

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



**Evaluación de Dos Métodos para Medir el Índice de Área Foliar en el Tomate en Invernadero**

**Por:**

**DULCE MARÍA BAUTISTA REDONDO**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**Evaluación de Dos Métodos para Medir el Índice de Área Foliar en el Tomate en Invernadero.**

**Presentada por:**

**DULCE MARÍA BAUTISTA REDONDO**

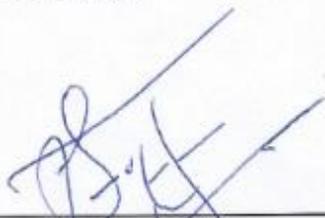
**TESIS DE LICENCIATURA**

**Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**Aprobado por:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Rubén López Cervantes**  
Asesor principal

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan P. Munguía López**  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos**  
Coasesor

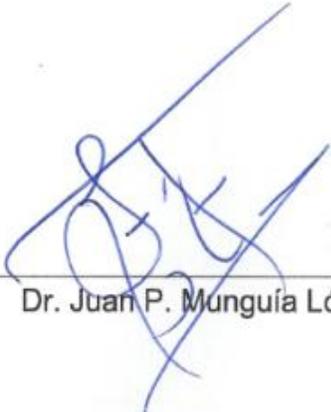
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Luis Samaniego Moreno**  
Coordinador de la División de Ingeniería



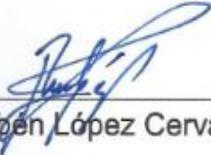
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre 2016

En el presente trabajo de Investigación Titulado "Evaluación de Dos Métodos para Medir el Índice de Área Foliar en el Tomate en Invernadero" el Dr. Juan P. Munguía López, Investigador del Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA), fungió como Director de Tesis de la C. Dulce María Bautista Redondo.



---

Dr. Juan P. Munguía López



---

Dr. Rubén López Cervantes  
Presidente del Jurado

## AGRADECIMIENTOS

### *A DIOS*

*Por haberme dado la vida, por la familia maravillosa que me ha brindado, por los amigos que me ha enviado a lo largo de mi caminar, por todas las bendiciones que me ha otorgado, porque gracias a él hoy concluyo uno más de mis sueños.*

### *A MI FAMILIA*

*Por su constante apoyo, dedicación y por acompañarme en éste nuevo proyecto de muchos más.*

### *A MI ALMA MATER*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad estudiantil, por las enseñanzas y retos que constantemente surgen los cuales nos forman como profesionistas.*

### *AL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO*

*Por proporcionarme la oportunidad de aumentar mis conocimientos y por su apoyo durante los cinco años de estancia.*

### *AL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE QUÍMICA APLICADA*

*En especial al departamento de Agropásticos por su colaboración y la oportunidad de realizar el presente trabajo en sus instalaciones.*

### *A MIS ASESORES DE TESIS:*

*Dr. Juan Plutarco Munguía López, Dr. Rubén López Cervantes, M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos, por su colaboración en la culminación del presente trabajo.*

### *A LAS PERSONAS EXTERNAS QUE COLABORARON EN MI TESIS*

*Ing. Felipe Hernández Castillo, M.C Adolfo Baylon Palomino, M.C Eliud García, Ing. Catarina Hernández Martínez y Juan Fernando Soberón Nakasima Cerda, por su colaboración en el transcurso de este proyecto.*

### *A MIS PROFESORES*

*Por todos los conocimientos transmitidos durante mi formación profesional. En especial a la profesora Alejandra Rosario Escobar Sánchez por su apoyo incondicional y sus sabios consejos compartidos.*

## DEDICATORIA

### *A MIS PADRES*

*Pedro Bautista Morales y Genoveva Redondo Flores*

*Por sus consejos, comprensión, cariño y regaños que han tenido gran importancia a lo largo de mi formación, hoy concluyo una etapa en mi vida que me causa una enorme satisfacción, la cual dedico a ustedes con un agradecimiento y amor profundo por estar siempre presentes en cada una de las etapas de mi vida y ser un cimiento en todo momento.*

### *A MIS HERMANOS*

*Aleida, Pedro y Ramón*

*Por su cariño, comprensión y apoyo en el transcurso de mi existencia. Por ser parte de mi vida, porque con su ejemplo de dedicación y entrega, hoy logro culminar una etapa como profesionista.*

### *A MIS ABUELITAS*

*Nilda Güevara Villalobos (†) y Olaya Chaves Nochebuena*

*Por sus consejos, cariño y comprensión, ya que sin ser familia de sangre me han apoyado como si lo fueran y me han enseñado que el cariño se gana en base a los actos de las personas.*

### *A MIS AMIGOS*

*Diana, Luis Arturo, Luis Gerardo, Iris, Ariana, Juan Fernando, Sra. Eusebia, Sra. Sarita, Sra. Jova, Liliana, Rolando, María de Jesús, Sra. Santa, Ilse, Diana Verónica, Francisca, María de los Ángeles, Juan, Roberto, Adalberto y Francisco, por haberme apoyado incondicionalmente en el transcurso de cada etapa y haber llegado para ser parte de mi familia, esa familia que uno genera al paso de la vida y que aun en la distancia seguirá unida por los lazos de amor y comprensión que se crearon al paso de nuestro caminar juntos.*

### *A MIS AMIGOS FIELES*

*A todos ustedes por su apoyo, cariño y comprensión, pues forman parte de mi familia y aunque algunos ya no estén junto a mí les agradezco todas las enseñanzas que me dieron, porque me hicieron crecer como persona.*

## TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Numero de página
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<i>i</i>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<i>ii</i>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<i>vi</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<i>vii</i>
<b>ÍNDICE DE APÉNDICE</b> .....	<i>viii</i>
<b>ABREVIACIONES</b> .....	<i>ix</i>
<b>RESUMEN</b> .....	<i>x</i>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	<b>3</b>
1.1.1. Objetivo General .....	3
1.1.2. Objetivo Especifico .....	3
1.2. Hipótesis .....	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. Generalidades del cultivo .....	<b>4</b>
2.1.1. Origen y domesticación .....	4
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	4
2.1.3. Importancia .....	5
2.1.4. Producción mundial de tomate.....	5
2.1.5. Producción de hortalizas bajo condiciones protegidas en México .....	7
2.1.6. Producción de tomate bajo condiciones protegidas en México.....	8
2.1.7. Contenido nutricional .....	9
2.2. Caracteres botánicos.....	<b>10</b>
2.3. Clasificación agronómica .....	<b>11</b>
2.4. Requerimientos climatológicos .....	<b>11</b>
2.5. Requerimientos edafológicos .....	<b>12</b>
2.6. Nutrición.....	<b>13</b>
2.6.1. Elementos esenciales.....	13
2.6.2. Elementos móviles .....	14
2.6.3. Elementos inmóviles.....	14
2.7. Manejo agronómico del cultivo .....	<b>15</b>
2.8. Producción bajo condiciones protegidas .....	<b>17</b>

2.9.	Parámetros de la calidad del fruto de tomate.....	17
2.10.	Métodos de Medición y su Relación con la Producción .....	18
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1.	Localización del experimento.....	23
3.2.	Metodología .....	23
3.3.	Variables evaluadas.....	27
3.3.1.	Área Foliar (AF) .....	27
3.3.2.	Índice de Área Foliar (IAF) .....	28
3.3.3.	Peso Seco de Tallo (PST).....	28
3.3.4.	Peso Seco de Hoja (PSH).....	28
3.3.5.	Peso Seco de Fruto (PSF).....	28
3.3.6.	Longitud de Tallo (LT).....	29
3.3.7.	Diámetro de Tallo (DT).....	29
3.3.8.	Peso Fresco de Fruto (PFF).....	29
3.3.9.	Número de Frutos (NF).....	29
3.3.10.	Diámetro Polar de Fruto (DPF).....	29
3.3.11.	Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF).....	30
3.3.12.	Firmeza (F) .....	30
3.3.13.	Sólidos Solubles Totales (Grados Brix (°B)).....	30
3.4.	Diseño Experimental.....	30
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1.	Área Foliar (AF) .....	32
4.2.	Índice de Área Foliar (IAF) .....	33
4.3.	Peso Seco de Tallo (PST).....	34
4.4.	Peso Seco de Hoja (PSH).....	34
4.5.	Peso Seco de Fruto (PSF).....	35
4.6.	Longitud de Tallo (LT) .....	36
4.7.	Diámetro de Tallo (DT).....	37
4.8.	Peso Fresco de Fruto (PFF).....	39
4.9.	Numero de Frutos (NF).....	40
4.10.	Diámetro Polar de Fruto (DPF).....	42
4.11.	Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF) .....	43
4.12.	Firmeza (F).....	45
4.13.	Sólidos Solubles Totales (Grados Brix (°B)).....	45
4.14.	Comparación métodos para medir el Índice de Área Foliar (IAF) .....	47
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>

<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>50</b>
<b>VII. APÉNDICE.....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1. Producción mundial de tomate .....</b>	<b>5</b>
<b>Cuadro 2.2. Situación de las estructuras para proteger cultivos en México .....</b>	<b>7</b>
<b>Cuadro 2.3. Producción de Tomate en México .....</b>	<b>9</b>
<b>Cuadro 2.4. Valor nutritivo medio del tomate para 100 g de producto comestible .....</b>	<b>9</b>
<b>Cuadro 2.5. Términos usuales para describir niveles de salinidad del suelo .....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 2.6. Grado de sensibilidad de diversos cultivos a la salinidad .....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 3.1. Tratamientos en tomate híbrido Gabriela .....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 3.2. Primera fertilización comprendida desde el desarrollo vegetativo a inicio de la floración .....</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 3.3. Segunda fertilización a partir de la floración .....</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 4.1 Valores promedios de Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF), Peso Seco de Tallo (PST), Peso Seco de Hoja (PSH), Peso Seco de Fruto (PSF), Longitud de Tallo (LT), Diámetro de Tallo (DT) de Tomate híbrido Gabriela para cuatro tratamientos en las líneas donde no se llegó a la producción. ....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 4.2 Valores promedios de Peso Fresco de Fruto (PFF), Numero de Frutos (NF), Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE) de Tomate híbrido Gabriela para cuatro tratamientos en líneas donde se llegó a la producción. ....</b>	<b>46</b>
<b>Cuadro 4.3 Valores promedios de Firmeza (F) y Solidos Solubles (Grados Bix) de Tomate híbrido Gabriela para cuatro tratamientos en líneas donde se llegó a la producción tomados el día 288. ....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 4.4 Comparación de dos métodos para medir el Índice de Área Foliar (IAF) .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Principales estados productores de Jitomate en México (porcentaje de participación). SIAP, 2015.....	8
<b>Figura 2.2.</b> Contenido nutricional del fruto del tomate. Basset, 1986.....	100
<b>Figura 2.3.</b> Deficiencia de nutrientes en una planta de tomate. Memoria del curso internacional de fertirriego, Israel, 2003. ....	155
<b>Figura 3.1</b> Croquis del invernadero donde se estableció el cultivo de tomate donde se muestra el orden de los tratamientos empleados. ....	224

