. Buret. 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato: mapping QTLs for physical and chemical traits, Theoretical and Applied Genetics 102: 259-272.

Salunkhe D. K., S. J. Jadhav and M. H. Yu. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruits as influenced by certain biochemical and physiological changes. Qual. Plant. Plant Foods for Human Nutrition 24 (1-2): 85-113.

- Samperio R. G. 1997.** Hidroponía Básica. El cultivo fácil y rentable de plantas sin suelo. Diana (Edt) 153 p.
- Sánchez C. F. y Escalante R. E. R. 2001.** Hidroponía, Principios y métodos de cultivos. UACH, 3ª Edición. Imprenta UACH. 194 p.
- Sánchez del C. F. 2005.** Perspectivas de la agricultura protegida. Notas del diplomado internacional en agricultura protegida. Instituto de horticultura. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Saure MC. 2001.** Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)—a calcium- or a stress-related disorder. *Scientia Horticulturae* 90: 193–208.
- Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP) 2012.**
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=309.
 Fecha de consulta 02/10/2012.
- Serrano C. Z. 2002.** Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 80 p.
- Schmitz-Eiberger M, Haefs R, Noga G. 2002.** Calcium deficiency - influence on the antioxidative defense system in tomato plants. *Journal of Plant Physiology* 159: 733–742.
- Shanon, S., J. Natti and D. Atkin. 1996.** Relation of calcium nutrition to hypocotil necrosis of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). New York State Agricultural Experiment Station for Publication as Journal Paper (1536).
- Shewfelt R. L. 1993.** Measuring quality and maturity In: Shewfelt R. L. and S. E. Prussia Postharvest handling. A systems approach. Edit. Academic Press Inc. San Diego Cal. USA. pp. 99-124.
- Sperry WJ, Davis JM, Sanders DC. 1996.** Soil moisture and cultivar influence cracking, blossom-end rot, zippers, and yield of staked fresh-market tomatoes. *HortTechnology* 6: 21–23.

- Sridhar, G.; Koti, R. V.; Chetti, M. B.; Hiremath, S. M. 2009.** Effect of naphthalene acetic acid and mepiquat chloride on physiological components of yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal Agriculture Research* 47(1): 53-62.
- Stevens, M. A., A. A. Kader, M. Albright-Holton y M. Algazi. 1977.** Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102:680-689.
- Suzuki K, Shono M, Egawa Y. 2003.** Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. *Protoplasma* 222, 149–156.
- Tachibana S. 1988.** The influence of withholding oxygen supply to roots by day and night on the blossom-end rot of tomatoes in water culture. *Soilless Culture* 4: 41–50.
- Taylor MD, Locascio SJ. 2004.** Blossom-end rot: a calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 27, 123–139.
- Tesi R. 2001.** Medios de protección para hortoflorofruticultura y el viverismo. Versión española de J. M. Mateo Box. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 288 p.
- Tonetto de F. S., Kenneth A. A., Elizabeth, J.M. 2011.** Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit. *Journal of Experimental Botany Advance*.
- Torres R. E. 1983.** Agrometeorología. Editorial diana. México. 130 p.
- Turham A. and V. Seniz. 2009.** Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4(10):1086-1092.
- USDA, 1991.** United States Standards for grades of fresh tomatoes. Washington D.C. USA.13 p. www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome.
- Van der Boon J. 1973.** Influence of K/Ca ratio and drought on physiological disorders in tomato. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 21: 56–67.

- Velasco H. E. y Nieto A. R. 2006.** Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. 2ª Ed. Chapingo, Mex. 100 p.
- Wada T, Ikeda H, Ikeda M, Furukawa H. 1996.** Effects of foliar application of calcium solutions on the incidence of blossom-end rot of tomato fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 65: 553–558.
- Westwood, M. N. 1993.** Temperate Zone Pomology: Physiology and cultura, 3ed. Timber Press, Portlan, OR, USA, 523 pp.
- Wills R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998.** Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas y hortalizas y plantas ornamentales. Traducido por Burgos G. J. Ed. 2ª . Edit. ACRIBIA. Zaragoza. Esp. Pp. 147, 157-158.
- Winsor G. W. 1979.** Some factors affecting the quality and composition of tomatoes. *Acta Horticulturae* 93: 335-346
- Winsor G. W., J. N. Davies and D. M. Massey. 1962.** Composition of tomato fruit. III.-juices from whole fruit and locules at different stages of ripeness. *Journal of the Science of food and agriculture* 13(2): 108-115.
- Yeshitela, T.; P. J. Robbertse and P. J. C. Stassen. 2004.** Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of 'Tommy atkins' mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. *N.Z. J. Crop Hortsci.* 32 (3): 281-293.
- Zárate C. A. A. 2005.** Presión Osmótica de la Solución Nutritiva para Producción de Jitomate Cherry (*Lycopersicum esculentum* Mill Var. Cerasiforme Alef.) en Hidroponía. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo México. 111 p.

CAPÍTULO I

RESPUESTA DEL JITOMATE A DENSIDADES DE POBLACIÓN EN PLANTAS CONDUCIDAS CON DIFERENTES NÚMEROS DE TALLOS

RESPONSE OF TOMATO TO POPULATION DENSITIES IN PLANTS CONDUCTED WITH DIFFERENT NUMBERS OF STEMS

Edmundo Gómez-Méndez^{1*}, Ernesto G. Alcántar-González², Víctor M. Ordaz-Chaparro², Lucero del M. Ruiz-Posadas², Maximiano A. Estrada-Botello¹, Irineo L. López-Cruz³

Artículo escrito bajo las normas de la **Revista Fitotecnia Mexicana**

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. De México.

³Universidad Autónoma de Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

*Autor para correspondencia (egomezmen@hotmail.com)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) mediante el manejo de plantas conducidas a uno, dos y tres tallos, con dos densidades de bolsas (2.08 y 4.16 m²) hasta los seis racimos, bajo condiciones protegidas en un sistema hidropónico en el estado de Tabasco. El experimento se estableció de noviembre de 2008 a abril de 2009. Se empleó el híbrido SUN-7705, tipo saladette de hábito indeterminado. Como sustrato se utilizó tepetzil, la fertilización se realizó con la solución de Steiner completa. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y 10 repeticiones, en dos tamaños de bolsas (15 y 19 L). Las variables agronómicas analizadas fueron: rendimiento de fruto (kg m⁻²), número de frutos·m⁻², peso y número de frutos promedio por racimo y planta, peso promedio de fruto, número de flores y amarre de fruto (%). Los datos se analizaron mediante el programa SAS. Se encontró que los tratamientos con 4.16 bolsas por m² con una planta por bolsa conducida a dos tallos y dos plantas por bolsa conducidas a un tallo, ambos con 8.32 tallos/m², presentaron el mayor rendimiento y número de frutos. El valor más alto en peso promedio por racimo lo presentó el testigo (una planta por bolsa conducida a un tallo con densidad de 4.16 bolsas/m²). El primer racimo aportó en promedio 26.29% de la producción total de la planta y el sexto racimo solo el 9.14%. El mayor peso promedio de fruto lo presentó el tratamiento conducido a un tallo con dos plantas por bolsa y densidad de 2.08 bolsas/m². El tallo secundario produjo igual que el tallo principal ya que las diferencias fueron no significativas.

Palabras clave: Número de tallos; conducción de plantas; densidad de población.

SUMMARY

The goal of this research was to compare the performance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with plant management conducted with one, two and three stems, with six clusters, with two bag densities (2.08 and 4.16 m⁻²) in a hydroponic system under protected conditions in the state of Tabasco. The experiment was established from November 2008 to April 2009. Hybrid saladette type SUN-7705 was used, which has an indeterminate growth habit with tepetzil, a volcanic material used as substrate and with full Steiner solution. We used a completely randomized design with six treatments and 10 repetitions each, in two bag sizes (15 and 19 L). The agronomic variables analyzed were: fruit yield (kg m⁻²). Number of fruits per m⁻², average weight and average number of fruits per cluster and per plant, average fruit weight, and fruit set (%). The data were analyzed using SAS software. Treatments with 4.16 bags/m⁻² with one plant per bag conducted with two main stems and two plants per bag conducted with a stem, both with 8.32 stems/m⁻² had the highest yield and number of fruits. The highest average weight per cluster was presented by the witness. The first cluster contributed on average 26.29% of the total production of the plant and the sixth cluster only 9.14%. The highest average fruit weight was presented by the treatment conducted with one stem with two plants per bag, and density of 2.08 bags/m⁻². The secondary stem produced as much as the main stem since there were no significant differences.

Index words: Tomato, stem number, plants conduction, population density

INTRODUCCIÓN

En México la producción de especies hortícolas en invernadero se ha intensificado considerablemente en la década anterior, al pasar de mil ha en el año 2000 a 10 mil ha en 2010, y para las próximas dos décadas su potencial de crecimiento es de 30 a 40 mil ha (SAGARPA, 2010) debido, principalmente, al incremento en los rendimientos que se obtienen con este sistema de producción, al poder controlar parcialmente los factores ambientales y utilizar la tecnología hidropónica para un mejor suministro de la nutrición. No obstante, dado el auge y la rentabilidad de la tecnología, existe poco conocimiento del manejo de los cultivos (Velasco y Nieto, 2006), sobre todo bajo condiciones tropicales, como en el estado de Tabasco, donde la agricultura protegida es de reciente aplicación y hay poca información sobre especies que puedan cultivarse, variedades y manejo.

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano, ya que genera importantes ingresos, empleos y posee un alto valor nutritivo. En México en el año 2009 se sembró una superficie de 101,328 ha con una producción de 2 millones 727,691 t y un rendimiento promedio de 39.5 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2010). Sin embargo, la producción de jitomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a las condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo. Al respecto Ruiz y Aquino (1996) mencionan que las pérdidas en producción frecuentemente afectan el 100% de la cosecha, especialmente en el período de primavera, cuando se presentan las mayores densidades de mosca blanca. En el año 2009 se sembraron 37.25 ha a cielo abierto, con un rendimiento promedio de 10.81 t ha⁻¹, (SAGARPA, 2010) lo cual se considera bajo. Aunado a lo anterior, el jitomate producido bajo estas condiciones presenta problemas de mala calidad, por una maduración irregular conocida

como pata de gallo. Al respecto Estrada *et al.* (2009) en el estado de Tabasco utilizando un sistema hidropónico e invernadero obtuvieron rendimientos de 85 t ha^{-1} , de jitomate tipo saladette, lo que indica que con buen manejo del cultivo y variedades adecuadas, se puede incrementar el rendimiento, aunque las investigaciones aún son incipientes. Con base en lo anterior es necesario buscar alternativas de producción que incrementen el rendimiento y calidad del producto. Por ello el objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento del jitomate que se puede obtener mediante el manejo de plantas conducidas a uno, dos y tres tallos con dos densidades de bolsas por unidad de superficie. Como hipótesis se planteó que es posible incrementar el rendimiento por m^{-2} en el cultivo de jitomate por medio del manejo de la densidad de plantas mediante el uso de tallos secundarios y terciarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció del 21 de noviembre de 2008 al 30 de abril de 2009, en un invernadero tipo megavent de 8.22 m de ancho por 20 m de largo, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, localizada entre los $17^{\circ} 46'56''$ de latitud norte y los $92^{\circ} 57'28''$ de longitud oeste a una altura de 40 msnm (Palma y Cisneros, 2000). De acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (1973), el clima del área de estudio es un Af(m)w>>(i)g, es decir clima cálido húmedo con altas precipitaciones en el verano. La temperatura media anual es de $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, con máximas de $39 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en mayo y mínimas de $13.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en febrero. La precipitación media anual es de 2,123 mm presentándose más del 70% entre mayo y noviembre (CONAGUA, 2006). La evaporación alcanza niveles altos, sobre todo en la época de seca, registrándose valores totales anuales de 1,316 mm (Palma y Cisneros, 2000).

Se empleó el híbrido de jitomate SUN-7705, de tipo saladette de hábito de crecimiento indeterminado de la empresa Nunhems,. Como sustrato se empleo tepetzil material de origen volcánico. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos (Cuadro 1.1) y 10 repeticiones, en dos tamaños de bolsas (15 y 19 L) con un total de 120 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno negro para vivero, calibre 400 (contenedor) con una o dos plantas de jitomate conducida a uno, dos o tres tallos dependiendo del tratamiento (Figura 1.1) Debido a que no hubo diferencia estadísticas significativas entre los dos tamaños de bolsa (datos no mostrados) se presentan únicamente los resultados de las bolsas de 19 L.

Cuadro 1.1. Descripción de los tratamientos evaluados en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705), en condiciones de invernadero e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

Tratamientos	Descripción	Bolsas por m ⁻²	Nº. De tallos por m ⁻²
1	1 planta por bolsa conducida a 2 tallos	2.08	4.16
2	2 plantas por bolsa conducidas a 1 tallo	2.08	4.16
3	1 planta por bolsa conducida a 2 tallos	4.16	8.32
4	2 plantas por bolsa conducidas a 1 tallo	4.16	8.32
5	1 planta por bolsa conducida a 3 tallos	2.08	6.24
6	1 planta por bolsa conducida a 1 tallo (testigo)	4.16	4.16

La siembra de las semillas se realizó en charolas de plástico de 200 cavidades, se empleó como sustrato turba canadiense, se regó solamente con agua de pozo hasta la emergencia de las hojas cotiledanales. Posteriormente se aplicó la solución nutritiva Steiner al 25%, con pH de 6.0, hasta el momento del trasplante a los 30 días después de la siembra (Velazco y Nieto, 2006). El tutoreo se llevó a cabo con cordón de rafia. Se realizaron podas semanales a partir de

la salida de brotes laterales cuando estos alcanzaron de 3 a 5 cm de largo (Velasco y Nieto, 2006), con la finalidad de conducir la planta a uno, dos o tres tallos dependiendo del tratamiento. La polinización se llevó a cabo de forma manual todos los días entre las 10 y 12 h. La nutrición de la planta se suministró con la solución nutritiva de Steiner (1961), para la preparación se usaron fertilizantes comerciales, el pH se mantuvo entre 6 y 6.5 y conductividad eléctrica de $3.5 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$. Con base en trabajos previos se determinó la necesidad hídrica del cultivo, por lo que se dieron ocho riegos diarios en los que la duración estuvo determinada en función de la fase fenológica de la planta y las condiciones ambientales. Durante los primeros 30 días se suministró 0.3 litros por planta al día, durante los siguientes 40 días el consumo se incrementó a 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo se aportaron 1.5 litros por planta diariamente, mediante sistema de riego por goteo. Una vez por semana se aplicó un riego pesado con agua corriente, para evitar la acumulación de sales en el sustrato. La cosecha se realizó cuando el racimo completo presentó el 90% de frutos de color rojo y fueron clasificados en comerciales y no comerciales. Las variables agronómicas evaluadas hasta el sexto racimo fueron: rendimiento de fruto total y comercial en kg m^{-2} ; rendimiento por tallo (primario, secundario y terciario) en kg m^{-2} ; número de frutos por m^{-2} , donde se contabilizaron los frutos totales y comerciales por racimo de cada planta y se obtuvo el total por planta y por m^{-2} . Peso promedio por racimo y peso promedio de fruto en g, para lo cual se consideró el peso total comercial por m^{-2} dividido entre el número de frutos comerciales por m^{-2} , en cada uno de los tratamientos; número de flores por m^2 y porcentaje de amarre de frutos el cual se cuantificó contando el número de flores por racimo floral por cada tratamiento y el número de frutos totales y comerciales. Con los datos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey al (0.05%) con el programa Statistical Analysis System, versión, 9.00 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable peso promedio por racimo (Cuadro 1.2). El tratamiento T1, con una planta por bolsa conducida a dos tallos, y el tratamiento T2, con dos plantas por bolsa conducidas a un tallo, ambos tratamientos con 2.08 bolsas por m^{-2} , fueron estadísticamente iguales al testigo (T6) que fue conducido a un solo tallo con densidad de 4.16 bolsas por m^{-2} . Estos tratamientos presentaron las medias más altas de 441.17 g a 479.89 g y las densidades más bajas de 4.16 plantas por m^{-2} , en lo referente al número de tallos por m^{-2} con respecto a los demás; es decir que al disminuir la densidad de plantas se incrementó ligeramente el peso promedio por racimo en comparación con los tratamientos que tuvieron 6.24 y 8.32, tallos por m^{-2} .



Figura 1.1. Conducción de plantas 1A) una planta por bolsa a 2 tallos, 1B) dos plantas por bolsas a un tallo, 1C) una planta por bolsa a un tallo (testigo), 1D) una planta por bolsa a 3 tallos.

En lo referente al manejo Sánchez *et al.* (1999) mencionan que la densidad de plantas permite optimizar la radiación interceptada, a fin de convertir la energía solar en biomasa, estrategia importante para aumentar el rendimiento. El incremento en la densidad de plantación se puede lograr ya sea por un mayor número de plantas por m^{-2} , así como permitiendo que los tallos laterales se desarrollen para aumentar el número de tallos por m^{-2} (Cockshull y Ho, 1995). Por otro lado, el peso promedio por racimo está estrechamente relacionado con la variable número

de frutos promedio por racimo (Cuadro 1.3), ya que se observó un comportamiento similar en los tratamientos T1, T2 y T6, que presentaron el mayor número de frutos (de 4.86 para el tratamiento T1 a 5.27 para el tratamiento T6); mientras que los tratamientos T4 y T3 presentaron los valores más bajos con 3.59 y 3.70 frutos, respectivamente; siendo estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). Los tratamientos T3 y T4, con las medias más bajas en número de frutos, fueron los que tuvieron la densidad más alta de tallos por m^{-2} (8.32), lo que indica que la competencia entre plantas afectó el número de frutos por racimo, no obstante, fueron los que presentaron el rendimiento y número de frutos más altos por m^{-2} al compararse con los demás, lo cual se atribuye a un aumento en la densidad de plantas. Al respecto Cebula (1995) y Sánchez *et al.* (1998) mencionan que la relación que existe entre la densidad de población y el rendimiento por planta no siempre es la misma; en pimiento y jitomate el incremento en la densidad de población disminuye el número de frutos por planta sin afectar el peso medio del fruto. Mientras que Cockshull y Ho (1995) reportaron que el crecimiento del cultivo a densidades altas no sólo produce más frutos, sino también más asimilados por unidad de superficie, como consecuencia de un IAF más alto que intercepta mayor porcentaje de la radiación solar incidente.

En las plantas conducidas a dos tallos, independientemente de la densidad de bolsas por m^{-2} , el tallo secundario produjo aproximadamente el mismo rendimiento que el tallo principal, ya que para el tratamiento T1 la diferencia fue de 10.64% y para el tratamiento T3 de 9% (Cuadro 1.2). Este comportamiento fue similar para la variable número de frutos (Cuadro 1.3), en la que el tallo principal superó por 9.24% al tallo secundario en el tratamiento T1 y por 4.26% en el tratamiento T3. Por esta razón el tratamiento T1, consistente en planta conducida a dos tallos y densidad de 2.08 bolsas por m^{-2} , fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) que el tratamiento testigo (T6) el cual fue manejado a un tallo por planta con una densidad de 4.16 contenedores

por m^{-2} . Con base en estos resultados, es posible disminuir el uso de semillas, bolsas y sustrato en un 50% para el tratamiento T1 y de sustrato y bolsas para el tratamiento T2, comparándolos con el testigo (T6), sin afectar el rendimiento. Al respecto Grijalva *et al.* (2010) mencionan que el conducir a la planta de jitomate bajo invernadero a dos tallos por planta permite reducir los costos de producción sin afectar significativamente el rendimiento.

Por otro lado cuando se incrementó la densidad a 4.16 bolsas por m^{-2} , manejando las plantas a dos tallos (T3), el rendimiento por tallo disminuyó en 33% y 29.63% el número de frutos con respecto al testigo (T6) (cuadro 1.4). Este comportamiento también se presentó cuando se establecieron dos plantas por bolsa con igual densidad (T4), es decir que la producción de cada tallo disminuyó; sin embargo, la producción por m^{-2} se incrementó debido a un aumento en la densidad de población, ya sea de plántulas o de tallos secundarios.

