

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**TESIS**

**CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA, ASIMILACIÓN DE  
BIÓXIDO, TRANSPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL  
CULTIVO DE TOMATE EN TRES AMBIENTES**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:**

**JOSÉ RIGOBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS  
M. C. OTILIO VAZQUEZ MARTÍNEZ**

**CULIACÁN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2015**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR JOSÉ RIGOBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ,  
BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA  
SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

**DIRECTOR**



**DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR**

**M. C. OTILIO VÁZQUEZ MARTÍNEZ**

**ASESOR**



**DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS**

**ASESORA**



**DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARÁZ**

**ASESOR**



**DR. FELIPE AYALA TAFOYA**

CULIACÁN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2015



## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

Juana Martínez López y José Ángel Gómez González, quienes tuvieron que sacrificar el poco recurso económico que tenían para apoyarme, lo cual nunca dejaré de agradecerles, ya que por esa decisión yo he llegado a este peldaño de mi vida. Gracias por el regalo máspreciado que es haberme traído al mundo y por todo lo que me han enseñado, porque por el apoyo de ellos soy lo que soy.

### **A mis hermanos**

Por compartir una vida juntos y por todas las alegrías vividas.

### **A mi esposa**

Edith Yazmin Blanco García que nunca ha dejado de estar junto a mí, diciéndome tú puedes. Que gracias a su compañía y apoyo he logrado salir adelante, y con la que he compartido momentos muy hermosos de mi vida.

### **A mi hija**

Por haber sido el motor que me impulsó para seguir adelante, ya que todo lo que hago y lo que me queda por hacer es por ella. Atziri Dayami, eres lo más importante en mi vida, te amo hija.

### **Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba**

Por su amistad incondicional y por lo que me ha enseñado, que ni con todas las palabras del mundo podré agradecerle, que además de ser un gran amigo, lo veo con el respeto y cariño de un padre.

**Al M. C. Felipe Ayala Tafoya**

Que ni con todas las palabras del mundo podré agradecerle todo lo que me ha enseñado, apoyado y orientado en los momentos difíciles, a quien además de ver como un amigo, veo con el respeto y el cariño de un padre.

**A la Dra. Teresa De Jesús Velázquez Alcaráz**

Excelente persona y amiga, nunca terminare de agradecerle sus enseñanzas y su gran apoyo y orientación, es una gran persona que quiero y respeto como a una madre.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de existir y formar parte de una familia maravillosa que me apoya siempre.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), por abrirme sus puertas y ser hoy un espacio en mí formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al M. C. Felipe Ayala Tafuya por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, por sus enseñanzas, consejos y orientación.

Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, por todas sus atenciones y el apoyo brindado durante la maestría.

Al M. C. Otilio Vázquez Martínez. Por facilitarme el IRGA, ya que si ello no habría sido posible realizar las mediciones.

A mis amigos. En especial Jerónimo Mariano Santis López y Leonardo Román Román por los grandes momentos que hemos vivido juntos, no me queda más que agradecerles su compañía, amistad y todo el apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

A toda mi familia, por estar al pendiente de lo que hago y celebrar mis logros.

A todos mis amigos, porque son parte de mí familia.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS-----	I
ÍNDICE DE FIGURAS-----	li
RESUMEN-----	lii
ABSTRACT-----	iv
I. INTRODUCCIÓN-----	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	4
III. HIPÓTESIS -----	4
IV. OBJETIVOS -----	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	6
VI. MATERIALES Y MÉTODOS -----	18
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	20
VIII. CONCLUSIONES -----	25
IX. LITERATURA CITADA -----	26
X. APÉNDICE -----	32

## ABSTRACT

This research was conducted in order to check the hypothesis that stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration rate and tomato yield per unit area, expressed differently when grown in a greenhouse, shade houses and open field, and to compare stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and yield of tomato in the three aforementioned conditions. With infrared gas analyzer (IRGA), starting at 11:00 AM during sunny days, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation and transpiration in the terminal leaves of the second third of the plants were in full fruit production leaflet were measured, while the yield was determined by the production per plot, without sorting fruit. The experimental design was completely randomized with three replications and useful plots 5.0 m long blocks. The average stomatal conductance, carbon dioxide assimilation, transpiration and yield under shade house and greenhouse, exceeded 88.9 and 213.3, 146.7 and 453.3, 110.9 and 221.9, 96.9 and 150%, respectively, the estimated field values opened. This confirms the hypothesis that the four study variables are expressed differently in the three conditions of cultivation.

**Keywords:** greenhouse, shade house, open field.

## RESUMEN

Esta investigación se hizo con el propósito de revisar la hipótesis de que la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera cuando se le cultiva en condiciones de invernadero, casas sombra y campo abierto, así como para comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas. Con el analizador infrarrojo de gases (IRGA), a partir de las 11:00 a.m. durante días soleados, se midieron la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub> y transpiración en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de casa sombra e invernadero, superaron en 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150%, respectivamente, a los valores estimados en campo abierto. Lo que confirma la hipótesis de que las cuatro variables de estudio se expresan de diferente manera en las tres condiciones de cultivo, y que el rendimiento es mayor en condiciones protegidas.

**Palabras clave:** invernaderos, casa sombra, campo abierto.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. El 86 % de unidades de superficie protegida en México con menos de 0.5 hectáreas -----	11
Figura 2. Sinaloa concentra la mayor superficie de cultivos protegidos (30 %) en México -----	12
Figura 3. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	22
Figura 4. Tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	23
Figura 5. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	24

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013) -----	20
Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013) -----	21

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la tendencia para producir tomate es cultivar a éste bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500 t ha<sup>-1</sup> por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).

Durante el año 1999, en México se contó con 600 ha de cultivo protegido para diversas hortalizas y ornato, incluidos en esta cifra los invernaderos, casas sombra y macrotúneles (AMPHAC, 2013).

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha y presentó una tasa de crecimiento anual de 25%; de esta superficie, 3,450 ha se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006).

Sin embargo, en el año 2009 se estimó una superficie de invernadero de alrededor de 10,000 ha, de las cuales el 60% fueron de plástico, 34% fueron casa sombra y 4% fueron invernaderos de vidrio. Del total de superficie de invernadero, el 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades, seguido por el pepino y chile bell (González, 2009).



Para el año 2010, México ya contaba con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, desde el 2001 esta cifra se ha incrementado por arriba de 10,000 ha, de tal forma que el ritmo de crecimiento de la agricultura protegida ha sido de 1,200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos, de donde en el 2010 se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas (Ponce, 2011).

Mientras que para el año 2013 se reportaron 21,500 ha que se utilizaron para cultivar diversas hortalizas y plantas ornato, de las cuales, poco más de 12,000 son de invernadero y el resto de mallas sombra y macrotúnel (AMPHAC, 2013).

El estado de Sinaloa es pionero en la industria de la agricultura protegida, ya que fue durante la última década de siglo XX cuando en esta entidad dicha industria se inició de manera comercial, y a la fecha ha crecido de manera exponencial, de tal manera que hasta el año 2013 en Sinaloa se contó con 4,021 ha de agricultura protegida con invernaderos y casas sombra (AMPHAC, 2013), y hasta la fecha se tienen registradas 4743.7 ha (AMPHAC, 2014).

La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993) y la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima durante el periodo

de sequía (Pimienta *et al.*, 2006).

## **II. PROBLEMA**

Cada año la superficie de cultivo protegida con invernadero y casa sombra está cambiando en Sinaloa, por lo que es necesario actualizar la información durante periodos cortos. Condiciones en las que se sabe que el tomate produce más frutos, pero es necesario precisar y comparar la intensidad de aspectos como la conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , tasa de transpiración y rendimiento por unidad de superficie, que ocurren en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## **III. HIPÓTESIS**

La superficie de cultivo protegida con invernadero y casa sombra ha cambiado con respecto a la que actualmente aparece reportada por diferentes autores; condiciones de cultivo en las que la conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera en relación a lo que se obtiene cuando el tomate es cultivado en campo abierto, pero es en el invernadero donde la expresión de las variables referidas es mayor.

## **IV. OBJETIVO**

Actualizar la superficie de cultivo del tomate en condiciones de invernadero y casa sombra y comparar la conductancia estomática, la asimilación de bióxido de



carbono, la transpiración y el rendimiento del tomate que se da en campo abierto con respecto a las de casa sombra e invernadero.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

A nivel mundial existen casi cuatro millones de hectáreas sembradas con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), lo que representó una producción de 108.5 millones de kilogramos (FAO, 2002), pero hasta el año 2012 esta producción se incrementó hasta 211 millones de toneladas (Hortoinfo, 2014).

En los últimos años han mejorado las técnicas de cultivo al usar estructuras de protección con malla antiinsectos, con la ventaja de que disminuyen el uso de insecticidas y pueden incorporar el uso de abejorros para la polinización del tomate, logrando un producto de mejor calidad. Möller *et al.* (2004) indican que los cultivos protegidos reducen la frecuencia de uso de pesticidas, aunque en casos de cultivos protegidos en zonas tropicales las condiciones microclimáticas del invernadero pueden ser menos favorables que al aire libre (Harmanto *et al.*, 2006)

Para las estructuras con malla antiinsectos, Romero *et al.* (2010) indican que su diseño debe considerar un equilibrio entre una buena ventilación y la protección del cultivo, dependiendo del enfriamiento deseado y la susceptibilidad del cultivo a los insectos. Diversos autores indican que temperaturas medias entre 21-27 °C (Baki y Stommel, 1995; Sato *et al.*, 2000) y humedad relativa en torno al 60% (Peet *et al.*, 2003) son óptimas para el cultivo de tomate. Un exceso de temperaturas induce al cierre de estomas y reduce la transpiración y fotosíntesis, en consecuencia, se reduce la tasa de transporte por el xilema y la producción de

biomasa (Adams y Ho, 1993), que puede implicar una reducción de la producción o calidad del fruto.

La agricultura como toda actividad humana implica la explotación del medio natural. En concreto, la agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, para lo cual se recurre a una serie de técnicas con el objetivo de forzar la producción. Un ejemplo de este tipo de producción lo tenemos en el cultivo bajo invernadero. Éste se orienta a obtener el más alto rendimiento, a costa de aislarlo de las condiciones naturales mediante el forzado del cultivo a través de técnicas de climatización (calefacción, humidificación, iluminación, etc.) y técnicas culturales (fertirrigación, sustratos, etc.) para rentabilizar al máximo la ocupación del terreno. Esta rentabilización implica una mejora en la utilización de los recursos naturales, agua y suelo (Antón, 2004). En México, la producción de hortalizas bajo invernadero se ha incrementado significativamente durante los últimos años (López *et al.*, 2011).

La superficie mundial cubierta por algún tipo de protección varía entre cuatro y cinco millones de hectáreas. Dejando de lado protecciones de tipo acolchado, cubiertas y túneles bajos, y centrándose en invernaderos de plástico más o menos tecnificados, a nivel mundial, la superficie supera las 458,000 ha, concentrándose las mayores superficies en China (200,000 ha) y Corea (27,000 ha), seguido de la cuenca mediterránea (Pérez *et al.*, 2002).



La implementación de la producción hortícola en invernadero disminuye el riesgo de la producción, incrementa la rentabilidad del sector productivo; además de que genera fuente de trabajo, disminuye la contaminación ambiental y los daños a la salud (Grijalva y Robles, 2003).

En Arica, Chile, ubicada en el extremo norte y al límite con Perú, el clima es la principal ventaja de los productores de hortalizas al aire libre para consumo en fresco durante todo el año. Sin embargo, dada su ubicación, distante a 2,000 km de los grandes centros urbanos de Chile, la producción se concentra en hortalizas de alto valor como el tomate y pimiento. La superficie total cultivada con hortalizas es de 2,877 ha, de las cuales 2,853 están al aire libre y 24 bajo invernadero (INE, 2008). De éstas, la superficie cultivada con tomate, tanto al aire libre como en invernadero, alcanza a 840 ha Pilar *et al.*, (2010).

En la actualidad se encuentran, en los principales mercados, productos hortícolas frescos procedentes de España durante todo el año, a lo que contribuyen de forma decisiva las producciones bajo invernadero (Fernández *et al.*, 2006), de las cuales la mayor superficie de cultivo con hortalizas en condiciones protegidas se encuentra en Andalucía, seguida de R. Murcia, Extremadura, Canarias, C. Valencia y Galicia, con 56,580, 5,765, 4,300, 3,179, 2,777 y 2,555 ha, respectivamente, aunque en total se siembran 78,407 (Melián *et al.*, 2008).

Al cultivar tomate cherry en invernadero multitunel de alta tecnología y en un invernadero de baja tecnología cubierto con malla antiinsectos, en el Valle de

Azapa, al extremo norte de Chile, no se observó diferencia en la producción total. Sin embargo, los sólidos solubles, el porcentaje de materia seca de los frutos y la cantidad de estos últimos, aunque de menor tamaño, aumentaron en el invernadero de baja tecnología (Mazuela *et al.*, 2010).

Aunque la industria de los invernaderos nació y se desarrolló en Europa, para principios de los 80 empezó a tomar impulso en América, especialmente en Canadá y algunas regiones de Estados Unidos. En México, aunque desde los 70 nacen en el altiplano, con flores (sobre todo en los estados de Ciudad de México y de Morelos), es a finales de los 90 cuando comienzan a desarrollarse en forma importante en la producción intensiva de hortalizas, pasando de 1998 al 2006 (tan solo ocho años) de 600 a más de 6,500 ha (Garza y Molina, 2008).

La cubierta predominante en la agricultura protegida en México, con 47% es la de plástico, 50% de malla sombra, vidrio 2% y 1% de otro tipo de material, tipo de agricultura en la que el tomate ocupa el 70% del volumen producido en invernadero, el pepino 10%, el pimiento 5% y otros cultivos concentran un 15% (Destenave, 2007).

Actualmente la tendencia para producir tomate es cultivar a éste bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500 t ha<sup>-1</sup> por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).



La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha y presentó una tasa de crecimiento anual de 25%; de esta superficie 3,450 ha se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006). No obstante, para el año 2006 esta superficie se incrementó por arriba de las 6,500 hectáreas, tiempo en el que Sonora ocupó el tercer lugar con 707 hectáreas construidas y 180 por construir, siendo superado solo por Sinaloa, Baja California y Jalisco (Garza y Molina, 2008)

Para el año 2009 se estimó una superficie cubierta con invernadero en cerca de 10,000 ha, de las cuales el 60% fueron de plástico, 34% fueron casa sombra y 4% fueron invernaderos de vidrio. Del total de superficie de invernadero, el 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades, seguido por el pepino y chile bell (González, 2009).