## ÍNDICE DE APÉNDICE

<b>Apéndice 7.1.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para todo el ciclo del cultivo bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	58
<b>Apéndice 7.2.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para la etapa vegetativa (39 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	59
<b>Apéndice 7.3.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para el día 182 bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	60
<b>Apéndice 7.4.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para la etapa de floración (18 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	60
<b>Apéndice 7.5.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para el día 188 bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	61
<b>Apéndice 7.6.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para la etapa de fructificación (94 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	62
<b>Apéndice 7.7.</b> Radiación solar total (RS) en $Wm^{-2}$ para el día 258 bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	62
<b>Apéndice 7.8.</b> Radiación solar total diaria $MJm^{-2}$ para ciclo del cultivo bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	63
<b>Apéndice 7.9.</b> Radiación solar total $MJm^{-2}$ para la etapa vegetativa (39 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	64
<b>Apéndice 7.10.</b> Radiación solar total diaria $MJm^{-2}$ para la etapa de floración (18 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	64
<b>Apéndice 7.11.</b> Radiación solar total diaria $MJm^{-2}$ para la etapa de fructificación (94 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas $m^{-2}$ , 6.6 plantas $m^{-2}$ ). .....	65

## ABREVIACIONES

Abreviatura	Descripción
ADP	Alta Densidad de Población
ARS	Alta Radiación Solar
AF	Área Foliar
BDP	Baja Densidad de Población
BRS	Baja Radiación Solar
DT	Diámetro de Tallo
DEF	Diámetro Ecuatorial de Fruto
DPF	Diámetro Polar de Fruto
FF	Firmeza de Fruto
°BF	Grados Brix de Fruto
IAF	Índice de Área Foliar
LT	Longitud de Tallo
NF	Numero de Frutos
PFF	Peso Fresco de Fruto
PSF	Peso Seco de Fruto
PSH	Peso Seco de Hoja
PST	Peso Seco de Tallo

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar el uso de dos métodos, uno no destructivo y uno destructivo, para medir el índice de área foliar en tomate, se produjo plántula del híbrido “Gabriela” en charolas de poliestireno de 200 cavidades. Cuando la plántula, contenía tres pares de hojas verdaderas, fue trasplantada en cuatro camas de 0.9 x 12.6 m cada una. La densidad de plantación fueron dos: a 6.6 y 3.3 plantas m<sup>-2</sup>; en dos camas, se destruyeron las plantas y en dos no (llevadas a la cosecha) en ambas densidades de plantación. En ambas densidades de plantación, se midió como tratamiento la radiación solar alta y baja; en las plantas que se destruyeron, se midió el área foliar, el índice de área foliar en la parte alta y baja de la planta, reportándose el promedio de ambas; además, peso seco de tallo, hoja y fruto, longitud y diámetro del tallo. En las plantas llevadas hasta producción, al fruto se le midió: peso fresco, número, diámetro polar y ecuatorial, firmeza y sólidos solubles totales (° Brix). Se encontró que con las altas densidades de población y alta radiación solar, se presentaron mayor número de frutos pero de menor calidad. La densidad alta de plantación, favorece el índice de área foliar, firmeza, longitud y diámetro de tallo, peso fresco y número de frutos; mientras que la densidad baja favorece el área foliar, peso seco de tallo, hoja y fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto, firmeza y sólidos solubles.

Se concluye que el método destructivo, para determinar el índice de área foliar, es más exacto que el equipo portátil; ya que, se mostró que al destruir la planta se presentó la mayor exactitud en la medición del índice de área foliar.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L, Agricultura Protegida, Área Foliar.

Correo Electrónico: Dulce María Bautista Redondo, [dmbredondo15@gmail.com](mailto:dmbredondo15@gmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

Entre las hortalizas, el tomate ocupa la mayor superficie sembrada a nivel mundial (Estadísticas de agricultura de la FAO (FAOSTAT), 2008).

México, ocupa el segundo lugar a nivel mundial como país exportador y el décimo lugar como país productor, con volúmenes anuales promedios de 569 mil toneladas en la última década. El 70 por ciento de la superficie cultivada en México, se concentra a los estados de Sinaloa, Baja California Norte, San Luis Potosí y Michoacán. (Castellanos y Muñoz, 2003).

El cultivo en invernadero permite prolongar el periodo de producción de las hortalizas, frutales y plantas ornamentales, protegiéndolas de condiciones ambientales adversas como bajas temperaturas y precipitaciones descontroladas al contribuir a un exitoso manejo de los cultivos, mejorando su productividad y la calidad de los cultivos (Cobos, 2008). El sistema de producción en invernadero que normalmente se practica en Europa, Estados Unidos y México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población que van de dos a tres plantas  $m^{-2}$ , donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. Con este sistema de manejo se pueden alcanzar las 300 t  $ha^{-1}$   $año^{-1}$  (Resh, 2004), sobrepasando considerablemente el promedio nacional de 51.3 t/ha/año a cielo abierto (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2013). Aunque con dicho sistema se obtienen buenos resultados, es importante considerar que el ciclo de cultivo es muy largo (10 a 11 meses), con un periodo de inicio a fin de cosecha de 5 a 7 meses (Méndez *et al.* 2005), lo que provoca que se tengan que mantener a las plantas libres de plagas y en óptimas condiciones todo ese tiempo; además, dicho sistema de producción es altamente tecnificado (Vázquez *et al.* 2007) y requiere de invernaderos muy altos y de costo elevado.

La radiación solar, es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis, mediante el cual producen materia vegetal al crecer y desarrollarse. Parte de esta materia vegetal, es el producto cosechable del cultivo (fruto, hoja, tallo o raíz). (Hernández *et al.* 2001)

El área foliar (AF), es una variable muy importante con la que se puede determinar el índice de crecimiento de un cultivo en determinado periodo de tiempo, es bien conocido que la magnitud del AF, define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios y a partir del índice de área foliar (IAF), se estima fotosíntesis y rendimiento final (Pérez, 2004). A mayor AF mayor será la cantidad de luz que se podrá captar, lo que incrementará el proceso de fotosíntesis e incidirá positivamente en el crecimiento de la planta (Rosemary *et al.* 2006).

El área de la hoja y el índice de área de hoja es de suma importancia, de modo que se puede modelar el crecimiento y desarrollo de las plantas y por lo tanto la productividad del cultivo. El área de la hoja de una planta, depende del número y tamaño de las hojas y su tiempo de residencia en la planta, es decir, puede variar durante todo el ciclo de cultivo (Miller *et al.* 2005). El incremento en el AF tiene gran importancia fisiológica para las plantas, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y a los elementos minerales absorbidos, influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen una relación directa con el aumento de la producción de biomasa (Ultria *et al.* 2008).

Por lo comentado, en el tomate producido en invernadero, se hace necesario el uso de un método exacto y que de manera indirecta sirva para medir el Índice de Área Foliar y así no destruir plantas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

Determinar el uso de dos métodos, uno no destructivo y uno destructivo, para medir el Índice de Área Foliar en el tomate, en invernadero.

### **1.1.2. Objetivo Especifico**

Mediante el uso de un equipo portátil para medir la interacción de radiación solar, se sustituirá la destrucción del follaje en la medición de este factor.

## **1.2. Hipótesis**

Al menos un método de medición del Índice de Área Foliar, es más exacto en el tomate, producido en invernadero.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo

#### 2.1.1. Origen y domesticación

El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.* 2001).

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

#### 2.1.2. Clasificación taxonómica

División: *Spermatophyta*

Subdivisión: *Magnoliophytina*

Clase: *Dicotyledoneas*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* Lin.

(Spooner, Peralta y Knapp, 2005).

### 2.1.3. Importancia

El tomate es la hortaliza más importante en el mundo. Constituye el 30% de la producción hortícola, con alrededor de 2.9 millones de hectáreas sembradas y 72.144.000 toneladas de frutos cosechados. Los países en vía de desarrollo contribuyen de manera significativa a la producción mundial con aproximadamente 47.283.600 toneladas, que representan el 65% de dicha producción. Europa y Norteamérica constituyen con el resto. (Vallejo *et al.* 2004).

### 2.1.4. Producción mundial de tomate

El tomate es una de las principales hortalizas cultivadas en el mundo por su alto valor económico. México se ubica en el décimo lugar de la producción mundial después de China, Estados Unidos, Turquía, India e Italia, cuya producción en conjunto representa más del 60% del total global de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**Cuadro 2.1. Producción mundial de tomate**

Toneladas					
	2008	2009	2010	2011	2012
Argelia	559	641	718	790	796
Argentina	701	713	720	698	715
Brasil	3,867	4,310	4,106	4,416	3,873
Camerún	572	666	795	880	880
China	39,938	45,365	46,876	48,576	50,125
Colombia	490	514	546	595	646
Egipto	9,204	10,278	8,544	8,105	8,625

<b>España</b>	4,049	4,603	4,312	3,821	4,007
<b>EE.UU.</b>	12,735	14,181	12,858	12,624	13,206
<b>Rusia</b>	1,938	2,170	2,049	2,200	2,456
<b>Grecia</b>	1,338	1,561	1,406	1,169	979
<b>India</b>	10,303	11,148	12,433	16,826	17,500
<b>Irán</b>	4,826	5,887	5,256	6,824	6,000
<b>Iraq</b>	802	913	1,013	1,059	1,100
<b>Italia</b>	5,976	6,878	6,024	5,950	5,131
<b>Japón</b>	732	717	690	703	722
<b>Jordania</b>	600	654	737	777	616
<b>Kazajstán</b>	549	580	593	662	706
<b>Marruecos</b>	1,312	1,230	1,277	1,236	1,219
<b>México</b>	2,872	2,691	2,997	2,435	3,433
<b>Nigeria</b>	1,823	1,750	1,799	1,504	1,560
<b>Países Bajos</b>	730	800	815	815	805
<b>Polonia</b>	702	709	558	712	758
<b>Portugal</b>	1,147	1,346	1,406	1,245	1,392
<b>Rep. Á. Siria</b>	1,163	1,165	1,156	1,154	783
<b>Rumania</b>	814	755	768	910	683
<b>Túnez</b>	1,200	1,135	1,296	1,284	1,100
<b>Turquía</b>	10,985	10,745	10,052	11,003	11,350
<b>Ucrania</b>	1,492	2,040	1,824	2,111	2,274
<b>Uzbekistán</b>	1,930	2,110	2,347	2,585	2,650
<b>Otros</b>	55,546	61,330	62,783	62,788	64,921
<b>TOTAL</b>	<b>180,908</b>	<b>199,598</b>	<b>198,767</b>	<b>206,469</b>	<b>211,021</b>

Fuente: Food and Agriculture Organization of the United United Nations (FAO)

### 2.1.5. Producción de hortalizas bajo condiciones protegidas en México

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. Adicionalmente, se establece que la agricultura protegida ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores (Moreno *et al.* 2011).

Se detallan los tipos de estructuras que se utilizan para proteger cultivos en México. Destacan los microtúneles, las cubiertas flotantes, los macrotúneles y las mallas sombra. Estas últimas proliferan en la región productora de jitomate rojo y de pimiento, en el estado de Sinaloa (Bautista *et al.* 2005).