Considerando a los tallos secundarios como otra planta se tendrían ocho plantas por m^{-2} para estos tratamientos. Además, cuando las plantas fueron conducidas a tres tallos (T5), el rendimiento superó al testigo en 5.52% (Cuadro 1.4) de forma no significativa, este incremento se debió a un mayor número de tallos (6.24) comprado con 4.16 tallos por m^{-2} del testigo (T6), lo que representa un aclaro efecto de la densidad en el rendimiento. Por otro lado se redujo la cantidad de insumos utilizados en un 50% para bolsas, sustrato y semillas con el tratamiento T5 manejando a tres tallos y densidad de 2.08 bolsas por m^{-2} . Al respecto Peil y Gálvez (2004) encontraron que la adición de tallos laterales redujo en 20% el rendimiento total, pero fue acompañada por un ahorro de un 21% en el número de plantas. Investigaciones sobre el efecto de la densidad de plantación en jitomate, en condiciones de invernadero, señalan una respuesta positiva en el rendimiento a medida que se incrementa el número de plantas por m^{-2} , con el inconveniente de reducir el tamaño del fruto (Grasso *et al.*, 2004). Al respecto, Decoteau y Graham (1994); Cebula (1995) y Lorenzo y Castilla (1995), mencionan

que dentro de ciertos límites, el aumento en la densidad de población causa disminución en el rendimiento por planta, pero incrementa el rendimiento por unidad de superficie. Al respecto Van de Vooren *et al.* (1986) señalan que a partir de un determinado nivel de densidad de siembra la producción por planta disminuye y la producción por unidad de superficie aumenta; un nuevo incremento de densidad permite alcanzar el máximo rendimiento, mientras que excesivas densidades afectan el rendimiento. Jorge y Sánchez (2003) indicaron que el intento de aumentar el rendimiento por unidad de superficie mediante el aumento de la densidad de población, alcanza un límite de alrededor de 10 plantas·m⁻² (30 racimos·m⁻²), ya que sobrepasarlo implica una reducción proporcional en el número de frutos por racimo o en el peso medio de frutos, permaneciendo relativamente constante el rendimiento por unidad de superficie. Sin embargo, trabajos anteriores (Papadopoulos y Ormrod, 1990; Cockshull y Ho, 1995; Papadopoulos y Pararajasingham, 1997) reportaron una reducción en la producción de los frutos de mayor tamaño, mayor número de frutos y mayor rendimiento total por m⁻² con el incremento de la densidad de tallos. Por otro lado, para el porcentaje que aporta cada racimo de la planta (Cuadro 1.2) se observó que en los primeros racimos se concentra el mayor peso, el cual varió de 22.4% para el primer racimo del tratamiento T6 a 31.2%, del primer racimo del tallo principal en el tratamiento T3 con un promedio de 26.3 %, este porcentaje tendió a disminuir conforme aumentó el número de racimos en la planta, de tal manera que en el racimo seis se presentó el porcentaje más bajo con un 9.1% en promedio de rendimiento total. Por lo que valdría la pena considerar el manejo de la planta a cuatro o cinco racimos tomando en cuenta el costo de producción por racimo.

Cuadro 1.2. Porcentaje de peso que aporta cada racimo (R) y peso promedio de racimo en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705), en condiciones de invernadero e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

T	Tallos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Aporte por tallo (%)	Peso promedio por racimo (g)
1	T. P.	24.7	18.7	14.6	15.6	14.7	11.6	55.3	441.17 ^a
	T. S.	22.5	18.9	19.5	16.4	13.8	8.9	44.7	
2	T. U.	24.8	18.9	15.9	14.8	13.3	12.2		479.38 ^a
3	T. P.	31.2	22.5	14.9	13.4	9.4	8.5	54.5	318.10 ^b
	T. S.	25.5	18.9	19.5	15.8	12.7	7.6	45.5	
4	T. U.	29.3	19.3	16.2	13.8	11.5	9.7		299.20 ^b
	T.P.	29.7	21.1	17.5	12.4	10.8	8.5	43.2	338.46 ^b
5	T. S.	27.8	19.4	21.2	14.2	10.8	6.6	27.6	
	T. T.	24.8	20.6	20.2	14.6	12.4	7.3	29.1	
6	T. U. (testigo)	22.4	22.5	15.8	15.3	13.4	10.5		479.89 ^a
	Promedio	26.3	20.1	17.5	14.6	12.3	9.1		
	Disminución de peso en relación al 1 ^{er} racimo (%)	N/A	23.5	33.3	44.4	53.3	65.2		

T= tratamientos; Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$); N/A= no aplica. T.P.= tallo principal, T.S.= tallo secundario, T.T. tallo terciario, T.U.= tallo único

Similar comportamiento se presentó para la variable número de frutos (Cuadro 1.3), donde el racimo seis solamente aporta de 7.51 a 13.48 % del total con un promedio de 10.4%. Al respecto Sánchez y Corona (1994); Sánchez y Ponce (1998) observaron que en invernadero los mejores rendimientos por unidad de superficie, para cultivares de hábito de crecimiento semideterminado, se logra con densidades de 25 plantas por m⁻² despuntadas a un racimo, con 16 plantas por m⁻² despuntadas a dos racimos y con 12 plantas por m⁻² despuntadas a tres racimos. Al comparar la disminución de peso de los racimos en relación al primero (Cuadro 1.2), se observó que el 2º racimo disminuyó 23.5% con respecto al primero, y que a partir del quinto racimo, la disminución fue más de la mitad con 53.3% y 65.2% para el sexto racimo. Se observó un promedio de 10.4% de disminución entre un racimo y el siguiente. Se sugiere

considerar estos resultados para establecer un sistema de producción de jitomate de hábito indeterminado y se recomienda podar las plantas a cuatro racimos, ya que en las condiciones agronómicas y climáticas en que se llevó a cabo el presente estudio, a partir del 5° racimo el peso promedio disminuyó considerablemente. La disminución del peso con respecto al racimo siguiente se presentó así (Cuadro 1.2): para el 2° racimo el peso fue 23.54% menos que el primero, 3er racimo 12.75% menos que el 2°, 4° racimo 16.56% menos que el 3°, 5° racimo 15.98% menos que el 4° y 6° racimo 25.6% menos que el 5°, en esta secuencia se observó que la disminución no siguió un patrón constante, como cuando se consideraron los pesos de los racimos con respecto al primero, aunque hubo una disminución gradual del peso conforme se incrementa el número en la planta. Este comportamiento se debe a que la planta destina los fotoasimilados al racimo en formación, dándole prioridad a este, lo cual genera una competencia con los racimos siguientes, es decir existe una competencia interna.

Cuadro 1.3. Porcentaje del número de frutos por racimo (R) y frutos promedio por racimo en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705) bajo condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

T	Tallos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Aporte por tallo (%)	Frutos promedio por racimo
1	T.P.	19.7	18.2	14.4	16.9	17.2	13.5	54.6	4.9 ^a
	T.S	20.4	18.9	20.0	16.9	14.3	9.4	45.4	
2	T.U.	19.7	18.1	17.3	16.0	15.2	13.5		5.2 ^a
	T.P.	25.0	21.9	15.9	15.9	12.1	9.0	52.1	3.7 ^{bc}
3	T.S.	22.5	20.2	21.1	15.5	13.1	7.5	47.9	
	T.U.	23.7	19.0	17.6	15.5	13.2	10.9		3.6 ^c
5	T.P.	23.3	17.5	19.5	14.4	14.3	10.9	39.2	
	T.S.	22.5	19.4	22.9	15.3	10.8	9.0	29.8	4.1 ^b
	T.T.	20.3	19.9	21.6	15.6	13.8	8.6	31.0	
6	T.U.	18.6	20.9	15.8	17.8	15.4	11.5		5.3 ^a
	(testigo)								
	Promedio	21.6	19.4	18.6	16.0	14.0	10.4	100.0	

T= tratamientos; Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$); T.P.= tallo principal, T.S.= tallo secundario, T.T. tallo terciario, T.U.= tallo único

Para la variable peso promedio de fruto (Cuadro 1.4) hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$); el tratamiento T2 presentó el mayor peso (92.34 g) y fue estadísticamente igual que los tratamientos T1, T3 y T6 (testigo) y el de menor peso promedio fue el tratamiento T5, con plantas conducidas a tres tallos (6.24 tallos por m^{-2}) con 81.99 g. Este último fue igual estadísticamente ($P \leq 0.05$) que los tratamientos T3 y T4 con 85.62 y 83.60 g respectivamente, ambos con 8.32 tallos por m^{-2} . Estos resultados indican que al incrementar la densidad de tallos el peso del fruto tendió a disminuir, por lo que era de esperarse que el tratamiento T5 presentara el fruto de menor peso, ya que fue conducido a tres tallos lo cual indujo una mayor competencia por fotoasimilados en la planta. En general, fue mínima la diferencia entre los tratamientos, por lo que aún con densidades de 8.32 tallos por m^{-2} se obtuvieron frutos con buen peso comercial.

Cuadro 1.4. Comparación de medias de variables agronómicas en jitomate tipo Saladette (híbrido Sun-7705) en condiciones de invernadero e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

T	R.F.C. ($kg\ m^{-2}$)	R.F.To. ($kg\ m^{-2}$)	N.F.C. por m^{-2}	N.F.To. por m^{-2}	P.P.F. (g)	R.F.Ta. ($kg\ m^{-2}$)	N.F.Ta. por m^{-2}	N.F. por m^{-2}	A.F.C. (%)	A.F.T. (%)
1	11.0 ^b	11.4 ^b	121.5 ^c	139.5 ^c	90.7 ^{ab}	2.6 ^a	29.1 ^a	145.1 ^d	83.7	96.2
2	11.9 ^b	12.3 ^b	129.6 ^c	144.3 ^c	92.3 ^a	2.9 ^a	31.1 ^a	152.6 ^d	84.9	94.6
3	15.9 ^a	16.6 ^a	185.1 ^a	216.3 ^a	85.3 ^{abc}	1.9 ^b	22.2 ^{bc}	236.1 ^{ab}	78.4	91.6
4	14.9 ^a	15.8 ^a	179.3 ^a	218.8 ^a	83.6 ^{bc}	1.8 ^b	21.5 ^c	257.4 ^a	69.6	85.0
5	12.7 ^b	13.4 ^b	154.9 ^b	188.6 ^b	81.9 ^c	2.0 ^b	24.4 ^b	206.9 ^{bc}	74.9	91.2
6	11.9 ^b	12.4 ^b	131.5 ^c	148.2 ^c	90.7 ^{ab}	2.9 ^a	31.6 ^a	171.6 ^{cd}	76.6	86.4

T= tratamientos; R.F.C.= rendimiento de fruto comercial; R.F.To.= rendimiento de fruto total; N.F.C.= número de frutos comerciales; N.F.To.= número de frutos totales; P.P.F.= peso promedio de frutos; R.F.Ta.= Rendimiento de fruto por tallo; N.F.Ta.= número de frutos por tallo; N.F.= número de flores; A.F.C.= amarre de frutos comerciales; A.F.T.= amarre de frutos totales; Dentro de cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$)

La reducción del rendimiento, probablemente, se deba a una distribución de los asimilados producidos en el tallo principal hacia el tallo lateral durante su fase de desarrollo inicial.

Durante dicha fase, el tallo lateral presenta una gran demanda en el consumo de asimilados y

compite fuertemente por los disponibles con los frutos en desarrollo en el tallo principal (Cockshull y Ho, 1995).

La alta densidad de plantas aumenta la precocidad y reduce el ciclo biológico, y los frutos producidos son de menor tamaño y calidad (Nuez, 1995). Para este caso no se observaron frutos de mala calidad debido a que las densidades manejadas estuvieron dentro de lo recomendado, de tal manera que como lo señala Gardner *et al.* (1990), no se llegó a niveles de competencia por radiación entre las plantas que limitaran la producción de fotoasimilados, a tal grado que influyeran de forma negativa sobre el número de frutos por racimo o el peso medio de los mismos. Al respecto Cockshull y Ho (1995) señalan que la adición de tallos laterales disminuye el peso promedio de los frutos, reduce la variabilidad del peso promedio y la producción de frutos de mayor tamaño, ocasionando una disminución del rendimiento de 5%, pero con 33% de ahorro en el número de plantas. Por otro lado, Méndez *et al.* (2005) encontraron que el peso medio de fruto fue mayor en el testigo (115 g), dosel uniforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a la misma altura, 3.3 plantas·m⁻¹ (30 racimos·m⁻²) el cual superó en 21% al tratamiento con dosel escaleriforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a diferente altura, 6.6 plantas·m⁻¹ lineal (66 racimos·m⁻²) el cual tuvo el menor valor (91 g), por lo que el peso medio de fruto disminuyó con el aumento de la densidad de población. Para la variable rendimiento de fruto comercial se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). La densidad de 4.16 bolsas/m⁻², con dos plantas por contenedor conducidas a un tallo y una planta por contenedor conducida a dos tallos, presentaron los rendimientos mas altos de 15.88 kg m⁻² para el tratamiento T3 y 14.93 kg m⁻² para el tratamiento T4, es decir que al incrementar la densidad a 8.32 tallos/m⁻², se incrementó el rendimiento por m⁻², comparado con el testigo manejado a una densidad de 4.16 bolsas por m⁻², pero con plantas conducidas a un solo tallo.

Sin embargo, la producción por tallos disminuyó ya que estos tratamientos con el mayor rendimiento por m^{-2} , presentaron el rendimiento más bajo por tallo. Méndez *et al.* (2005) mencionan que el mayor rendimiento por unidad de superficie en los doseles escaleriformes se debe a la cosecha de mayor número de frutos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso medio de frutos y se relaciona con un mayor índice de área foliar.

Por otro lado, el comportamiento estadístico de la variable rendimiento de frutos totales (Cuadro 1.4) fue similar al de la variable de frutos comerciales. La pérdida de frutos no comerciales fue de $3380 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el tratamiento T2 y hasta $8986 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el tratamiento T4. Estos resultados destacan la importancia del raleo de frutos pequeños, de tal manera que se destinen los fotoasimilados hacia frutos comerciales y mejorar con ello la calidad y el rendimiento. Villegas *et al.* (2004), encontraron que el rendimiento de fruto de jitomate cv. Gabriela puede aumentarse significativamente mediante una densidad de 6.8 plantas por m^2 sometidas al despunte a tres racimos, como lo recomiendan Sánchez y Ponce (1998), debido a que el despunte modifica el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, lo que permite mejorar la iluminación del dosel y aumenta la biomasa asignada al fruto. Por lo que en ese sistema el mayor rendimiento de fruto con calidad exportación (diámetro ecuatorial $> 6.0 \text{ cm}$) lo obtuvieron con la densidad de 6.8 plantas/ m^2 , con una producción de 202 frutos/ m^2 y un peso fresco de 26.9 kg m^{-2} .

En cuanto al número de frutos comerciales por m^{-2} , el comportamiento fue estadísticamente similar al de la variable rendimiento comercial ($P \leq 0.05$), ya que los mismos tratamientos T3 y T4 (8.32 tallos por m^{-2}) produjeron 185.12 y 179.29 frutos por m^{-2} , respectivamente. El tratamiento T5 con plantas conducidas a tres tallos (6.24 tallos por m^{-2}) superó a los tratamientos T1, T2 y T6 (4.16 tallos por m^{-2}) aunque de manera no significativa ($P \leq 0.05$). Es decir, que esta variable se encuentra relacionada con la densidad de plantas, ya que al

incrementar el número de tallos por m^{-2} se incrementa el número de frutos y por ende el rendimiento. Al respecto Vázquez *et al.* (2007) concluyeron que el mayor rendimiento de jitomate por unidad de superficie es consecuencia de la obtención de un mayor número de frutos por unidad de superficie sin detrimento del peso medio de fruto. Por otro lado, Sánchez *et al.* (1999) indicaron que el número de frutos por unidad de superficie tiende a incrementarse con un aumento en la densidad de población, aunque el rendimiento por planta disminuye. Es decir, la reducción individual es compensada por el aumento en el número de plantas por unidad de área; además que en plantas de jitomate podadas a tres racimos el mayor número de frutos· m^{-2} (342) se obtuvo con la densidad de 35 plantas· m^{-2} y el menor (274) con 25 plantas· m^{-2} . En cuanto a pérdidas por frutos no comerciales este fue de 14.76 frutos por m^{-2} para el tratamiento T2 hasta 39.52 frutos por m^{-2} para el tratamiento T4, los cuales es recomendable eliminar para evitar competencia por nutrientes y permitir una mejor calidad para los frutos comerciales. Con respecto a la variable número de flores por m^{-2} (Cuadro 1.4) los tratamientos con el mayor número fueron los que presentaron el mayor rendimiento y número de frutos por m^{-2} , sin embargo en el porcentaje de amarre se observa que los tratamientos T1 y T2, con densidades de población menores, presentaron más alto porcentaje de amarre de frutos; es decir que estos tratamientos produjeron una menor cantidad de flores pero el amarre fue mayor, posiblemente debido a una menor competencia por luz, mientras que los tratamientos con densidades mayores, presentaron una mayor cantidad de flores por m^{-2} , y el porcentaje de amarre fue menor, sin embargo la producción y número de frutos superó al resto de los tratamientos por presentar una mayor cantidad de flores. Al respecto, Papadopoulos y Pararajasingham, (1997); Sánchez *et al.*, (1999) señalan que el manejo de la densidad de plantas permite optimizar la radiación interceptada, factor importante como estrategia para incrementar los rendimientos.

CONCLUSIONES

El uso de tallos secundarios y terciarios es una opción viable para incrementar la densidad de población y por ende el rendimiento de jitomate en condiciones hidropónicas e invernadero.

Con dos tallos por planta con densidades de 4.16 bolsas por m², se tiene el mayor rendimiento y el mayor número de frutos.

En plantas de jitomate cosechadas a seis racimos es posible disminuir hasta en un 50% el uso de semillas, bolsas y sustrato con plantas manejadas a dos tallos y 2.08 bolsas por m², sin afectar el rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Cebula, S. (1995)** Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412:321-329.
- Cockshull, K.E. and Ho, L.C. (1995)** Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *Journal of Horticultural Science*, 70:395-407.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2006)** Clima. www.cna.gob.mx (consulta: Febrero 15, 2011).
- Decoteau, D. R. and Graham, H. A. H. (1994)** Plant spatial arrangement affects growth, yield, and pod distribution of cayenne peppers. *Hortsci.* 29:149-151. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 333 – 338.
- Estrada-Botello M. A., de La Cruz-Lázaro E., Brito-Manzano N. P., Gómez-Vázquez A., Mendoza-Palacios J. de D., Gómez-Méndez E. y Ulises-López N. (2009)** Producción de tomate rojo en hidroponía bajo condiciones protegidas en el trópico húmedo. Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco México. 30 p.
- García E. (1973)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 246 p.
- Gardner, P. F.; Pearce, R. B.; Mitchel, R. I. (1990)** *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa, EUA. 327 p.
- Grasso, R., Muguero A., Ferrato J., Mondino M.C. y Longo A. (2004)** Efecto de la época y la densidad de plantación sobre la productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 3: 7-11.
- Grijalva, C. R. L., Macías, D.R., Grijalva, D. S. A. y Robles, C. F. (2010)** Evaluación de densidades y arreglos de plantación en tomate bola en condiciones de invernadero en el Noroeste de Sonora. *BIOTecnia*, vol. XII. No. 2.