Durante el año 2010, México contó con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, el ritmo de crecimiento de este tipo de agricultura ha sido de 1200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos; sin embargo, con ambas condiciones de cultivo se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas, en el año 2010. En la Figura 1 se puede notar que las superficies pequeñas en condiciones de casa sombra o invernadero predominaron sobre las de mayor tamaño (Ponce, 2011).



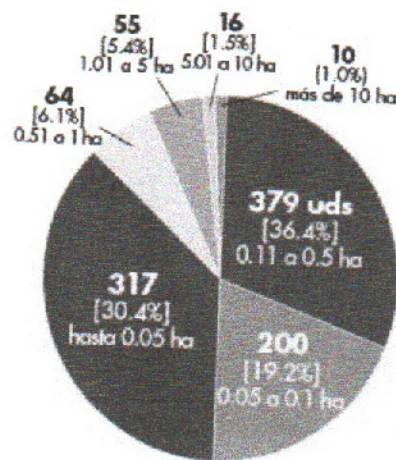


Figura 1. 86% de uds. de superficie protegida en México tienen menos de 0.5 ha.

Sin embargo, para el año 2013 se reportaron 21,500 ha que se utilizaron para cultivar diversas hortalizas y ornato, de las cuales, poco más de 12,000 son de invernadero y el resto de mallas sombra y macrotúnel (AMPHAC, 2013).

El estado de Sinaloa es pionero en la industria de la agricultura protegida, ya que fue durante la última década de siglo XX cuando en esta entidad dicha industria se inició de manera comercial, y a la fecha ha crecido de manera exponencial, de tal manera que hasta el año 2013 Sinaloa contó con 4,021 ha de agricultura protegida con invernaderos y casas sombra (AMPHAC, 2013), y hasta la fecha se tienen registradas 4743.7 ha (AMPHAC, 2014).

Cuatro estados concentran la mayor superficie de cultivo en invernadero (Figura 2), Sinaloa (30%), Baja California (16%), Estado de México (12%) y Jalisco (7%). Estas entidades aportan más del 50% de la producción total en condiciones de cultivos protegidos. En donde el tomate roma, bola y cherry son los tipos

principales (70%), seguido de pimiento (en todos sus colores), pepino (europeo y americano), berenjena y chile picoso (Ponce, 2011).

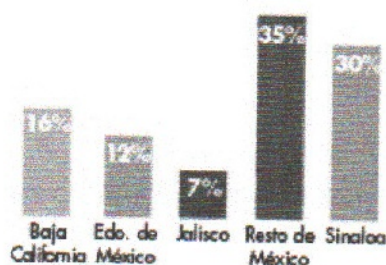


Figura 2. Sinaloa concentra la mayor superficie de cultivos protegidos (30%) en México.

El 60% de la producción en invernadero se exporta y el 70% de dicho volumen de exportación corresponde a tomate.

Los proyectos de alto valor (5%) están en Jalisco y Sonora. Le siguen invernaderos de mediano costo (25%) en el Bajío, y de bajo costo (70%) ubicados principalmente en los estados de Baja California y Sinaloa. Este último estado es el de mayor crecimiento, con 3366 ha. Le siguen Jalisco con más de 2000 ha, Guanajuato con cerca de 2000 y Michoacán que cuenta con 1200 ha de macrotúneles (Ponce, 2011).

De acuerdo con el autor del acápite anterior, los invernaderos se pueden clasificar en:

1. De baja tecnología, aquel que tiene un costo promedio de \$70 pesos  $m^{-2}$ , compuesto de elementos sencillos o que responde a una casa sombra.



2. De tecnología media, aquel que tiene un costo de \$250 pesos  $m^{-2}$ , y en muchos casos es de estructura parcialmente automatizada.
3. De alta tecnología, aquel que tiene un costo de \$1,500 pesos  $m^{-2}$  y está totalmente automatizado.

Los siguientes aspectos que se mencionan son parte de los resultados que Ponce (2011) menciona en sus publicaciones:

El precio del proyecto ofertado está ligado al nivel de tecnología incorporado en el invernadero. Partiendo de un precio base, el invernadero se irá encareciendo a medida que se incorporen sistemas, tales como calefacción, humidificación, control de clima, etc.

En condiciones de casa sombra se producen unas  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de tomate; mientras que en invernadero con tecnología media y mejor sustrato, pueden obtenerse  $350 \text{ t ha}^{-1}$ ; y en uno de alta tecnología más de  $500 \text{ t ha}^{-1}$ .

Más del 50% de estructuras comerciales son casas sombra, según indican los comercializadores de invernadero en México, quienes agregan que de las 6,500 ha de operaciones comerciales, el 48% corresponden a invernaderos de plástico y únicamente el 1% son estructuras de vidrio. Para dichos empresarios, México es un mercado atractivo que se encuentra en proceso de expansión y transición hacia estas nuevas tecnologías, pero además, en sus proyecciones indican que es un mercado que seguirá creciendo hacia el 2015 a un ritmo de 1500 ha por año.



El 76% de los productores de invernadero no invierte en asesoría técnica, por considerarlo innecesario o porque no confía en los asesores. Por otra parte, México no cuenta con suficiente personal técnico capacitado para la producción en invernaderos, y la mayoría de productores con espacio productivo, inferior a 5 ha, no cuenta con recursos suficientes para pagar el salario de un buen técnico.

El índice de abandono es nulo en regiones vinculadas al mercado de exportación. Tal es el caso de Sinaloa, Jalisco, Michoacán o Guanajuato. Además, existen desarrollos locales en la región sur-sureste de México, donde el crecimiento es a menor ritmo, pero interesante. Por otra parte, un estudio de AMHPAC indica que algunas entidades registraron hasta 40% de abandono del total de extensión. Las razones del abandono están en la falta de integración, en que algunos productores se aventuran sin el cumplimiento de ciertas condiciones de inversión, el estar en la escala incorrecta, desequilibrios comerciales y falta de competitividad.

El perfil de los agricultores del centro de México es interesante. En general, dicho perfil está formado por profesionales jóvenes, bien preparados académicamente, con un nivel de estudios de alrededor de 15 años y una gran disposición a innovar.

El costo de instalación se basa directamente en la producción. Por ejemplo, un buen agricultor de Sinaloa produce 75 t de tomate a campo abierto, mientras que un buen agricultor bajo invernadero podría producir 600 t. Esto significa que si lo que queremos es producir, el costo no tiene tanto valor.

Los costos oscilan de 30 a 1000 pesos m<sup>-2</sup>, dependiendo del grado de tecnología que tenga el invernadero, o sea, que el costo de producción tiene que ver con la tecnología que se utilice. Los costos más altos en México son los de mano de obra (20-40%) seguidos por los de empaques (12%) y gastos de comercialización (6%).

Se recomienda diversificar la producción de invernadero y otras estructuras protegidas. La mayoría de los productores centra su interés en la producción de tomate, pero existen grandes oportunidades de negocio en la producción de lechuga, pepino, calabacita, berenjena, chile, pimiento, ejotes, melón y frutillas rojas (zarzamoras, cerezas, fresas, frambuesas).

Por ejemplo, Yucatán debería especializarse en la producción de chile habanero, porque ya tienen el cultivo, la experiencia y el valor agregado; lo único que tienen que hacer es producirlo y empaquetarlo para su exportación.

Calidad y eficiencia de producción son claves en la comercialización de productos de invernadero. Se recomienda dar un valor agregado a lo que se produce: limpiar, lavar, incluso procesar el producto. Otros aspectos fundamentales para el posicionamiento de la producción agrícola mexicana son contar con una marca y un empaque, así como buscar la certificación de los productos, lo cual genera mayor confianza y certeza entre los consumidores.

Asociarse en organizaciones productivas es fundamental para los productores mexicanos, ya que el 80% cuenta con sólo una hectárea o menos para producir.



La asociación les permitiría unir esfuerzos e invertir en investigación para poder crecer.

A través del tiempo se podrían contar con hasta 29,821 ha con cultivos protegidos en México, según estima la Asociación Mexicana de Constructores de Invernadero (AMCI). Para ello se precisan programas de incentivos que consoliden el uso de los invernaderos entre los productores.

La tasa fotosintética está directamente relacionada con la radiación fotosintéticamente activa (composición de la luz), a los factores de disponibilidad del agua y al intercambio de los gases (Naves *et al.*, 2000).

En plantas que presentan metabolismo  $C_3$  o  $C_4$ , el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el  $CO_2$  para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002).

La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993) y la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima durante el periodo de sequía (Pimienta *et al.*, 2006).



Existen plantas, como la sábila (*Aloe vera*) que presentan la plasticidad fotosintética de asimilar CO<sub>2</sub> en el día y en la noche en el transcurso del año, pero en condiciones de sequía suprimen la asimilación de CO<sub>2</sub> en las fases I, II y IV, debido a que se reduce la conductancia estomática (Patishtán, *et al.*, 2010).

En la vegetación, el estrés hídrico provoca un cierre estomático y, por lo tanto, una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal (Sepulcre *et al.*, 2006).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el estado de Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2011-2012, mediante visitas y entrevistas a los productores de hortalizas en condiciones protegidas y en campo abierto, a los que se les planteó un cuestionario acerca de la superficie que cultiva con tomate en invernadero o casa sombra. La información recabada fue complementada con las estadísticas obtenidas de publicaciones impresas o en internet.

### **Datos que se recabaron a través del formato que se utilizó para la encuesta:**

Fecha:

Nombre de la empresa

Cantidad de hectáreas en casa sombra

Cantidad de hectáreas en invernadero

Hortalizas que cultiva en casa sombra e invernadero

Tiempo de estar usando casa sombra e invernadero

Producción por hectárea en casa sombra

Producción por hectárea en invernadero

Producción por hectárea en campo abierto

Las deducciones se obtuvieron a través del análisis de las estadísticas publicadas y los datos directamente recabados en campo, de tal manera que con ello se determinó con más precisión el aumento de la superficie que se cultiva en

condiciones protegidas y en campo abierto; asimismo, el crecimiento anual que va teniendo el cultivo de tomate en invernadero o casa sombra en la entidad.

El tomate se estableció en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, en el que las mediciones se hicieron con el IRGA a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos.

Los datos recabados acerca de la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se sometieron al análisis de varianza con el programa SAS Institute (1985), y la comparación múltiple de medias se llevó a cabo con la prueba de Tukey con  $\alpha \leq 0.05$ .



## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se puede observar que los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento del tomate cultivado en invernadero superaron en 49.2, 162.1, 71.3 y 27%, respectivamente, a los promedios que se estimaron en condiciones de casa sombra, cuando la medición se hizo el día 23 de Febrero de 2013.

Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	CO <sub>2</sub> asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	8.91 b	0.29 b	2.58 b	189 b
Casa sombra	13.29 a	0.76 a	4.42 a	240 a
DMSH	3.52	0.11	0.45	0.78

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Sin embargo, cuando las mediciones se hicieron el 10 de Marzo de 2013, los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, fueron como se indican el Cuadro 2, pero los valores obtenidos en casa sombra e invernadero superaron en los respectivos 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150% al valor estimado en campo abierto.

Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	CO <sub>2</sub> asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	4.50 c	0.15 c	1.28 c	96.0 c
Casa sombra	8.50 b	0.37 b	2.70 b	189.0 b
Invernadero	14.10 a	0.83 a	4.12 a	240.0 a
DMSH	3.62	0.20	0.56	0.91

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Estos resultados tienen relación con lo reportado en cuanto a que las plantas que presentan metabolismo C<sub>3</sub>, como la de tomate, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta captura el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002), y coinciden con lo reportado por Garza y Molina (2008), ya que ellos encontraron que el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento de frutos.

En la Figura 3 se puede notar que, en el rango de 43 a 1305 de RFA, la conductancia estomática del tomate en condiciones de invernadero siempre fue superior a la que se obtuvo en casa sombra y campo abierto, de tal manera que a



los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dicha conductancia superó en 105.9% a lo calculado en casa sombra, y en 483.3% a lo estimado en campo abierto, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 81.3 y 723.1%; en tanto que en casa sombra los incrementos fueron de 233.3% a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y de 353.8% a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , comparado a lo que se observó en campo abierto.

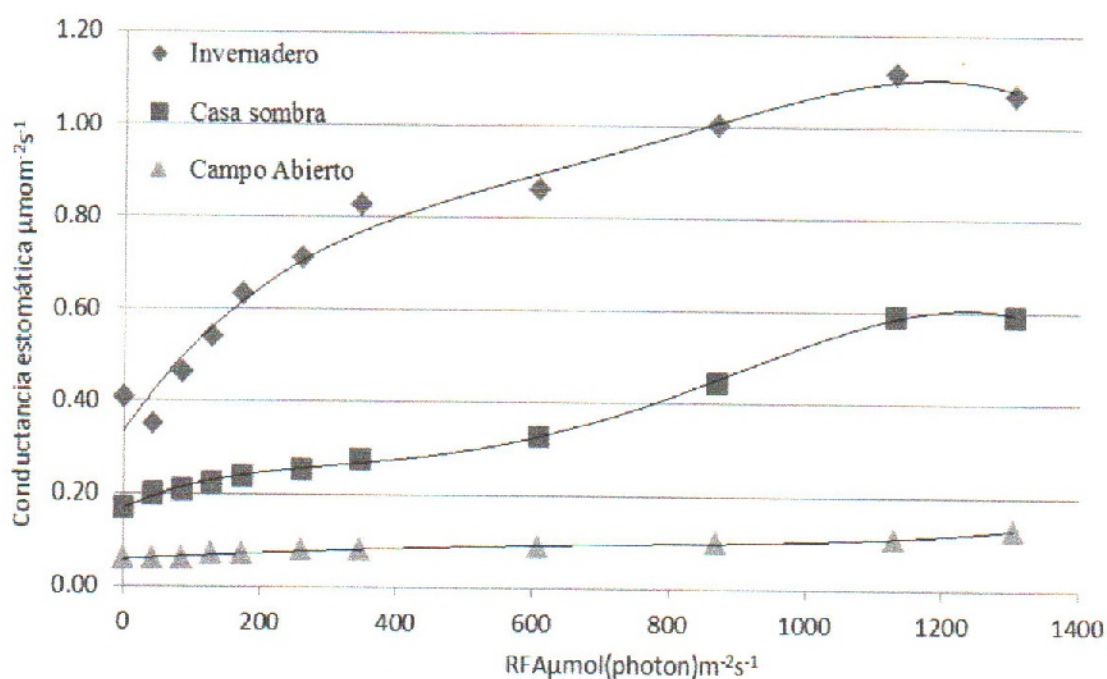


Figura 3. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

A los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en condiciones de invernadero, la asimilación de bióxido de carbono del tomate (Figura 4) superó en 15.2 y 318% a lo estimado en casa sombra y campo abierto, respectivamente, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los correspondientes 318 y 387.4%; a su vez, a los 43

$\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los promedios en casa sombra superaron en 113.5% a lo estimado en campo abierto y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  el incremento fue de 209%.