**Cuadro 2.2. Situación de las estructuras para proteger cultivos en México**

Tipo de Estructura o Uso	Superficie (ha)
Acolchados	
Microtúneles	7,964
Macrotúneles	3,970
Invernaderos para producción de plántula	113
Invernaderos para producción de flores	141
Mallas sombra	582
Cubiertas flotantes	4,794
Cortinas	100

Fuente: Hortalizas Frutas y Flores, Junio 30, 2002

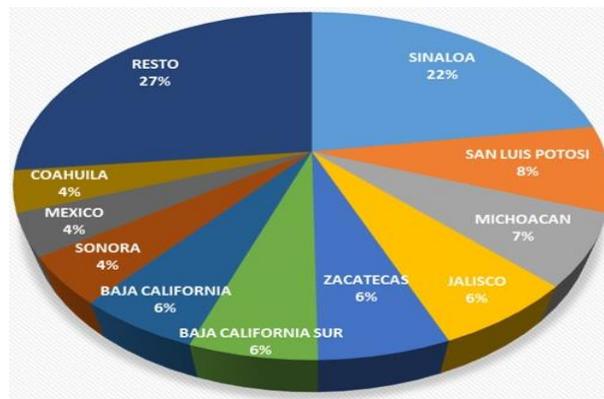
Citada por Bautista *et al.* 2005

Los principales estados productores de hortalizas en invernadero son: Jalisco, Sinaloa, Baja California Sur, Baja California Norte, Colima y Sonora. Otros estados, que aunque en la actualidad presentan una baja superficie, tienen una tasa de crecimiento muy importante, como ocurre con: Chihuahua, Guanajuato, Estado de México, Veracruz y Zacatecas. Por otro lado el principal cultivo que se dedica a la

producción en invernadero es el tomate, en sus diferentes tipos, con el 73% de la superficie, seguido de pimiento y pepino con un 11% cada uno de ellos (Muñoz, 2003).

### 2.1.6. Producción de tomate bajo condiciones protegidas en México

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. La superficie empleada para cultivos en invernadero en México asciende a 4900 ha y presenta una tasa de crecimiento anual de 25% de esta superficie, 3450 ha se destinan a la producción de tomate (Fonseca, 2006).



**Figura 2.1.** Principales estados productores de Jitomate en México (porcentaje de participación). SIAP, 2015.

El sistema de producción de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) bajo condiciones protegidas en México es relativamente nuevo, generando un impacto importante en los últimos años, por su incremento, superficie cultivada, productividad, rentabilidad y calidad del producto. El rendimiento promedio obtenido con este sistema es entre 5 y 8 kg planta<sup>-1</sup>, superando tres veces el que se obtiene a libre exposición, que está entre 1.5 y 2 kg planta<sup>-1</sup> (Jaramillo *et al.* 2006).

**Cuadro 2.3. Producción de Tomate en México**

Ubicación	Superficie Total	Superficie Cosechada (ha)	Superficie Sinistrada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	PMR (\$/ton)	Valor de Producción (miles de pesos)
Sinaloa	8,217	7,231	986	91,600	12	2,135	195,649
Jalisco	5,451	5,358	93	64,903	12	2,890	187,612
Zacatecas	2,969	2,904	65	58,600	20	5,355	313,827
Puebla	4,869	4,710	159	48,578	10	5,482	266,309
Nayarit	3,526	3,526	0	46,243	13	6,331	292,799
Michoacán	2,332	2,332	0	44,881	19	3,421	153,548
México	2,685	2,685	0	42,201	15	4,509	190,322
Sonora	2,186	2,127	59	33,336	15	4,055	135,196
Tlaxcala	1,225	1,195	30	23,306	19	2,104	49,051
Morelos	1,778	1,291	487	17,706	13	3,448	61,058
Resto	8,264	8,052	212	123,837	17	5,036	595,317
<b>Total</b>	<b>43,505</b>	<b>41,414</b>	<b>2,091</b>	<b>595,197</b>	<b>14</b>	<b>4,100</b>	<b>2,440,693</b>

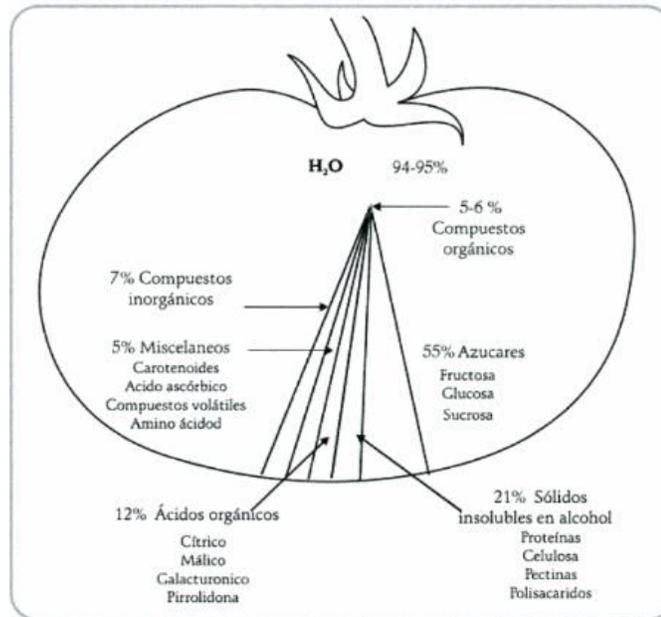
Fuente: Observatorio de Precios, con datos de SIAP-SAGARPA

### 2.1.7. Contenido nutricional

**Cuadro 2.4. Valor nutritivo medio del tomate para 100 g de producto comestible**

Residuos	6.0 %	Caroteno	0.5 mg
Materia Seca	6.2 g	Tiamina	0.06 mg
Energía	20.0 Kcal	Riboflavina	0.04 mg
Proteínas	1.2 g	Niacina	0.6 mg
Fibra	0.7 g	Vitamina C	23.00 mg
Calcio	7.0 mg	Valor Nutritivo Medio (VNM)	2.39
Hierro	0.6 mg	VNM por 100 g de Materia Seca	38.5

Fuente: Nuez *et al.* 2001



**Figura 2.2.** Contenido nutricional del fruto del tomate. Basset, 1986.

## 2.2. Caracteres botánicos

Presenta una raíz principal, pivotante produce raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Aunque el sistema radicular puede alcanzar hasta 1.5 metros de profundidad, puede estimarse que un 75% del mismo se encuentra en los 45 cm superiores del terreno (Rodríguez *et al.* 2001). El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierta por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis (Nuez *et al.* 2001). Las hojas, compuestas, se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos (Rodríguez *et al.* 2001). El jitomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple, la flor es regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos de

igual número de pétalos color amarillo (Linares, 2004). El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina y carotina, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según las variedades (Rodríguez *et al.* 2001). La semilla de tomate tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal (Nuez *et al.* 2001).

### **2.3. Clasificación agronómica**

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse como rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado, denominadas determinadas, y otras de crecimiento ilimitado, indeterminadas (Mondoñedo *et al.* 2012).

### **2.4. Requerimientos climatológicos**

Las temperaturas óptimas para su crecimiento se encuentran en 25°C en el día y entre 15 y 18°C en la noche. Por debajo de los 12°C se detiene el crecimiento y por encima de 30-35°C también hay problemas, en este caso para la polinización ya que el polen se esteriliza y se presenta el aborto floral (Rodríguez *et al.* 2006). La humedad influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50 por ciento, y suelos no encharcados (Rodríguez *et al.* 2001). Humedades relativas por debajo de 50 por ciento ocasionan deshidratación del estigma y afectan negativamente la polinización. El viento puede ser dañino. Los cultivos de tomates en regiones con vientos fuertes requieren de cortinas rompeviento

(Mondoñedo *et al.* 2012). La luz limitada en el invernadero dificulta crear un microclima favorable para el óptimo desarrollo de las plantas. Las plantas que crecen en medio de altas densidades de población no reciben suficiente luz, lo que limita su desarrollo. Intensidades altas de luz provocan plantas con tallos cortos y gruesos. Intensidades bajas de luz producen tallos largos y delgados (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2004). El tomate requiere días soleados para el buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto. La baja luminosidad afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta así mismo reduce la absorción de agua y nutrientes. Las zonas productoras deben tener de 1,000 a 1,500 horas luz al año o 14 a 16 MJm<sup>-2</sup> por día (4.44 wh m<sup>-2</sup>) (FAO, 2007; Aceves *et al.* 2008; Castellanos, 2011).

## **2.5. Requerimientos edafológicos**

Prospera en diferentes tipos de suelo, siendo los más indicados, los suelos de texturas francas o franco arcillosas; con contenidos de materia orgánica altos, por encima del 5%, y buen contenido de nutrientes (Jaramillo *et al.* 2006). Con temperaturas entre los 15 y 25°C favorecen un óptimo establecimiento del cultivo después del trasplante (Escalona *et al.* 2009). Su sistema radicular raíz principal (corta y débil) que puede alcanzar hasta 60 cm de profundidad, las raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias, las que, principalmente se desenvuelven entre los 5 y 70 cm de la capa del suelo (Linares, 2004; Espinoza, 2004). El pH del suelo debe oscilar entre 5.8 a 6.8 (Jaramillo *et al.* 2006).

**Cuadro 2.5. Términos usuales para describir niveles de salinidad del suelo**

<b>No Salino</b>	Menos 2.5 mS/cm	Prosperan todos los cultivos
<b>Ligeramente Salino</b>	2.5-3.5 mS/cm	Prosperan todos los cultivos
<b>Medianamente Salino</b>	3.5-7.0 mS/cm	Prosperan los cultivos tolerantes a cierto grado de salinidad
<b>Altamente Salino</b>	7.0-15 S/cm	Ningún cultivo prospera
<b>Muy Salino</b>	Mayor de 15 mS/cm	No es suelo agrícola

Fuente: Laboratorio de pedología (Depto. Ciencias del suelo, uaaan 2010)

**Cuadro 2.6. Grado de sensibilidad de diversos cultivos a la salinidad**

<b>Tolerancia Elevada</b>	<b>Tolerancia Media</b>	<b>Tolerancia Baja</b>
Cebada	Olivo	Peral
Remolacha	Vid	Manzano
Nabo	Melón	Naranja
Algodón	Tomate	Ciruelo
Espárrago	Coliflor	Almendro
Espinaca	Lechuga	Fresal
	Repollo	Limonero

Fuente: Cepeda, 2007

## **2.6. Nutrición**

### **2.6.1. Elementos esenciales**

En las plantas cultivadas se han descrito 16 elementos, denominados esenciales, para que estas puedan completar adecuadamente su desarrollo.

El 95% del peso fresco total de las plantas lo constituyen 3 elementos, el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), todos provenientes de la atmósfera, los

que se incorporan a las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis. El carbono proviene del CO<sub>2</sub> del aire, en cambio el H y el O proviene del agua, la cual debe llegar al suelo para ser absorbida por las plantas y trasladada por su sistema vascular hasta las hojas donde se realiza el proceso fotosintético.

El resto de los elementos las plantas los toman desde el suelo en distintas cantidades, por ello se les agrupa en macroelementos para referirse a aquellos que las plantas los requieren en mayor cantidad, como es el caso del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y microelementos cuando son requeridos en pequeñas cantidades, como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Escalona *et al.* 2009).