- Jorge S. M. y Sánchez Del C. F. (2003)** Densidades, arreglo de plantación y niveles de despunte en jitomate bajo hidroponía e invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(4): 257-262.
- Lorenzo, P. y Castilla, N. (1995)** Bell pepper yield response to plant density and radiation in unheated plastic greenhouse. *Acta Hort.* 412:330-334.
- Méndez-Galicia, T.; Sánchez-Del Castillo, F.; Sahagún-Castellanos, J. y Contreras-Magaña, E. (2005)** Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo. Serie Horticultura [en línea]* vol. 11 [citado 2011-05-10]. Disponible en Internet <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=60912502026>. ISSN 0186-3231.
- Nuez F (1995)** El cultivo de Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:190-219.
- Palma L.D.J y Cisneros D.J. (2000)** Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 2ª. Ed. ISPROTAB-FUNDACIÓN PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. Pp 115.
- Papadopoulos A P, and S. Pararajasingham (1997)** The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. *Scientia Hort.* 69:1-29.
- Papadopoulos, A.P. and Ormrod, D.P. (1990).** Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 70:297- 304.
- Peil, R.M.N. y Gálvez, J.L. (2004)** Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 22(2) 265-270, abril-junho 2004.
- Ruiz, V. J. y Aquino B.T. (1996)** Control integrado de mosquita blanca en tomate y chile por métodos de bajo impacto ecológico. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, p. 12.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2010)** Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagr2c.html. (consulta: Marzo 15, 2011).
- Sánchez del C. F, J. Ortiz, M C Mendoza, V. A. González, M. T. Colinas (1999)** Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21- 29.
- Sánchez del C. F. and T. Corona (1994)** Evaluación de cuatro variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un sistema hidropónico a base de despunte a altas densidades. *Rev. Chapingo S. Hort.* 2:109-114.
- Sánchez del C. F. and J. Ponce (1998)** Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Rev. Chapingo S. Hort.* 4 (2):89-93.
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. M. C.;González, H. V. A. y Bustamante, O. J. (1998)** Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotec. Mex.* 21(1):1-13.
- Sánchez, del C.F., Ortiz C.J., Mendoza C.M., González H.V.A. y Colinas L.M.T. (1999)** Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21-29.
- Sánchez-del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. del C.; Cruz-Arellanes, E. L. (2009)** Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma

- de escalera. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(1) 67-73 Universidad Autónoma Chapingo México.
- SAS institute. (2002).** SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A.
- Steiner A.A. (1961)** A Universal Method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. Plant Soil. 15: 134-154 pp.
- Van de Vooren, J.G.; Welles, W.H. ; Hayman, G. (1986)** Glasshouse crop production. *In:* The tomato crop. Chapman and Hall. London, England. pp. 581- 623.
- Vázquez-Rodríguez, J. C.; Sánchez-Del Castillo, F. y Moreno-Pérez, E. del C. (2007)** Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura [en línea] vol. 13 [citado 2011-05-10]. Disponible en Internet <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=60913108>. ISSN 0186-3231.
- Velasco, H. E. y Nieto, A. R. (2006)** Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Material didáctico. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de fitotecnia.
- Villegas, C.J.R., Gonzáles, H. V.A., Carrillo, S.J.A., Livera, M.M., Sánchez. Del C, F. y Osuna, E.T. (2004)** Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. Rev. Fitotec. Mex. 27 (4): 333 – 338.

CAPÍTULO II

USO DE LA AUXINA 2-NAFTOXIACÉTICO EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS E HIDROPONIA EN TABASCO

USE OF 2-NAPHTHOXYACETIC AUXIN IN THE PRODUCTION OF TOMATO UNDER PROTECTED CONDITIONS AND HYDROPONICS IN TABASCO

**Edmundo Gómez-Méndez¹, Gabriel Alcántar-González^{2*}, Maximiano A. Estrada-
Botello¹, Lucero del M. Ruiz-Posadas², Víctor M. Ordaz-Chaparro², Irineo L. López-
Cruz³**

Artículo escrito bajo las normas de la **Revista Fitotecnia Mexicana**

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. ²Colegio de
Postgraduados-Campus Montecillo. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. De México.
³Universidad Autónoma de Chapingo.56230 Chapingo, Estado de México.

***Autor para correspondencia** (alcantar@colpos.mx)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue establecer la mejor dosis de aplicación de la auxina 2-naftoxiacético para mejorar la fructificación y rendimiento del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), así como su efecto en algunas variables de calidad del fruto bajo condiciones protegidas en un sistema hidropónico en el estado de Tabasco. Además, se realizó la caracterización física del sustrato utilizado (tepetzil). El experimento se estableció de noviembre 2008 a abril de 2009. Se empleó el híbrido SUN-7705, tipo saladette, de hábito indeterminado. La fertigación se realizó con la solución Steiner. Se utilizó un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y 10 repeticiones, los tratamientos consistieron en dosis de auxina en concentraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, y 70 mg L⁻¹, así como un testigo (sin aplicación), la unidad experimental consistió en una planta conducida a un tallo hasta el sexto racimo, contenida en una bolsa de plástico negro de 19 L calibre 400. Las variables analizadas fueron: rendimiento de fruto (kg·m⁻²), número de frutos·m⁻², tamaño de fruto (diámetro polar y ecuatorial), peso promedio de fruto, contenido de sólidos solubles totales (SST) y pH en el fruto. También se registraron las variables climáticas temperatura y humedad relativa dentro del invernadero durante el experimento. Los datos se analizaron con el programa SAS. Se encontró que las dosis de 30 a 70 mgL⁻¹ de la auxina 2-naftoxiacético incrementaron el peso de fruto (por un aumento en su diámetro ecuatorial), pH y sólidos solubles totales (^oBx). Además estimuló el desarrollo partenocárpico de los frutos, útil bajo condiciones ambientales adversas. Las condiciones climáticas registradas durante el ciclo de cultivo fueron favorables por lo que no se observó efecto de la auxina en el rendimiento. El sustrato (tepetzil) presentó características físicas convenientes para su uso en hidroponía.

Palabras clave: jitomate, auxina, partenocárpico, hidroponía.

SUMMARY

The goal of this research was to establish the best dose of application of auxin 2-naphthoxyacetic to improve fruit set and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and its effect on some fruit quality variables under protected conditions in a hydroponic system in the state of Tabasco. We also performed the physical characterization of the substrate used (tepetzil). The experiment was established from November 2008 to April 2009. The hybrid SUN-7705, saladette of indeterminate growth habit, was used fertigation was performed with the Steiner solution. We used a completely randomized design with eight treatments and 10 replications, the treatments consisted in doses of auxin in concentrations of 10, 20, 30, 40, 50, 60, and 70 mg L⁻¹ as well as a control (without application), the experimental unit was taken to a plant stem to the sixth cluster contained in a black plastic bag 19 liter size 400. The variables analyzed were fruit yield (kg.m⁻²), number of frutos.m⁻², fruit size (polar and equatorial diameter), average fruit weight, total soluble solids (TSS) and pH in the fruit. Also were recorded temperature and relative humidity inside the greenhouse during the experiment. Data were analyzed using SAS. It was found that doses of 30 to 70 mgL⁻¹ of 2-naphthoxyacetic auxin increased the weight of fruit (for an increase in its equatorial diameter), pH and total soluble solids (°Bx). Also stimulated the development of parthenocarpic fruits, useful under adverse environmental conditions. The weather conditions recorded during the growing season were favorable so there was no effect of auxin on performance. The substrate (tepetzil) presented convenient physical characteristics for use in hydroponics.

Index words: tomato, auxin, parthenocarpic, hydroponics.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano. En México, en el 2009, se sembró una superficie de 101,328 ha con una producción de 2 millones 727,691 t y un rendimiento promedio de 39.5 t ha⁻¹; el estado de Tabasco ese mismo año participó con una superficie de 37.25 ha a cielo abierto, con un rendimiento promedio de 10.81 t ha⁻¹, (SAGARPA, 2010) lo que se considera bajo comparado con otras entidades del país. Estrada *et al.* (2009) utilizando el sistema hidropónico e invernadero obtuvieron rendimientos de 85 t ha⁻¹, de jitomate tipo saladette, para esta región, lo que indica que con un buen manejo del cultivo puede incrementarse el rendimiento, aunque las investigaciones aun son incipientes. Desde el punto de vista agroclimático el estado de Tabasco cuenta con una superficie de 2,333,401 ha con alto potencial productivo para establecer el cultivo de jitomate en el ciclo otoño-invierno con un potencial de rendimiento de 48 t ha⁻¹ a cielo abierto (Aceves, *et al.*, 2008), sin embargo el manejo que se le ha dado al cultivo, hasta el momento, no ha permitido alcanzar estos rendimientos potenciales en la entidad. Por otro lado solo en ese ciclo es posible producir jitomate en Tabasco, ya que en los otros se presentan condiciones desfavorables para el cultivo como humedad relativa excesiva y temperaturas demasiado altas. Al respecto Maroto (2002) menciona que a temperaturas por arriba de 30° C las plantas disminuyen gradualmente la producción potencial por problemas en la polinización, mal desarrollo de óvulos y de la planta en general y cuando estas superan los 35° C impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos. Por otro lado, Agusti y Almela (1991) señalan que el desarrollo agrícola debe basarse en la implementación de una tecnología propia, adecuada a las circunstancias ecológicas. Una de las tecnologías más promisorias para el aumento de la

productividad de los cultivos es el manejo de su desarrollo por medio de fitorreguladores, biorreguladores o bioestimulantes, productos que son de uso generalizado en agricultura tecnificada. Los reguladores de crecimiento son usados en horticultura para mejorar el crecimiento de los cultivos aumentando el número de frutos, cuajado del fruto y su tamaño (Montaño y Méndez, 2009). La productividad en el sistema hortícola a menudo depende del manejo de las actividades fisiológicas por medios químicos (Yeshitela *et al.*, 2004), en donde las hormonas juegan un papel importante. Las auxinas participan directamente en el crecimiento de las plantas a través de respuestas fisiológicas, tales como el alargamiento y división celular, además de que estimulan el desarrollo partenocárpico de los frutos (Leszek, 2003), por lo que no es necesaria la polinización de la flor, de tal forma que aún en condiciones adversas hay formación de frutos. Las auxinas sintéticas son eficaces en mejorar el crecimiento del fruto (Faust, 1989; Westwood, 1993). Estas son conocidas por su capacidad para aumentar el tamaño de la célula (Arteca, 1996; Westwood, 1993; Davies, 2004). Emonger y Murr (2001) y Yu *et al.* (2001) reportaron un aumento en el tamaño del fruto por las aplicaciones de citocininas y giberelinas en cultivos de manzana, pepino y uva; por el alargamiento celular y de la expansión de la pared celular.

Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue establecer la mejor dosis de aplicación de la auxina 2-naftoxiacético para mejorar la fructificación y el rendimiento de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), así como su efecto en algunas variables de calidad del fruto: tamaño, contenido de sólidos solubles totales (SST) y pH, en condiciones protegidas e hidroponía en el estado de Tabasco. Además, se realizó la caracterización física del sustrato tepetzil, empleado en el experimento, ya que la calidad de un buen sustrato permite mejorar la producción de los cultivos al proporcionar las condiciones adecuadas de aireación, soporte, disponibilidad de nutrimentos y humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo del 21 de noviembre de 2008 al 30 de abril de 2009, en un invernadero tipo megavent de 8.22 m de ancho por 20 m de largo, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, localizada entre los 17° 46'56" de latitud Norte y los 92° 57'28" de longitud Oeste a una altura de 40 msnm (Palma y Cisneros, 2000). De acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (1973), el clima del área de estudio es un Af(m)w>>(i)g, es decir clima cálido húmedo con altas precipitaciones en el verano. La temperatura media anual es de 26.5 °C, con máximas de 39 °C en mayo y mínimas de 13.7 °C en febrero. La precipitación media anual es de 2,123 mm presentándose más del 70% entre mayo y noviembre (CONAGUA, 2006). La evaporación alcanza niveles altos, sobre todo en la época seca, registrándose valores totales anuales de 1,316 mm (Palma y Cisneros, 2000). Se empleó el híbrido de jitomate SUN-7705, de tipo saladette de hábito de crecimiento indeterminado de la empresa Nunhems. Como sustrato se empleó tepetzil, material de origen volcánico, al cual se le determinaron sus propiedades físicas antes del experimento. Las metodologías utilizadas fueron las propuestas por Ansorena (1994) y por Warncke (1986) para determinar la granulometría, densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, densidad aparente y retención de humedad (curva de liberación de agua). Se utilizó un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y 10 repeticiones; los tratamientos consistieron en dosis de auxina en concentraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, y 70 mg L⁻¹, así como un testigo (sin aplicación), teniendo un total de 80 unidades experimentales, cada una de ellas consistió en una planta conducida a un tallo hasta el sexto racimo, contenida en una bolsa de plástico negro de 19 L calibre 400. Para la preparación de cada tratamiento de 2-naftoxiacético se usó una balanza analítica, posteriormente se diluyeron en 10 ml de alcohol

etélico al 96%, se transfirieron las soluciones en matraces aforados de 1 L, finalmente se aforaron con agua destilada y se mantuvieron en refrigeración a 6° C. Las soluciones se aplicaron con un atomizador hasta punto de goteo, rociando directamente al racimo floral por la mañana. Las aplicaciones se iniciaron en cada racimo cuando este presentaba tres flores abiertas, se realizaron tres por racimo floral con la finalidad de cubrir todas las flores ya que éstas no abren al mismo tiempo. La elección de las dosis fue con base a las recomendadas por Leszek, (2003) de 25 a 50 mg L⁻¹ y a partir de esta se obtuvieron concentraciones por debajo y por arriba de las mismas. La siembra de las semillas se realizó en charolas de plástico de 200 cavidades, se empleó como sustrato turba canadiense, se regó solamente con agua de pozo hasta la emergencia de las hojas cotiledonales. Posteriormente se aplicó la solución nutritiva Steiner al 25%, con pH de 6.0, hasta el momento del trasplante a los 30 días después de la siembra (Velazco y Nieto, 2006). El tutoréo se llevó acabo con cordón de rafia. Se realizaron podas semanales a partir de la salida de brotes laterales cuando estos alcanzaron de 3 a 5 cm de largo (Velasco y Nieto, 2006), con la finalidad de conducir la planta a un tallo. La polinización en las plantas control se llevó a cabo entre las 8:00 y 10:00 am, diariamente, moviendo las plantas de manualmente. La nutrición de la planta se suministró con la solución nutritiva de Steiner (1961), para la preparación se usaron fertilizantes comerciales, el pH se mantuvo entre 6 y 6.5 y la conductividad eléctrica de 3.5 ds/m. La necesidad hídrica del cultivo fue satisfecha con base a la recomendación de Estrada *et al.* (2009), por lo que se dieron ocho riegos diarios, cada hora, el primero a las 8:00 am y el último a las 3:00 pm, en los que la duración estuvo determinada en función de la fase fenológica de la planta y condiciones ambientales. Durante los primeros 30 días se suministró 0.3 litros por planta al día, durante los siguientes 40 días el consumo se incrementó a 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo se aportó 1.5 litros por planta diariamente, mediante sistema de

riego por goteo. Semanalmente se aplicó un riego con agua corriente, para evitar la acumulación de sales en el sustrato. Se registraron las variables de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero con un sensor marca HOBO, con registros cada hora durante el experimento. La cosecha se realizó cuando el racimo completo presentó el 90% de frutos de color rojo. Las variables agronómicas que se analizaron hasta el sexto racimo fueron: rendimiento de fruto (kg m^{-2}), número de frutos $\cdot \text{m}^{-2}$, donde se contabilizaron los frutos por planta y se obtuvo el total por planta y por m^2 , peso promedio de fruto (g), para lo cual se consideró el peso total comercial por m^2 dividido entre el número de frutos comerciales por m^2 , diámetro polar y ecuatorial medido con un vernier digital, pH el cual se determinó con un potenciómetro en la pulpa de los frutos molidos, contenido de sólidos solubles en $^{\circ}\text{Bx}$, con refractómetro digital. Con los datos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey al (0.05%) con el programa Statistical Analysis System, versión, 9.00 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para rendimiento de fruto (Cuadro 2.1) no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en ninguno de los tratamientos evaluados debido a un impacto fisiológico (distorsión foliar y caída de flores), causado por la auxina, que afectó el amarre de frutos, ya que para todas las dosis empleadas se observaron síntomas de toxicidad en la planta, en mayor o menor grado en función de la dosis utilizada. Lo anterior se debió al efecto acumulativo de las tres aplicaciones que se hicieron por racimo hasta el sexto. Se apreciaron los síntomas en las láminas foliares (Figura 2.1) y en el racimo floral, aún con la dosis de 10 mgL^{-1} . Al respecto, Agüero *et al.* (2007) empleando ovarios no polinizados como sistema experimental concluyeron que la aplicación de 40 ppm de β -NOA a 7 días pos anthesis ofreció la mayor

ventaja desde el punto de vista del rendimiento y menor impacto fisiológico, sin alterar el período de desarrollo de los frutos. En esta investigación las altas concentraciones de auxina, mayor de 10 mgL^{-1} , causadas por las tres aplicaciones que se hicieron a cada racimo floral de la planta, ocasionaron una alteración fisiológica afectando el número de frutos por m^{-2} ya que los tratamientos con las dosis de 20 a 70 mgL^{-1} de auxina presentaron las medias más bajas para esta variable, no así, el testigo (sin aplicación) y la dosis de 10 mgL^{-1} de auxina que presentaron las medias más altas con 131.88 y 111.49 frutos por m^{-2} respectivamente (Cuadro 2.1)

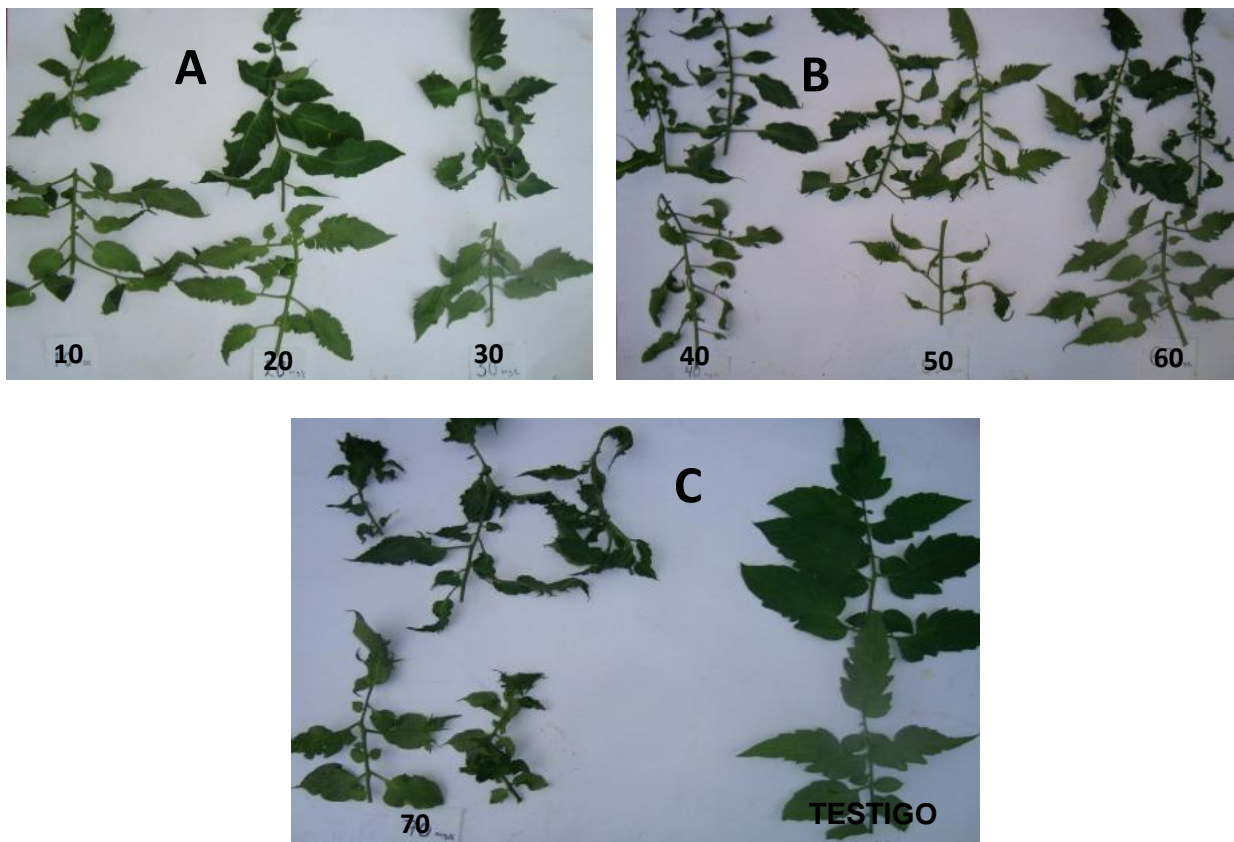


Fig. 2.1. Haz y envés de laminas foliares de jitomate, mostrando el efecto tóxico de la auxina 2-naftoixacético: A) 10, 20 y 30 mg L^{-1} , B) 40, 50 y 60 mg L^{-1} , C) 70 mg L^{-1} y testigo (hoja sana).

Al respecto, Rojas (1988) menciona que una forma de disminuir la caída de flor en tomate y chile es realizando aplicaciones de ácido clorofenoxiacético (auxina) en una concentración de 70 mg.L⁻¹ cuando 50% de las flores están abiertas y 50% están en botón. Para el caso del tratamiento T1, con la dosis más baja de auxina (10 mg.L⁻¹) tuvo menor daño fisiológico en la planta por lo que superó significativamente ($P \leq 0.05$) a los tratamientos con dosis mayores de auxina, pero fue menor que el testigo. Por otro lado, Agüero *et al.* (2007) mencionan que el mayor porcentaje de fructificación se indujo por aplicación de auxinas a 7 días pos antesis, con una dosis de 40 a 60 mg.L⁻¹, por lo que sugieren no retrasar la aplicación más allá de este momento.