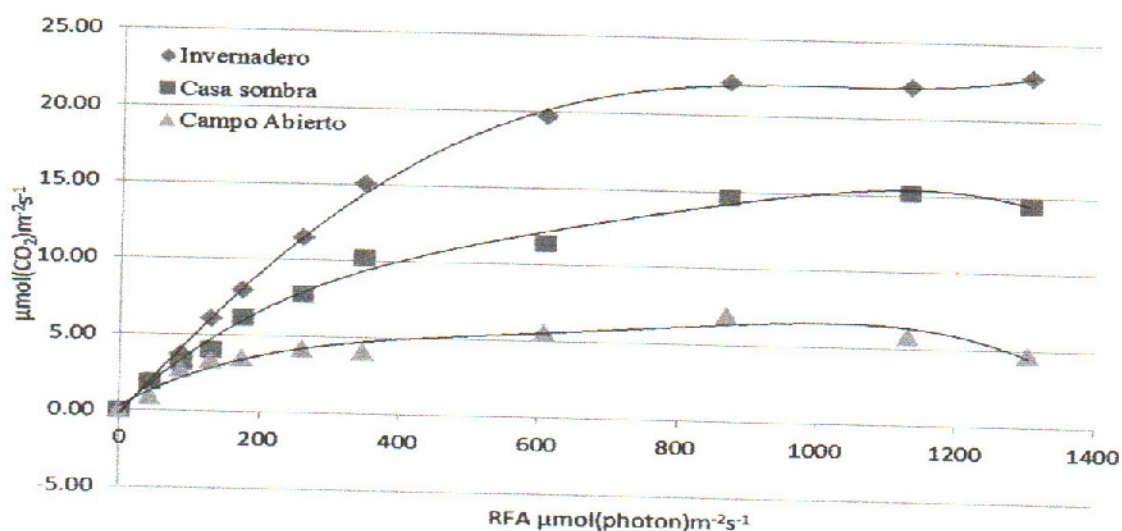


Figura 4. Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

La tasa de transpiración del tomate en invernadero, en el rango de 43 a 1305 de RFA (Figura 5), siempre superó a la que se estimó en casa sombra y campo abierto, y a su vez, la misma variable en casa sombra siempre estuvo por arriba de la que se determinó en campo abierto. A los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los incrementos en invernadero fueron de 73.3 y 174.8% con respecto a los promedios estimados en casa sombra y campo abierto, respectivamente, mientras que a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los respectivos incrementos llegaron a ser de 37.4 y 264.9%; a su vez, a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la transpiración en casa



sombra superó en 58.5% a la de campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en 165.5%.

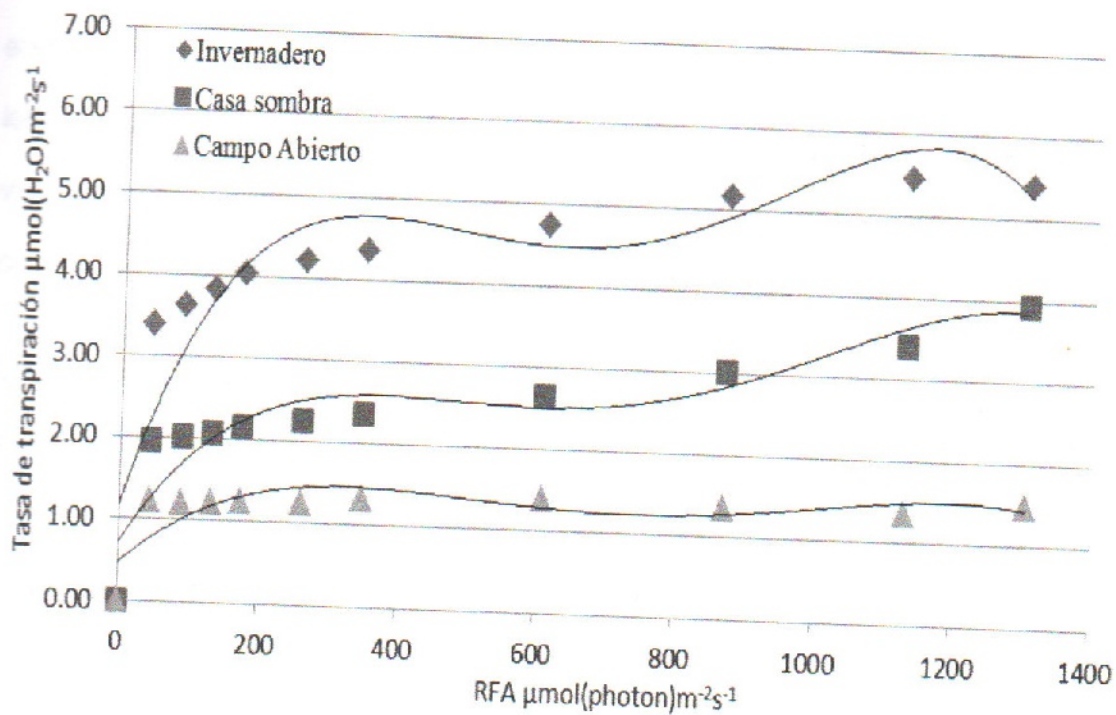


Figura 5. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## VIII. CONCLUSIONES

La superficie de cultivo en condiciones protegidas con invernaderos y casas sombra, actualmente está muy por arriba con respecto a la que se registró hasta los años 2009 y 2010, y se advierte que a través del tiempo irá en aumento, toda vez que el rendimiento de tomate por hectárea es muy superior a lo que se logra cuando se le cultiva en condiciones de campo a cielo abierto.

Las mayores tasas de conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , transpiración y rendimiento de frutos por unidad de superficie del tomate se lograron bajo invernadero, pero también en las áreas protegidas con casas sombra las cuatro variables referidas se expresaron más que en las condiciones de campo abierto.



## IX. LITERATURA CITADA

- 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 Soil*, 154: 127-132.
- AMHPAC. 2013. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 27 de mayo de 2013.
- AMHPAC. 2014. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 18 de agosto de 2013.
- Antón, M. A. 2004 Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Programas d'Enginyeria Ambiental. Barcelona, España.
- Baki, A. A. A., Stommel J. R. 1995. Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum and high temperature regimes. *HortScience* 30, 115-117.

- Bastide, B., Sipes D., Hann J., Ting I. P. 1993 Effects of severe water stress on aspect of crassulacean acid metabolism in *xerosicyos*. *Plant Physiol.* 103:1089-1096.
- Castilla, N. 2003. Estructuras y equipamientos de invernaderos. *In*: J. Z. Castellanos y J. J. Muñoz-Ramos (Eds) Memoria del Curso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. INIFAP. México. pp: 1-11.
- Destenave, J. C. 2007 La producción de cultivos en invernaderos la mejor alternativa para invertir en México. *El Campo Avanza. Órgano Informativo de la Secretaría de Fomento Agropecuario.* 2: 9.
- Diccionario Forestal. 2005. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Editorial Mundi Prensa, México, S. A. de C. V., 1317 p.
- FAO (FAOSTAT, Agricultural data Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. <http://apps.fao.org/page/collectios?subset=agriculture>. Consultado el 08 de Agosto de 2014.
- Fernández, Z. M. A., Pérez A. y Caballero P. 2006. Costes de tecnología en invernaderos de pimiento. *Horticultura Internacional*, 1-26.
- Fonseca, A. E. 2006. Producción de tomate en invernadero. *In*: Cuarto Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. E. Olivares S. (ed). UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. pp: 1-8.



- Garza, M. y Molina M. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. SAGARPA, México, 183 p.
- González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6
- Grijalva, R. L. y Robles F. 2003. Avances en la producción de hortalizas en invernaderos. Publicación Técnica No. 7. INIFAP-CIRNO-CECAB. Caborca, Sonora, México. pp: 14-18.
- Harmanto, T. H. J. and Salonke V. M. 2006. Microclimate and air exchange rates in greenhouses covered with different nets in the humid tropics. Biosyst. Eng. 94: 239-253.
- Hortoinfo. 2014. Más de 211 millones de toneladas de tomate se producen en el mundo. [www.hortinfo.es/index.php/noticias/3084-tomate-mundo-100314](http://www.hortinfo.es/index.php/noticias/3084-tomate-mundo-100314). 27 July 2014. Consultado el 14 de Agosto de 2014.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2008. VII Censo Agropecuario. Santiago, Chile.
- López, E. J., Rodríguez J. C., Huez L. M. A., Garzo O. S., Jiménez L. J. y Leyva E. E. 2011. Production and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse conditions using two pruning systems. IDESIA, Chile, 29(2): 21-27.

- Mazuela P., Acuña L., Alvarez M. y Fuentes A. 2010. producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. IDESIA, Chile, 28(2): 97-100.
- Melián, N. M. A., Ruiz C. A. y Abadía S. R. 2008. La horticultura de invernadero en España. Horticultura Internacional, pp: 1-20.
- Möller, M., Tanny J., Li Y. and Cohen S. 2004. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof greenhouse. Agric. Forest Meteorol. 127, 35-51.
- Muñoz R. J. J. 2003. El Cultivo de Tomate en Invernadero. In: J. J. Muñoz y J. Z. Castellanos (Eds) Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México pp: 226-262.
- Naves, B. C. C. et al. 2000. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. Rev. Bras. Fisiol. Veg. 12(1): 119-134. 2000.
- Patishtán, P. J., Rodríguez G. R., Zavala G. F. y Jasso C. D. 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. Rev. Fototec. Mex. 33(4): 305-314.
- Peet, M., Sato S., Clémente C. and Pressman E. 2003. Heat stress increases sensitivity of pollen, fruit and seed production in tomatoes (*Lycopersicon*



*esculentum* Mill.) to non-optimal vapour pressure deficits. *Acta Hortic.* 618: 209-215.

Pereira N. A. B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. *In: Wachowicz C. M., Carvalho R. I. N. (eds). Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita.* Curitiba: Champagnat. pp: 17-42.

Pérez, P. J. Lopez H. J. C. y Fernández F. M. D. 2002. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción de la horticultura almeriense. *In: la Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI.* García Álvarez-Coque J. M. (ed). Almería, España. 210 p.

Pilar, M., Acuña L., Álvarez M. y Fuentes A. 2010. Producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. *IDESIA (Chile)* 28 (2): 97-100.

Pimienta, B. E., Hernandez J. Z. y Galindo J. G. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.

Ponce, C. P. 2011. Panorama Mexicano: Revision de Datos de los Invernaderos en Mexico. Consultado el 27 de mayo de 2013 en [www.amci.org.mx/noticia.php?id=76](http://www.amci.org.mx/noticia.php?id=76) (AMHPAC, 2012).

Romero G. P., Choi C. Y. and López C. I. 2010. Enhancement of the greenhouse air ventilation rate under climate conditions of central México. *Agrociencia* 44: 1-15.

Sato, S., Peet M. and Thomas J. F. 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant Cell Environ*, 23: 719-726.

Sepulcre, C. G., Zarco T. P., Jiménez M. J., Sobrino J. and De Miguel E. *et al.* (2006) Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural And Forest Meteorology*, 136: 44.



**ARTÍCULO CIENTÍFICO PUBLICADO EN MEMORIA DEL XVII  
CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, REALIZADO  
EN OCTUBRE DE 2014 EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

**MAYOR PRODUCCIÓN DE TOMATE EN AMBIENTES PROTEGIDOS  
POR MAYOR CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA, CO<sub>2</sub> ASIMILADO Y  
TRANSPIRACIÓN**

Gómez Martínez José Rigoberto<sup>1</sup>, Partida Ruvalcaba Leopoldo<sup>2\*</sup>, Vázquez  
Martínez Otilio<sup>3</sup>, Héctor Rodríguez Rodríguez<sup>4</sup>, Velázquez Alcaraz Teresa de  
Jesús<sup>1</sup>, Díaz Valdés Tomás<sup>1</sup>, Héctor Manuel Cárdenas Cota<sup>2</sup>, Antonio Cárdenas  
Flores<sup>2</sup>

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa<sup>1</sup>, km 17.5  
Carretera Culiacán-Eldorado. Apdo. Postal 726, Culiacán, Sinaloa. México.  
Universidad Tecnológica de Culiacán<sup>2</sup>, tel. (667) 7 54 31 91. Universidad  
Autónoma de Aguascalientes<sup>3</sup>. Universidad Autónoma de Tamaulipas<sup>4</sup>. E-mail: \*  
autor para correspondencia [parpolo@yahoo.com.mx](mailto:parpolo@yahoo.com.mx)

## RESUMEN

Esta investigación se hizo con el propósito de revisar la hipótesis de que la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera cuando se le cultiva en condiciones de invernadero, casas sombra y campo abierto, así como para comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas. Con el analizador infrarrojo de gases (IRGA), a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, se midieron la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub> y transpiración en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de casa sombra e invernadero, superaron en 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150%, respectivamente, a los valores estimados en campo abierto. Lo que confirma la hipótesis de que las cuatro variables de estudio se expresan de diferente manera en las tres condiciones de cultivo protegido, y que el rendimiento es mayor en condiciones protegidas.

**Palabras clave:** Invernaderos, Casa Sombra, Campo Abierto.



## ABSTRACT

This research was conducted in order to check the hypothesis that stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration rate and tomato yield per unit area, expressed differently when grown in a greenhouse, shade houses and open field, and to compare stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and yield of tomato in the three aforementioned conditions. With infrared gas analyzer (IRGA), starting at 11:00 AM during sunny days, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation and transpiration in the terminal leaves of the second third of the plants were in full fruit production leaflet were measured, while the yield was determined by the production per plot, without sorting fruit. The experimental design was completely randomized with three replications and useful plots 5.0 m long blocks. The average stomatal conductance, carbon dioxide assimilation, transpiration and yield under shade house and greenhouse, exceeded 88.9 and 213.3, 146.7 and 453.3, 110.9 and 221.9, 96.9 and 150%, respectively, the estimated field values opened. This confirms the hypothesis that the four study variables are expressed differently in the three conditions of protected cultivation.

**Key words:** *Greenhouse, Shade House, Open Field.*

## INTRODUCCIÓN

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha, de las cuales 3,450 se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006); en el año 2009 se estimó una superficie de invernadero de alrededor de 10,000 ha, de las cuales 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades (González, 2009); para el año 2010, México contaba con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, desde el 2001 esta cifra se ha incrementado por arriba de 10,000 ha, de tal forma que el ritmo de crecimiento de la agricultura protegida ha sido de 1,200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos, de donde en el 2010 se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas (Ponce, 2011). No obstante, para el año 2013 se reportaron 21,500 ha en condiciones protegidas que se utilizan para cultivar diversas hortalizas y ornato (AMPHAC, 2013).