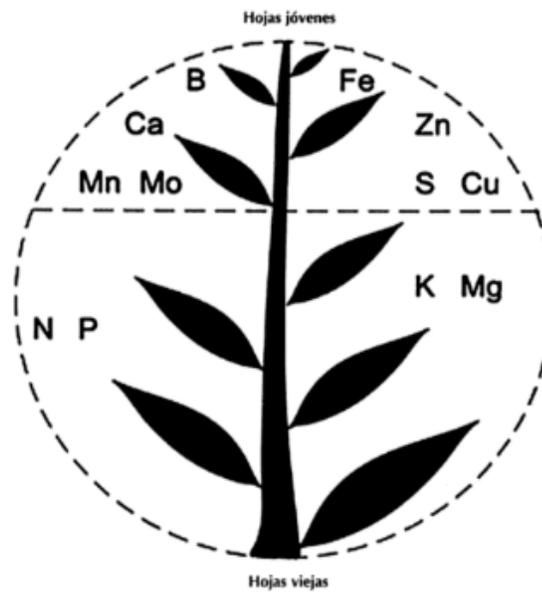
### **2.6.2. Elementos móviles**

Los elementos se agrupan en móviles e inmóviles. Los móviles son aquellos que pueden trasladarse de una parte de la planta a otra, moviéndose desde sus lugares originales (hojas viejas) a regiones de crecimiento activo (hojas nuevas) cuando ocurre una deficiencia. Esto da lugar a que los síntomas aparezcan en las hojas más viejas de las plantas. Los elementos móviles son nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2004).

### **2.6.3. Elementos inmóviles**

Inmóviles Ca, S, Fe, B y Cu (Usón *et al.* 2010).

Cuando ocurre una deficiencia de elementos inmóviles, los síntomas aparecen en las hojas más jóvenes de la parte superior de la planta; estos elementos son calcio, azufre, hierro, cobre, manganeso, zinc, molibdeno y boro (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2004).



**Figura 2.3.** Deficiencia de nutrientes en una planta de tomate. Memoria del curso internacional de fertirriego, Israel, 2003.

## 2.7. Manejo agronómico del cultivo

El manejo adecuado de los almácigos, ofrece la posibilidad de obtener plántula de calidad con características deseables como: sana, vigorosa con sistema radical desarrollado, sus hojas de buen tamaño y coloración, que esté disponible para replantar cuando se requiera, confiable para arraigo en el campo, libre de plagas, tolerante a cambios ambientales y que su tamaño y desarrollo sea homogéneo (Vavrina, 2002). Si trasplantamos menos plantas por una determinada área, cada planta puede cargar más frutos, porque es más vigorosa y hay compensación del espacio. En una plantación densa, las plantas son más débiles, con tallos delgados y cada planta cargara menos frutos, además, los frutos serán pequeños y no llegaran a la calidad esperada (Shany, 2007). La densidad de siembra será, junto con otras

técnicas de cultivo, determinante de la intercepción de radiación solar por el cultivo, a fin de convertir la energía solar en biomasa (Castilla, 2001). Optimizar la producción de biomasa mediante una intercepción de radiación adecuada es clave para maximizar la producción cosechable (Pastor 2014). Cuando las plantas alcanzan una altura de 10 a 12 cm y su tallo tiene más de 0.5 cm de diámetro, se considera que ya están listas para el trasplante. Esto ocurre aproximadamente entre los 26-30 días después de la siembra (Mercado *et al.* 2007). El tutorado consiste en guiar verticalmente las plantas a lo largo de una cuerda. Las podas en los cultivos de tomate tienen como objetivo balancear el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas, brindar mejor aireación y evitar la proliferación de enfermedades. Se debe recordar que básicamente hay cuatro tipos de podas: de formación, de yemas o chupones, de frutos y de hojas bajas (Ubaque *et al.* 2004). La anthesis ocurre por lo común en las mañanas y 24 horas después se inicia la salida del polen. Este aparece en el lado interno de las anteras y, por la posición pendiente de la flor, cae directamente sobre la superficie de los estigmas (León, 2000). La temperatura más propia para la polinización es de entre 18 y 28°C; las temperaturas elevadas pueden provocar una excesiva exersión estigmática, ocasionando que el polen no madure. La humedad relativa debe oscilar entre 60-70%, ya que valores inferiores provocan que el estigma se seque, y en valores superiores el grano de polen se aglomera (Sánchez y Contreras, 2000). El aclareo de frutos se hace en variedades con racimos ramificados o con alto número de frutos, eliminando los pequeños o mal formados que aparecen generalmente en las puntas (ápice) de los racimos (Vallejo *et al.* 2004). El fruto del tomate es climatérico, por lo tanto continúa su proceso de maduración durante la postcosecha. Los frutos consiguen una mejor terminación de la madurez, ganando color, brillo, jugosidad, y aroma si permanece adherida la planta, no obstante por razones prácticas en la cosecha y conservación, esta se efectúa tempranamente (Estrada, 2002).

## **2.8. Producción bajo condiciones protegidas**

Bajo invernadero, el cultivo requiere control de temperatura, humedad del aire y luminosidad. La temperatura no debe exceder de 30°C, ni bajar de 10°C, pues se corre el riesgo de afectar el crecimiento, provocar la caída de las flores, frutos, y/o perjudicar la polinización (Ubaque *et al.* 2004). La preparación del suelo tiene con finalidad, mejorar su estructura, evitando la compactación. Se recomienda un barbecho, doble rastreo y preparación de camas, antes de iniciar la preparación del suelo se deben desinfectar los implementos (Quezada, 2004). El acolchado reduce la evaporación de agua del suelo y ahorran agua, al reducir la competencia de las malas hierbas. Aumentan la temperatura del suelo y del aire, en la proximidad de las plantas. La reflexión de radiación solar de los plásticos metalizados repele a los áfidos y atrae a las abejas. Ayuda a mantener la estructura del suelo, ya que previene la formación de la costra y la compactación (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002). La planta de tomate toma grandes cantidades de agua con minerales en solución y una buena parte de ella, es eliminada por proceso de transpiración por las hojas vía estomática (Vallejo *et al.* 2004).

## **2.9. Parámetros de la calidad del fruto de tomate**

Color uniforme (anaranjado-rojo a rojo intenso; amarillo claro). Sin hombros verdes (Palao *et al.* 2007). La fruta debe estar bien formada (redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada, dependiendo de la variedad) (OPIC, A. C. 2013). El diámetro polar y ecuatorial es un factor importante, ya que refleja el tamaño y calidad del fruto y entre los valores que contribuyen significativamente al incremento en volumen de los frutos se encuentra los reguladores de crecimiento como las giberelinas, responsables de la expansión celular (García *et al.* 1997). Firme al tacto, no debe estar suave ni se debe deformar fácilmente debido a sobremadurez (Palao *et*

al. 2007). Sólidos solubles totales un valor mayor o igual a 4.0 en tomate es considerado bueno (Alemán *et al.* 2010). Apariencia lisa y con cicatrices pequeñas correspondientes a la punta floral y al pedúnculo. Ausencia de grietas de crecimiento, cara de gato (catfacing), sutura (zippering), quemaduras de sol, daños por insectos y daño mecánico o magulladuras (Palao *et al.* 2007).

## **2.10. Métodos de Medición y su Relación con la Producción**

En el experimento “Estimación de área foliar y rendimiento en tomate uva orgánico en condiciones de invernadero” el objetivo fue determinar el efecto de fertilizantes orgánicos certificados sobre crecimiento y rendimiento de fruto, se evaluaron: área foliar, número de frutos por racimo y rendimiento por planta. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en área foliar para T4 (inorgánico=  $\text{KNO}_3$ - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Mg ( $\text{NO}_3$ )- $\text{K}_2\text{SO}_4$ - $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_3\text{PO}_4$ -ultrasol micro al 100% (0-30 DDT), 125% (31-80 DDT) Y 150% (81 DDT en adelante)) con  $519 \text{ cm}^2$ , y el mejor rendimiento promedio fue de  $3.35 \text{ kg/m}^2$  para T2 (phytafish-fon mix-vigilante-fon super k-fijaflor 8%-ácido cítrico-multigreen I). Se concluye que la fertilización orgánica tuvo un efecto similar en cuanto a rendimiento al obtenido con nutrición inorgánica (Raya, 2016).

En el experimento “Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales” el objetivo fue obtener una ecuación alométrica entre las dimensiones lineales y de superficie que permitiera estimar rápidamente el área foliar de un cultivo. Para tal fin se seleccionaron al azar ocho hojas de diferentes tamaños en plantas de cultivares antiguos y modernos, cultivados en invernadero con una densidad de 25, 000 pl ha. Una función general que ha probado ser aceptable en la estimación del área foliar tanto en cultivares antiguos como modernos, independientemente del tamaño de las hojas, fue:

$AF = 0.34 \times (L \times A) - 9.31$ , donde AF es el área foliar ( $\text{cm}^2$ ), y A y L el ancho máximo y el largo de la hoja (cm) (Astegiano *et al.* 2001).

En el experimento “Estimación del área foliar de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Campbell-28” el objetivo fue obtener una ecuación que facilitara la determinación del área foliar. Para ello se utilizaron hojas de la variedad campbell-28, desarrollándose bajo la influencia de diferentes niveles de humedad en el suelo: 70, 80 y 90 de la capacidad de campo. Las ecuaciones de regresión obtenidas con las distintas variables en cada nivel de humedad fueron comparadas estadísticamente, sin que existieran diferencias significativas entre ellas, permitiéndose obtener una ecuación general para cada variable (Jerez *et al.* 2014).

En el experimento “Índice de área foliar y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero” el objetivo fue determinar, a lo largo del ciclo de cultivo, la relación entre el índice de área foliar y la productividad. Los modelos fueron generados por las ecuaciones polinómicas de 1º y 2º orden. Se obtiene aplicando el modelo obtenido para condiciones ambientales protegidas, un rendimiento máximo de  $0.448 \text{ kg/m}^2$ . El aumento de la irradiación puede aumentar la producción de asimilados y su disponibilidad para el crecimiento de las plantas y la producción de frutos, incluso si el crecimiento y el desarrollo normal de los cultivos se producen sólo cuando la cantidad de radiación recibida supera el límite trófico. Su periodo de máxima productividad de 85 días después del trasplante, durante el cual el índice de área foliar disminuyó. Una radiación solar aproximada de  $8.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , es considerada como el nivel en el que la planta produce el mínimo necesario para mantener los asimilados. La ecuación que mejor se ajusta a los datos es  $Y = -1301,3 + 0,17965x - 0,0013x^2$ , con  $R^2 = 0.9877$  (Ligia *et al.* 2013).

En el experimento “Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano” el objetivo de la investigación fue determinar la relación

entre el índice de área foliar y rendimiento de grano en diferentes etapas fenológicas de frijol sembrado bajo condiciones de secano. Se determinó el índice de área foliar (IAF) en cuatro etapas fenológicas: a) inicio de floración, b) inicio de formación de vaina, c) inicio de llenado de grano y d) intermedia de llenado de grano, se evaluó el rendimiento de grano. El rendimiento promedio de las variedades vario entre localidades: 130 g m<sup>2</sup> en la región noroeste con variedades criollas del tipo Negro San Luis, 139 g m<sup>2</sup> en la centro con tipo Flor de Junio y 95 g m<sup>2</sup> en el sureste con tipo Flor de Mayo. El índice de área foliar arrojó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre etapas fenológicas en las seis localidades. El IAF de las variedades vario de acuerdo con las condiciones ambientales que se presentaron en cada región durante el desarrollo del cultivo, manejo agronómico (Acosta *et al.* 2008).

En el experimento “Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento” el objetivo fue generar información que contrarreste los bajos rendimientos, se realizó un estudio para evaluar el rendimiento y la respuesta del índice de área foliar (IAF), en función del arreglo espacial y densidades de población en dos híbridos de maíz. Con los datos de rendimiento y de IAF. Para rendimiento la distancia entre surcos de 70 cm resulto superior; mientras que para la distancia entre plantas las sobresalientes fueron 20 y 40 cm (Tinoco *et al.* 2008).