Cuadro 2.1. Comparación de medias de variables agronómicas en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) tratadas con auxina bajo condiciones protegidas e hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

T	Concentración de auxina mg.L ⁻¹	Rendimiento (kg m ⁻²)	Peso promedio de fruto (g)	Número de frutos (m ⁻²)	Tamaño de fruto (diámetro)	
					Ecuatorial (mm)	Polar (mm)
1	10	12.33 ^a	109.20 ^{bc}	111.49 ^b	59.89 ^b	78.28 ^a
2	20	9.92 ^a	112.30 ^{abc}	88.20 ^c	62.65 ^b	78.75 ^a
3	30	11.10 ^a	122.67 ^{ab}	89.44 ^c	62.65 ^b	78.83 ^a
4	40	10.17 ^a	117.32 ^{ab}	87.37 ^c	68.10 ^a	79.75 ^a
5	50	10.10 ^a	128.11 ^{ab}	77.38 ^c	69.12 ^a	77.10 ^a
6	60	10.10 ^a	126.33 ^{ab}	79.88 ^c	69.61 ^a	77.91 ^a
7	70	10.78 ^a	132.35 ^a	80.70 ^c	70.01 ^a	78.61 ^a
8	Sin aplicación	11.97 ^a	89.76 ^c	131.88 ^a	60.10 ^b	74.82 ^a

(testigo)

T= tratamientos; Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cabe señalar que en las flores tratadas con auxina se indujo partenocarpia, por lo que se observó nula o poca formación de semillas en los frutos (Figura 2.2), lo que resulta interesante cuando las condiciones ambientales no favorecen la polinización. Al respecto Hernández *et al.* (2010) mencionan que las auxinas en ciertas especies de plantas, controlan y estimulan el

desarrollo de frutos que no fueron polinizados, evitando su caída y aumentando el rendimiento, efecto utilizado en el cultivo de jitomate en algunos países europeos. Castillo *et al.* (2005) señalan que las auxinas no solo inducen partenocarpia sino también el desarrollo de placentas y óvulos rudimentarios, generando frutos de tamaño y aspecto similar a los polinizados.

Aún cuando el testigo (sin aplicación) y el tratamiento T1 con la dosis más baja de auxina (10 mg L^{-1}) tuvieron el mayor número de frutos por m^{-2} , no se reflejaron en un mayor rendimiento debido a su menor peso con 89.7 y 109.2 g respectivamente, comparado con los tratamientos con dosis a partir de 30 mg L^{-1} los que presentaron peso promedio de frutos superior a los 122 g, excepto el tratamiento T4 (40 mg L^{-1} de auxina) que presentó un promedio de 117.32 g, sin embargo, es notorio el efecto de la auxina para esta variable, además que fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) que al testigo.

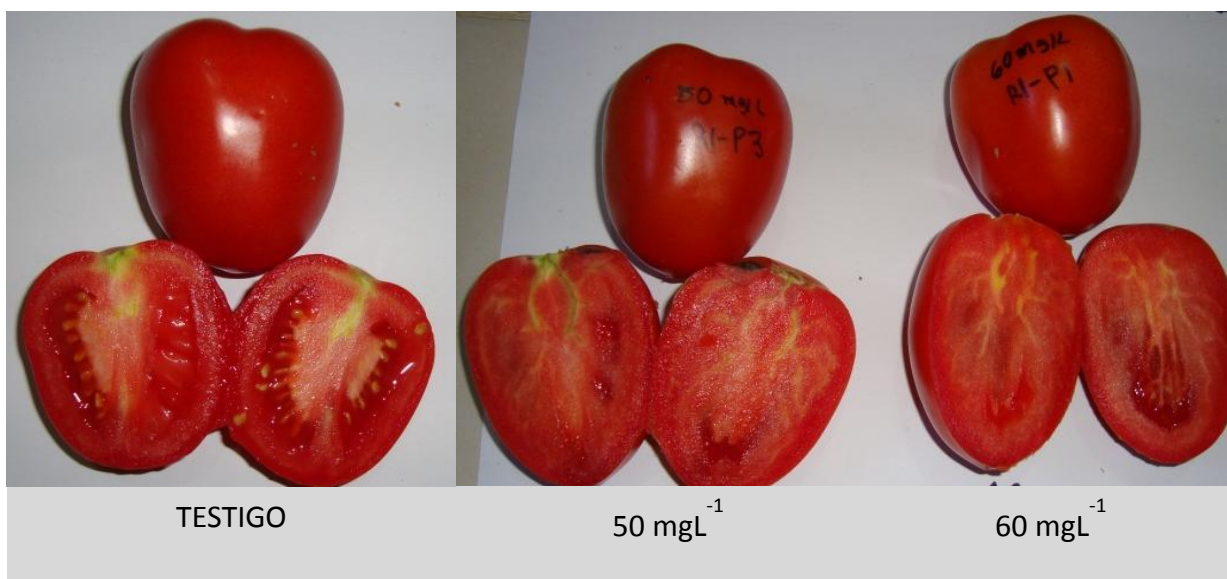


Figura 2.2. Efecto del 2-naftoxiacético en la formación de fruto. A) Se observa presencia de semillas en frutos (testigo). B). No se observan presencia de semillas en frutos (partenocarpia) cultivado bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco.

El tratamiento T7 con la dosis mas alta de auxina (70 mgL^{-1}) presentó el mayor peso promedio de fruto con 132.35 g, superando en 32.17 % al testigo que presentó el peso promedio mas bajo con 89.76 g. Al respecto Agüero *et al.* (2007) evaluando tres dosis de auxina 20, 40 y 60 ppm, aplicados a 0,7 y 14 días pos antesis, encontraron que la aplicación de 40 y 60 ppm de B-NOA a 7 días pos antesis permitió obtener un tamaño final de fruto similar e incluso superior al correspondiente a los obtenidos por polinización natural, destacando que la mejor respuesta fue obtenida con 60 ppm, dosis que indujo un tamaño final 60% mayor al correspondiente al testigo.

Para la variable tamaño de fruto (Cuadro 2.1), no se encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en diámetro polar para ninguno de los tratamientos evaluados, aunque es importante señalar que todos los tratamientos con auxina superaron al testigo, pero en forma no significativa; sin embargo si hubo diferencias significativas en diámetro ecuatorial para los tratamientos con dosis de 40, 50, 60 y 70 mgL^{-1} de auxina, por lo que el incremento en peso de los frutos tratados con auxina se le atribuye a este aumento en su diámetro, el cual modificó morfológicamente su aspecto, tomando una forma más esférica lo cual no es característico de los tomates tipo saladette que tienden a ser mas alargados (Figura 2.3).

Por otro lado las diferencias en el tamaño de los frutos partenocárpicos obtenidos por aplicación hormonal estarían relacionadas con el estadio fisiológico de los ovarios, en particular con los factores que afectan la sensibilidad diferencial a los reguladores como la disponibilidad de asimilados y niveles endógenos de hormonas, entre otros (Bonger-Kibler and. Bangerth, 1983; Ho, 1996; Picken, 1984).

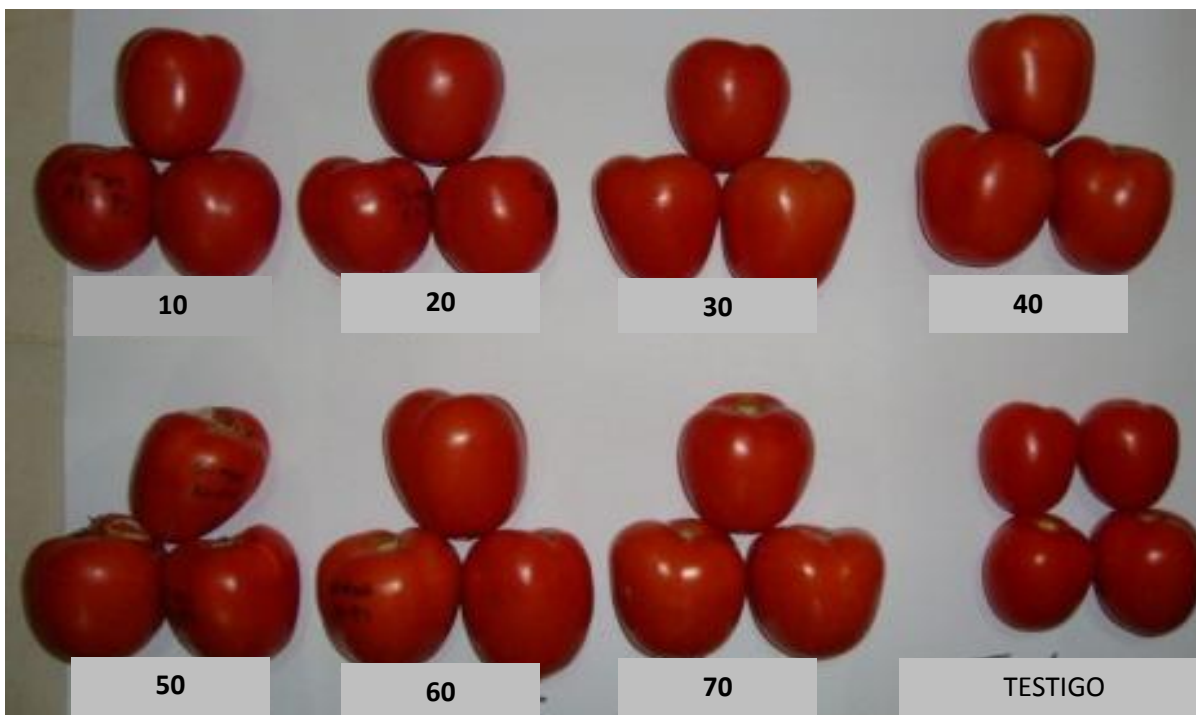


Figura 2.3. Efecto de la aplicación de la auxina 2-naftoxiacético ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el tamaño y forma del fruto de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en hidroponía y bajo condiciones protegidas en Tabasco.

Para pH y sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Bx}$), (Figura 2.4), se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para ambos parámetros, con una tendencia a incrementar conforme la dosis de auxina aumenta. El valor más alto para pH (4.59) se obtuvo con la aplicación de $70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de auxina, el cual fue estadísticamente igual que los demás tratamientos, exceptuando la dosis de $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y el testigo (sin aplicación) que presentaron los valores más bajos con 4.38 y 4.35 respectivamente. Al respecto (Foolad, 2007), menciona que un pH inferior a 4.5 es deseable en la fruta. Lecomte *et al.* (2004a) mencionan que los híbridos modernos de jitomate se han obtenido anteponiendo el rendimiento, tamaño de fruto, resistencia a enfermedades y rendimiento para procesamiento, pero no aspectos sensoriales de calidad de la fruta, principalmente sabor y aroma.

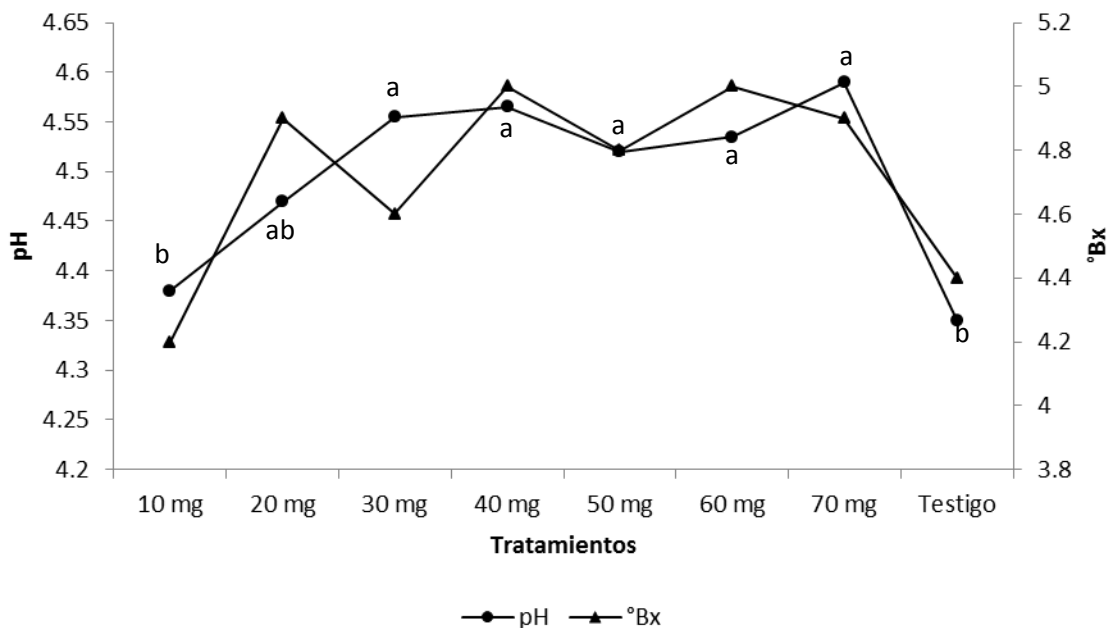


Figura 2.4. Grados Brix ($^{\circ}Bx$) y pH en jitomate saladette tratados con diferentes dosis de auxina, cultivado bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco.

En este sentido, algunos investigadores han señalado una correlación negativa entre contenido de sólidos solubles totales y el peso del fruto, situación que ha limitado el mejoramiento en función de características sensoriales (Foolad, 2007; Lecomte *et al.* 2004b). Sin embargo los resultados de esta investigación muestran que los frutos tratados con auxinas además de incrementar su peso (Cuadro 2.1), también incrementaron su contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}Bx$) y pH, los valores mas bajos se presentaron con aplicaciones de 10 mgL^{-1} de auxina y el testigo, con 4.2 y $4.4^{\circ}Bx$, respectivamente, siendo ambos estadísticamente iguales ($p \leq 0.5$). El resto de los tratamientos presentaron valores superiores. Las aplicaciones de 40 y 60 mgL^{-1} de auxina originaron valores de hasta $5.0^{\circ}Bx$. Gillaspay, *et al.* (1993) y Ho, (1996), mencionan que las auxinas y giberelinas están involucradas en la regulación de la capacidad como destino de fotoasimilados, ya sea a través del control de la división y agrandamiento celular o de la importación de azúcares hacia los órganos destino. Ya que como lo menciona

Martínez-Barajas, (2003) la diferencia en el porcentaje de los sólidos solubles se debe a una mayor capacidad del fruto para acumular sacarosa durante el desarrollo. Baxter *et al.* (2005) reportaron que el incremento en porcentaje de SST se debe al aumento de fructosa y glucosa por la actividad de la enzima invertasa. Además la correlación de estos dos parámetros fue de 0.78, lo que indica que están positivamente relacionados entre sí, con lo que se deduce que los frutos tratados con la auxina 2-naftoxiacético son menos ácidos debido a un incremento en su pH y grados Brix. Esto resulta interesante debido a la relación que guarda el contenido de SST con el sabor y con la calidad de su procesamiento, ya que se busca el incremento de los valores de este parámetro (Foolad, 2007). Gómez y Camelo, (2002), mencionan que existe una relación directa entre los sólidos solubles totales y la intensidad del sabor, por lo que el uso de auxinas a partir de los 20 mgL⁻¹ tiende a incrementar este parámetro. Sin embargo, aunque se aumentan los grados Brix, solo el tratamiento con 10 mgL⁻¹ de 2-naftoxiacético y el testigo podrían destinarse para la industria, ya que según Anthon, *et al.* (2011) el valor máximo permitido para pH es de 4.4, y el resto de los tratamientos superan este valor. Por otro lado, Agüero, *et al.* (2007), encontraron que la concentración de azúcares reductores en los frutos obtenidos con AG3 fue considerablemente menor al valor registrado en los logrados por polinización o aplicación de B-NOA.

En cuanto a las temperaturas y humedad relativa registradas dentro del invernadero durante el ciclo de cultivo (Figura 2.5) se observa que para el primer factor el promedio se mantuvo en condiciones óptimas para el cultivo durante todo el ciclo, donde los valores oscilaron entre 20° y 30 °C. Al respecto Maroto (2002), señala que la temperatura óptima de desarrollo del jitomate, oscila en ese rango durante el día y entre 15 y 17° C durante la noche. Con temperaturas superiores a los 30°C las plantas gradualmente disminuyen la producción potencial por problemas en la polinización, mal desarrollo de óvulos y de la planta en general

y temperaturas inferiores a 12° C originan problemas en el desarrollo de la planta. Temperaturas superiores a 35° C impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos.

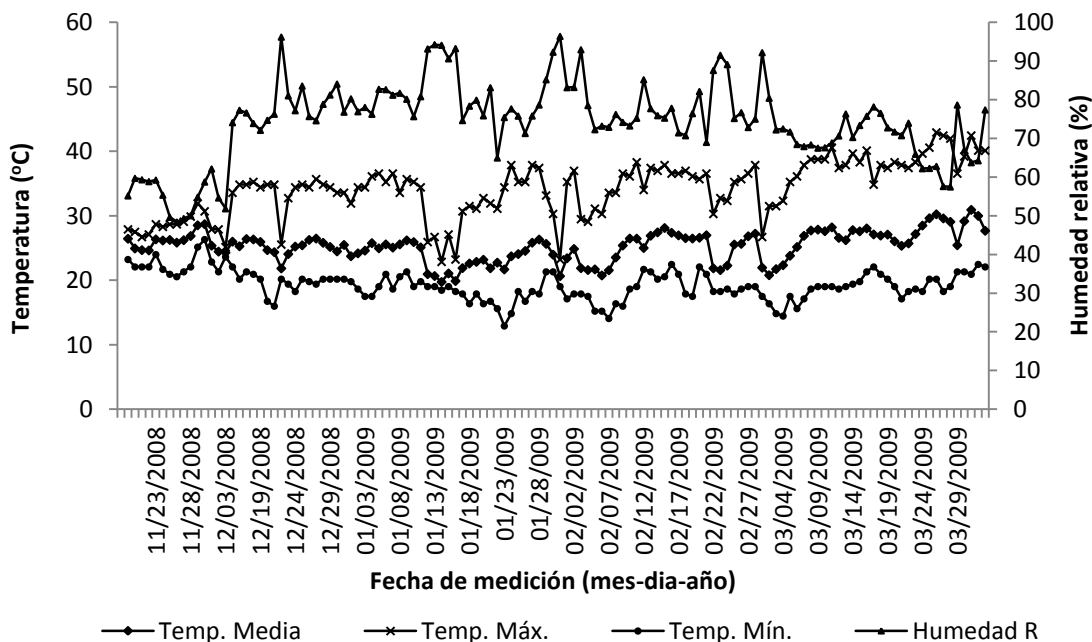


Figura 2.5. Temperatura y humedad relativa registradas dentro de la estructura protegida, durante el ciclo de cultivo de jitomate cultivado en hidroponía en Tabasco.

Es importante mencionar que para las regiones tropicales húmedas los meses de invierno se caracterizan por lluvias “nortes” que incrementan la humedad relativa del ambiente y baja temperatura. Por lo que la temperatura media se mantuvo por abajo de los 30 °C durante todo el ciclo de cultivo, excepto a finales del mes de marzo, cuando se observaron temperaturas promedio ligeramente superiores; sin embargo, estas condiciones se presentaron a final del ciclo de cultivo, por lo que la polinización y amarre de flores no se vieron afectados. Las temperaturas máximas registradas alcanzaron los 35° C, sin embargo debido a que la

polinización manual se realizó en las primeras horas del día, de 8:00 a 10:00 am, no se vio afectada, ya que las condiciones subóptimas de temperatura se presentaron después del medio día. Velasco y Nieto, (2006) mencionan que con temperatura mayor de 35° C los granos de polen se deshidratan, el pistilo de las flores se prolonga de manera anormal situándose por encima de los granos de polen antes de que las anteras se abran, por lo cual no puede realizarse la polinización lo que origina poco amarre de frutos y poco uniformes. Por otro lado la humedad relativa más favorable para el jitomate es de 50 a 60%, cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no se polinizan y caen. La humedad relativa del 80% o mayor favorece el desarrollo de enfermedades fungosas principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y moho gris o botrytis (*Botrytis cinérea*), además estas condiciones ocasionan agrietado de frutos y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. La humedad relativa del 50% o menor dificulta la fijación del polen al estigma de la flor, además de que el polen se deshidrata muy rápidamente y disminuye el amarre de frutos. En general las condiciones climáticas fueron favorables durante el ciclo de cultivo, por lo que el proceso de polinización no se alteró. No se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en rendimiento entre el testigo y los tratamientos con auxina, ya que esta hormona vegetal es útil cuando las condiciones de clima no son favorables para el cultivo, mejorando el amarre de frutos sin necesidad de polinización, dando lugar a la formación de frutos partenocárpicos. También se presentaron ocasionalmente temperaturas mínimas inferiores a 20° C que no llegaron a afectar al cultivo, puesto que se encontraron por arriba de los 10° C. Al respecto, Rodríguez *et al.* (2006); Velasco y Nieto (2006) mencionan que una temperatura permanente menor de 15° C detiene la floración y si ésta llega a los 10° C la planta detiene su crecimiento.