Por lo antes mencionado, actualmente continúa la tendencia de producir tomate bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500  $\text{tha}^{-1}$  por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).



La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005); la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima (Pimienta *et al.*, 2006), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993).

Existen plantas que tienen plasticidad fotosintética para asimilar CO<sub>2</sub> durante el día y la noche en el transcurso del año, pero en condiciones de sequía suprimen la asimilación de CO<sub>2</sub> en las fases I, II y IV, debido a que se reduce la conductancia estomática (Patishtán, *et al.*, 2010).

El objetivo de esta investigación fue comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El tomate se estableció en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, en el que las mediciones de conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$  y transpiración se hicieron con el analizador infrarrojo de gases (IRGA) a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los análisis de varianza se hicieron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1985, y la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey (0.05).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se puede observar que los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento del tomate cultivado en invernadero superaron en 49.2, 162.1, 71.3 y 27%, respectivamente, a los promedios que se estimaron en condiciones de casa sombra, cuando la medición se hizo el día 23 de Febrero de 2013.

Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	Bióxido de carbono asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	8.91 b	0.29 b	2.58 b	189 b
Casa sombra	13.29 a	0.76 a	4.42 a	240 a
DMSH	3.52	0.11	0.45	0.78

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Sin embargo, cuando las mediciones se hicieron el 10 de Marzo de 2013, los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, fueron como se indican el Cuadro 2, pero los valores obtenidos en casa sombra e invernadero superaron en los respectivos 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150% al valor estimado en campo abierto.

Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	Bióxido de carbono asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	4.50 c	0.15 c	1.28 c	96.0 c
Casa sombra	8.50 b	0.37 b	2.70 b	189.0 b
Invernadero	14.10 a	0.83 a	4.12 a	240.0 a
DMSH	3.62	0.20	0.56	0.91

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Estos resultados tienen relación con lo reportado en relación a que las plantas que presentan metabolismo C<sub>3</sub>, como la de tomate, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002), y coinciden con lo reportado por Garza y Molina (2008), ya que ellos encontraron que el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento de frutos.



En la Figura 1 se puede notar que, en el rango de 43 a 1305 de RFA, la conductancia estomática del tomate en condiciones de invernadero siempre fue superior a la que se obtuvo en casa sombra y campo abierto, de tal manera que a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dicha conductancia superó en 105.9% a lo calculado en casa sombra, y en 483.3% a lo estimado en campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 81.3 y 723.1%; en tanto que en casa sombra los incrementos fueron de 233.3% a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y de 353.8% a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , comparado a lo que se observó en campo abierto.

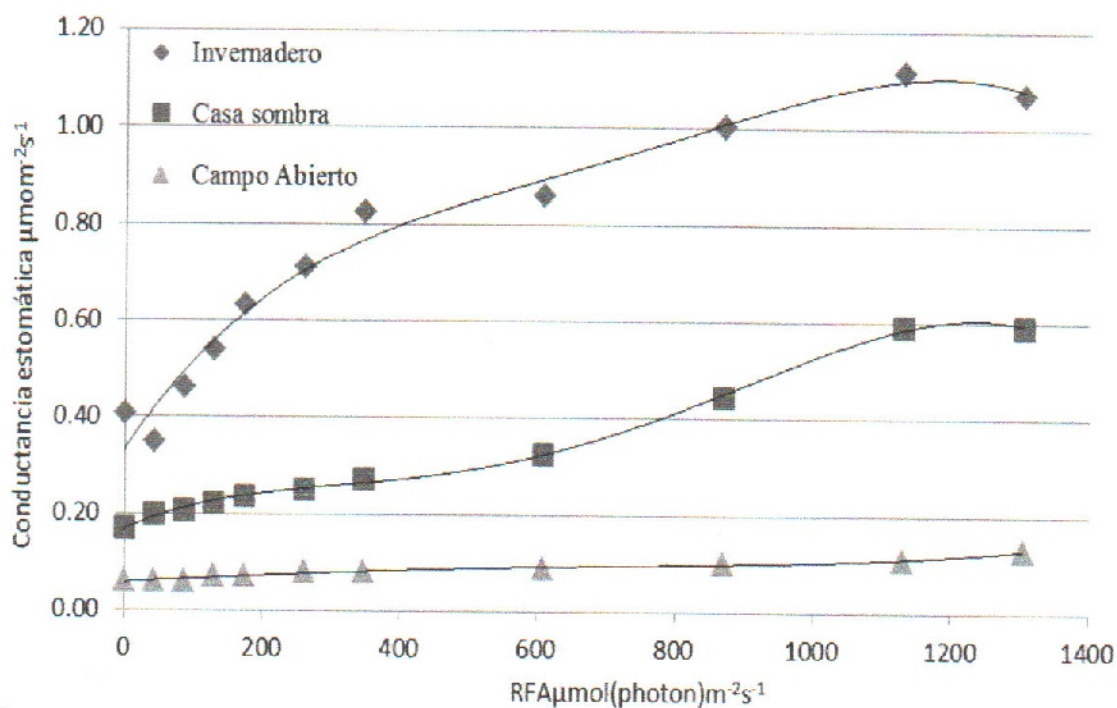


Figura 1. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

En la Figura 2 se puede notar que a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la asimilación de bióxido de carbono del tomate en condiciones de invernadero fue superior en 15.2 y 318%, comparado a lo estimado en casa sombra y campo abierto, respectivamente, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 318 y 387.4%; a su vez, a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los promedios en casa sombra superaron en 113.5% a lo estimado en campo abierto y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en 209%.

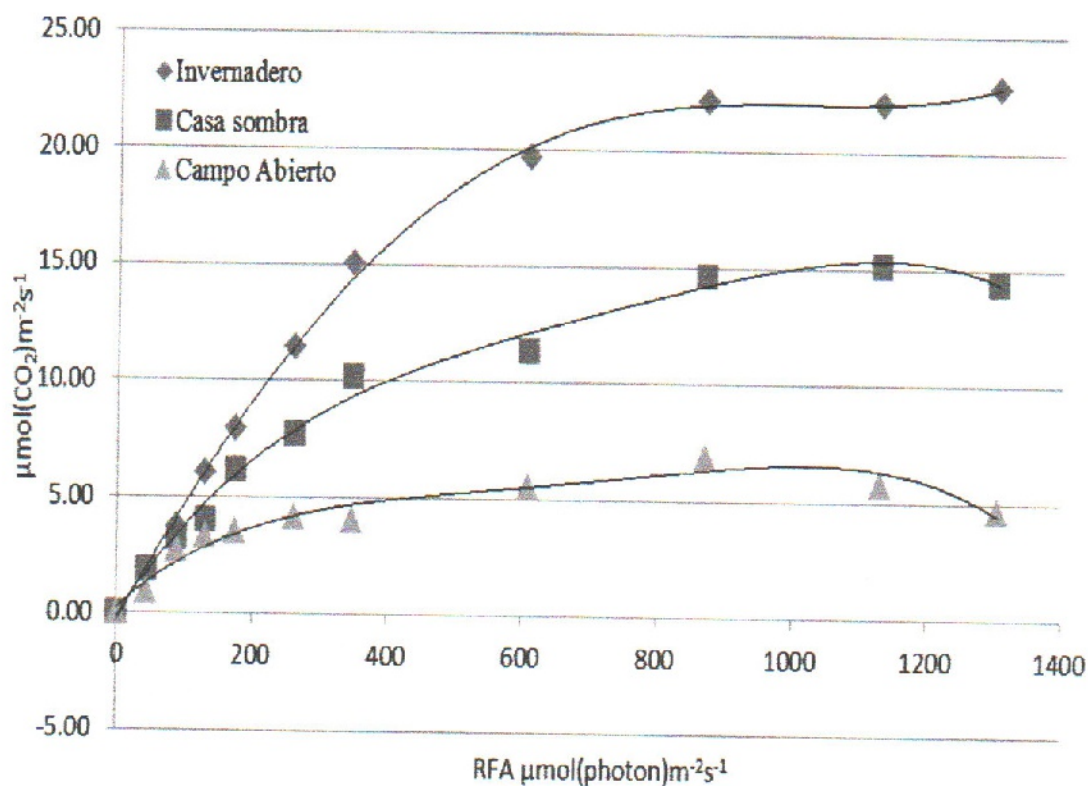


Figura 2. Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.



La tasa de transpiración del tomate en invernadero, en el rango de 43 a 1305 de RFA (Figura 3), siempre superó a la que se estimó en casa sombra y campo abierto, y a su vez, la misma variable en casa sombra siempre estuvo por arriba de la que se determinó en campo abierto. A los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los incrementos en invernadero fueron de 73.3 y 174.8% con respecto a los promedios estimados en casa sombra y campo abierto, respectivamente, mientras que a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los respectivos incrementos fueron de 37.4 y 264.9%; a su vez, a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la transpiración en casa sombra superó en 58.5% a la de campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en 165.5%.

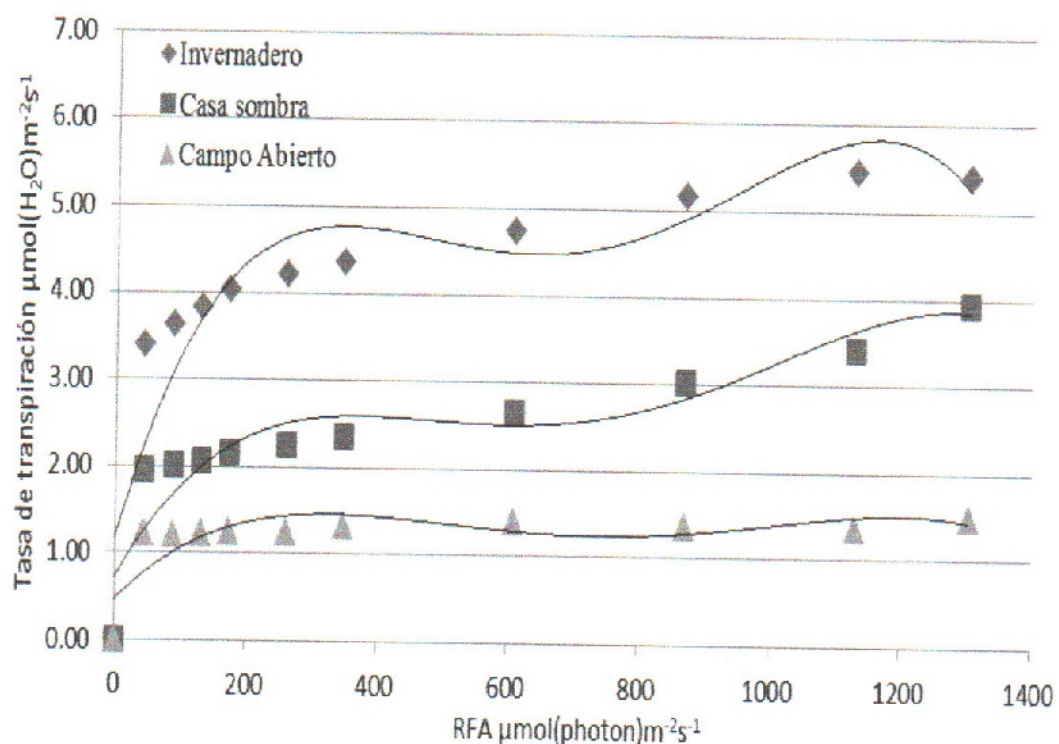


Figura 3. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## CONCLUSIONES

Las condiciones de invernadero fueron las más adecuadas para que el tomate expresara su potencial de intercambio de gases (conductancia estomática), asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento de frutos por unidad de superficie. Sin embargo, las condiciones de casa sombra también fueron mejores que las de campo abierto, lo que a su vez confirma la hipótesis planteada.



## LITERATURA CITADA

- AMHPAC. 2013. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 27 de mayo de 2013.
- Bastide, B., D. Sipes, J. Hann, I. Ting P. 1993 Effects of severe water stress on aspect of crassulacean acid metabolism in *xerosicyos*. *Plant Physiol.* 103:1089-1096.
- Castilla, N. 2003. Estructuras y equipamientos de invernaderos. *In: J. Z. González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6*
- Diccionario Forestal. 2005. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Editorial Mundi Prensa, México, S. A. de C. V., 1317 p.
- Fonseca, A. E. 2006. Producción de tomate en invernadero. *In: Cuarto Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. E. Olivares S. (ed). UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. pp: 1-8.*
- Garza, M. y M. Molina. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. SAGARPA, México, 183 p.
- González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6

- Muñoz R. J. J. 2003. El Cultivo de Tomate en Invernadero. *In*: J. J. Muñoz y J. Z. Castellanos (Eds) Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México pp: 226-262.
- Patishtán, P. J., G. Rodríguez R., G. Zavala F. y C. Jasso D. 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. *Rev. Fototec. Mex.* 33(4): 305-314.
- Pereira N. A. B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. *In*: Wachowicz C. M., Carvalho R. I. N. (eds). Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat. pp: 17-42.
- Pimienta, B. E., J. Hernandez Z. y J. Galindo G. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.
- Ponce, C. P. 2011. Panorama Mexicano: Revisión de Datos de los Invernaderos en México. Consultado el 27 de mayo de 2013 en [www.amci.org.mx/noticia.php?id=76](http://www.amci.org.mx/noticia.php?id=76) (AMHPAC, 2012).



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**

**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



## **TESIS**

**CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA, ASIMILACIÓN DE BIOXIDO  
TRANSPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE  
TOMATE EN TRES AMBIENTES**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:**

**JOSÉ RIGOBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS**

**M. C. OTILIO VAZQUEZ MARTÍNEZ**

**CULIACAN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2015**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**TESIS**

**CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA, ASIMILACIÓN DE  
BIÓXIDO, TRANSPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL  
CULTIVO DE TOMATE EN TRES AMBIENTES**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:**

**JOSÉ RIGOBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS  
M. C. OTILIO VAZQUEZ MARTÍNEZ**

**CULIACÁN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2015**



ESTA TESIS FUE REALIZADA POR JOSÉ RIGOBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ,  
BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA  
SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

**DIRECTOR**



**DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR**

**M. C. OTILIO VÁZQUEZ MARTÍNEZ**

**ASESOR**



**DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS**

**ASESORA**



**DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARÁZ**

**ASESOR**



**DR. FELIPE AYALA TAFOYA**

CULIACÁN, SINALOA, SEPTIEMBRE DE 2015

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

Juana Martínez López y José Ángel Gómez González, quienes tuvieron que sacrificar el poco recurso económico que tenían para apoyarme, lo cual nunca dejaré de agradecerles, ya que por esa decisión yo he llegado a este peldaño de mi vida. Gracias por el regalo máspreciado que es haberme traído al mundo y por todo lo que me han enseñado, porque por el apoyo de ellos soy lo que soy.