En el experimento “Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos” el objetivo fue determinar una función matemática a partir de las medidas lineales de las hojas de papa para estimar la superficie foliar de la planta de manera no destructiva. Una vez realizadas las medidas lineales de las hojas (largo y ancho) se procedió a determinar la superficie foliar real de la hoja con el empleo de un integrador de superficie foliar AM300 y a partir de estas variables se establecieron las regresiones lineales correspondientes al área real de cada hoja con cada una de las longitudes obtenidas y el producto de ellas. Así, para el caso de la variedad Call White se recomienda emplear la función:  $Y = 0,43(L.A)$

+ 9,42, y en el caso de la variedad Santana:  $Y = 0,47(L.A) + 9,11$ , donde L.A, significa el producto del largo por el ancho de la hoja y los valores dentro de la función, parámetros de la ecuación lineal (Jerez *et al.* 2014).

En el experimento “Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en albahaca (*Ocimum basilicum L.*)” se obtuvieron modelos estadísticos para estimar y predecir el área foliar (AF) basado en el largo (L) y ancho (A) de la hoja de albahaca bajo condiciones de clima desértico. A cada hoja se le determinó el largo (L, en cm), ancho (A, en cm) y el área foliar (AF; en cm<sup>2</sup>) con un integrador de área foliar (Li-Cor Modelo Li-3000A, Li-Cor Lincoln Nebraska, USA). Todas las ecuaciones calculadas explicaron significativamente ( $P < 0.0001$ ) el AF (amplitud de variación entre modelos de  $R^2 = 0.70 - 0.93$ ). Estos resultados muestran la posibilidad de estimar en forma predictiva el AF de manera confiable a partir de medidas fácilmente obtenibles sin destruir la planta, además, valores altos de  $R^2$ . Integralmente, el mejor modelo fue el modelo lineal múltiple de largo por ancho ( $R^2 = 0.93$ ). La ecuación de regresión lineal múltiple  $AF = -20.5 + 2.59 \times \text{largo} + 8.29 \times \text{ancho}$ , y la ecuación lineal simple  $AF = -8.49 + 3.86 \times \text{largo}$  estiman mejor el área foliar (Ruiz *et al.* 2007).

En el experimento “Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno” el objetivo fue determinar la influencia del nitrógeno sobre el tamaño y la duración del área foliar, la producción de biomasa y el rendimiento del girasol (*Helianthus annuus L.*) cultivado bajo condiciones de humedad residual. Los híbridos de girasol AB-E353 y Sungro 380 de ciclo corto y largo, respectivamente, con 0 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>. El área foliar (AF) se determinó con un integrador electrónico de área modelo LICOR LI300 (LI-COR, Inc. Lincoln, NE) y el índice de área foliar (IAF) como el área de las láminas foliares que ocupan un m<sup>2</sup> de superficie de suelo. Bajo condiciones de humedad residual la fertilización nitrogenada incrementa el área foliar, su duración, la producción de biomasa y el rendimiento de

semilla y de aceite en girasol. La duración del área foliar durante el período reproductivo es determinante en la producción de semilla y aceite. El genotipo AB-E353 de ciclo corto mostró mayor respuesta al N que Sungro de ciclo largo (Escalante, 1999).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en los ciclos Primavera-Verano-Otoño del 2015 en un invernadero tipo túnel en las instalaciones del Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coahuila, México, con domicilio en Blvd. Enrique Reyna Hermosillo No. 140, C.P. 25294. Ubicado al norte de la ciudad, con coordenadas de 25° 27' Latitud Norte, 101° 02' Longitud Oeste y la altitud 1610 msnm.

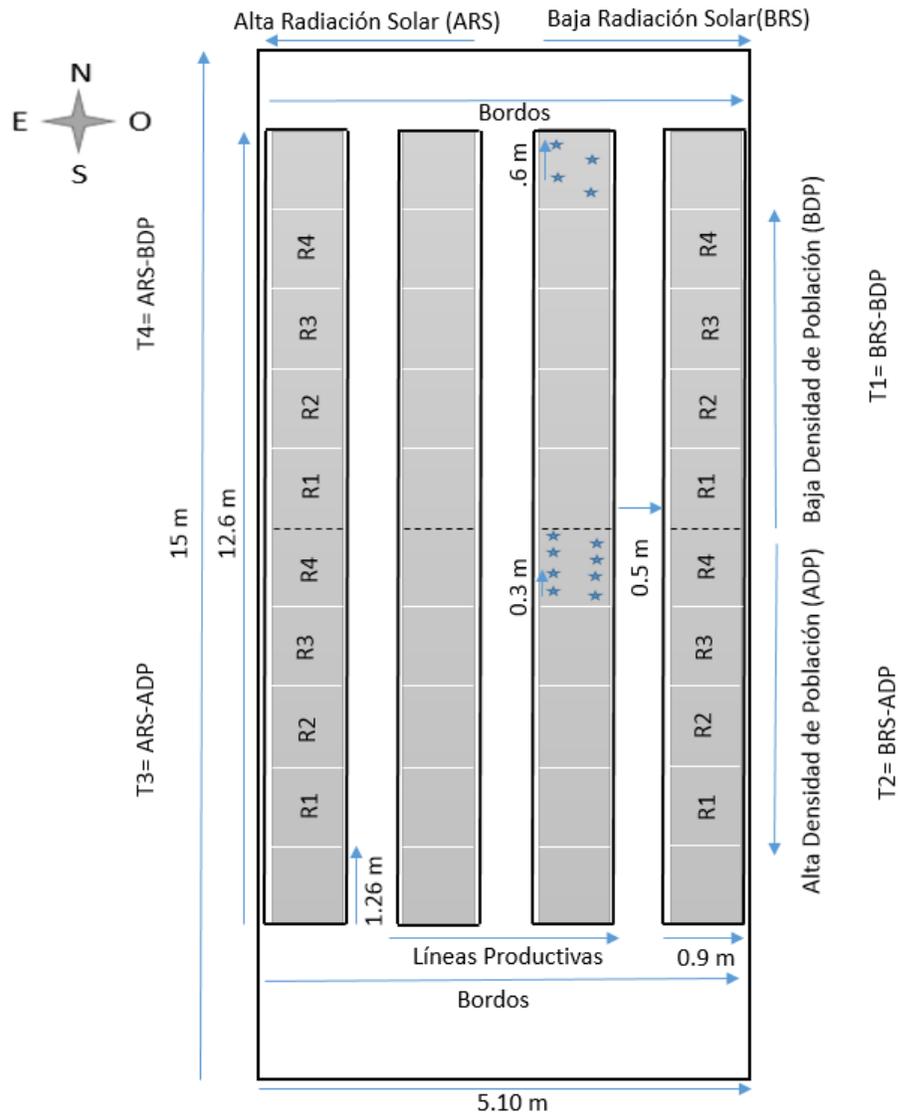
#### 3.2. Metodología

Se utilizó el híbrido comercial “Gabriela” tomate tipo “bola” de hábito de crecimiento indeterminado; presenta tolerancia a nematos, *Fusarium*, *Verticillium*, y virus del mosaico del tabaco. Las características que presenta el fruto son: maduración tardía, tamaño de fruto mediano y grande con una larga vida de anaquel.

Se adicionaron cuatro tratamientos: alta radiación solar, baja radiación solar, alta densidad de población (6.6 plantas m<sup>-2</sup>) y baja densidad de población (3.3 plantas m<sup>-2</sup>) que se acomodaron respectivamente en el invernadero (Cuadro 3.1 y Figura 3.1).

**Cuadro 3.1. Tratamientos en tomate híbrido Gabriela**

Tratamientos	Descripción	Abreviatura
T1	Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población	BRs-BDP
T2	Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población	BRs-ADP
T3	Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población	ARs-ADP
T4	Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población	ARs-BDP



**Figura 3.1.** Croquis del invernadero donde se estableció el cultivo de tomate donde se muestra el orden de los tratamientos empleados.

Se acondicionó el área donde se asentó el experimento instalando el sistema de riego conformado por tinaco de 1,100 lts, bomba de medio caballo, cinta de riego por goteo de la marca Netafim modelo SL-60-F, con una distancia entre gotero de 0.30 m con un gasto por gotero de 0.87 lph. Se colocó manualmente el acolchado en cada una de las camas y las características de este son: tipo metalizado, con un espesor de 20 micras y la media del ancho es de 1.20 m. Se instalaron ventiladores mismos que son conectados a un temporizador electrónico digital para bajar la temperatura cuando esta sobrepase los 25°C y así evitar que daños fisiológicos puedan afectar al cultivo.

La siembra se realizó el 13 de abril del 2015 en charolas de poliestireno de 200 cavidades (previamente lavadas y desinfectadas), se ocupó una mezcla de sustratos a una proporción de 70% peat moss y 30% perlita, se colocó una semilla por cavidad, se aplicó riego diariamente y se monitoreo la plántula durante seis semanas para su posterior trasplante. El trasplante se realizó el 26 de mayo del 2015 cuando la altura de la planta era de 20-25 cm. Para este se humedeció el sustrato, posteriormente se realizó una selección de plántulas uniformes en tamaño y desarrollo para posteriormente trasplantarlas en las camas correspondientes. La distancia entre plantas de alta densidad es de 0.30 m mientras que la distancia entre plantas de baja densidad es de 0.60 m. Se realiza un riego pesado para que la plántula no recienta posterior al trasplante. Los riegos se realizaron cada tercer día con una duración de 2-3 horas con el fin de mantener turgente la planta donde se diluían fertilizantes solubles en un tinaco de 1,100 lts, mismos que se enviaban por medio de una bomba de medio caballo. Se aplicaron fertilizantes solubles en un tinaco de 1,100 lts, se realizaron dos diferentes dosificaciones dependiendo de la etapa fisiológica del cultivo.

**Cuadro 3.2. Primera fertilización comprendida desde el desarrollo vegetativo a inicio de la floración**

Cantidad de Fertilizante	Fertilizante Soluble	Formula Química
295 g	Nitrato de Calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 4H <sub>2</sub> O
204 g	Fosfato Monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (MKP)
327 g	Nitrato de Potasio	KNO <sub>3</sub>
90 g	Nitrato de Amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
400 ml	Ácido Nítrico	HNO <sub>3</sub>
550 g	Multi-Feed	Microelementos

**Cuadro 3.3. Segunda fertilización a partir de la floración**

Cantidad de Fertilizante	Fertilizante Soluble	Formula Química
519 g	Nitrato de Calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 4H <sub>2</sub> O
204 g	Fosfato Monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (MKP)
555 g	Nitrato de Potasio	KNO <sub>3</sub>
40 g	Nitrato de Amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
400 ml	Ácido Nítrico	HNO <sub>3</sub>
550 g	Multi-Feed	Microelementos

Se utilizaron 7 m de rafia de polietileno que se enredaron en ganchos de metal, mismos que se colocaron en el alambre galvanizado localizado en la parte superior del cultivo a una altura de 2 m y este sostenido de tubos de acero encontrados en los extremos de cada cama. Se utilizaron anillos en el primer entrenudo y debajo de cada racimo frutal ya que estos presionan la rafia al mismo tiempo que esta se enreda a la planta, así se hacía más fácil su manejo ya que solo se bajaba la rafia para no sobrepasar el nivel del tutoreo y evitar que los frutos entren en contacto directo con el suelo. Se realizaron podas de brotes y hojas para así disminuir la probabilidad de plagas y enfermedades. Se realizó raleo de frutos con la finalidad de que presentaran mejor calidad, así los racimos contaban con cinco frutos. Con respecto a incidencia de plagas y enfermedades se presentaron Damping-off que se combatió eliminando planta; mosquita blanca, tizón tardío, gusano soldado y minador se utilizaron productos

químicos Captan, Durivo y Confidor. Para la cosecha se observa el color y tamaño del fruto, se corta, se separa por tratamientos para determinar las variables.