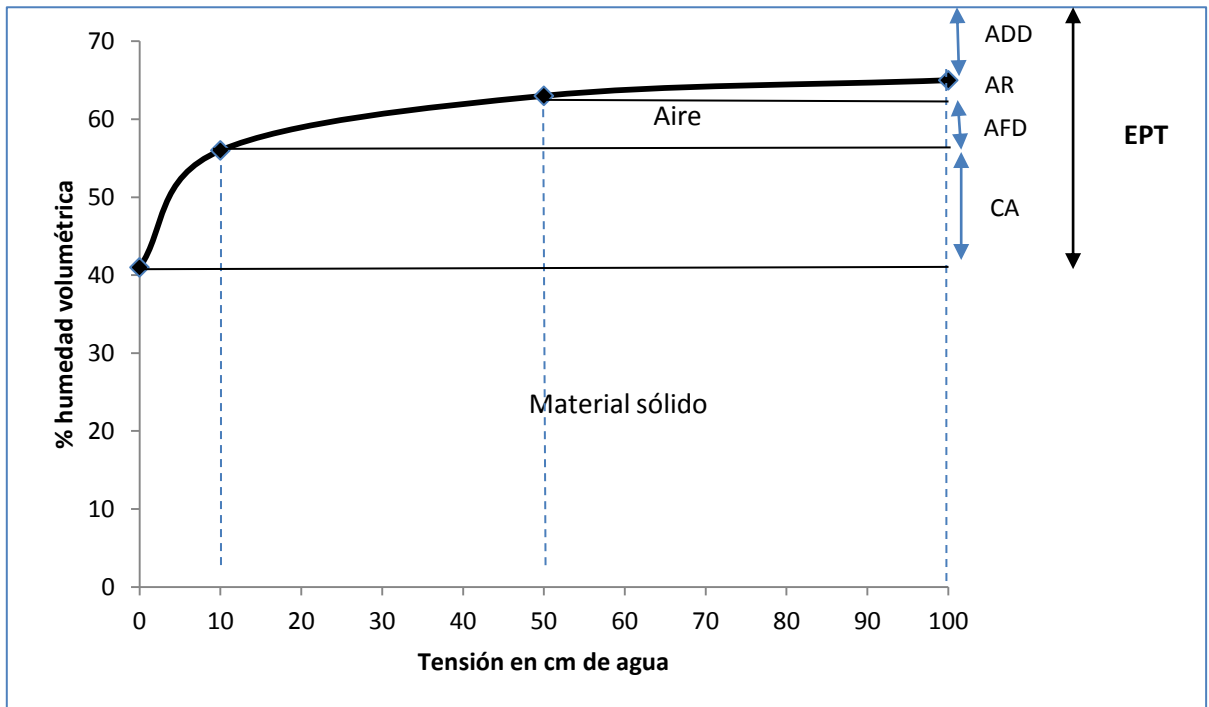


Fig. 2.6. Curva de liberación de agua de sustrato (tepetzil), empleado en jitomate hidropónico en Tabasco, México.

Con respecto a las propiedades físicas del sustrato; en granulometría el 66.8% del peso de la muestra tuvo un diámetro de 4.7 mm y el tamaño menor de partículas fue de 0.0432 mm (1.3%). El índice de grosor (IG) fue de 92.7, es decir que ese porcentaje del peso de la muestra tuvo un diámetro de partículas mayor de 1 mm. Estos valores incidieron directamente en la cantidad de agua que retuvo este sustrato, por lo que no hubo problemas de aireación. El 28.3% de partículas de este sustrato se encontró dentro del rango de 0.25 a 2.5 mm de diámetro, lo cual proporcionó buena aireación y retención de agua. Resultados similares fueron reportados por Castellanos y Vargas (2003), quienes mencionan que los encontrados son los tamaños de partículas recomendados para un buen sustrato. Con respecto a la clasificación de Kopecky (1936), citado por Juárez y Rico (2001), el sustrato tepetzil tiene 87.83 % de grava fina, 5.58% de arena gruesa, 1.75% de arena media, 1.59 de arena fina, 0.76

% de polvo grueso y 2.40% de polvo fino, lo que indica que el tepetzil no tiene una adecuada mezcla de partículas finas y gruesas, sin embargo el buen drenaje y retención de agua evitaron el estrés hídrico de la planta, debido a que el fertirriego proporcionó constantemente la cantidad necesaria de agua como lo reportan Castellanos y Vargas (2003). La densidad aparente del sustrato fue de 0.52 Mg m^{-3} (± 0.01), valor que se encuentra dentro del rango recomendado por Handreck y Black (1994). Estos resultados coinciden con los encontrados por Castellanos y Vargas (2003), quienes reportaron una densidad aparente en el tezontle de 0.49 hasta 0.93 Mg m^{-3} el cual presenta características físicas similares al tepetzil. Por otro lado Abad y Noguera (2000) mencionan que, para el uso en la horticultura, los valores óptimos de densidad aparente de un sustrato oscilan desde 0.03 hasta 0.75 Mg m^{-3} , por lo que el tepetzil se encuentra dentro de este rango y es apto para la producción hortícola. La Porosidad total del sustrato fue de 58.8%, valor ligeramente inferior al que reportan Abad *et al.* (1993), Ansorena (1994) y Handreck y Black (1994), quienes mencionan que el nivel óptimo de porosidad total en los sustratos debe estar en el rango de 60 a 85% (con base en el volumen) para incrementar la porosidad de aireación y la capacidad de retención de agua. La Porosidad de aireación del volumen del sustrato ocupado por aire, después de ser saturado con agua y drenado (porosidad de aireación o capacidad de aireación= CA), fue de 38; al respecto el jitomate tiene un requerimiento de CA de al menos 10%, por lo que el tepetzil cumple con lo anterior, ya que supera la demanda de la planta en esta característica y además posee una porosidad total de 58.8, características que son adecuadas para el desarrollo del jitomate (Urrestarazu, 2000). Sin embargo, Abad *et al.* (1993), Ansorena (1994) y Handreck y Black (1994) mencionan que el nivel óptimo de la CA oscila entre 10 y 30%; el tepetzil fue superior con respecto al parámetro máximo indicado por los autores, por lo tanto no hubo déficit de oxígeno en la zona radical, en caso contrario podría provocar la reducción del crecimiento de las raíces, la absorción de agua

y nutrientes y con ello afectar el desempeño del cultivo (Castellanos y Vargas, 2003). En relación con los criterios anteriores de porosidad total y porosidad de aireación se observó una porosidad de retención de humedad de 20.9%. Al respecto Ansorena (1994) y Handreck y Black (1994) reportan que su nivel óptimo oscila entre 40 y 60%, por lo que el tepetzil fue inferior en relación con el mínimo adecuado. De acuerdo a lo anterior y a los valores obtenidos de porosidad total y porosidad de aireación, el sustrato retuvo menor cantidad de agua y por consiguiente en los períodos de altas temperaturas se evitó el estrés hídrico de la planta por medio del manejo adecuado del riego por goteo (Cabrera, 1999). Riegos de corta duración y más frecuentes mantuvieron el sustrato en su máxima retención de humedad. En cuanto a la curva de liberación de agua del sustrato (Figura 2.6), (AND, AFD, AR, ADD), el agua fácilmente disponible (10 a 50 cm de columna de agua) así como la de reserva (50 a 100 cm de columna de agua), presentaron valores de 10.8% y 3.1 respectivamente, mismos que se encuentran por debajo de los recomendados por De Boodt *et al.* (1974), quienes mencionan que los valores óptimos para AFD y AR son de 20 a 30% y de 4 a 10% respectivamente. Para el ADD el valor encontrado fue de 41.5%, este resultado muestra que el tamaño de las partículas del sustrato empleado no fue el mas adecuado, requiriéndose de uniformizarlas a un tamaño de partículas menor, para conseguir una mayor capacidad de retención y disponibilidad de agua.

CONCLUSIONES

Las dosis de 30 a 70 mgL⁻¹ de la auxina 2-naftoxiacético incrementaron el peso de fruto (por un aumento en su diámetro ecuatorial), pH y sólidos solubles totales (^oBx). De estas dosis se recomienda el tratamiento con 40 mgL⁻¹ con una sola aplicación por racimo para disminuir el potencial impacto fisiológico.

Debido a las condiciones climáticas favorables durante el ciclo del cultivo, no hubo efecto significativo de la auxina 2-naftoxiacético en el rendimiento, pero estimuló el desarrollo partenocárpico de los frutos, útil bajo condiciones adversas.

El sustrato (tepetzil) presentó características físicas favorables para su uso en la hidroponía, sin embargo se recomienda afinar un manejo de riego adecuado al tamaño de partícula.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad M. y Noguera, P. (2000)** Sustratos para cultivo sin suelo. F. Nuez (Ed). En: El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. P 131.
- Abad M, Martínez – García P. F, Martínez- Herrero M.D y Martínez- Cortez J. (1993)** Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura, 11: 141-154.
- Acevez, N. L., Juárez, L. J.F., Palma, L. D.J., López, L. R., Rivera, H.B., Rincón, R. J. A., Morales, C. A. R., Martínez, S. A. (2008)** Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el estado de Tabasco. Tomo XIX. INIFAP, SAGARPA, GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO, CP. 22 p.
- Aguero, M. S., Barral G. Miguelisse, N. E y Castillo O.E (2007)** Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: Aplicación de dosis variables de fitorreguladores. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. No 1. 123 – 131pp.
- Agusti, F.M. y Almela, O.V. (1991)** Aplicación de fitorreguladores en citricultura. AEDOS. España. 261 p.
- Ansorena M.J. (1994)** Sustratos: Características y caracterización. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 172 pp.
- Anthon, G.E., M. LeStrange y D.M. Barrett . (2011)** Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. Journal of food Science. 11785-1181 pp.
- Arteca, R.N. (1996).** Plant Growth substances: Principles and applications. Chapman and Hall Press, NY, USA, 332 p.
- Baxter, C. J., Carrari, A. Bauke, S. Overy, S. A. Hill, W. P. Quick, A. R. Fernie y L. J. Sweetlove. (2005).** Fruit carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. Plant Cell Physiology. 46:425-437.

- Bonger-Kibler, S. and Bangerth, F. (1983).** Relationship between cell number, cell size and fruit size of seeded fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and those induced perthenocarpically by application of plant growth regulators. *Plant Growth reg.* 1:143-154.
- Cabrera R. I. (1999).** Características, uso y manejo de sustrato de cultivo para la producción de macetas. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 5: 5- 11
- Castellanos J.Z. y Vargas T.P. (2003).** El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: manual de producción de horticultura en invernaderos. En: castellanos J.Z. (Ed) INTAGRI. 2ª Ed. Celaya Guanajuato. Pp 124-150.
- Castillo, O., Barral, G., Rodríguez, G., Miguelesse, N., Agüero, M. (2005).** Establecimiento y Desarrollo forzado de tomate.: Efecto de fitoreguladores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo.* 32(2):83-91.
- Comisión Nacional del Agua (2006)** Clima. www.cna.gob.mx (consulta: Febrero 15, 2011).
- Davies, P. J. (2004)** Regulatory factors in hormone action: Level, Location and signal transduction. Pp 16-35 in: Davies P. J. (ed.) *Plant Hormones.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- De Boodt, M., O. Vedonckv and I. Cappaert. (1974)** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta. Horticulturae.* 37: 2054- 2062.
- Emonger, V. E. and D. P. Murr. (2001)** Effects of benzyladenine on fruit set, quality and vegetative growth of empire apples. *E, afr. Arie. For. J.* 67 (1): 83-91.
- Estrada-Botello M. A., de La Cruz-Lázaro E., Brito-Manzano N. P., Gómez-Vázquez A., Mendoza-Palacios J. de D., Gómez-Méndez E. y Ulises-López N. (2009)** Producción de tomate rojo en hidroponía bajo condiciones protegidas en el trópico húmedo. Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco México. 30 p.
- Faust, M. (1989)** Physiology of temperate zone fruit trees. Wiley, New York. USA. Pp. 169-234.
- Foolad, R. M. (2007)** Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics.* 2007:64358.
- García E. (1973)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 246 p.
- Gillaspy, G.; Ben-David, H.; Gruissem, W. (1993)** Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5:1439-1451.
- Gómez, P. A. y F. L. Camelo A. (2002)** Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira.* 20:38-43.
- Handreck K. A y Black N. D. (1994)** Growing media for ornamental plants and turf. New South Wales University Press, Kensington Australia. Pp 401
- Hernández, F. M.; M Samaniego A.; V. Valdez C. (2010)** Uso de biorreguladores en la producción de jitomate (*Solanum esculentum*). pp 1-10. In: Bautista, M. N., C. Chavarín, P., F. Valenzuela, E. (Ed) jitomate. Tecnología para su producción en invernadero. 2ª edición. Colegio de Postgraduados.
- Ho, L.C. (1996)** Tomato. in: photoassimilate distribution in plants and crops, source-sink relationships. Zamski, E; Schaffer, A. A. Eds. Marcel Dekker, Inc., New York. 30:709-728.
- Juárez B. E y Rico R.A. (2001)** Mecánica de suelos. Tomo1. Fundamentos de la mecánica de suelos 3ª Edición. Limusa Noriega Editores. México. Pp 99- 103.

- Lecomte, L., A. Gautier; A. Luciani; P. Duffe; F. Hospital; M. Buret y M. Causse. (2004a)** Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits. *Acta Horticulturae*. 637:231-242.
- Lecomte, L.; V. Saliba-Colombani, A.; Gautier, M. C. Gomez-Jimenez. P. Duffé; M. Buret y M. Causse. (2004b)** Fine mapping of QTLs of chromosome 2 affecting the fruit architecture and composition of tomato *Molecular Breeding* 13:1-14.
- Leszek S. J. (2003)** Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Volumen 1. Propiedades y acción. Ed. Mundi-Prensa. pp.13-66
- Maroto, B.J.V. (2002)** Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi-prensa. Madrid España. Pp 702.
- Martínez-Barajas, E. (2003)** Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Vol. 37. Núm.4. UNAM. Depto. De Bioquímica.
- Montaño, M. N. S. y J. R. Méndez N. (2009).** Efecto del ácido indol acético y ácido naftaleno acético sobre el rendimiento en melón (*Cucumis melo* L.) *Revista UDO Agrícola* 9 (4): 793-801
- Palma L.D.J y Cisneros D.J. (2000).** Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 2ª. Ed. ISPROTAB-FUNDACIÓN PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. Pp 115.
- Picken, A.J.F. (1984).** A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *J. Hort. Sci.* 59:1-13.
- Rodríguez, F.H., Muñoz, L.S. y Alcorta, G.E. (2006)** El tomate rojo: Sistema hidropónico. México: Trillas. 82 p.
- Rojas, G.M. (1988)** Manual teórico práctico de herbicidas y fitorreguladores. 2ª Edición. Limusa. México, D.F. 144 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2010)** Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comargr2c.html. (consulta. Marzo 15, 2011).
- SAS institute. (2002)** SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A.
- Steiner A.A. (1961).** A Universal Method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154 pp.
- Urrestarazu G.M. (2000)** Manual de cultivo sin suelo. En: Urrestarazu Gavilan Miguel (Ed) Universidad de Almería. Madrid España 648 p.
- Velasco, H. E. y Nieto, A. R. (2006).** Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Material didáctico. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de fitotecnia.
- Warncke, D. (1986).** Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21(2): 223:225.
- Westwood, M. N. (1993).** Temperate Zone Pomology: Physiology and cultura, 3ed . Timber Press, Portlan, OR, USA, 523 pp.
- Yeshitela, T.; P. J. Robbertse and P. J. C. Stassen, (2004).** Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of “Tommy atkins” mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. *N.Z.J. Crop Hortsci.* 32 (3): 281-293.
- Yu, J.Q.; Y. Li, Y.R. Qianand and Z.J. Zhu. (2001)** Cell division and cell enlargement in fruit of *Lagenaria leucantha* as influenced by pollination and plant growth substances. *Plant Growth Regul.* 33 (2): 117-122.

CAPÍTULO III

MANEJO DE LA PUDRICIÓN APICAL DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L) EN SISTEMA PROTEGIDO E HIDROPONÍA EN EL ESTADO DE TABASCO

MANAGEMENT BLOSSOM END ROT OF TOMATO (*Solanum Lycopersicum* L) IN PROTECTED AND HYDROPONICS SYSTEM IN THE STATE OF TABASCO

Edmundo Gómez-Méndez¹, Gabriel Alcántar-González^{2*}, Maximiano A. Estrada-Botello¹, Lucero del M. Ruiz-Posadas², Irineo L. López-Cruz³, Víctor M. Ordaz-Chaparro²

Artículo escrito bajo las normas de la **Revista Fitotecnia Mexicana**

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. De México. ³Universidad Autónoma Chapingo.56230 Chapingo, Estado de México.

***Autor para correspondencia** (alcantar@colpos.mx)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del sombreado y de las aspersiones foliares con Ca^{2+} sobre la incidencia de la pudrición apical del fruto de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo condiciones protegidas e hidroponía en el estado de Tabasco. El experimento se estableció del 15 de agosto de 2009 al 15 de febrero de 2010. Se empleó el híbrido SUN-7705, tipo saladette de hábito indeterminado. La fertigación se realizó con la solución Steiner. Los tratamientos se distribuyeron al azar, empleando seis tratamientos y ocho repeticiones, en cada invernadero, los cuales se analizaron como parcelas divididas. Estos consistieron en dos concentraciones de nitrato de calcio al 0.5 y 1%, una dosis de auxina (50 mgL^{-1}), así como la combinación Ca^{2+} 0.5% + auxina, Ca^{2+} 1% + auxina y un testigo (sin aplicación). La unidad experimental consistió en una planta conducida a un tallo hasta el sexto racimo, contenida en una bolsa de plástico negro de 19 L. Se consideraron como variables respuesta, además de la incidencia de la pudrición apical, las características físicas y químicas de los frutos: firmeza, acidez, sólidos solubles totales (SST), pH y concentración de Ca^{2+} ; así como el rendimiento de fruto (kg m^{-2}), número de frutos $\cdot \text{m}^{-2}$, diámetro polar y ecuatorial. No se presentó la pudrición apical del fruto de jitomate en ninguno de los tratamientos evaluados incluyendo al testigo sin aplicación lo cual se debió a condiciones favorables durante el cultivo y a un buen manejo de la nutrición, que facilitaron la absorción y transporte de este elemento hacia los frutos. Se observó efecto mínimo de los tratamientos para las variables agronómicas y de calidad de fruto, que tuvieron valores aceptables para su comercialización.

Palabras clave: Pudrición apical, jitomate, hidroponía.

SUMMARY

The goal of this research was to determine the effect of shading and calcium foliar sprays on the incidence of blossom end rot of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) under protected conditions and hydroponics in the state of Tabasco. The experiment was established on 15 August 2009 to 15 February 2010. We employed SUN-7705 hybrid, indeterminate habit saladette type. Fertigation solution was performed with the Steiner. The treatments were randomized, using six treatments and eight replications in each greenhouse, which were analyzed as split plots. These consisted of two concentrations of calcium nitrate and 0.5 to 1%, a dose of auxin (50 mgL^{-1}) as well as 0.5% + Ca^{2+} combination auxin, Ca^{2+} 1% + auxin and a control (no application). The experimental unit consisted of a plant stem led to a sixth cluster contained in a black plastic bag of 19 L. Response variables were considered, along with the incidence of Blossom end rot, the physical and chemical characteristics of fruit firmness, acidity, total soluble solids (TSS), pH and concentration of Ca^{2+} Just as fruit yield (kg m^{-2}), number of fruits m^{-2} , polar and equatorial diameter. No end rot filed tomato fruit in any of the evaluated treatments including the control without application which was due to favorable conditions for the cultivation of good management and nutrition, which facilitated the uptake and transport of this element to the fruits. We observed minimal effect of treatments for agronomic traits and quality of fruit, which had values acceptable for marketing.