### **A mis hermanos**

Por compartir una vida juntos y por todas las alegrías vividas.

### **A mi esposa**

Edith Yazmin Blanco García que nunca ha dejado de estar junto a mí, diciéndome tú puedes. Que gracias a su compañía y apoyo he logrado salir adelante, y con la que he compartido momentos muy hermosos de mi vida.

### **A mi hija**

Por haber sido el motor que me impulsó para seguir adelante, ya que todo lo que hago y lo que me queda por hacer es por ella. Atziri Dayami, eres lo más importante en mi vida, te amo hija.

### **Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba**



Por su amistad incondicional y por lo que me ha enseñado, que ni con todas las palabras del mundo podré agradecerle, que además de ser un gran amigo, lo veo con el respeto y cariño de un padre.

**Al M. C. Felipe Ayala Tafoya**

Que ni con todas las palabras del mundo podré agradecerle todo lo que me ha enseñado, apoyado y orientado en los momentos difíciles, a quien además de ver como un amigo, veo con el respeto y el cariño de un padre.

**A la Dra. Teresa De Jesús Velázquez Alcaráz**

Excelente persona y amiga, nunca terminare de agradecerle sus enseñanzas y su gran apoyo y orientación, es una gran persona que quiero y respeto como a una madre.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de existir y formar parte de una familia maravillosa que me apoya siempre.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), por abrirme sus puertas y ser hoy un espacio en mí formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al M. C. Felipe Ayala Tafuya por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, por sus enseñanzas, consejos y orientación.

Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, por todas sus atenciones y el apoyo brindado durante la maestría.

Al M. C. Otilio Vázquez Martínez. Por facilitarme el IRGA, ya que si ello no habría sido posible realizar las mediciones.

A mis amigos. En especial Jerónimo Mariano Santis López y Leonardo Román Román por los grandes momentos que hemos vivido juntos, no me queda más que agradecerles su compañía, amistad y todo el apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

A toda mi familia, por estar al pendiente de lo que hago y celebrar mis logros.

A todos mis amigos, porque son parte de mí familia.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS-----	I
ÍNDICE DE FIGURAS-----	li
RESUMEN-----	lii
ABSTRACT-----	iv
I. INTRODUCCIÓN-----	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	4
III. HIPÓTESIS -----	4
IV. OBJETIVOS -----	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	6
VI. MATERIALES Y MÉTODOS -----	18
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	20
VIII. CONCLUSIONES -----	25
IX. LITERATURA CITADA -----	26
X. APÉNDICE -----	32

## ABSTRACT

This research was conducted in order to check the hypothesis that stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration rate and tomato yield per unit area, expressed differently when grown in a greenhouse, shade houses and open field, and to compare stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and yield of tomato in the three aforementioned conditions. With infrared gas analyzer (IRGA), starting at 11:00 AM during sunny days, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation and transpiration in the terminal leaves of the second third of the plants were in full fruit production leaflet were measured, while the yield was determined by the production per plot, without sorting fruit. The experimental design was completely randomized with three replications and useful plots 5.0 m long blocks. The average stomatal conductance, carbon dioxide assimilation, transpiration and yield under shade house and greenhouse, exceeded 88.9 and 213.3, 146.7 and 453.3, 110.9 and 221.9, 96.9 and 150%, respectively, the estimated field values opened. This confirms the hypothesis that the four study variables are expressed differently in the three conditions of cultivation.

**Keywords:** greenhouse, shade house, open field.



## RESUMEN

Esta investigación se hizo con el propósito de revisar la hipótesis de que la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera cuando se le cultiva en condiciones de invernadero, casas sombra y campo abierto, así como para comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas. Con el analizador infrarrojo de gases (IRGA), a partir de las 11:00 a.m. durante días soleados, se midieron la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub> y transpiración en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de casa sombra e invernadero, superaron en 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150%, respectivamente, a los valores estimados en campo abierto. Lo que confirma la hipótesis de que las cuatro variables de estudio se expresan de diferente manera en las tres condiciones de cultivo, y que el rendimiento es mayor en condiciones protegidas.

**Palabras clave:** invernaderos, casa sombra, campo abierto.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. El 86 % de unidades de superficie protegida en México con menos de 0.5 hectáreas -----	11
Figura 2. Sinaloa concentra la mayor superficie de cultivos protegidos (30 %) en México -----	12
Figura 3. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	22
Figura 4. Tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	23
Figura 5. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero -----	24



## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013) -----	20
Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013) -----	21

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la tendencia para producir tomate es cultivar a éste bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500 t ha<sup>-1</sup> por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).

Durante el año 1999, en México se contó con 600 ha de cultivo protegido para diversas hortalizas y ornato, incluidos en esta cifra los invernaderos, casas sombra y macrotúneles (AMPHAC, 2013).

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha y presentó una tasa de crecimiento anual de 25%; de esta superficie, 3,450 ha se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006).

Sin embargo, en el año 2009 se estimó una superficie de invernadero de alrededor de 10,000 ha, de las cuales el 60% fueron de plástico, 34% fueron casa sombra y 4% fueron invernaderos de vidrio. Del total de superficie de invernadero, el 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades, seguido por el pepino y chile bell (González, 2009).



Para el año 2010, México ya contaba con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, desde el 2001 esta cifra se ha incrementado por arriba de 10,000 ha, de tal forma que el ritmo de crecimiento de la agricultura protegida ha sido de 1,200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos, de donde en el 2010 se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas (Ponce, 2011).

Mientras que para el año 2013 se reportaron 21,500 ha que se utilizaron para cultivar diversas hortalizas y plantas ornato, de las cuales, poco más de 12,000 son de invernadero y el resto de mallas sombra y macrotúnel (AMPHAC, 2013).

El estado de Sinaloa es pionero en la industria de la agricultura protegida, ya que fue durante la última década de siglo XX cuando en esta entidad dicha industria se inició de manera comercial, y a la fecha ha crecido de manera exponencial, de tal manera que hasta el año 2013 en Sinaloa se contó con 4,021 ha de agricultura protegida con invernaderos y casas sombra (AMPHAC, 2013), y hasta la fecha se tienen registradas 4743.7 ha (AMPHAC, 2014).

La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993) y la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima durante el periodo

de sequía (Pimienta *et al.*, 2006).



## **II. PROBLEMA**

Cada año la superficie de cultivo protegida con invernadero y casa sombra está cambiando en Sinaloa, por lo que es necesario actualizar la información durante periodos cortos. Condiciones en las que se sabe que el tomate produce más frutos, pero es necesario precisar y comparar la intensidad de aspectos como la conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , tasa de transpiración y rendimiento por unidad de superficie, que ocurren en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## **III. HIPÓTESIS**

La superficie de cultivo protegida con invernadero y casa sombra ha cambiado con respecto a la que actualmente aparece reportada por diferentes autores; condiciones de cultivo en las que la conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera en relación a lo que se obtiene cuando el tomate es cultivado en campo abierto, pero es en el invernadero donde la expresión de las variables referidas es mayor.

## **IV. OBJETIVO**

Actualizar la superficie de cultivo del tomate en condiciones de invernadero y casa sombra y comparar la conductancia estomática, la asimilación de bióxido de

carbono, la transpiración y el rendimiento del tomate que se da en campo abierto con respecto a las de casa sombra e invernadero.



## V. REVISIÓN DE LITERATURA

A nivel mundial existen casi cuatro millones de hectáreas sembradas con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), lo que representó una producción de 108.5 millones de kilogramos (FAO, 2002), pero hasta el año 2012 esta producción se incrementó hasta 211 millones de toneladas (Hortoinfo, 2014).

En los últimos años han mejorado las técnicas de cultivo al usar estructuras de protección con malla antiinsectos, con la ventaja de que disminuyen el uso de insecticidas y pueden incorporar el uso de abejorros para la polinización del tomate, logrando un producto de mejor calidad. Möller *et al.* (2004) indican que los cultivos protegidos reducen la frecuencia de uso de pesticidas, aunque en casos de cultivos protegidos en zonas tropicales las condiciones microclimáticas del invernadero pueden ser menos favorables que al aire libre (Harmanto *et al.*, 2006)

Para las estructuras con malla antiinsectos, Romero *et al.* (2010) indican que su diseño debe considerar un equilibrio entre una buena ventilación y la protección del cultivo, dependiendo del enfriamiento deseado y la susceptibilidad del cultivo a los insectos. Diversos autores indican que temperaturas medias entre 21-27 °C (Baki y Stommel, 1995; Sato *et al.*, 2000) y humedad relativa en torno al 60% (Peet *et al.*, 2003) son óptimas para el cultivo de tomate. Un exceso de temperaturas induce al cierre de estomas y reduce la transpiración y fotosíntesis, en consecuencia, se reduce la tasa de transporte por el xilema y la producción de

biomasa (Adams y Ho, 1993), que puede implicar una reducción de la producción o calidad del fruto.

La agricultura como toda actividad humana implica la explotación del medio natural. En concreto, la agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, para lo cual se recurre a una serie de técnicas con el objetivo de forzar la producción. Un ejemplo de este tipo de producción lo tenemos en el cultivo bajo invernadero. Éste se orienta a obtener el más alto rendimiento, a costa de aislarlo de las condiciones naturales mediante el forzado del cultivo a través de técnicas de climatización (calefacción, humidificación, iluminación, etc.) y técnicas culturales (fertirrigación, sustratos, etc.) para rentabilizar al máximo la ocupación del terreno. Esta rentabilización implica una mejora en la utilización de los recursos naturales, agua y suelo (Antón, 2004). En México, la producción de hortalizas bajo invernadero se ha incrementado significativamente durante los últimos años (López *et al.*, 2011).

La superficie mundial cubierta por algún tipo de protección varía entre cuatro y cinco millones de hectáreas. Dejando de lado protecciones de tipo acolchado, cubiertas y túneles bajos, y centrándose en invernaderos de plástico más o menos tecnificados, a nivel mundial, la superficie supera las 458,000 ha, concentrándose las mayores superficies en China (200,000 ha) y Corea (27,000 ha), seguido de la cuenca mediterránea (Pérez *et al.*, 2002).



La implementación de la producción hortícola en invernadero disminuye el riesgo de la producción, incrementa la rentabilidad del sector productivo; además de que genera fuente de trabajo, disminuye la contaminación ambiental y los daños a la salud (Grijalva y Robles, 2003).

En Arica, Chile, ubicada en el extremo norte y al límite con Perú, el clima es la principal ventaja de los productores de hortalizas al aire libre para consumo en fresco durante todo el año. Sin embargo, dada su ubicación, distante a 2,000 km de los grandes centros urbanos de Chile, la producción se concentra en hortalizas de alto valor como el tomate y pimiento. La superficie total cultivada con hortalizas es de 2,877 ha, de las cuales 2,853 están al aire libre y 24 bajo invernadero (INE, 2008). De éstas, la superficie cultivada con tomate, tanto al aire libre como en invernadero, alcanza a 840 ha Pilar *et al.*, (2010).

En la actualidad se encuentran, en los principales mercados, productos hortícolas frescos procedentes de España durante todo el año, a lo que contribuyen de forma decisiva las producciones bajo invernadero (Fernández *et al.*, 2006), de las cuales la mayor superficie de cultivo con hortalizas en condiciones protegidas se encuentra en Andalucía, seguida de R. Murcia, Extremadura, Canarias, C. Valencia y Galicia, con 56,580, 5,765, 4,300, 3,179, 2,777 y 2,555 ha, respectivamente, aunque en total se siembran 78,407 (Melián *et al.*, 2008).

Al cultivar tomate cherry en invernadero multitunel de alta tecnología y en un invernadero de baja tecnología cubierto con malla antiinsectos, en el Valle de

Azapa, al extremo norte de Chile, no se observó diferencia en la producción total. Sin embargo, los sólidos solubles, el porcentaje de materia seca de los frutos y la cantidad de estos últimos, aunque de menor tamaño, aumentaron en el invernadero de baja tecnología (Mazuela *et al.*, 2010).

Aunque la industria de los invernaderos nació y se desarrolló en Europa, para principios de los 80 empezó a tomar impulso en América, especialmente en Canadá y algunas regiones de Estados Unidos. En México, aunque desde los 70 nacen en el altiplano, con flores (sobre todo en los estados de Ciudad de México y de Morelos), es a finales de los 90 cuando comienzan a desarrollarse en forma importante en la producción intensiva de hortalizas, pasando de 1998 al 2006 (tan solo ocho años) de 600 a más de 6,500 ha (Garza y Molina, 2008).

La cubierta predominante en la agricultura protegida en México, con 47% es la de plástico, 50% de malla sombra, vidrio 2% y 1% de otro tipo de material, tipo de agricultura en la que el tomate ocupa el 70% del volumen producido en invernadero, el pepino 10%, el pimiento 5% y otros cultivos concentran un 15% (Destenave, 2007).

Actualmente la tendencia para producir tomate es cultivar a éste bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500 t ha<sup>-1</sup> por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).



La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha y presentó una tasa de crecimiento anual de 25%; de esta superficie 3,450 ha se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006). No obstante, para el año 2006 esta superficie se incrementó por arriba de las 6,500 hectáreas, tiempo en el que Sonora ocupó el tercer lugar con 707 hectáreas construidas y 180 por construir, siendo superado solo por Sinaloa, Baja California y Jalisco (Garza y Molina, 2008)

Para el año 2009 se estimó una superficie cubierta con invernadero en cerca de 10,000 ha, de las cuales el 60% fueron de plástico, 34% fueron casa sombra y 4% fueron invernaderos de vidrio. Del total de superficie de invernadero, el 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades, seguido por el pepino y chile bell (González, 2009).

Durante el año 2010, México contó con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, el ritmo de crecimiento de este tipo de agricultura ha sido de 1200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos; sin embargo, con ambas condiciones de cultivo se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas, en el año 2010. En la Figura 1 se puede notar que las superficies pequeñas en condiciones de casa sombra o invernadero predominaron sobre las de mayor tamaño (Ponce, 2011).

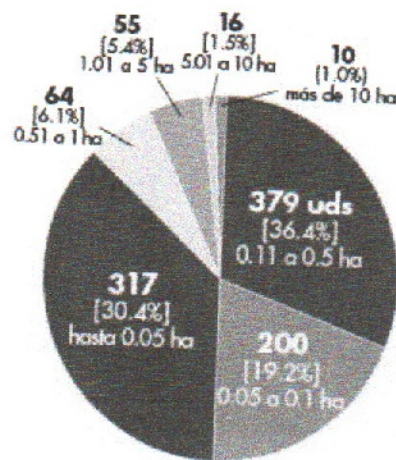


Figura 1. 86% de uds. de superficie protegida en México tienen menos de 0.5 ha.