### **3.3. Variables evaluadas**

En las líneas donde no se llegó a la producción se elimina una planta por repetición en cada muestreo, las mediciones realizadas fueron: área foliar, índice de área foliar, peso seco de tallo, peso seco de hoja y peso seco de fruto, se llevaron a cabo cada 15 días, se comenzó a contar desde la fecha del trasplante. Las mediciones de longitud de tallo y diámetro de tallo estas últimas mediciones se realizaron en los últimos dos muestreos.

Las variables de producción evaluadas fueron: número de frutos, peso fresco de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto. Las determinaciones de firmeza y sólidos solubles totales (grados brix) se determinaron solo una vez la cual se llevó a cabo en la última cosecha de fruto.

#### **3.3.1. Área Foliar (AF)**

Esta evaluación se realizó en las líneas en las que no se llegó a la producción, consiste en arrancar una planta representativa de cada tratamiento, a la cual se le desprenden los folíolos del tallo para posteriormente pasarlos por el analizador del área (LI-COR, modelo LI-3100C).

### **3.3.2. Índice de Área Foliar (IAF)**

Se lleva a cabo colocando el analizador del dosel vegetal (LI-COR, modelo LAI 2200C) en la parte superior de las plantas donde se toma una medida y debajo de ella donde se toman tres medidas. Se miden tres plantas representativas de cada tratamiento y el resultado es adimensional.

### **3.3.3. Peso Seco de Tallo (PST)**

Consiste en cortar el tallo en trozos pequeños después se colocan en bolsas de papel que se colocan en un cuarto caliente a 75°C de 24 a 48 horas, una vez seco totalmente y se procede a pesarlo en una balanza (Pioneer de Ohaus).

### **3.3.4. Peso Seco de Hoja (PSH)**

Se llevó a cabo colocando los folíolos de las hojas en bolsas de papel que se meten en un cuarto caliente a 75°C de 24 a 40 horas, una vez que se encuentre totalmente seca se procede a pesar en una balanza (Pioneer de Ohaus).

### **3.3.5. Peso Seco de Fruto (PSF)**

Se inicia la cosecha de frutos y estos se cortan en trozos pequeños para después colocarlos en bolsas de papel que se ponen en un cuarto caliente a 75°C de 75 a 90 horas; una vez secos se procede a pesarlos en una balanza (Pioneer de Ohaus).

### **3.3.6. Longitud de Tallo (LT)**

Consiste en cortar la planta para medir el tallo con una regla métrica.

### **3.3.7. Diámetro de Tallo (DT)**

Se miden 10 cm desde la base del tallo en ese punto se realiza la medición del diámetro con ayuda de un vernier digital (Autotec, modelo Caliper).

### **3.3.8. Peso Fresco de Fruto (PFF)**

Esta evaluación se realizó en las líneas en las que se llegó a la producción, durante cada cosecha se pesan los frutos en una báscula de reloj.

### **3.3.9. Número de Frutos (NF)**

Se contabilizan los frutos en cada corte.

### **3.3.10. Diámetro Polar de Fruto (DPF)**

Se escogen tres frutos representativos de las repeticiones de cada tratamiento, se mide el diámetro polar de cada uno con ayuda de un vernier digital (Autotec, modelo Caliper).

### **3.3.11. Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF)**

Se mide el diámetro ecuatorial de cada uno de los frutos donde se determinó del DPF con un vernier digital (Autotec, modelo Caliper).

### **3.3.12. Firmeza (F)**

Se toman dos frutos representativos y se analizan con el penetrometro marca Extech modelo FHT200 con un puntal de penetración de 0.5 mm.

### **3.3.13. Sólidos Solubles Totales (Grados Brix (°B))**

Se analizan los mismos frutos utilizados para determinar la firmeza, se colocan unas gotas del jugo al refractómetro de la marca Master.

## **3.4. Diseño Experimental**

El experimento se estableció con un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.1.3 para Windows mismo que aporta un análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias por el método Fisher's LSD, ( $p \leq 0.05$ ).

## IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) mostraron para las variables, Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF), Peso Seco de Tallo (PST), Peso Seco de Hoja (PSH), Peso Seco de Fruto (PSF), Longitud de Tallo (LT) y Diámetro de Tallo (DT) diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos en los diferentes tiempos (días del año) de evaluación (219; 175, 191, 204, 219; 219; 175, 191, 219; 219; 204 y 219) (Cuadro 4.1). Indicando que T3 alta radiación solar ( $w/m^2$ ) y alta densidad de población ( $6.6$  plantas/ $m^2$ ) fue el que tuvo estadísticamente mayores valores en las variables mencionadas que el resto de los tratamientos (Cuadro 4.1). Estos resultados confirman que a mayor radiación y densidad de población se obtiene estadísticamente mayor desarrollo de las variables agronómicas de la planta.

Los resultados del ANVA para las variables calidad de fruto tales como Peso Fresco de Fruto (PFF), Número de Fruto (NF), Diámetro Polar de Fruto (DPF) y Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF) en diferentes tiempos (días) de evaluación (223, 237, 244, 252, 258, 275 y 288; 223, 228, 233, 237, 244, 252, 258, 275, y 288; 223, 228, 233, 237, 258, y 267; 223, 233, 237, 244, 252 y 267) mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 4.2). Indicando, que los tratamientos T1, T3 y T4 fueron los que tuvieron mayor calidad de fruto que el resto de los tratamientos evaluados (Cuadro 4.2). Los resultados obtenidos del ANVA no mostraron para las variables Firmeza (F) y Grados Brix ( $^{\circ}$ Brix) diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, aunque numéricamente se observó que el T3 y T1 fueron los que aventajaron la firmeza y grados brix (Cuadro 4.3).

#### 4.1. Área Foliar (AF)

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más área foliar fue el T3 con 16,860 cm<sup>2</sup> y el que mostro menor fue el T2 con 7,363 cm<sup>2</sup>.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de área foliar durante los cuatro muestreos realizados son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, T3=Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe a que a baja densidad de población hay mejor acomodo del follaje para así absorber eficientemente la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que es la energía absorbida por la plantas que permite realizar la fotosíntesis y así desarrollar favorablemente al cultivo ya que a mayor materia seca mayor calidad de frutos, considerando una relación entre temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, temperatura del suelo, riego y nutrición. En altas densidades de población se aprovecha más la radiación siempre y cuando el acomodo de las hojas sea adecuado y la radiación no sobrepase los valores de la PAR ya que si lo anterior pasara se cierran los estomas de las hojas provocando un estrés al cultivo. Los resultados coinciden con los arrojados por Bastida, (2012), donde indica que a densidades bajas el área foliar aumenta ya que puede absorber la radiación solar homogéneamente, en densidades altas sucede lo contrario si el acomodo de las hojas es el inadecuado.

El tratamiento que no muestra valores estadísticos constantes es el T2=Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población ya que por tener un mayor número de plantas necesita mayor radiación solar esto para que cada planta que conforma el tratamiento tenga la radiación solar necesaria para que realice los procesos fisiológicos correctamente por ende aumentaría el área foliar.

## 4.2. Índice de Área Foliar (IAF)

A los 175 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más índice de área foliar fue el T2 con 1.86 y el que mostro menor fue el T1 con 0.96.

A los 191 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más índice de área foliar fue el T2 con 2.55 y el que mostro menor fue el T4 con 1.00.

A los 204 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más índice de área foliar fue el T2 con 2.89 y el que mostro menor fue el T4 con 1.10.

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más índice de área foliar fue el T2 con 3.12 y el que mostro menor fue el T4 con 1.31.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de índice de área foliar durante los cuatro muestreos realizados es el T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población y el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población, el índice de área foliar se refiere al espacio ocupado por la planta con respecto a la unidad de suelo que le pertenece, tomando en cuenta la alta densidad de plantación ya que cada planta ocupa un espacio determinado de suelo conforme aumentan los días aumenta el follaje y disminuye el número de plantas por efecto de los muestreos, lo que hace más aprovechable el uso del suelo tomando en cuenta que el cultivo es de crecimiento indeterminado. Los resultados coinciden con los arrojados por Bastida, (2012), donde el aumento de la densidad de plantas, ocasiona un valor mayor de índice de área foliar.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población y el T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población ya que a baja densidad las plantas tienen un exceso del área del suelo que les corresponde.

### **4.3. Peso Seco de Tallo (PST)**

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso seco de tallo fue el T3 con 120 g y el que mostro menor fue el T2 con 51.42 g.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de peso seco de tallo durante los cuatro muestreos realizados son el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, esto se debe a que el tallo fotosintetiza y debido a más presencia de luz este aumenta su tamaño por la tanto también su peso, esta variable tiene relación con el riego, nutrición, profundidad efectiva así como de la presencia de plagas y enfermedades. Lo que coincide con lo dicho por Picken *et al.* (1984), que señala que una menor incidencia de radiación en las plantas, ya sea por sombreado o mayor número de plantas, influye sobre el desarrollo del tallo, haciéndolo que se adelgace y alargue; por lo que una radiación alta aumenta el peso seco del tallo.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población y T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, ya que por efecto de la radiación baja se propicia un descenso en el peso del tallo.

### **4.4. Peso Seco de Hoja (PSH)**

A los 175 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso seco de hoja fue el T4 con 8.01 g y el que mostro menor fue el T1 con 4.72 g.

A los 191 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso seco de hoja fue el T3 con 17.26 g y el que mostro menor fue el T2 con 6.58 g.

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso seco de hoja fue el T3 con 91.89 g y el que mostro menor fue el T2 con 38.67 g.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de peso seco de hoja durante los cuatro muestreos realizados son el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Plantación y el T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, el resultado arrojado se debe a que la radiación alta está dentro de los valores de la PAR por lo que es aprovechada y arroja mayor contenido de biomasa, que es influenciada por factores como nutrición, riego así como la presencia de plagas y enfermedades. Lo que coincide con lo dicho por Sánchez *et al.* (2010) donde indica que si la radiación solar es homogénea en el dosel de las hojas provoca una mayor producción de hojas por lo tanto mayor peso seco de hoja.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes de peso seco de hoja durante los cuatro muestreos realizados son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Plantación y el T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, el resultado arrojado se debe a la cantidad de radiación captada por el cultivo ya que si no es la suficiente la cantidad de biomasa es menor.

#### **4.5. Peso Seco de Fruto (PSF)**

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso seco de fruto fue el T4 con 50.23 g y el que mostro menor fue el T1 con 23.54 g.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de peso seco de fruto durante los dos muestreos realizados son el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe al mayor contenido de radiación solar que propicia mayor temperatura pues esta es una influencia directa con respecto al tamaño y número de frutos por lo que nos da mayor peso y mejor calidad (intensidad de color, uniformidad de color y tiempo de maduración). Esta variable tiene relación con la nutrición, riego

así como la presencia de plagas y enfermedades, si alguna de estos es desfavorable propicia un descenso en la calidad del fruto así como en la productividad. Tomando en cuenta que en estas líneas se eliminan plantas para los muestreos se reduce constantemente la densidad de población. Lo que coincide con lo dicho por Sánchez *et al.* (2010) donde indica que si la densidad de población es menor y la radiación solar es homogénea en el dosel de las hojas provoca una mayor producción de hojas por lo que incrementa la eficiencia fotosintética produciendo más flores y mayor número de frutos por lo que aumenta el peso de estos.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población y T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, este resultado se debe a que la radiación baja absorbida por las hojas no es la suficiente para realizar los procesos fisiológicos al mismo tiempo que por efecto de la radiación disminuye la temperatura.