Index words: Blossom end rot, tomato, hydroponics.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de jitomate representa un rubro muy importante para la economía de México; no obstante, existe un gran número de factores ambientales y edáficos que provocan disminución de los rendimientos. Al respecto, Cardona *et al.* (2005) mencionan que uno de los principales problemas asociados con los factores ambientales a campo abierto o en invernadero es la pudrición apical de la fruta (BER), asociada con la deficiencia localizada de calcio que puede ser ocasionada por altas temperaturas. Tonetto, *et al.* (2011), indican que la absorción del calcio en el fruto y las hojas dependen del movimiento del agua por el xilema, el cual es conducido por la transpiración. Además cuando la transpiración de la hoja es alta se cree que se restringe el movimiento del Ca^{2+} hacia los frutos, lo que aumenta la susceptibilidad de la fruta a la deficiencia de Ca^{2+} , ocasionando la pudrición apical (BER). Por otro lado, Adams y Ho (1993), reportan que la absorción del calcio está altamente correlacionada con la radiación solar y la temperatura de la raíz. El porcentaje de Ca^{2+} tomado disminuye linealmente con incrementos en la salinidad, y la alta humedad reduce la importación del calcio en las hojas pero se incrementa en el fruto. Sin embargo, humedades relativas altas y baja intensidad de la radiación solar provocan una disminución del ritmo de transpiración de la planta, que puede traer como consecuencia deficiencias de calcio, debido a que este elemento además de ser poco móvil dentro de la planta, solo circula por el xilema movido por el proceso de transpiración (Velasco y Nieto, 2006; Morgan y Ho, 1993). En la práctica BER se puede prevenir aumentando el transporte del Ca^{2+} hacia el fruto mediante la reducción de la transpiración de las hojas (Li *et al.*, 2001) o por aspersiones de Ca^{2+} hacia los frutos jóvenes (Wada *et al.*, 1996; Ho, 1998a; Schmitz-Eiberger *et al.*, 2002). Adams y Ho (1992) mencionan que la acumulación de Ca^{2+} , así como la incidencia de la pudrición apical del fruto, pueden ser

afectados por salinidad en la zona de la raíz, cultivares susceptibles y sombreado. Por lo anterior este desorden fisiológico del fruto puede presentarse aún con concentraciones de calcio suficientes en la solución externa (Salisbury y Ross, 1994). El desorden comienza en el fruto inmaduro, durante la etapa de rápido crecimiento (Shanon *et al.*, 1996). Marcelis y Ho, (1999); Lazcano, (2000) mencionan, que la pudrición apical del fruto obedece al incremento en la demanda de Ca^{2+} para la rápida expansión celular, haciendo deficitario el suministro de Ca^{2+} hacia los tejidos susceptibles del fruto y una de las formas de mejorar la llegada del calcio al fruto es disminuyendo la temperatura para así, disminuir la tasa de crecimiento del fruto y su demanda de calcio. Plieth (2001); Saure, (2001); Suzuki *et al.* (2003) creen que BER es el resultado de la ruptura de la membrana del plasma en respuesta a los niveles bajos de calcio en el apoplasto, por lo que se requiere mayor concentración de este elemento para que la membrana funcione adecuadamente. El período crítico se presenta aproximadamente dos semanas después de la antesis, cuando la tasa de crecimiento del fruto es mayor (Ho *et al.*, 1993). Las aspersiones de Ca^{2+} sobre hojas y frutos permiten uniformizar la distribución del Ca^{2+} en el fruto, ya que ésta es desigual, disminuyendo progresivamente de la parte proximal hacia la parte distal (Ho *et al.*, 1993). En el caso de fertilización foliar se puede utilizar nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ o cloruro de calcio (CaCl_2) en una concentración del 0.5% (Nuez, 1995a); o como lo recomiendan Sánchez y Escalante, (2001) a una concentración del 0.75 al 1% de nitrato de calcio o de 0.4 al 0.5 % de cloruro de calcio, o bien la aplicación de calcio combinada con auxinas, ya que estas juegan un papel importante en el intercambio de calcio dentro de la célula. Con base en lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del sombreado y de la aspersión foliar con nitrato de calcio al 0.5 y 1.0 % solo y en combinación con auxina sobre la incidencia de la pudrición apical, concentración de calcio en fruto y calidad de frutos, en condiciones protegidas e hidroponía en el estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció del 15 de agosto de 2009 al 15 de febrero de 2010, en la División Académica de Ciencias Agropecuarias (UJAT). Se utilizaron dos invernaderos tipo megavent de 8.22 m de ancho por 20 m de largo cada uno; de los cuales uno se cubrió con una malla movable tipo luminet con 35% de sombra en la parte superior. El sitio se localiza entre los 17° 46'56" de latitud Norte y los 92° 57'28" de longitud Oeste a una altura de 40 msnm (Palma y Cisneros, 2000). De acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (1973), el clima del área de estudio es un Af(m)w>>(i)g, es decir clima cálido húmedo con altas precipitaciones en el verano. La temperatura media anual es de 26.5 °C, con máximas de 39 °C en mayo y mínimas de 13.7 °C en febrero. La precipitación media anual es de 2,123 mm presentándose más del 70% entre mayo y noviembre (CONAGUA, 2006). La evaporación alcanza niveles altos, sobre todo en la época seca, registrándose valores totales anuales de 1,316 mm (Palma y Cisneros, 2000). El material vegetal fue el híbrido de jitomate SUN-7705, tipo saladette de hábito de crecimiento indeterminado de la empresa Nunhems. Como sustrato se empleó tepetzil, material de origen volcánico procedente de Perote, Veracruz. En cada uno de los invernaderos se distribuyeron los tratamientos al azar, empleando seis tratamientos y ocho repeticiones, los cuales se analizaron como parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a los invernaderos (con malla y sin malla) y la parcela chica a los tratamientos. Estos consistieron en dos concentraciones de nitrato de calcio al 0.5 y 1%, una dosis de auxina (50 mgL⁻¹), así como la combinación Ca²⁺ 0.5% + auxina, Ca²⁺ 1% + auxina y un testigo (sin aplicación), lo que da un total de seis tratamientos con ocho repeticiones, es decir 48 unidades experimentales por invernadero. Cada una unidad experimental consistió en una planta conducida a un tallo hasta el sexto racimo, contenida en una bolsa de polietileno negro

de 19 L calibre 400. La elección de la dosis de auxina fue la recomendada por Leszek, (2003) 25 a 50 mg L⁻¹ y resultado de trabajos previos. Para el nitrato de calcio fue con base a las recomendaciones de Nuez (1995a) y Sánchez y Escalante (2001), quienes recomiendan dosis de 0.5 a 1% de calcio en aspersiones foliares. La malla móvil fue colocada a 30 cm por encima del plástico de la parte superior del invernadero (Tesi, 2001) excepto la ventila cenital para cubrirlo cuando la temperatura en su interior superaba los 30° C e iniciaban a trabajar los ventiladores. Para la preparación de la auxina 2-naftoxiacético se uso una balanza analítica para pesar el producto; este se diluyó en 10 ml de alcohol etílico al 96%, se vertió la solución en matraz aforado de 1 L, finalmente se aforó con agua destilada y se mantuvo en refrigeración a 6° C. Para las soluciones de calcio estas se diluyeron en agua destilada y se aforaron a 1 L. Los tratamientos fueron aplicados por la mañana con un atomizador rociando directamente el racimo con frutos de una semana y las tres hojas por debajo de este. En promedio se realizaron dos aplicaciones por racimo con la finalidad de cubrir todos los frutos. La siembra de las semillas se realizó en charolas de plástico de 200 cavidades, se empleó como sustrato turba canadiense, se regó solamente con agua de pozo hasta la emergencia de las hojas cotiledonales. Posteriormente se aplicó la solución nutritiva Steiner al 25%, con pH de 6.0, hasta el momento del trasplante que fue a los 30 días después de la siembra, (Moreno *et al.*, 2005). El tutoréo se llevó acabo con cordón de rafia. Se realizaron podas semanales a partir de la salida de brotes laterales cuando estos alcanzaron de 3 a 5 cm de largo (Velasco y Nieto, 2006), con la finalidad de conducir la planta a un tallo. La polinización se llevó a cabo entre las 8:00 y 10:00 am, diariamente, moviendo las plantas de forma manual. La nutrición de la planta se suministró con la solución nutritiva de Steiner (1961), para la preparación se usaron fertilizantes comerciales, el pH se mantuvo entre 6.0 – 6.5 y la conductividad eléctrica de 3.5 dS·m⁻¹. Las necesidades hídricas del cultivo fueron satisfechas con base a la

recomendación de Estrada *et al.* (2009), por lo que se dieron ocho riegos diarios, cada hora, el primero a las 8:00 am y el último a las 3:00 pm, en los que la duración estuvo determinada en función de la fase fenológica de la planta y condiciones ambientales. Durante los primeros 30 días se suministró 0.3 litros por planta al día, durante los siguientes 40 días el consumo se incrementó a 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo se aportó 1.5 litros por planta diariamente, mediante sistema de riego por goteo. Semanalmente se aplicó un riego con agua corriente, para evitar la acumulación de sales en el sustrato. Se registró la temperatura dentro de la estructura de producción cada hora durante el experimento. La cosecha se realizó cuando el racimo completo presentó el 90% de frutos de color rojo.

Se consideraron como variables de respuesta, además de la incidencia de pudrición apical, las características físicas y químicas de los frutos: firmeza, acidez, sólidos solubles totales, pH y contenido de Ca^{2+} . Además se analizaron hasta el sexto racimo las variables agronómicas: rendimiento de fruto (kg m^{-2}), número de frutos $\cdot \text{m}^{-2}$, donde se contabilizaron los frutos por racimo y se obtuvo el total por planta y por m^2 , diámetro polar y ecuatorial el cual se midió con un vernier digital. La concentración de calcio en frutos se analizó por espectrofotometría de absorción atómica (Chapman y Pratt, 1991), además se determinó la concentración de calcio y magnesio en frutos de una, dos, tres, cuatro, cinco y seis semanas para conocer la curva de absorción de estos elementos en plantas testigo, el pH se determinó con un potenciómetro en la pulpa de los frutos molidos, el contenido de sólidos solubles (SST) se midió con refractómetro digital en $^{\circ}\text{Bx}$, utilizando tres frutos maduros molidos para extraer el jugo. Firmeza se determinó midiendo la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de los tejidos de la epidermis con un texturómetro universal Modelo FDV-30 de punta cónica de 0.8 mm; los datos se registraron en Newtons (N). Las lecturas se hicieron en cuatro lados de la

región ecuatorial de los frutos y se calculó el promedio. Para acidez titulable se utilizó el método de la AOAC, (1995). La muestra se conformó con tres frutos que fueron molidos y homogeneizados; se pesaron 10 g de puré a los que se le agregó 50 mL de agua destilada. Se midió el volumen total y posteriormente se tomó una alícuota de 5 mL a la que se le agregaron tres gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH al 0.01 N. Para calcular el porcentaje de acidez se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ ácido} = \frac{(\text{mL NaOH gastados})(\text{N NaOH})(\text{Meq del ácido})(V)}{\text{peso de la muestra (alícuota)}} \times 100$$

Donde:

mL NaOH= mL de hidróxido de sodio gastados durante la titulación.

N NaOH= normalidad del hidróxido de sodio= 0.01N

V= volumen total (mL agua + g de pulpa).

Meq del ácido= Miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción. En jitomate es el cítrico y su valor es 0.064.

Para medir la transpiración de la planta se empleó el método directo de entradas y salidas de volumen de agua, empleando tres plantas por invernadero, cada una fue colocada en un contenedor de plástico de 19 L de capacidad con llave de drenaje. Se hicieron aplicaciones de 2 L de agua por día y se calculó el promedio de volumen transpirado a partir del volumen drenado con la siguiente fórmula.

$$CA = [(VE - VD) / N_{pb}] * N_{pm}$$

Donde:

CA= Volumen de agua consumido en litros/m²/día.

VE= Volumen de agua de entrada en la bandeja en litros/día.

VD= Volumen de agua drenada de la bandeja en litros/día.

Npb= Número de plantas puestas en la bandeja de drenaje.

Npm= Número de plantas por m² de superficie.

Con los datos obtenidos de las variables estudiadas se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey al (0.05%) con el programa Statistical Analysis System, versión, 9.00 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desorden fisiológico (BER) no se presentó en ninguna de las plantas sometidas a los tratamientos ni en el testigo (sin aplicación), en ninguno de los invernaderos (con malla y sin malla). La no aparición de la pudrición apical obedeció a la presencia de condiciones ambientales favorables para el cultivo, en la que la temperatura se mantuvo en un rango de 20 a 30°C (Gil *et al.* 2003) (figura 3.1), así como de solución nutritiva equilibrada (Steiner, 1961) con conductividad eléctrica de 3.5 dS·m⁻¹ como máximo (Resh, 2001), pH entre 6.0 y 6.5 (Castellanos, 2004), riegos adecuados, lavado de sustrato semanal para evitar la acumulación de sales (Miranda y Sánchez, 2001), lo que favoreció la toma de Ca²⁺ y su traslocación hacia los frutos, tal como lo mencionan Maroto *et al.* (1995) y Paiva *et al.* (1998), quienes reportan que las condiciones climáticas no favorables al desorden fisiológico facilitan el transporte de Ca²⁺ hacia los frutos. Ho, *et al.* (1993) indican que la incidencia de la pudrición apical del fruto está relacionada linealmente con el producto promedio de la radiación diaria y temperatura diaria durante todo el año, en donde la temperatura es el factor que parece ser el que mayor induce este desorden fisiológico, además de la competencia entre la hoja y fruto para la obtención del Ca²⁺. Es decir que condiciones de baja humedad relativa, con alta temperatura del aire, provocan que la evapotranspiración de la planta se incremente por lo que

la planta y el fruto crecen con más vigor y la demanda de nutrimento es mayor. Lo anterior provoca la acumulación del calcio en las hojas pero puede ocasionar la deficiencia de calcio en el fruto, debido a que la movilidad del calcio dentro de la planta es baja y el crecimiento del fruto es muy intenso (Nuez, 1995b).

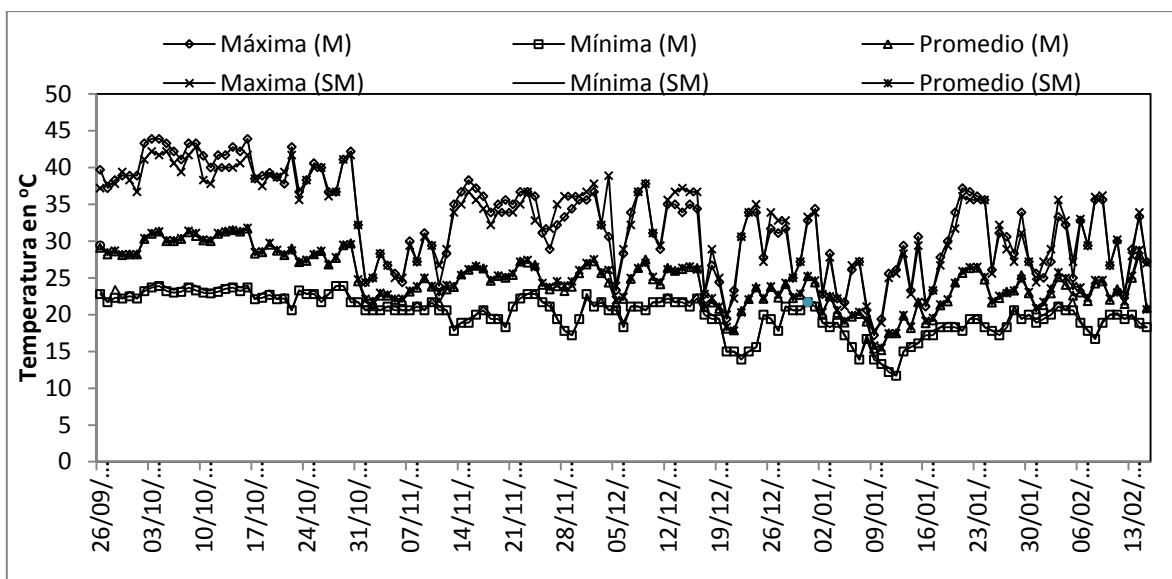


Figura 3.1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio para invernadero con malla móvil (M) y sin malla (SM), durante el ciclo de cultivo de jitomate en Tabasco, México.

En esta investigación la etapa de fructificación del jitomate inició a finales del mes de octubre cuando las condiciones de temperatura fueron favorables para el cultivo, por lo que la toma del Ca^{2+} por la planta y su traslocación a los frutos no se vio afectada en ninguno de los dos invernaderos. Por otro lado no se observó el efecto del sombreado ni de las aplicaciones de los tratamientos en la concentración de calcio en el fruto (Figura 3.2), ya que para todos los tratamientos incluyendo al testigo en ambos invernaderos los porcentajes de calcio en el fruto se encuentran en cantidades suficientes, con valores que van de 0.18 % para el tratamiento de auxina (50 mgL^{-1}) en el invernadero con malla, hasta 0.29 %, para el tratamiento con calcio al 1.0 % en el invernadero sin malla. Al respecto Chamarro, (1995), menciona que el Ca^{2+} debe estar por encima de 0,12 % para evitar el riesgo de la aparición de la pudrición apical, por lo

que los valores encontrados superan el mínimo requerido, por lo cual no se presentó la pudrición apical en los frutos.

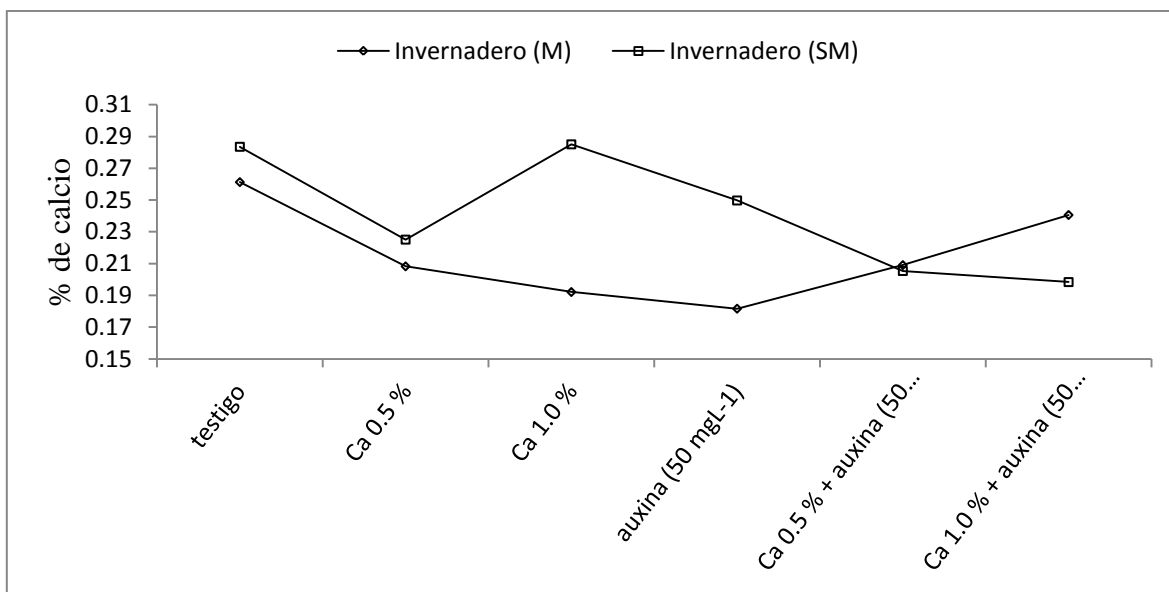


Figura 3.2. Concentración de Ca^{2+} en frutos de jitomates tipo saladette, SUN-7705, cultivado en hidroponía e invernadero con malla (M) y sin malla (SM) en Tabasco, México.