Sin embargo, para el año 2013 se reportaron 21,500 ha que se utilizaron para cultivar diversas hortalizas y ornato, de las cuales, poco más de 12,000 son de invernadero y el resto de mallas sombra y macrotúnel (AMPHAC, 2013).

El estado de Sinaloa es pionero en la industria de la agricultura protegida, ya que fue durante la última década de siglo XX cuando en esta entidad dicha industria se inició de manera comercial, y a la fecha ha crecido de manera exponencial, de tal manera que hasta el año 2013 Sinaloa contó con 4,021 ha de agricultura protegida con invernaderos y casas sombra (AMPHAC, 2013), y hasta la fecha se tienen registradas 4743.7 ha (AMPHAC, 2014).

Cuatro estados concentran la mayor superficie de cultivo en invernadero (Figura 2), Sinaloa (30%), Baja California (16%), Estado de México (12%) y Jalisco (7%). Estas entidades aportan más del 50% de la producción total en condiciones de cultivos protegidos. En donde el tomate roma, bola y cherry son los tipos



principales (70%), seguido de pimiento (en todos sus colores), pepino (europeo y americano), berenjena y chile picoso (Ponce, 2011).

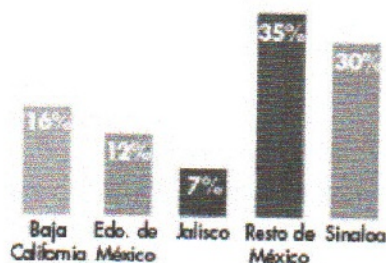


Figura 2. Sinaloa concentra la mayor superficie de cultivos protegidos (30%) en México.

El 60% de la producción en invernadero se exporta y el 70% de dicho volumen de exportación corresponde a tomate.

Los proyectos de alto valor (5%) están en Jalisco y Sonora. Le siguen invernaderos de mediano costo (25%) en el Bajío, y de bajo costo (70%) ubicados principalmente en los estados de Baja California y Sinaloa. Este último estado es el de mayor crecimiento, con 3366 ha. Le siguen Jalisco con más de 2000 ha, Guanajuato con cerca de 2000 y Michoacán que cuenta con 1200 ha de macrotúneles (Ponce, 2011).

De acuerdo con el autor del acápite anterior, los invernaderos se pueden clasificar en:

1. De baja tecnología, aquel que tiene un costo promedio de \$70 pesos  $m^{-2}$ , compuesto de elementos sencillos o que responde a una casa sombra.

2. De tecnología media, aquel que tiene un costo de \$250 pesos  $m^{-2}$ , y en muchos casos es de estructura parcialmente automatizada.
3. De alta tecnología, aquel que tiene un costo de \$1,500 pesos  $m^{-2}$  y está totalmente automatizado.

Los siguientes aspectos que se mencionan son parte de los resultados que Ponce (2011) menciona en sus publicaciones:

El precio del proyecto ofertado está ligado al nivel de tecnología incorporado en el invernadero. Partiendo de un precio base, el invernadero se irá encareciendo a medida que se incorporen sistemas, tales como calefacción, humidificación, control de clima, etc.

En condiciones de casa sombra se producen unas  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de tomate; mientras que en invernadero con tecnología media y mejor sustrato, pueden obtenerse  $350 \text{ t ha}^{-1}$ ; y en uno de alta tecnología más de  $500 \text{ t ha}^{-1}$ .

Más del 50% de estructuras comerciales son casas sombra, según indican los comercializadores de invernadero en México, quienes agregan que de las 6,500 ha de operaciones comerciales, el 48% corresponden a invernaderos de plástico y únicamente el 1% son estructuras de vidrio. Para dichos empresarios, México es un mercado atractivo que se encuentra en proceso de expansión y transición hacia estas nuevas tecnologías, pero además, en sus proyecciones indican que es un mercado que seguirá creciendo hacia el 2015 a un ritmo de 1500 ha por año.



El 76% de los productores de invernadero no invierte en asesoría técnica, por considerarlo innecesario o porque no confía en los asesores. Por otra parte, México no cuenta con suficiente personal técnico capacitado para la producción en invernaderos, y la mayoría de productores con espacio productivo, inferior a 5 ha, no cuenta con recursos suficientes para pagar el salario de un buen técnico.

El índice de abandono es nulo en regiones vinculadas al mercado de exportación. Tal es el caso de Sinaloa, Jalisco, Michoacán o Guanajuato. Además, existen desarrollos locales en la región sur-sureste de México, donde el crecimiento es a menor ritmo, pero interesante. Por otra parte, un estudio de AMHPAC indica que algunas entidades registraron hasta 40% de abandono del total de extensión. Las razones del abandono están en la falta de integración, en que algunos productores se aventuran sin el cumplimiento de ciertas condiciones de inversión, el estar en la escala incorrecta, desequilibrios comerciales y falta de competitividad.

El perfil de los agricultores del centro de México es interesante. En general, dicho perfil está formado por profesionales jóvenes, bien preparados académicamente, con un nivel de estudios de alrededor de 15 años y una gran disposición a innovar.

El costo de instalación se basa directamente en la producción. Por ejemplo, un buen agricultor de Sinaloa produce 75 t de tomate a campo abierto, mientras que un buen agricultor bajo invernadero podría producir 600 t. Esto significa que si lo que queremos es producir, el costo no tiene tanto valor.

Los costos oscilan de 30 a 1000 pesos m<sup>-2</sup>, dependiendo del grado de tecnología que tenga el invernadero, o sea, que el costo de producción tiene que ver con la tecnología que se utilice. Los costos más altos en México son los de mano de obra (20-40%) seguidos por los de empaques (12%) y gastos de comercialización (6%).

Se recomienda diversificar la producción de invernadero y otras estructuras protegidas. La mayoría de los productores centra su interés en la producción de tomate, pero existen grandes oportunidades de negocio en la producción de lechuga, pepino, calabacita, berenjena, chile, pimiento, ejotes, melón y frutillas rojas (zarzamoras, cerezas, fresas, frambuesas).

Por ejemplo, Yucatán debería especializarse en la producción de chile habanero, porque ya tienen el cultivo, la experiencia y el valor agregado; lo único que tienen que hacer es producirlo y empaquetarlo para su exportación.

Calidad y eficiencia de producción son claves en la comercialización de productos de invernadero. Se recomienda dar un valor agregado a lo que se produce: limpiar, lavar, incluso procesar el producto. Otros aspectos fundamentales para el posicionamiento de la producción agrícola mexicana son contar con una marca y un empaque, así como buscar la certificación de los productos, lo cual genera mayor confianza y certeza entre los consumidores.

Asociarse en organizaciones productivas es fundamental para los productores mexicanos, ya que el 80% cuenta con sólo una hectárea o menos para producir.



La asociación les permitiría unir esfuerzos e invertir en investigación para poder crecer.

A través del tiempo se podrían contar con hasta 29,821 ha con cultivos protegidos en México, según estima la Asociación Mexicana de Constructores de Invernadero (AMCI). Para ello se precisan programas de incentivos que consoliden el uso de los invernaderos entre los productores.

La tasa fotosintética está directamente relacionada con la radiación fotosintéticamente activa (composición de la luz), a los factores de disponibilidad del agua y al intercambio de los gases (Naves *et al.*, 2000).

En plantas que presentan metabolismo  $C_3$  o  $C_4$ , el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el  $CO_2$  para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002).

La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993) y la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima durante el periodo de sequía (Pimienta *et al.*, 2006).

Existen plantas, como la sábila (*Aloe vera*) que presentan la plasticidad fotosintética de asimilar CO<sub>2</sub> en el día y en la noche en el transcurso del año, pero en condiciones de sequía suprimen la asimilación de CO<sub>2</sub> en las fases I, II y IV, debido a que se reduce la conductancia estomática (Patishtán, *et al.*, 2010).

En la vegetación, el estrés hídrico provoca un cierre estomático y, por lo tanto, una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal (Sepulcre *et al.*, 2006).



## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el estado de Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2011-2012, mediante visitas y entrevistas a los productores de hortalizas en condiciones protegidas y en campo abierto, a los que se les planteó un cuestionario acerca de la superficie que cultiva con tomate en invernadero o casa sombra. La información recabada fue complementada con las estadísticas obtenidas de publicaciones impresas o en internet.

### **Datos que se recabaron a través del formato que se utilizó para la encuesta:**

Fecha:

Nombre de la empresa

Cantidad de hectáreas en casa sombra

Cantidad de hectáreas en invernadero

Hortalizas que cultiva en casa sombra e invernadero

Tiempo de estar usando casa sombra e invernadero

Producción por hectárea en casa sombra

Producción por hectárea en invernadero

Producción por hectárea en campo abierto

Las deducciones se obtuvieron a través del análisis de las estadísticas publicadas y los datos directamente recabados en campo, de tal manera que con ello se determinó con más precisión el aumento de la superficie que se cultiva en

condiciones protegidas y en campo abierto; asimismo, el crecimiento anual que va teniendo el cultivo de tomate en invernadero o casa sombra en la entidad.

El tomate se estableció en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, en el que las mediciones se hicieron con el IRGA a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos.

Los datos recabados acerca de la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se sometieron al análisis de varianza con el programa SAS Institute (1985), y la comparación múltiple de medias se llevó a cabo con la prueba de Tukey con  $\alpha \leq 0.05$ .



## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se puede observar que los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento del tomate cultivado en invernadero superaron en 49.2, 162.1, 71.3 y 27%, respectivamente, a los promedios que se estimaron en condiciones de casa sombra, cuando la medición se hizo el día 23 de Febrero de 2013.

Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	CO <sub>2</sub> asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	8.91 b	0.29 b	2.58 b	189 b
Casa sombra	13.29 a	0.76 a	4.42 a	240 a
DMSH	3.52	0.11	0.45	0.78

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Sin embargo, cuando las mediciones se hicieron el 10 de Marzo de 2013, los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, fueron como se indican el Cuadro 2, pero los valores obtenidos en casa sombra e invernadero superaron en los respectivos 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150% al valor estimado en campo abierto.

Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	CO <sub>2</sub> asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	4.50 c	0.15 c	1.28 c	96.0 c
Casa sombra	8.50 b	0.37 b	2.70 b	189.0 b
Invernadero	14.10 a	0.83 a	4.12 a	240.0 a
DMSH	3.62	0.20	0.56	0.91

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Estos resultados tienen relación con lo reportado en cuanto a que las plantas que presentan metabolismo C<sub>3</sub>, como la de tomate, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta captura el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002), y coinciden con lo reportado por Garza y Molina (2008), ya que ellos encontraron que el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento de frutos.

En la Figura 3 se puede notar que, en el rango de 43 a 1305 de RFA, la conductancia estomática del tomate en condiciones de invernadero siempre fue superior a la que se obtuvo en casa sombra y campo abierto, de tal manera que a



los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dicha conductancia superó en 105.9% a lo calculado en casa sombra, y en 483.3% a lo estimado en campo abierto, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 81.3 y 723.1%; en tanto que en casa sombra los incrementos fueron de 233.3% a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y de 353.8% a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , comparado a lo que se observó en campo abierto.

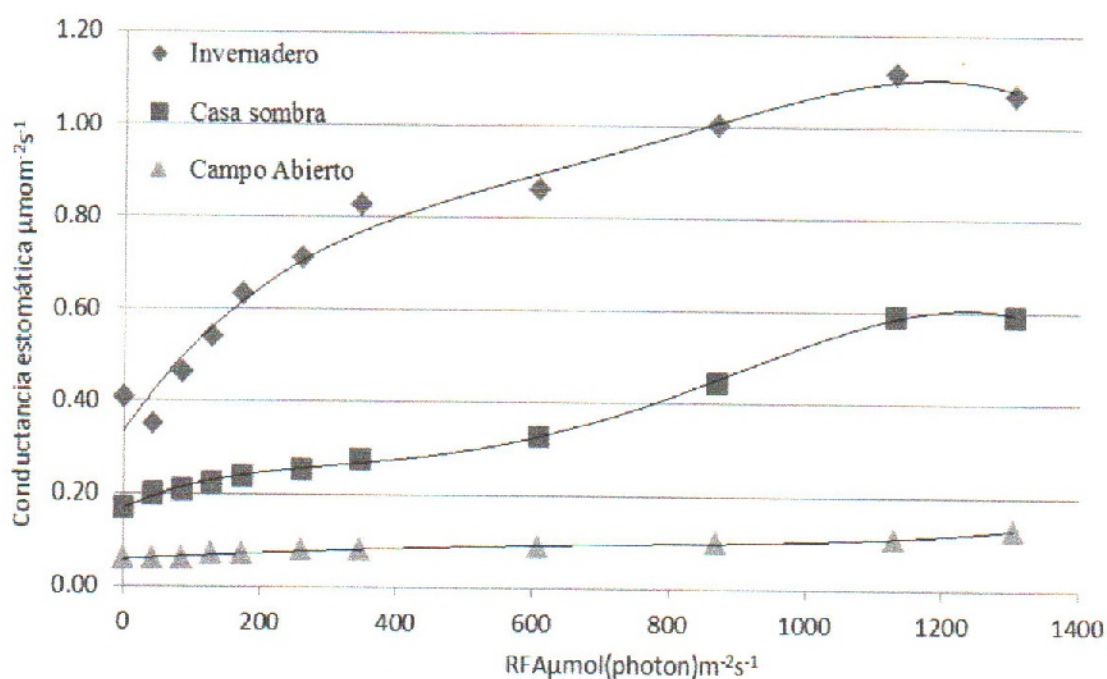


Figura 3. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

A los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en condiciones de invernadero, la asimilación de bióxido de carbono del tomate (Figura 4) superó en 15.2 y 318% a lo estimado en casa sombra y campo abierto, respectivamente, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los correspondientes 318 y 387.4%; a su vez, a los 43

$\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los promedios en casa sombra superaron en 113.5% a lo estimado en campo abierto y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  el incremento fue de 209%.