#### **4.6. Longitud de Tallo (LT)**

A los 204 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más longitud de tallo fue el T2 con 2.07 m y el que mostro menor fue el T1 con 1.67 m.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de longitud de tallo durante los dos muestreos realizados son el T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe al mayor contenido de follaje ya que al fotosintetizar la energía que se produce es la necesaria para los procesos fisiológicos así como la elongación del tallo. El T2 y T3 coinciden con los resultados expuestos por Carrillo *et al.*, (2003) que indica que a mayor densidad de siembra mayor altura de planta. Es similar a lo dicho por Picken *et al.* (1984), quien señala que una menor incidencia de radiación en las plantas, ya sea por

sombreamiento o mayor número de plantas, influye sobre el desarrollo del tallo, haciéndolo que se adelgace y alargue.

El tratamiento que no muestra valores estadísticos constantes es el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, ya que el follaje es menor la fotosíntesis disminuye por lo que presenta un menor tamaño de tallos.

#### **4.7. Diámetro de Tallo (DT)**

A los 219 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más diámetro de tallo fue el T4 con 11.91 mm y el que mostro menor fue el T1 con 9.60 mm.

Los tratamientos que muestran valores estadísticos constantes de diámetro de tallo durante los dos muestreos realizados son el T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe al mayor follaje pues al fotosintetizar la energía que se produce es la necesaria para llevar a cabo los procesos fisiológicos así como el aumento de largo y ancho del tallo. Los resultados del experimentos coinciden con los de Sánchez (1998) que comparo distintos arreglos y densidades y encontró que en arreglos con mayor sombreado y densidad de plantas se produjo una disminución en el diámetro de tallo, resultados que coinciden con las observaciones de Picken *et al.* (1984), quienes señalan que una menor incidencia de radiación en las plantas, ya sea por sombreado o mayor número de plantas, influye sobre el desarrollo del tallo, haciéndolo que se adelgace.

El tratamiento que no muestra valores estadísticos constantes es el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, ya que al recibir la radiación los procesos fisiológicos se llevan a cabo y si el follaje es menor produce un menor tamaño de los tallos.

**Cuadro 4.1 Valores promedios de Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF), Peso Seco de Tallo (PST), Peso Seco de Hoja (PSH), Peso Seco de Fruto (PSF), Longitud de Tallo (LT), Diámetro de Tallo (DT) de Tomate híbrido Gabriela para cuatro tratamientos en las líneas donde no se llegó a la producción.**

Tratamiento	Variable	Tiempo (Días del año)			
		175	191	204	219
T1	AF (cm <sup>2</sup> )	1440.00a	3209.00a	5259.00a	11443.00ab
T2		1831.00a	2414.00a	6432.00a	7363.00b
T3		1557.00a	4685.00a	3921.00a	16855.00a
T4		1567.00a	2638.00a	3089.00a	12942.00ab
T1	IAF	0.96b	2.31a	1.57b	1.97bc
T2		1.86a	2.55a	2.89a	3.12a
T3		1.56a	2.14a	2.50a	2.59ab
T4		1.15b	1.00b	1.10b	1.31c
T1	PST (g)	6.01a	12.63a	23.50a	66.60b
T2		6.76a	9.46a	35.96a	51.42b
T3		7.83a	20.57a	38.38a	120.00a
T4		6.82a	12.22a	42.21a	85.90ab
T1	PSH (g)	4.72b	10.98ab	16.88a	50.21bc
T2		5.63ab	6.58b	24.81a	38.67c
T3		6.61ab	17.26a	27.25a	91.89a
T4		8.01a	11.36ab	32.90a	79.16ab
T1	PSF (g)			13.61a	23.54b
T2				29.06a	28.07b
T3				29.67a	37.09ab
T4				38.27a	50.23a
T1	LT (m)			1.67b	2.53a
T2				2.07a	2.77a
T3				1.86ab	2.77a
T4				1.81ab	2.51a
T1	DT (mm)			8.68a	9.60b
T2				9.09a	10.18ab
T3				9.55a	11.67ab
T4				10.68a	11.91a

El análisis de varianza de las variables, Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF), Peso Seco de Tallo (PST), Peso Seco de Hoja (PSH), Peso Seco de Fruto (PSF), Longitud de Tallo (LT) y Diámetro de Tallo (DT) entre tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), y la prueba de medias con el método de DMS ( $p = 0.05$ ). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

#### **4.8. Peso Fresco de Fruto (PFF)**

A los 223 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor peso fresco de fruto fue el T2 con 0.87 kg y el que mostro menor fue el T4 con 0.30 kg.

A los 237 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T2 con 1.55 kg y el que mostro menor fue el T4 con 0.85 kg.

A los 244 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T3 con 1.22 kg y el que mostro menor fue el T4 con 0.68 kg.

A los 252 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T4 con 1.74 kg y el que mostro menor fue el T2 con 0.74 kg.

A los 258 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T3 con 2.42 kg y el que mostro menor fue el T4 con 1.15 kg.

A los 275 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T4 con 1.15 kg y el que mostro menor fue el T2 con 0.11 kg.

A los 288 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más peso fresco de fruto fue el T3 con 2.39 kg y el que mostro menor fue el T4 con 0.93 kg.

El tratamiento que muestra valores estadísticos constantes de peso fresco de fruto durante los once muestreos realizados es el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población (6.6 plantas m<sup>-2</sup> a doble hilera), este resultado se debe al

contenido de biomasa ya que con la radiación alta se tienen los valores ideales de la PAR que ayudan a que la energía aportada por la fotosíntesis promueva la producción de racimos florales mismos que con las condiciones adecuadas (temperaturas menores de 30°C y movimiento en el tutor o polinizadores) arrojan mayor cantidad y aumento del tamaño de los frutos por ende mayor peso. Este resultado coincide con los expuestos por Carrillo *et al.*, (2003) que evaluó híbridos y densidades de población donde no hubo diferencia significativa estadística para híbridos pero si la hubo para densidades, donde indica mayor rendimiento en los tratamientos de altas densidades de población las cuales son: 5.3 plantas m<sup>2</sup> y 4 plantas m<sup>2</sup>, mientras que en la densidad de 2.6 plantas m<sup>2</sup> son muy bajos. El T3 cuenta con un rendimiento 12.94 kg m<sup>2</sup>, tomando en cuenta que las cosechas se terminaron antes de la senescencia de la planta, este valor no supera a lo reportado por Carrillo y Jiménez (2001) en donde obtuvieron rendimientos de 14.378 kg m<sup>2</sup> del híbrido Gabriela, en una investigación realizada bajo las mismas condiciones.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, en el T1 y T2 se debe a que en la floración y fructificación el cultivo requiere cantidades mayores de radiación solar por lo que no son abastecidas completamente y en el T4 la densidad de población es factor limitante ya que la radiación solar no se aprovecha eficientemente lo que podría causar daños en el cultivo ya que por mecanismo de defensa la planta cierra los estomas provocando un estrés lo que ocasiona una disminución grave en la producción de frutos por lo que el peso es menor.

#### **4.9. Numero de Frutos (NF)**

A los 223 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T2 con 8.75 y el que mostro menor fue el T4 con 3.67.

A los 228 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T2 con 17.75 y el que mostro menor fue el T4 con 9.50.

A los 233 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T3 con 21.75 y el que mostro menor fue el T1 con 13.25.

A los 237 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T2 con 17.00 y el que mostro menor fue el T4 con 7.75.

A los 244 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T3 con 16.25 y el que mostro menor fue el T2 con 8.75.

A los 252 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T3 con 27.75 y el que mostro menor fue el T2 con 10.00.

A los 258 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T3 con 29.25 y el que mostro menor fue el T1 con 12.00.

A los 275 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T4 con 11.50 y el que mostro menor fue el T2 con 1.25.

A los 288 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro más número de frutos fue el T3 con 25.00 y el que mostro menor fue el T4 con 9.25.

El tratamiento que muestra valores estadísticos constantes de numero de frutos durante los once muestreos realizados es el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población, éste resultado se debe a que con la radiación alta y la alta densidad de población el cultivo se comporta eficientemente por lo que la energía aportada para la fotosíntesis contribuye a obtener mayor cantidad y aumento del tamaño de los frutos. Lo que coincide con lo dicho por Sánchez *et al.* (2010) donde indica que a mayor densidad se produce mayor número de frutos.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, en el T1 y T2 se debe a que la cantidad de radiación solar es insuficiente para las etapas fenológicas de floración y fructificación, mientras que en el T4 la cantidad de radiación

solar recibida es mayor a la que el cultivo necesita por lo que se provoca un estrés disminuyendo la producción de frutos.

#### **4.10. Diámetro Polar de Fruto (DPF)**

A los 223 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T3 con 53.42 mm y el que mostro menor fue el T1 con 38.61 mm.

A los 228 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T1 con 47.31 mm y el que mostro menor fue el T2 con 44.14 mm.

A los 233 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T1 con 49.06 mm y el que mostro menor fue el T2 con 44.58 mm.

A los 237 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T4 con 47.67 mm y el que mostro menor fue el T2 con 43.82 mm.

A los 258 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T1 con 49.76 mm y el que mostro menor fue el T3 con 45.82 mm.

A los 267 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro polar fue el T1 con 49.52 mm y el que mostro menor fue el T3 con 44.56 mm.

El tratamiento que muestra valores estadísticos constantes de diámetro polar de fruto durante los once muestreos realizados es el T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe a que la radiación alta está dentro de los rangos de la PAR ocasionando mayor follaje mismo que crea un microclima en el

que los frutos se ven favorecidos por la temperatura pues influye a la maduración con aportaciones de la nutrición, riego, combate de plagas y enfermedades que son de suma importancia ya que ayudan al crecimiento y desarrollo de los frutos. Este resultado coincide con lo expuesto por Villegas *et al.* (2004), donde indica que el máximo rendimiento total del fruto del híbrido Gabriela es arrojado por la densidad más alta pero su tamaño es pequeño; los valores de diámetro polar son mayores en las densidades menores ya que la planta fotoasimila con ayuda de la radiación PAR. Los valores arrojados en el experimento son aceptables para el mercado de exportación.

Los tratamientos que no muestran valores estadísticos constantes son el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población, en el T1 y T2 se debe a que la cantidad de radiación solar es insuficiente pues en las etapas de floración y fructificación se necesita mayor radiación solar por lo contrario afecta la formación de frutos así como su crecimiento, mientras que en el T3 se crea una competencia entre plantas y entre racimos disminuyendo significativamente el tamaño de los frutos.

#### **4.11. Diámetro Ecuatorial de Fruto (DEF)**

A los 223 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T3 con 66.92 mm y el que mostro menor fue el T1 con 51.45 mm.

A los 233 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T1 con 67.30 mm y el que mostro menor fue el T3 con 62.26 mm.

A los 237 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T1 con 62.22 mm y el que mostro menor fue el T2 con 57.30 mm.