Por otro lado (Ho *et al.*, 1993) mencionan que la cantidad de Ca^{2+} que llega al fruto durante el período de rápida expansión celular es más importante que la cantidad de Ca^{2+} que toma la planta y que el período crítico se presenta aproximadamente dos semanas después de la antesis, cuando la tasa de crecimiento del fruto es mayor. Lo anterior coincide con los resultados encontrados en el análisis de frutos realizados cada semana (Figura 3.3), donde la concentración de calcio aumentó 39 % al pasar de la segunda a la tercera semana de desarrollo. Además se encontró una correlación positiva con el magnesio de 0.85%, por lo que se recomienda haya suficiente cantidad de este nutriente en la solución nutritiva, a fin de que exista un balance nutricional.

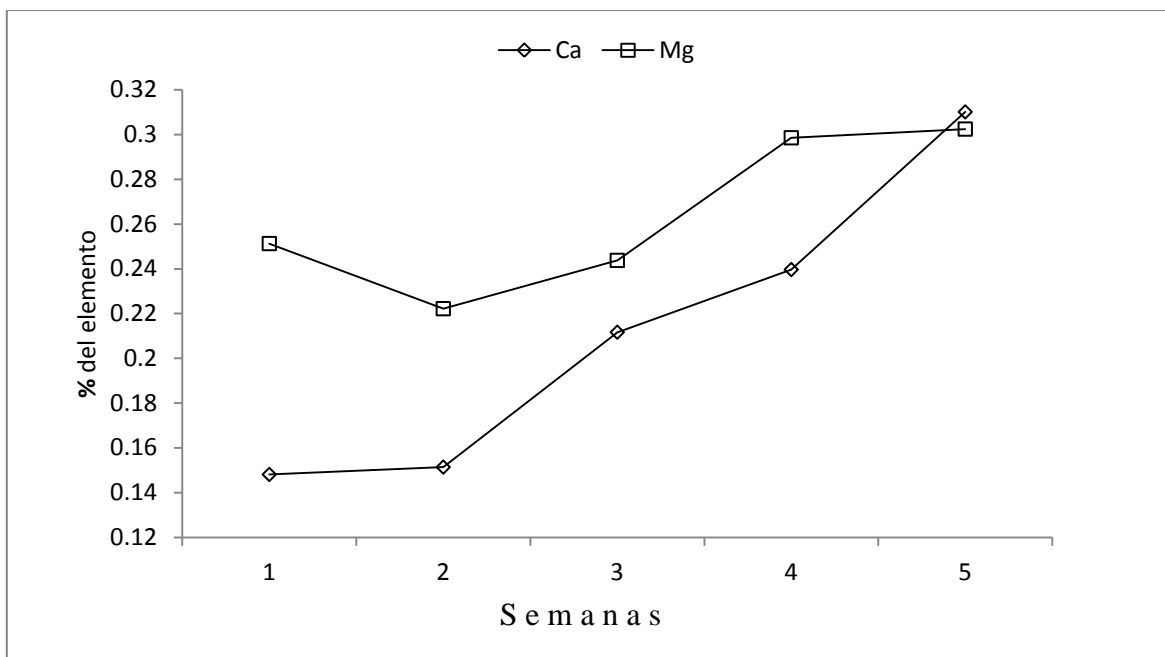


Figura 3.3. Curva de concentración de Ca^{2+} y Mg en frutos de jitomate tipo saladette, SUN-7705, cultivado en hidroponía e invernadero en Tabasco, México.

Con respecto a la transpiración del cultivo (Figura 3.4), los valores estuvieron en función de la etapa fenológica, poda y condiciones ambientales, estos variaron de 427.09 a 6127.68 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$ diario con un promedio de 3151.57 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$ y 757.59 mL por planta para el invernadero con malla y de 583.78 a 5301.22 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$ diario con un promedio de 2679.11 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$ y 644.01 mL por planta para el invernadero sin malla. En ambos invernaderos se observó un comportamiento similar, sin embargo hubo diferencias significativas con la prueba de $T \alpha \leq 0.05$ donde la mayor transpiración correspondió para el invernadero con malla. Se esperaba una mayor transpiración para el invernadero sin malla, sin embargo los resultados encontrados fueron diferentes, lo cual pudo deberse a que para el invernadero con malla la colocación se hizo cuando la temperatura superó los 30°C en su interior, con la finalidad de no afectar el paso de luz en los días con temperaturas menores a este valor y días nublados que pudieran afectar el proceso fotosintético por sombreado excesivo. Al respecto Lorenzo, (1996); Baille *et al.* (2001) mencionan que el sombreado tradicional es del tipo fijo o pasivo, que es el que

reduce en un valor fijo la transmisión de luz del invernadero con independencia de la intensidad de la radiación exterior. De esta manera la reducción lumínica es excesiva durante las primeras horas de la mañana, las últimas de la tarde y durante los días nublados, cuando dentro de las estructuras de cultivo prevalecen buenas condiciones térmicas e higrométricas. En consecuencia la producción comercial sufre mermas cuantiosas. Además que no fue cubierta en su totalidad la parte superior quedando descubierta la parte cenital. El efecto de la malla permitió bajar de 0.5° a 2° C la temperatura con respecto al invernadero sin malla. Resultados similares fueron encontrados por Lorenzo, *et al.* (2004), quienes emplearon una malla móvil aluminizada (OLS ABRI 50%) (S) en la parte exterior del invernadero, la cual se activaba cuando la temperatura en el interior superaba los 27°C, reportaron que la temperatura media diurna fue 1,6°C menor en el invernadero sombreado, mientras que la diferencia media de las temperaturas máximas a lo largo del ciclo entre ambos invernaderos era de 3,4°C. En el invernadero control la temperatura máxima osciló 7°C mientras que en el invernadero sombreado la variación fue menor (4,7°C). Por otra parte el sombreado mejoró las condiciones microclimáticas lo que ha incrementado la eficiencia en la conversión de la radiación en materia seca, debido en gran medida a la reducción de la foto-respiración. También señalan que el sombreado móvil redujo considerablemente la necrosis apical en el fruto de tomate. Por otro lado Montero *et al.* (2003) reporta que en Almería han registrado descensos de 2° C, con el empleo de cal, en estructuras tipo parral de 22 m de ancho y ventilación lateral, menciona además que aunque esta reducción térmica no es espectacular, tampoco es despreciable. Estos resultados muestran que aunque hubo variaciones en la transpiración de las plantas entre invernaderos no fueron excesivas como para influir en la asimilación del Ca²⁺ por el fruto, ya que no presentaron problemas de pudrición apical.

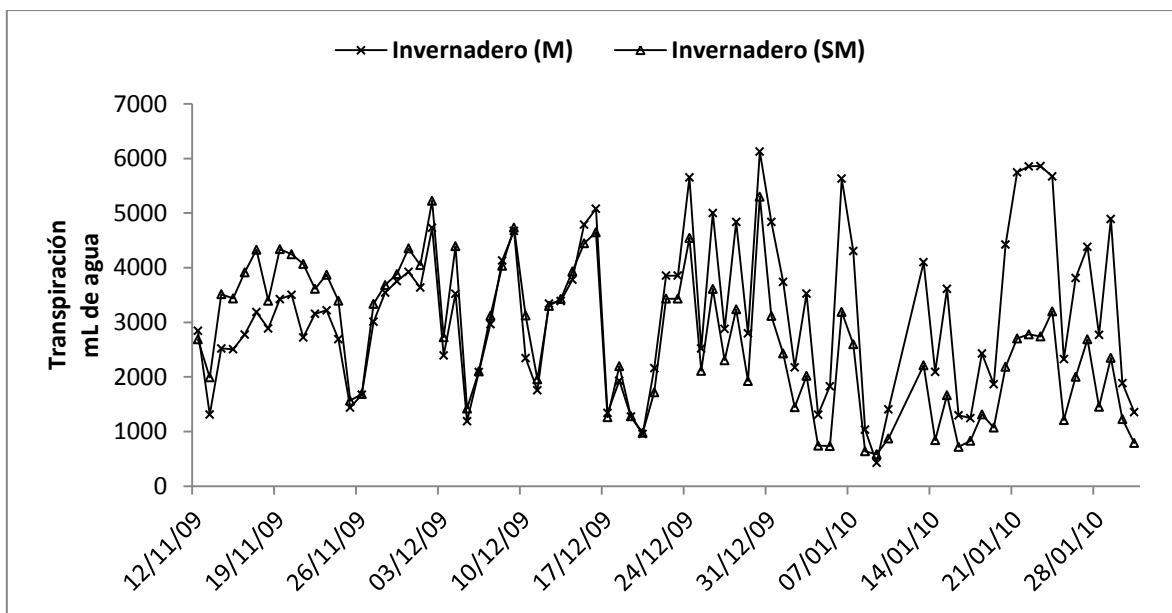


Figura 3.4. Transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero en Tabasco, México. (M) con malla y (SM) sin malla

Tonetto *et al.* (2011) mencionan que la absorción del calcio en el fruto y las hojas dependen del movimiento de agua por el xilema, el cual es conducido por la transpiración. Además cuando la transpiración de la hoja es alta se cree que se restringe el movimiento del Ca^{2+} hacia los frutos, lo que aumenta la susceptibilidad de la fruta a la deficiencia de Ca^{2+} , ocasionando la pudrición apical (BER). Morgan y Ho (1993) mencionan que como el Ca es transportado preferentemente en el conducto del xilema, esta distribución en la planta es afectada por el flujo de la transpiración, por lo que los factores que afectan la capacidad del transporte del xilema al fruto pueden también ser involucrados en el desarrollo de la pudrición apical del fruto.

En las Figuras 3.5 y 3.6, se observa el efecto de la temperatura sobre la transpiración del cultivo de jitomate, y muestra una correlación de 0.52 para el invernadero con malla y de 0.75 para el invernadero sin malla. El sombreado y la posición del invernadero con respecto al invernadero sin malla, son factores que modificaron el ambiente interno, por lo que existen

otras variables no registradas como la humedad relativa, radiación, que explicarían con más exactitud la transpiración del cultivo.

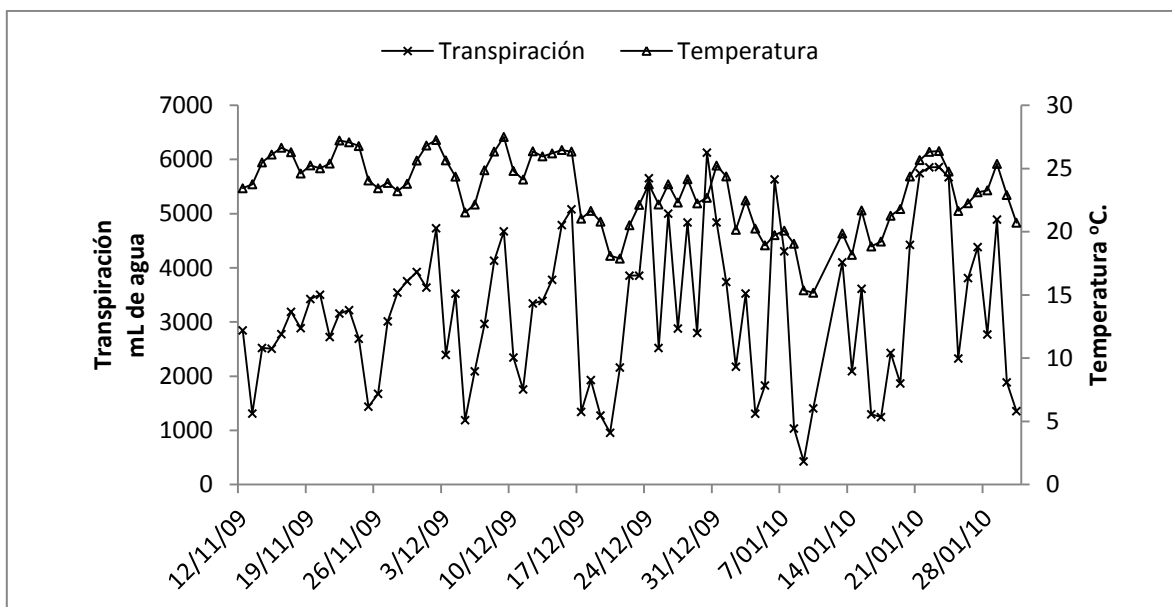


Figura 3.5. Efecto de la temperatura en la transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero con malla en Tabasco, México.

Ho y White (2005) han demostrado que la absorción global de calcio por la fruta reduce el riesgo de desarrollo de BER. Por otro lado Adams y Ho (1992); Guichard *et al.* (2005) han sugerido que la absorción del calcio por el fruto puede ser promovido por la disminución de la transpiración de las hojas y/o mediante el aumento del número de vasos del xilema en el fruto (Ho et al., 1993; Taylor y Locasio, 2004; Ho y White, 2005).

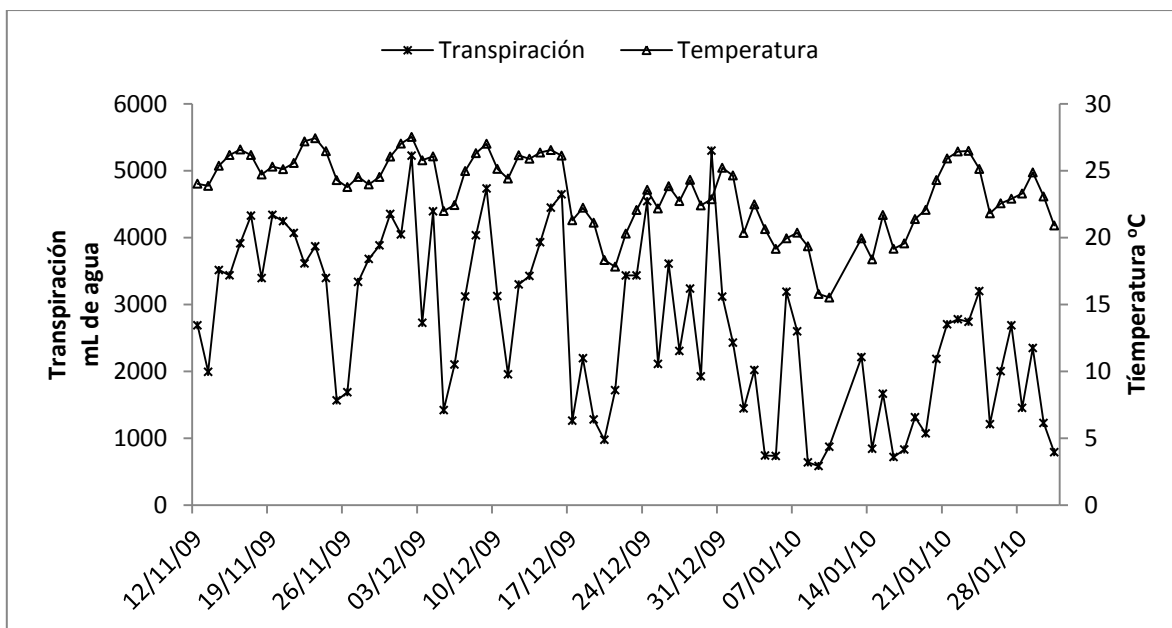


Figura 3.6. Efecto de la temperatura en la transpiración del cultivo de jitomate tipo saladette, SUN-7705 cultivado en hidroponía e invernadero sin malla en Tabasco, México.

Una baja humedad relativa durante el día, especialmente cuando es acompañada por altas temperaturas y luminosidad, incrementa la transpiración, de manera que proporcionalmente mas calcio se va a las hojas y menos calcio al fruto, el cual tiene una tasa de transpiración mucho más baja. Contrariamente una alta humedad y bajas temperaturas y luminosidad, decrecen la transpiración e incrementan el contenido de calcio en el fruto.

Cuadro 3.1. Comparación de medias de variables agronómicas y calidad de fruto en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) en condiciones de invernadero con malla y sin malla en hidroponía en el Estado de Tabasco, México.

I	Tratamientos	R.F. (kg.m ²)	N.F. m ⁻²	Firmeza (N)	pH	Acidez	°Bx	Ø P. (mm)	Ø E. (mm)	
Con malla	Testigo	9.92 ^{ab}	102.96 ^{ab}	2.08 ^{ab}	5.04 ^a	0.23 ^a	4.32 ^a	73.49 ^{ab}	53.88 ^a	
	Ca 0.5 %	9.43 ^{ab}	101.92 ^{ab}	2.72 ^{ab}	4.88 ^{ab}	0.23 ^a	4.88 ^a	68.45 ^b	55.09 ^a	
	Ca 1%	8.93 ^{ab}	94.64 ^{ab}	2.81 ^a	4.96 ^{ab}	0.21 ^a	4.50 ^a	70.25 ^{ab}	53.02 ^a	
	Auxina	10.35 ^{ab}	103.48 ^{ab}	2.76 ^{ab}	5.08 ^a	0.19 ^a	4.54 ^a	73.75 ^{ab}	54.64 ^a	
	Ca 0.5% + Auxina	9.23 ^{ab}	98.28 ^{ab}	2.26 ^{ab}	4.98 ^{ab}	0.23 ^a	4.50 ^a	75.52 ^a	54.19 ^a	
	Ca 1% + Auxina	9.90 ^{ab}	102.44 ^{ab}	2.48 ^{ab}	4.90 ^{ab}	0.25 ^a	4.40 ^a	72.99 ^{ab}	53.56 ^a	
	Testigo	9.52 ^{ab}	95.16 ^{ab}	2.67 ^{ab}	5.00 ^{ab}	0.24 ^a	4.74 ^a	68.68 ^{ab}	55.52 ^a	
	Ca 0.5 %	10.45 ^a	107.64 ^a	2.29 ^{ab}	4.90 ^{ab}	0.25 ^a	4.42 ^a	69.74 ^{ab}	54.13 ^a	
Sin malla	Ca 1%	8.84 ^b	88.40 ^b	2.21 ^{ab}	4.88 ^{ab}	0.23 ^a	4.48 ^a	71.61 ^{ab}	51.96 ^a	
	Auxina	9.53 ^{ab}	96.72 ^{ab}	1.97 ^b	4.90 ^{ab}	0.23 ^a	4.44 ^a	71.69 ^{ab}	54.01 ^a	
	Ca 0.5% + Auxina	9.12 ^{ab}	98.80 ^{ab}	2.22 ^{ab}	4.82 ^b	0.22 ^a	4.44 ^a	68.25 ^b	52.91 ^a	
	Ca 1% + Auxina	9.45 ^{ab}	99.84 ^{ab}	2.07 ^a	4.96 ^{ab}	0.22 ^a	4.30 ^a	72.28 ^{ab}	53.98 ^a	
	Inte- rac- ción	Malla	9.63 ^a	100 ^a	2.52 ^a	4.97 ^a	0.22 ^a	4.52 ^a	72.41 ^a	54.06 ^a
	Sin malla	9.48 ^b	97 ^a	2.24 ^b	4.91 ^b	0.23 ^a	4.47 ^a	70.37 ^a	53.75 ^a	

I= invernaderos, R.F.= rendimiento de frutos, N.F.= número de frutos, Ø P= diámetro polar, Ø E.= diámetro ecuatorial. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tuckey, 0.05).