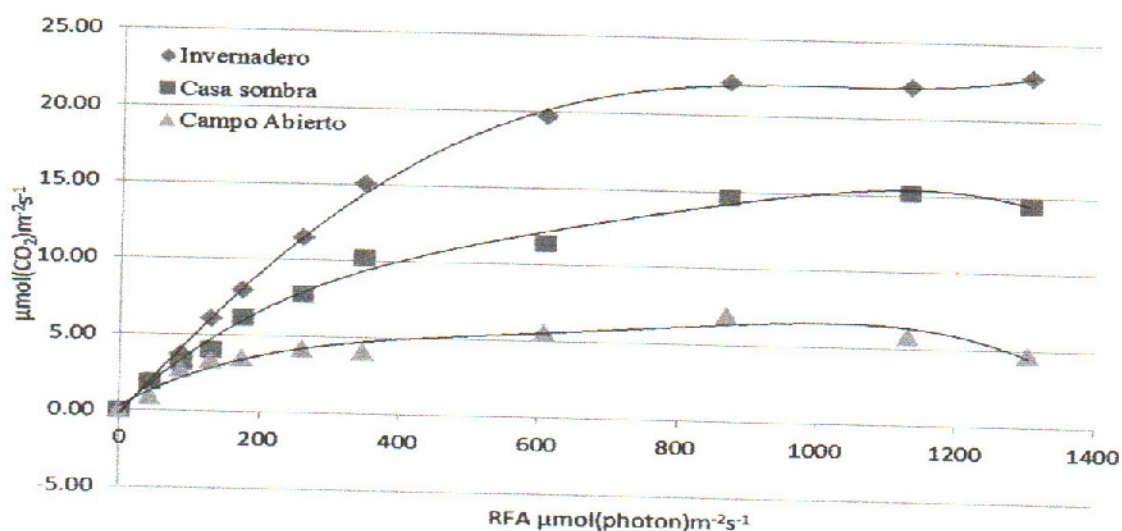


Figura 4. Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

La tasa de transpiración del tomate en invernadero, en el rango de 43 a 1305 de RFA (Figura 5), siempre superó a la que se estimó en casa sombra y campo abierto, y a su vez, la misma variable en casa sombra siempre estuvo por arriba de la que se determinó en campo abierto. A los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los incrementos en invernadero fueron de 73.3 y 174.8% con respecto a los promedios estimados en casa sombra y campo abierto, respectivamente, mientras que a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los respectivos incrementos llegaron a ser de 37.4 y 264.9%; a su vez, a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la transpiración en casa



sombra superó en 58.5% a la de campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en 165.5%.

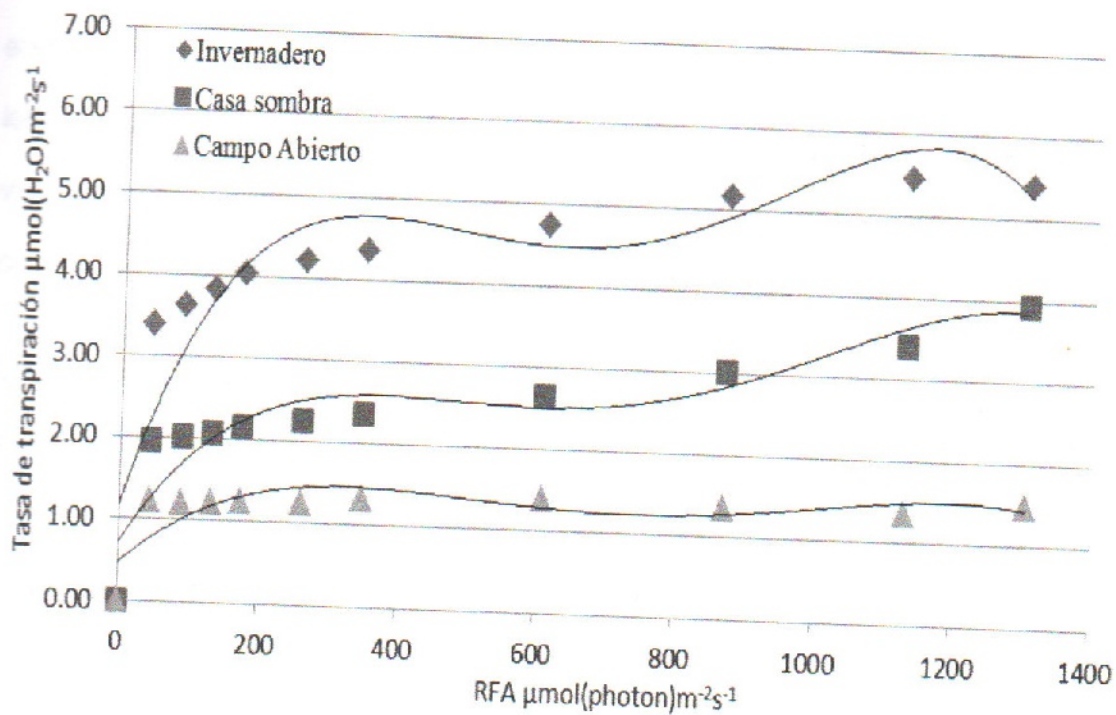


Figura 5. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## VIII. CONCLUSIONES

La superficie de cultivo en condiciones protegidas con invernaderos y casas sombra, actualmente está muy por arriba con respecto a la que se registró hasta los años 2009 y 2010, y se advierte que a través del tiempo irá en aumento, toda vez que el rendimiento de tomate por hectárea es muy superior a lo que se logra cuando se le cultiva en condiciones de campo a cielo abierto.

Las mayores tasas de conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$ , transpiración y rendimiento de frutos por unidad de superficie del tomate se lograron bajo invernadero, pero también en las áreas protegidas con casas sombra las cuatro variables referidas se expresaron más que en las condiciones de campo abierto.



## IX. LITERATURA CITADA

- 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 Soil*, 154: 127-132.
- AMHPAC. 2013. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 27 de mayo de 2013.
- AMHPAC. 2014. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 18 de agosto de 2013.
- Antón, M. A. 2004 Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Programas d'Enginyeria Ambiental. Barcelona, España.
- Baki, A. A. A., Stommel J. R. 1995. Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum and high temperature regimes. *HortScience* 30, 115-117.

- Bastide, B., Sipes D., Hann J., Ting I. P. 1993 Effects of severe water stress on aspect of crassulacean acid metabolism in *xerosicyos*. *Plant Physiol.* 103:1089-1096.
- Castilla, N. 2003. Estructuras y equipamientos de invernaderos. *In*: J. Z. Castellanos y J. J. Muñoz-Ramos (Eds) Memoria del Curso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. INIFAP. México. pp: 1-11.
- Destenave, J. C. 2007 La producción de cultivos en invernaderos la mejor alternativa para invertir en México. *El Campo Avanza. Órgano Informativo de la Secretaría de Fomento Agropecuario.* 2: 9.
- Diccionario Forestal. 2005. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Editorial Mundi Prensa, México, S. A. de C. V., 1317 p.
- FAO (FAOSTAT, Agricultural data Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. <http://apps.fao.org/page/collectios?subset=agriculture>. Consultado el 08 de Agosto de 2014.
- Fernández, Z. M. A., Pérez A. y Caballero P. 2006. Costes de tecnología en invernaderos de pimiento. *Horticultura Internacional*, 1-26.
- Fonseca, A. E. 2006. Producción de tomate en invernadero. *In*: Cuarto Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. E. Olivares S. (ed). UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. pp: 1-8.



- Garza, M. y Molina M. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. SAGARPA, México, 183 p.
- González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6
- Grijalva, R. L. y Robles F. 2003. Avances en la producción de hortalizas en invernaderos. Publicación Técnica No. 7. INIFAP-CIRNO-CECAB. Caborca, Sonora, México. pp: 14-18.
- Harmanto, T. H. J. and Salonke V. M. 2006. Microclimate and air exchange rates in greenhouses covered with different nets in the humid tropics. Biosyst. Eng. 94: 239-253.
- Hortoinfo. 2014. Más de 211 millones de toneladas de tomate se producen en el mundo. [www.hortinfo.es/index.php/noticias/3084-tomate-mundo-100314](http://www.hortinfo.es/index.php/noticias/3084-tomate-mundo-100314). 27 July 2014. Consultado el 14 de Agosto de 2014.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2008. VII Censo Agropecuario. Santiago, Chile.
- López, E. J., Rodríguez J. C., Huez L. M. A., Garzo O. S., Jiménez L. J. y Leyva E. E. 2011. Production and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse conditions using two pruning systems. IDESIA, Chile, 29(2): 21-27.

- Mazuela P., Acuña L., Alvarez M. y Fuentes A. 2010. producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. IDESIA, Chile, 28(2): 97-100.
- Melián, N. M. A., Ruiz C. A. y Abadía S. R. 2008. La horticultura de invernadero en España. Horticultura Internacional, pp: 1-20.
- Möller, M., Tanny J., Li Y. and Cohen S. 2004. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof greenhouse. Agric. Forest Meteorol. 127, 35-51.
- Muñoz R. J. J. 2003. El Cultivo de Tomate en Invernadero. In: J. J. Muñoz y J. Z. Castellanos (Eds) Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México pp: 226-262.
- Naves, B. C. C. et al. 2000. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. Rev. Bras. Fisiol. Veg. 12(1): 119-134. 2000.
- Patishtán, P. J., Rodríguez G. R., Zavala G. F. y Jasso C. D. 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. Rev. Fototec. Mex. 33(4): 305-314.
- Peet, M., Sato S., Clémente C. and Pressman E. 2003. Heat stress increases sensitivity of pollen, fruit and seed production in tomatoes (*Lycopersicon*



*esculentum* Mill.) to non-optimal vapour pressure deficits. *Acta Hortic.* 618: 209-215.

Pereira N. A. B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. *In:* Wachowicz C. M., Carvalho R. I. N. (eds). *Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita*. Curitiba: Champagnat. pp: 17-42.

Pérez, P. J. Lopez H. J. C. y Fernández F. M. D. 2002. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción de la horticultura almeriense. *In:* la Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI. García Álvarez-Coque J. M. (ed). Almería, España. 210 p.

Pilar, M., Acuña L., Álvarez M. y Fuentes A. 2010. Producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. *IDESIA (Chile)* 28 (2): 97-100.

Pimienta, B. E., Hernandez J. Z. y Galindo J. G. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.

Ponce, C. P. 2011. Panorama Mexicano: Revision de Datos de los Invernaderos en Mexico. Consultado el 27 de mayo de 2013 en [www.amci.org.mx/noticia.php?id=76](http://www.amci.org.mx/noticia.php?id=76) (AMHPAC, 2012).

Romero G. P., Choi C. Y. and López C. I. 2010. Enhancement of the greenhouse air ventilation rate under climate conditions of central México. *Agrociencia* 44: 1-15.

Sato, S., Peet M. and Thomas J. F. 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant Cell Environ*, 23: 719-726.

Sepulcre, C. G., Zarco T. P., Jiménez M. J., Sobrino J. and De Miguel E. *et al.* (2006) Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural And Forest Meteorology*, 136: 44.



**ARTÍCULO CIENTÍFICO PUBLICADO EN MEMORIA DEL XVII  
CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, REALIZADO  
EN OCTUBRE DE 2014 EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

**MAYOR PRODUCCIÓN DE TOMATE EN AMBIENTES PROTEGIDOS  
POR MAYOR CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA, CO<sub>2</sub> ASIMILADO Y  
TRANSPIRACIÓN**

Gómez Martínez José Rigoberto<sup>1</sup>, Partida Ruvalcaba Leopoldo<sup>2\*</sup>, Vázquez  
Martínez Otilio<sup>3</sup>, Héctor Rodríguez Rodríguez<sup>4</sup>, Velázquez Alcaraz Teresa de  
Jesús<sup>1</sup>, Díaz Valdés Tomás<sup>1</sup>, Héctor Manuel Cárdenas Cota<sup>2</sup>, Antonio Cárdenas  
Flores<sup>2</sup>

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa<sup>1</sup>, km 17.5  
Carretera Culiacán-Eldorado. Apdo. Postal 726, Culiacán, Sinaloa. México.  
Universidad Tecnológica de Culiacán<sup>2</sup>, tel. (667) 7 54 31 91. Universidad  
Autónoma de Aguascalientes<sup>3</sup>. Universidad Autónoma de Tamaulipas<sup>4</sup>. E-mail: \*  
autor para correspondencia [parpolo@yahoo.com.mx](mailto:parpolo@yahoo.com.mx)

## RESUMEN

Esta investigación se hizo con el propósito de revisar la hipótesis de que la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento del tomate por unidad de superficie, se expresan de diferente manera cuando se le cultiva en condiciones de invernadero, casas sombra y campo abierto, así como para comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas. Con el analizador infrarrojo de gases (IRGA), a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, se midieron la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub> y transpiración en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de casa sombra e invernadero, superaron en 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150%, respectivamente, a los valores estimados en campo abierto. Lo que confirma la hipótesis de que las cuatro variables de estudio se expresan de diferente manera en las tres condiciones de cultivo protegido, y que el rendimiento es mayor en condiciones protegidas.

**Palabras clave:** Invernaderos, Casa Sombra, Campo Abierto.



## ABSTRACT

This research was conducted in order to check the hypothesis that stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration rate and tomato yield per unit area, expressed differently when grown in a greenhouse, shade houses and open field, and to compare stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and yield of tomato in the three aforementioned conditions. With infrared gas analyzer (IRGA), starting at 11:00 AM during sunny days, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> assimilation and transpiration in the terminal leaves of the second third of the plants were in full fruit production leaflet were measured, while the yield was determined by the production per plot, without sorting fruit. The experimental design was completely randomized with three replications and useful plots 5.0 m long blocks. The average stomatal conductance, carbon dioxide assimilation, transpiration and yield under shade house and greenhouse, exceeded 88.9 and 213.3, 146.7 and 453.3, 110.9 and 221.9, 96.9 and 150%, respectively, the estimated field values opened. This confirms the hypothesis that the four study variables are expressed differently in the three conditions of protected cultivation.

**Key words:** *Greenhouse, Shade House, Open Field.*

## INTRODUCCIÓN

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. En el año 2005, la superficie utilizada para cultivos protegidos en México ascendió a 4,900 ha, de las cuales 3,450 se destinaron para la producción de tomate (Fonseca, 2006); en el año 2009 se estimó una superficie de invernadero de alrededor de 10,000 ha, de las cuales 72% de ésta se utilizó para la producción de tomate en sus diferentes modalidades (González, 2009); para el año 2010, México contaba con 11,759 ha de agricultura protegida, y según SAGARPA, desde el 2001 esta cifra se ha incrementado por arriba de 10,000 ha, de tal forma que el ritmo de crecimiento de la agricultura protegida ha sido de 1,200 ha por año, predominando las casas sombra con respecto a invernaderos, de donde en el 2010 se obtuvo un volumen de producción cercano a 3.5 millones de toneladas (Ponce, 2011). No obstante, para el año 2013 se reportaron 21,500 ha en condiciones protegidas que se utilizan para cultivar diversas hortalizas y ornato (AMPHAC, 2013).

Por lo antes mencionado, actualmente continúa la tendencia de producir tomate bajo invernadero, ya que con dichas estructuras se mejoran las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, lográndose rendimientos de tomate de 300 a 500  $\text{tha}^{-1}$  por año (Castilla, 2003), en función del nivel de tecnificación del invernadero (Muñoz, 2003).



La conductancia estomática es el parámetro de proporcionalidad que relaciona el flujo de agua transpirada a través del estoma con la fuerza motora del mismo (Diccionario Forestal, 2005); la succulencia de la planta permite el movimiento continuo del agua almacenada en el parénquima medular al clorénquima (Pimienta *et al.*, 2006), pero el cierre estomático evita la transpiración (Bastide *et al.*, 1993).

Existen plantas que tienen plasticidad fotosintética para asimilar CO<sub>2</sub> durante el día y la noche en el transcurso del año, pero en condiciones de sequía suprimen la asimilación de CO<sub>2</sub> en las fases I, II y IV, debido a que se reduce la conductancia estomática (Patishtán, *et al.*, 2010).

El objetivo de esta investigación fue comparar la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y el rendimiento del tomate en las tres condiciones referidas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El tomate se estableció en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, en el que las mediciones de conductancia estomática, asimilación de  $\text{CO}_2$  y transpiración se hicieron con el analizador infrarrojo de gases (IRGA) a partir de las 11:00 A.M. durante días soleados, en el foliolo terminal de una de las hojas del segundo tercio de las plantas que estuvieron en plena producción de frutos, en tanto que el rendimiento se determinó a través de la producción por parcela, sin hacer clasificación de frutos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas útiles de 5.0 m de largo. Los análisis de varianza se hicieron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1985, y la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey (0.05).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se puede observar que los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento del tomate cultivado en invernadero superaron en 49.2, 162.1, 71.3 y 27%, respectivamente, a los promedios que se estimaron en condiciones de casa sombra, cuando la medición se hizo el día 23 de Febrero de 2013.

Cuadro 1. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en casa sombra e invernadero (23 de Febrero de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	Bióxido de carbono asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	8.91 b	0.29 b	2.58 b	189 b
Casa sombra	13.29 a	0.76 a	4.42 a	240 a
DMSH	3.52	0.11	0.45	0.78

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Sin embargo, cuando las mediciones se hicieron el 10 de Marzo de 2013, los promedios de conductancia estomática, asimilación de bióxido de carbono, transpiración y rendimiento en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero, fueron como se indican el Cuadro 2, pero los valores obtenidos en casa sombra e invernadero superaron en los respectivos 88.9 y 213.3, 146.7 y 453.3, 110.9 y 221.9, 96.9 y 150% al valor estimado en campo abierto.

Cuadro 2. Conductancia estomática, bióxido de carbono asimilado, transpiración y rendimiento por hectárea del tomate cultivado en campo abierto, casa sombra e invernadero (10 de Marzo de 2013).

Condiciones de cultivo	Conductancia estomática	Bióxido de carbono asimilado	Transpiración	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Campo abierto	4.50 c	0.15 c	1.28 c	96.0 c
Casa sombra	8.50 b	0.37 b	2.70 b	189.0 b
Invernadero	14.10 a	0.83 a	4.12 a	240.0 a
DMSH	3.62	0.20	0.56	0.91

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Estos resultados tienen relación con lo reportado en relación a que las plantas que presentan metabolismo C<sub>3</sub>, como la de tomate, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira *et al.*, 2002), y coinciden con lo reportado por Garza y Molina (2008), ya que ellos encontraron que el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento de frutos.



En la Figura 1 se puede notar que, en el rango de 43 a 1305 de RFA, la conductancia estomática del tomate en condiciones de invernadero siempre fue superior a la que se obtuvo en casa sombra y campo abierto, de tal manera que a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dicha conductancia superó en 105.9% a lo calculado en casa sombra, y en 483.3% a lo estimado en campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 81.3 y 723.1%; en tanto que en casa sombra los incrementos fueron de 233.3% a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y de 353.8% a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , comparado a lo que se observó en campo abierto.

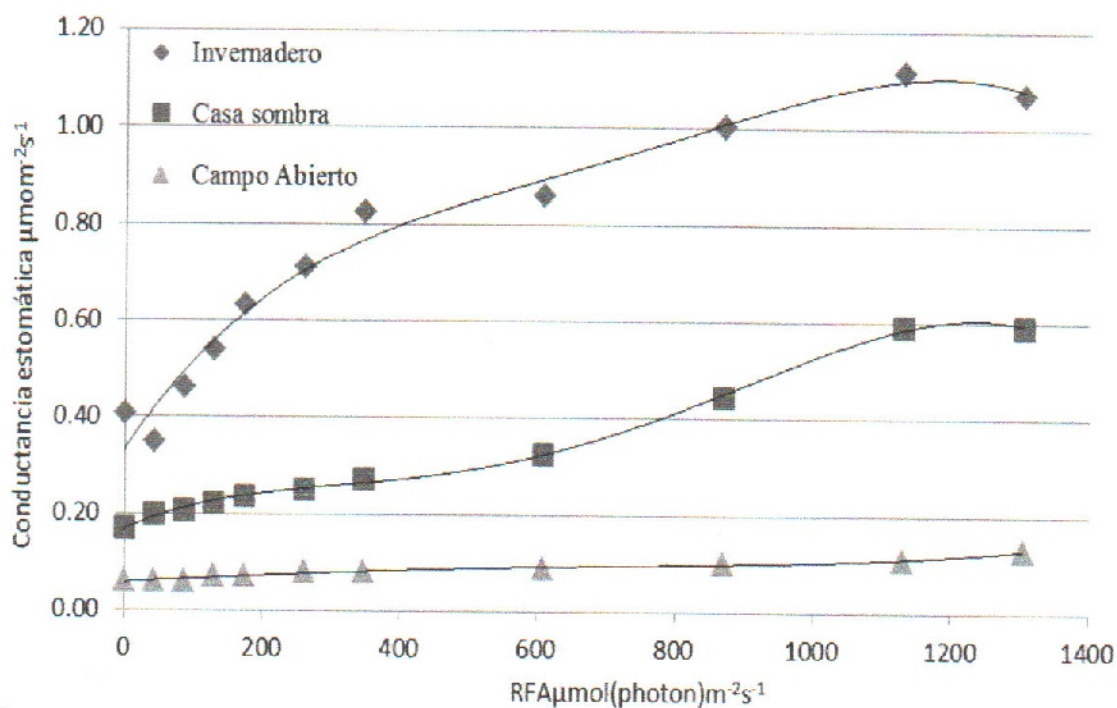


Figura 1. Conductancia estomática del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

En la Figura 2 se puede notar que a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la asimilación de bióxido de carbono del tomate en condiciones de invernadero fue superior en 15.2 y 318%, comparado a lo estimado en casa sombra y campo abierto, respectivamente, y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en los respectivos 318 y 387.4%; a su vez, a los  $43 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los promedios en casa sombra superaron en 113.5% a lo estimado en campo abierto y a los  $1305 \mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en 209%.

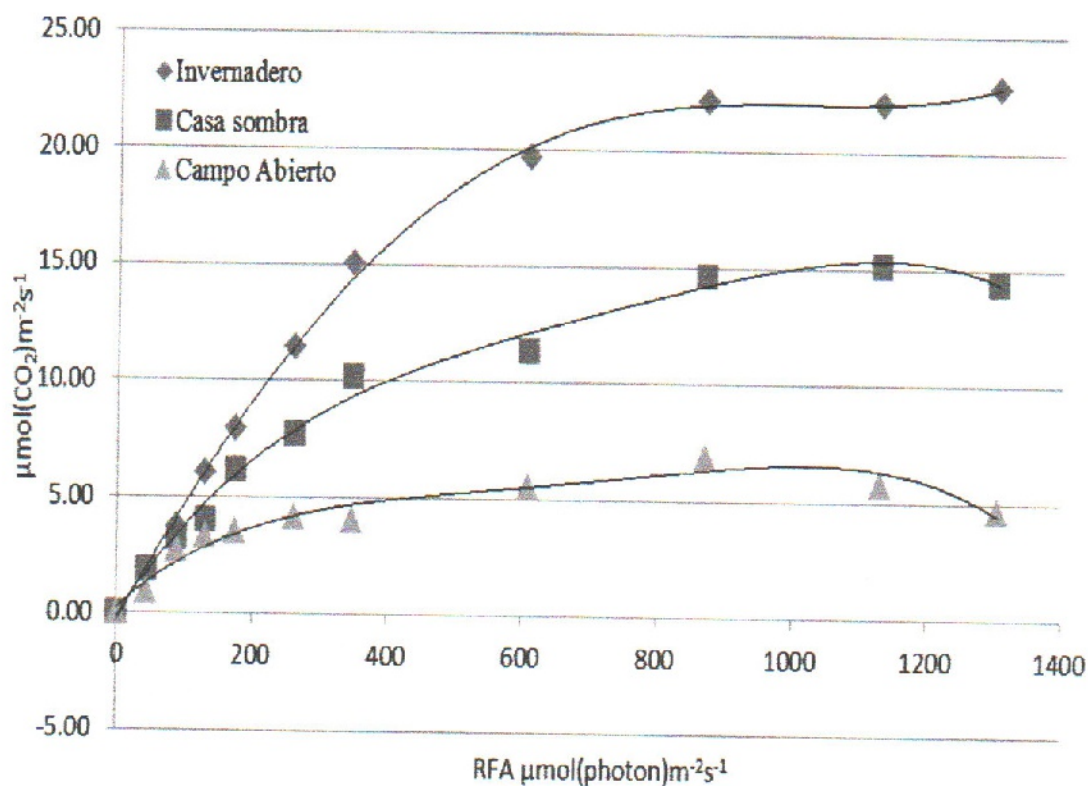


Figura 2. Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  en el tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.



La tasa de transpiración del tomate en invernadero, en el rango de 43 a 1305 de RFA (Figura 3), siempre superó a la que se estimó en casa sombra y campo abierto, y a su vez, la misma variable en casa sombra siempre estuvo por arriba de la que se determinó en campo abierto. A los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los incrementos en invernadero fueron de 73.3 y 174.8% con respecto a los promedios estimados en casa sombra y campo abierto, respectivamente, mientras que a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  los respectivos incrementos fueron de 37.4 y 264.9%; a su vez, a los 43  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  la transpiración en casa sombra superó en 58.5% a la de campo abierto, y a los 1305  $\mu\text{mol}(\text{photon})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  terminó siendo superior en 165.5%.

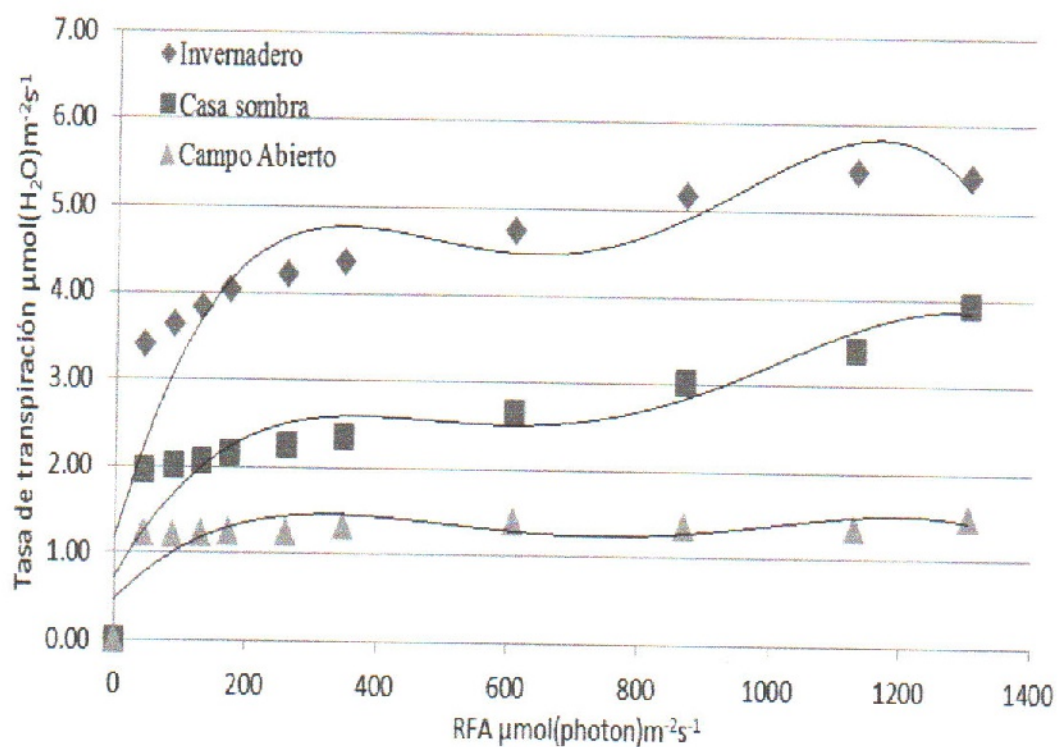


Figura 3. Tasa de transpiración del tomate cultivado en condiciones de campo abierto, casa sombra e invernadero.

## CONCLUSIONES

Las condiciones de invernadero fueron las más adecuadas para que el tomate expresara su potencial de intercambio de gases (conductancia estomática), asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y rendimiento de frutos por unidad de superficie. Sin embargo, las condiciones de casa sombra también fueron mejores que las de campo abierto, lo que a su vez confirma la hipótesis planteada.



## LITERATURA CITADA

- AMHPAC. 2013. Agroprotección, presente y futuro agrícola. [www.amhpac.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10](http://www.amhpac.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1680:agroproteccion-presente-y-futuro-agricola&catid=13:noticias&Itemid=10). Consultado el 27 de mayo de 2013.
- Bastide, B., D. Sipes, J. Hann, I. Ting P. 1993 Effects of severe water stress on aspect of crassulacean acid metabolism in *xerosicyos*. *Plant Physiol.* 103:1089-1096.
- Castilla, N. 2003. Estructuras y equipamientos de invernaderos. *In: J. Z. González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6*
- Diccionario Forestal. 2005. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Editorial Mundi Prensa, México, S. A. de C. V., 1317 p.
- Fonseca, A. E. 2006. Producción de tomate en invernadero. *In: Cuarto Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. E. Olivares S. (ed). UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. pp: 1-8.*
- Garza, M. y M. Molina. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. SAGARPA, México, 183 p.
- González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. pp: 6

- Muñoz R. J. J. 2003. El Cultivo de Tomate en Invernadero. *In*: J. J. Muñoz y J. Z. Castellanos (Eds) Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México pp: 226-262.
- Patishtán, P. J., G. Rodríguez R., G. Zavala F. y C. Jasso D. 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. *Rev. Fototec. Mex.* 33(4): 305-314.
- Pereira N. A. B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. *In*: Wachowicz C. M., Carvalho R. I. N. (eds). Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat. pp: 17-42.
- Pimienta, B. E., J. Hernandez Z. y J. Galindo G. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.
- Ponce, C. P. 2011. Panorama Mexicano: Revisión de Datos de los Invernaderos en México. Consultado el 27 de mayo de 2013 en [www.amci.org.mx/noticia.php?id=76](http://www.amci.org.mx/noticia.php?id=76) (AMHPAC, 2012).