Con respecto a las variables agronómicas y calidad de frutos (Cuadro 3.1), el análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para rendimiento, número de frutos, pH, firmeza y diámetro polar. El mayor rendimiento y número de frutos por m² lo presentó el tratamiento con aplicación de Ca²⁺ al 0.5% en el invernadero sin malla, con 10.45 kg·m² y 107.64 frutos por m² respectivamente el cual fue estadísticamente igual que los demás tratamientos, exceptuando la dosis de aplicación de Ca²⁺ al 1% en el invernadero sin malla, que presentó el menor rendimiento y número de frutos con 8.84 kg·m² y 88.40 frutos por m² respectivamente. Como se puede observar, los valores promedios para estas variables son muy

similares. Esto sugiere, de algún modo, que la acumulación de biomasa es similar en todos los tratamientos, incluyendo el control, y no varía en función del Ca^{2+} y auxina aplicados. Lo cual era de esperarse debido a que la finalidad de los tratamientos fue la de incrementar el contenido de calcio y calidad del fruto y evitar la incidencia de la pudrición apical. Resultados similares fueron reportados por Cardona *et al.* (2005), al probar tres concentraciones de calcio: 0.05%, 0.10% y 0.15% aplicando una, dos y tres veces, sobre follaje y frutos en la etapa de desarrollo, quienes encontraron valores medios de peso fresco en jitomate muy similares en todos los tratamientos, al igual que la acumulación de biomasa, incluyendo el control, el cual no varió en función del Ca^{2+} aplicado. Con respecto a la interacción invernadero x tratamiento se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para los tratamientos con malla para la variable rendimiento mas no para número de frutos, con una media de $9.63 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ comprado con $9.48 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ para los tratamientos sin malla de sombreo. Para **pH** no se encontraron diferencias significativas para tratamientos, pero si en la interacción invernadero x tratamientos, con un promedio de 4.97 para el invernadero con malla comparado con 4.91 para el invernadero sin malla. Los valores mas altos de pH fueron para el tratamiento con auxina y el testigo con malla con 5.08 y 5.04 respectivamente; aunque estadísticamente el comportamiento fue similar a la mayoría de los tratamientos. Es importante señalar que el testigo también fue quien presentó el valor más alto con 5.0 en el invernadero sin malla. El valor mas bajo lo presentó el tratamiento con $\text{Ca}^{2+} 0.5$ + auxina con 4.82. Estos valores muestran que los tratamientos aplicados así como el sombreo, no tuvieron un efecto marcado para ésta variable ya que la diferencia encontrada fue mínima. Estos resultados coinciden con los reportados por otros investigadores, quienes en frutos de jitomate en etapa de madurez rojo uniforme han reportado valores de pH desde 4.0 hasta 4.8 (Cantwell, 1998; Jiménez *et al.*, 1996; Nuez, 1995b). Por otro lado Gould, (1974) encontró que uno de los factores que

intervienen en la determinación del pH es la variedad, además de la madurez y condiciones de crecimiento de la planta, el área geográfica y las labores agrícolas. Por esta razón solo se observó un efecto del sombreado aunque no muy marcado, ya que el resto de las variables que intervienen en este parámetro fueron similares. Estos valores de pH son útiles sobre todo para almacenamiento, ya que en la zona ácida se reduce el riesgo de microorganismos. Sin embargo, estos frutos no podrían destinarse a la industria debido a que su pH es mayor a 4.4 (Anthon, *et al.*, 2011). Para **firmeza** no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, pero si en la interacción invernadero x tratamiento, con un promedio $2.52 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ para el invernadero con malla y $2.24 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ para el invernadero sin malla. El tratamiento con calcio al 1% en el invernadero con malla presentó el valor más alto con $2.81 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, el cual fue estadísticamente igual que la mayoría de los tratamientos excepto al tratamiento con auxina en el invernadero sin malla que presentó el valor más bajo con $1.97 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$; estos resultados muestran el poco efecto que tuvieron los tratamientos y los invernaderos para esta variable, lo que se debe a que este atributo importante de calidad de los frutos de tomate parece estar bajo control genético (Al-Falluji *et al.*, 1982). Al respecto, Batu (2004) señala que los frutos de jitomate deben tener $1.45 \text{ Nn}\cdot\text{mm}^{-1}$ como mínimo de firmeza para ser comercializados. Por lo que los valores encontrados en todos los tratamientos incluyendo al testigo se encuentran por arriba del mínimo requerido. Estos resultados sugieren que el Ca fue absorbido eficientemente por el sistema radicular de la planta y transportado a los frutos, lo que permitió obtener frutos con buena firmeza. Por otro lado se observa el poco efecto de las aplicaciones foliares con Ca^{2+} , ya que el testigo presentó valores superiores que algunos tratamientos. Sin embargo, Cardona *et al.* (2005) evaluando tres dosis de aplicación de Ca^{2+} (0.05, 0.10 y 0.15%) encontraron que al 0.15%, aplicado una sola vez a frutos de jitomates cv. ‘Chonto Santacruz Kada’ no presentó efectos significativos; pero cuando se aplicó dos veces, aumentó la firmeza,

y finalmente, cuando se aplicó tres veces la respuesta fue positiva con valores promedio de 3.97 comparado con 2.67 del testigo. Con respecto a los **sólidos solubles totales (SST)**, no se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, ni en la interacción tratamiento x invernadero. Para el invernadero con malla, el valor medio fue de 4.52 °Brix, mientras que para el invernadero sin malla de 4.47 °Brix. Los valores de los SST presentaron pequeñas variaciones entre tratamientos con 4.30 °Brix para el tratamiento de Ca^{2+} 1% + auxina en el invernadero sin malla, hasta 4.88 °Brix para el tratamiento de Ca^{2+} 0.5% en el invernadero con malla. Esto sugiere que los SST están presentes en cantidades muy similares en los frutos, como consecuencia del mismo estado de madurez en que fueron cosechados, y no variaron en función de los tratamientos aplicados. Es decir, no existe un efecto aparente del Ca^{2+} en las evaluaciones realizadas, confirmándose lo reportado por Wada *et al.* (1996), quienes, al evaluar el efecto de aplicaciones foliares de Ca^{2+} en tomate, no encontraron diferencias en los SST frente al testigo. Estos valores variaron entre $5,4 \pm 0,07$ °Brix y $6,1 \pm 0,36$ °Brix. Resultado similar fue reportado por Báez *et al.* (2000) en durazno, al aplicar diferentes fuentes de Ca^{2+} de una a cuatro veces; el contenido de sólidos solubles en los frutos tratados no presentó ninguna tendencia y los valores determinados no fueron diferentes del correspondiente al control. Por su parte, Binoy *et al.* (2004) mencionan que los sólidos solubles totales tienen implicaciones directas en los jitomates destinados a la industria; además, se sugiere que los frutos de esta especie tengan más de 5.5 °Brix (Gould, 1992). En esta investigación todos los tratamientos evaluados presentaron valores inferiores al recomendado. Al respecto, Grandillo, *et al.* (1999), mencionan que ha sido difícil incrementar la concentración de SST en las variedades mejoradas, debido a su naturaleza poligénica; sobre esta característica tiene gran efecto el ambiente y guarda una relación inversa con el rendimiento. Por otro lado Binoy *et al.* (2004) mencionan que los cultivares comerciales que

son vendidos en madurez comestible tienen 4.6 de sólidos solubles. Solo los tratamientos Ca^{2+} 0.5% en invernadero con malla y el testigo en el invernadero sin malla presentaron valores superiores con 4.88 y 4.74 °Brix respectivamente. Al respecto Baxter *et al.* (2005) obtuvieron valores de 4.3. La **acidez titulable** o porcentaje de ácido cítrico no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos ni en la interacción tratamiento x invernadero. Los valores para esta variable fueron desde 0.19% que corresponde al tratamiento de auxina en el invernadero con malla, hasta 0.25% para los tratamientos de Ca^{2+} 1% + auxina y Ca^{2+} 0.5%, en los invernaderos con malla y sin malla respectivamente. Por lo que no hubo un efecto del Ca^{2+} y la auxina en el porcentaje de ácidos orgánicos presentes en los frutos de tomate. Un resultado similar fue reportado por Wada *et al.* (1996) al evaluar el efecto de la aplicación foliar de Ca^{2+} en tomate; los tratamientos con Ca^{2+} registraron valores entre 0,34% y 0,38%, mientras que el control registró 0,43%. Por otro lado Saliba-Colombani, *et al.* (2001) mencionan que la acidez del jitomate depende en gran medida de la variedad. Por lo que era de esperarse que los resultados fueran similares debido a que solo se utilizó el genotipo Sun-7705. Mencarelli y Salveit (1988), reportan que los jitomates deben tener entre 0.2%-0.6% de ácido cítrico en estado maduro para que tengan un sabor agradable, por lo que en esta investigación todos los tratamientos superaron el mínimo requerido, excepto el tratamiento de auxina en el invernadero con malla que presentó el valor de 0.19%. Por otro lado Salgado (2011), en un trabajo donde evaluó características internas en frutos de jitomate en poblaciones de ocho acervos genéticos autóctono de México, encontró valores hasta de 0.88% en comparación con materiales mejorados que presentaron valores de 0.32%. En cuanto al **diámetro ecuatorial** no se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, ni efecto tratamiento x invernadero, los valores fueron de 52.0 mm para el tratamiento Ca^{2+} 1% sin malla hasta 55.5 mm que corresponde al testigo sin malla, seguido del tratamiento Ca^{2+} 0.5

invernadero con malla con 55.1 mm. Para **diámetro polar** se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para la interacción tratamiento x invernadero, pero no para tratamientos. Donde el tratamiento Ca^{2+} 0.5% + Auxina con malla presentó el valor mas alto con 75.52 mm, el cual fue estadísticamente diferente al los tratamientos Ca^{2+} 0.5% con malla y Ca^{2+} 0.5% + auxina sin malla que presentaron valores de 68.4 y 68.2 mm respectivamente.

CONCLUSIONES

No se presentó la pudrición apical del fruto de jitomate en ninguno de los tratamientos evaluados incluyendo al testigo sin aplicación; todos presentaron concentraciones de Ca^{2+} por arriba del 0.12% que es el mínimo requerido para evitar este desorden fisiológico, lo cual se debió a condiciones favorables durante el cultivo y a un buen manejo de la nutrición, que facilitaron la absorción y transporte de este elemento hacia los frutos.

Se observó un mínimo efecto de los tratamientos y de la interacción tratamiento x invernadero para las variables agronómicas y de calidad de fruto, que tuvieron valores aceptables para su comercialización. Además se observó un descenso de temperatura de 0.5 a 2°C en el invernadero con malla el cual no influyo en la disminución de la transpiración de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdal M, Suleiman M. (2005).** Blossom end rot occurrence in calcareous soil of Kuwait. *Acta Horticulturae* 695, 63–65.
- Adams P, and El-Gizawy AM. (1988).** Effect of calcium stress on the calcium status of tomatoes grown in NFT. *Acta Horticulturae* 222: 15–22.
- Adams P, and Ho, L.C. (1992).** The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *Journal of Horticultural Science* 67,827–839.
- Adams, P. and Ho, L.C. (1993).** Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom end rot. *Plant and Soil* 145:127-132.
- AOAC, (1995).** Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Al-Falluji, R.A., D.H. Trinklein y V.N. Lambeth. (1982).** Inheritance of pericarp firmness in tomato by generation mean analysis. *HortScience* 17(5), 763-764.
- Anthon, G. E., M. LeStrange y D. M. Barrett. (2011).** Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of Food Science*. 1175-1181.
- Báez, R., R. Troncoso, E. Bringas, J. Ojeda y A. Mendoza. (2000).** Efectos de diferentes fuentes de Ca en melocotones. pp. 63-77. En: *Memorias del Congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones*. Bogotá.
- Baille, A.; Kittas, C. and Katsoulas, N. (2001).** Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. For. Meteorol.* 107:293-306.
- Batu, A. (2004).** Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471–475.
- Baxter, C. J., F. Carrari, A. Bauke, S. Overy, S. A. Hill, W. P. Quick, A. R. Fernie y L. J. Sweetlove. (2005).** Fruit Carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. *Plant Cell Physiology*. 46: 425-437.
- Binoy, G; Kaur, C; Khudiya, D. S; Kapoor, H. C. (2004).** Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45–51.
- Cantwell, M. (1998).** Postharvest horticulture serie Núm. 9. Postharvest Outreach Program. Department of Pomology. University of California. Davis, CA. pp. 31–32.
- Cardona C., Harvey A y Hermes A. T. (2005).** Influencia de la fertilización foliar con Ca sobre la pudrición apical en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Agronomía Colombiana* 23(2): 223-229.
- Castellanos J.Z. (2004).** La calidad del agua. Castellanos (Ed). *Manual de producción Hortícola en invernadero* 2ª Ed. INTAGRI. México. P.46-58.
- Chamarro, J. (1995).** Anatomía y fisiología de la planta. pp. 83-84. En: Nuez, F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Edición Mundi-Prensa, Madrid.
- Chapman, H. D.; Pratt, P. F. (1991).** *Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua*. Editorial Trillas, S. A. de C. V., D. F., México. 195 p.
- Comisión Nacional del Agua (2006)** Clima. www.cna.gob.mx (consulta: Febrero 15, 2011).
- Estrada-Botello M. A., de La Cruz-Lázaro E., Brito-Manzano N. P., Gómez-Vázquez A., Mendoza-Palacios J. de D., Gómez-Méndez E. y Ulises-López N. (2009)** *Producción de tomate rojo en hidroponía bajo condiciones protegidas en el trópico húmedo*. Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco México. 30 p.

- García E. (1973)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 246 p.
- Gil, V. I.; F. Sánchez del C. y I. Miranda V. (2003).** Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Manual de manejo. AGRIBOT. UACH. Pp 5-10.
- Gould, W. A. (1974).** Tomato production, processing and quality evaluation. The AVI publishing USA.
- Gould, W. A. (1992).** Tomato production, processing and technology. CTI Publications. Baltimore, MA, USA. pp. 295–297.
- Grandillo, S., H. M. Ku., S. D. Tanksley. (1999).** Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*. 99:978-987.
- Guichard S, Gary C, Leonardi C, Bertin N. (2005).** Analysis of growth and water relations of tomato fruit in relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load. *Journal of Plant Growth Regulation* 24, 201–213.
- Ho LC, Belda R, Brown M, Andrews J, Adams P. (1993).** Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany* 44, 509–518.
- Ho LC. (1998a).** To quantify environmental and physiological factors controlling calcium uptake, transport and utilization on yield and quality of tomato and sweet peppers in glasshouses. Final report on MAFF project HH1309SPC.
- Ho LC. (1998b).** Improving tomato fruit quality by cultivation. In: Cockshull KE, Gray D, Seymour GB, Thomas B, eds. *Genetic and environmental manipulation of horticultural crops*. Wallingford, UK: CAB International, 17–29.
- Ho L.C, White P.J. (2005).** A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95, 571–581.
- Lazcano, I. (2000).** Deficiencia de Ca en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá*, 39, 7-8.
- Leszek S. J. (2003)** Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Volumen 1. Propiedades y acción. Ed. Mundi-Prensa. pp.13-66
- Li YL, Stanghellini C, Challa H. (2001).** Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Scientia Horticulturae* 88: 11–29.
- Lorenzo, P. (1996).** Intercepción de luz, bioproductividad e intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de *Cucumis sativus*, L. en Almería. ed: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Monografías 17/96.pp: 255
- Lorenzo, P., Sanchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., García, M L, Caparrós, I., Coelho, G., Jiménez, M. (2004).** Climate control in the summer season: A comparative study of external mobile shading and fog system. *Acta Horticulturae* 659: 189-194.
- Jiménez, M; Trejo, E; Cantwell, M. (1996).** Cherry tomato storage and quality evaluation. *Vegetables Research Reports*. University of California. Davis, CA. USA. 17 p.
- Maroto, J.V., S. López, A. Bardisi, B. Pascual and J. Alargada. (1995).** Influence of irrigation dosage and its form of application on cracking response in cherry tomato fruits. *Acta Hort.* 379, 181-185.
- Marcelis, L. y L. Ho. (1999).** Blossom-end rot relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *J. Exp. Bot.* 50(332), 357-367.

- Miranda V.I. y Sánchez C.F. (2001).** Sistemas de producción hidropónicos. *In*:VII curso internacional de sistemas de riego. Memorias. Volumen III. En : UACH-Departamento de irrigación. P III-258.
- Mencarelli, F. y M. E. Salveit. (1988).** Ripening of mature-green tomato fruit slices. *Journal of American society horticultural science.* 113:742-745.
- Montero, J. I., Antón, A., y Muñoz, P. (2012).** Refrigeración de invernaderos II. En línea. Disponible:http://www.irta.es/cat/qui/centres/cabrils/articulos_divulgacio_dep_tec_horticola/refrigeracion_invernaderos_11.pdf. Consultado 26 de septiembre de 2012.
- Moreno RA, MT Valdés P, T Zárata L (2005).** Desarrollo de tomate en sustratos de vermicomposta/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica.* 65(1):26-34.
- Morgan, M. B. and Ho, L.C. (1993).** Factors affectin calcium transport and basipetal IAA movement in tomato fruit in relation to blossom-end rot. *Journal of experimental Botany,* vol.44, No.264, 1111-1117 pp.
- Nuez, V. F. (1995a).** El cultivo de Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:190-219.
- Nuez, V. F. (1995b).** Desarrollo de nuevos cultivares. *In*: El Cultivo del Tomate. Nuez V. F. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 625-669.
- Paiva, E., R. Arruda-Sampaio and H. Prieto. (1998).** Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. *J. Plant Nutr.* 21(12), 2653-2661.
- Palma L.D.J y Cisneros D.J. (2000).** Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 2ª. Ed. ISPROTAB-FUNDACIÓN PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. Pp 115.
- Plieth C. (2001).** Plant calcium signaling and monitoring: pros and cons and recent experimental approaches. *Protoplasma* 218, 1-23.
- Resh H.M. (2001).** Cultivos hidropónicos, nuevas técnica de producción. 5ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Pp 558.
- Salgado, M. L. (2011).** Calidad de fruto de jitomate en acervos y poblaciones nativas de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. 108 p.
- Saliba-Colombani V, M. Cause, D. Langlois, J.Philouze, M. Buret. (2001).** Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato: mapping QTLs for physical and chemical traits, *Theoretical and Applied Genetics* 102: 259-272.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. (1994).** Fisiología vegetal. Grupo editorial. Interamericana. México, D.F. 759 p.
- Sánchez del C. F. y Escalante R. E. R. (2001).** Hidroponia. Un sistema de producción de plantas. Principios y métodos de cultivo. 3ª edición. UACH. 194 p.
- SAS institute. (2002).** SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A.
- Saure MC. (2001).** Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)—a calcium or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae* 90, 193-208.
- Shanon, S., J. Natti and D. Atkin. (1996).** Relation of calcium nutrition to hypocotil necrosis of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). New York State Agricultural Experiment Station for Publication as Journal Paper (1536).
- Schmitz-Eiberger M, Haefs R, Noga G. (2002).** Calcium deficiency—influence on the antioxidative defense system in tomato plants. *Journal of Plant Physiology* 159: 733-742.

- Steiner A.A. (1961).** A Universal Method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154 pp.
- Suzuki K, Shono M, Egawa Y. (2003).** Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. *Protoplasma* 222, 149–156.
- Taylor MD, Locascio SJ. (2004).** Blossom-end rot: a calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 27, 123–139.
- Tesi R. (2001).** Medios de protección para hortoflorofruticultura y el viverismo. Versión española de J. M. Mateo Box. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 288 p.
- Tonetto de F. S., Kenneth A. A., Elizabeth, J.M. (2011).** Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit. *Journal of Experimental Botany Advance Access* published January 31, 2011.
- Velasco, H. E. y Nieto, A. R. (2006).** Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de fitotecnia. 2ª Edición. 35-39 pp.
- Wada, T., M. Ikeda y H. Furukawa. (1996).** Effects of foliar calcium solutions on incidence of blossom-end rot of tomato fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65(3), 553-558.

CONCLUSIONES GENERALES

Bajo las condiciones en que fueron conducidos los experimentos, una de las formas de aumentar el rendimiento del cultivo de jitomate en sistema protegido e hidroponía en el Estado de Tabasco, es incrementando la densidad de población a 8.32 tallos por m², lo cual se consigue con 4.32 bolsas por m² con plantas conducidas a dos tallos, lo cual además trae consigo una disminución de 50% en insumos (bolsas, semillas y sustrato) en comparación con plantas individuales. Además se recomienda la conducción hasta el 4° o 5° racimo debido a que el sexto aporta solamente el 9.14% del peso de fruto total de la planta.

El uso de reguladores de crecimiento como el 2-naftoxiacético puede ser útil cuando las condiciones ambientales son adversas, debido a que induce frutos partenocárpico; las dosis que se recomiendan para su aplicación son de 30 a 50 mgL⁻¹, ya que fueron las que presentaron incremento en el peso promedio de frutos lo cual se debió a un aumento en su diámetro ecuatorial, también se observó incremento en SST.

El sustrato tepetzil proveniente de Perote Veracruz, presentó características físicas favorables para su uso en hidroponía, con un manejo adecuado del riego acorde al tamaño de partícula.

Las condiciones favorables para el cultivo de jitomate así como el buen manejo de la nutrición facilitaron la absorción y transporte del Ca al fruto previniendo la pudrición apical, por lo que presentaron porcentajes por arriba del mínimo requerido con lo cual se evita este desorden fisiológico, además tuvieron valores de calidad aceptables para su comercialización, por lo que los tratamientos de Ca solo y en combinación con auxina no tuvieron efecto significativo. Con base en lo anterior no se recomiendan las aplicaciones foliares de este elemento para este ciclo (O-I).

El uso de la malla aluminet móvil colocada externamente en la parte superior del invernadero permitió disminuir hasta 2 °C la temperatura en su interior, pero no tuvo efecto en la disminución de la transpiración de la planta y en el contenido de Ca en fruto, solo un efecto mínimo en las variables agronómicas y de calidad.