A los 244 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T1 con 66.25 mm y el que mostro menor fue el T2 con 60.26 mm.

A los 252 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T1 con 63.55 mm y el que mostro menor fue el T2 con 57.82 mm.

A los 267 días se observa diferencia significativa, el tratamiento que mostro mayor diámetro ecuatorial fue el T1 con 64.38 mm y el que mostro menor fue el T4 con 55.53 mm.

No se presenta tratamiento que muestre valores estadísticos constantes de diámetro ecuatorial de fruto sin embargo el que se comporta mejor es el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población, este resultado se debe al bajo contenido de plantas presentes en el tratamiento pues la competencia es menor aunque los valores de radiación sean bajos son suficientes para que los frutos se desarrollen eficientemente. Este resultado coincide con lo expuesto por Villegas *et al.*, (2004), donde indica que el máximo rendimiento total del fruto es arrojado por la densidad más alta pero su tamaño es pequeño (diámetro ecuatorial < 6 cm); los valores de diámetro ecuatorial son mayores en las densidades menores ya que la planta fotoasimila con ayuda de la radiación PAR; los valores de diámetro ecuatorial obtenidos en el presente experimento superan a los expuestos por Villegas *et al.* (2004) donde los valores altos (diámetro ecuatorial > 6 cm) son arrojados por una densidad de población de 6.8 plantas m<sup>-2</sup> mientras que nuestros mejores resultados por 3.3 plantas m<sup>-2</sup>.

Los tratamientos que tampoco muestran valores estadísticos constantes pero se comportan con mayor desventaja son el T2= Baja Radiación Solar-Alta Densidad de Población, T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población y T4= Alta Radiación Solar-Baja Densidad de Población, en el T2 se debe a que la cantidad de radiación solar es insuficiente pues en las etapas de floración y fructificación se requieren valores más altos para el abastecimiento total tomando en cuenta que hay el doble de plantas que en el T1, mientras que en el T3 y T4 la radiación alta es superior a lo requerido para el crecimiento de los frutos.

#### **4.12. Firmeza (F)**

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos sin embargo el que se comporta mejor es el T3= Alta Radiación Solar-Alta Densidad de Población con 5.50 N este resultado se debe a que la radiación solar ayuda al cultivo a la mejor calidad del fruto. Los resultados obtenidos en el experimento no coinciden con los expuestos por Alarcón, (2013), donde indica que a mayor competencia tanto de plantas como de frutos los valores de firmeza disminuirán siempre y cuando la temperatura sea baja (5-20°C) y esta es influenciada directamente por la radiación solar.

#### **4.13. Sólidos Solubles Totales (Grados Brix (°B))**

No se presentó diferencia significativa entre los tratamientos sin embargo es considerable mencionar que se comporta favorablemente el T1= Baja Radiación Solar-Baja Densidad de Población con 4.98 °B ya que el fruto se desarrolla efectivamente ya que las plantas compiten menos por superficie y nutrientes. El resultado no coincide con el aportado por Saavedra, (2013), donde indica que a mayor radiación solar incrementara la acumulación de sólidos solubles, debido principalmente a una menor tasa fotosintética y a un mayor gasto de carbohidratos para mantener el equilibrio homeostático durante la maduración de frutos.

**Cuadro 4.2 Valores promedios de Peso Fresco de Fruto (PFF), Numero de Frutos (NF), Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE) de Tomate hibrido Gabriela para cuatro tratamientos en líneas donde se llegó a la producción.**

Tratamiento	Variable	Tiempo (Días)										
		223	228	233	237	244	252	258	267	275	284	288
T1	PFF(g)	0.35b	1.63a	1.71a	0.97b	1.09a	0.99bc	1.23b	1.18a	0.53ab	1.58a	1.05b
T2		0.87a	1.84a	1.90a	1.55a	0.69b	0.74c	1.74ab	1.21a	0.11b	0.92a	1.56b
T3		0.67ab	1.38a	2.28a	1.18ab	1.22a	1.6 ab	2.42 <sup>a</sup>	0.84a	0.54ab	1.01a	2.39a
T4		0.30b	1.13a	2.08a	0.85b	0.68b	1.74a	1.15b	0.77a	1.15a	1.74a	0.93b
T1	NF	4.00b	13.00ab	13.25b	8.25b	13.00ab	11.25b	12.00b	10.25a	5.00ab	14.50a	11.75b
T2		8.75a	17.75a	19.5ab	17.00a	8.75b	10.00b	17.75b	14.25a	1.25b	10.50a	16.75b
T3		6.25ab	11.5ab	21.75a	15.75a	16.25a	27.75a	29.25a	11.5a	6.00ab	11.00a	25.00a
T4		3.67b	9.50b	16.75ab	7.75b	9.50b	22.50a	13.50b	9.50a	11.50a	16.50a	9.25b
T1	DPF (mm)	38.61b	47.31a	49.06a	46.78ab	50.77a	50.94a	49.76a	49.52a	49.13a	49.84a	46.61a
T2		41.15b	44.14b	44.58b	43.82c	47.67a	47.63a	46.94ab	45.68ab	46.14a	46.92a	48.34a
T3		53.42a	46.96ab	47.12ab	45.42bc	47.92a	48.37a	45.82b	44.56b	47.64a	47.96a	49.37a
T4		50.27a	47.23a	46.52ab	47.67a	49.14a	51.91a	47.80ab	45.12ab	48.15a	49.28a	46.37a
T1	DEF (mm)	51.45b	61.83a	67.30a	62.22a	66.25a	63.55a	62.10a	64.38a	62.06a	61.63a	56.20a
T2		52.33b	58.95a	62.50b	57.30b	60.26b	57.82c	59.6a	59.68ab	57.47a	58.00a	57.78a
T3		66.92a	61.49a	62.26b	59.8ab	62.09ab	59.02bc	59.04a	56.77ab	59.51a	59.35a	59.25a
T4		62.87a	62.20a	63.24b	61.22a	63.13ab	63.06ab	59.46a	55.53b	58.14a	61.25a	54.22a

El análisis de varianza de las variables, Peso fresco de fruto (PFF), Número de fruto (NF), Diámetro polar (DPF), y Diámetro ecuatorial (DEF) entre tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), y la prueba de medias con el método de DMS ( $p = 0.05$ ). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

**Cuadro 4.3 Valores promedios de Firmeza (F) y Solidos Solubles (Grados Brix) de Tomate hibrido Gabriela para cuatro tratamientos en líneas donde se llegó a la producción tomados el día 288.**

Tratamientos	F (N)	Grados Brix (°B)
T1	4.69a	4.98a
T2	4.61a	4.88a
T3	5.5a	4.6a
T4	5.21a	4.68a

El análisis de varianza de las variables, Firmeza (F) y Solidos Solubles (Grados Brix) entre tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), y la prueba de medias con el método de DMS ( $p = 0.05$ ). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

#### **4.14. Comparación métodos para medir el Índice de Área Foliar (IAF)**

El experimento tiene como finalidad la comparación de dos métodos para la medición del IAF: el método destructivo consiste en eliminar plantas para medir el área foliar por medio del equipo LI-COR, modelo LI-3100C tomando en cuenta la superficie del suelo correspondiente a cada planta se obtiene el IAF y en el método no destructivo se analiza el dosel foliar por medio del equipo portátil LI-COR, modelo LAI 2200C que arroja los valores instantáneos.

El método destructivo arroja valores confiables ya que de forma directa se mide el área foliar de cada planta muestreada y se realizan los cálculos correspondientes para determinar el IAF. Mientras que en el método no destructivo se obtienen valores indirectos pues por medio del equipo portátil se mide la radiación solar que llega en la parte superior de la planta y la que se encuentra en la base de esta. Como se observa en el Cuadro 4.4 los valores de ambos métodos son similares en algunos muestreos mientras que en otros se nota un rango superior de diferencia. Los resultados coinciden con lo expuesto por Mendoza *et al.* (2014) que evaluó dos métodos para medir el IAF: el método directo se lleva a cabo con el equipo LI-3100 y el método indirecto con un Ceptómetro que consiste en medir la radiación solar que llega a la

planta y la de la base. Donde indica que el método destructivo es más eficiente que el no destructivo ya que los valores tienen rango de error y no son cien por ciento confiables.

**Cuadro 4.4 Comparación de dos métodos para medir el Índice de Área Foliar (IAF)**

Tratamientos	IAF D	IAF ND
	175 días del año	
T1	0.52b	0.96b
T2	1.34a	1.86a
T3	1.14a	1.56a
T4	0.57b	1.15b
	191 días del año	
T1	0.89b	2.31a
T2	1.55ab	2.55a
T3	3.02a	2.14a
T4	0.73b	1.00b
	204 días del año	
T1	1.00b	1.57b
T2	3.58a	2.89a
T3	2.18ab	2.50a
T4	0.58b	1.10b
	219 días del año	
T1	1.16c	1.97bc
T2	3.45b	3.12a
T3	7.90a	2.59ab
T4	1.32c	1.31c

El análisis de varianza de las variables, Índice de Área Foliar con el método Destructivo (IAF D) y Índice de Área Foliar con el método No Destructivo (IAF ND) entre tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), y la prueba de medias con el método de DMS ( $p = 0.05$ ). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Los valores de Índice de Área Foliar (IAF) son adimensionales. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

## **V. CONCLUSIONES**

El método destructivo, para determinar el índice de área foliar, es más exacto que el equipo portátil; ya que, se mostró que al destruir la planta se presentó la mayor exactitud en la medición del índice de área foliar.

El método portátil es más rápido, eficiente, se pueden realizar más mediciones y se puede dar seguimiento a la evolución del índice de área foliar de la misma planta hasta llegar a la producción.

## VI.LITERATURA CITADA

- Acosta, D. E;** J. A. Acosta. G; M. D Amador. R. y J. S. Padilla-Ramírez. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. pp 13-19.
- Alarcón, Z. A.** 2013. Calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización. Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. pp 6 y 78. [http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO\\_ALARCON\\_ZAYAS.pdf](http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO_ALARCON_ZAYAS.pdf)
- Alemán, B. M;** V. B. Robledo; M. A. Mendoza y V. R. Sandoval R. 2010. Respuesta de la calidad de fruto de tomate a la aplicación de silicio. Memorias del XXII semana internacional de agronomía. Gómez Palacio, Durango, México.
- Astegiano, E. D;** J. C. Favaro y C. A. Bouzo. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) utilizando medidas foliares lineales. pp 249-255.
- Bastida, C. O. A.** 2012. Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) bajo invernadero basados en doseles escaliformes. Maestría en Ciencias en horticultura. Departamento de fitotecnia. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. pp 34, 98, 99 y 102. <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2012112309124791.pdf>
- Bautista, M. N. y J. Alvarado López.** 2005. Producción de jitomate en invernadero. pp 31 y 74.
- Carrillo, R. J;** B. F. Jiménez; J. Ruiz; G. Díaz; P. Sánchez; C. Perales y A. Arellanes. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en invernadero. pp 85-88. [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v14n01\\_085.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v14n01_085.pdf)

- Carrillo, R. J. y Jiménez, B. F.** 2001. Evaluación del potencial productivo de tomate. F1-6x14 en condiciones de fertirriego en invernadero. In: Memoria de XII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Ed. SEP-SEIT-DGETA. Conkal, Yucatán, México. sp.
- Castellanos, J. Z.; Muñoz R.** 2003. La Industria de la Horticultura Protegida en México. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INCAPA. México. pp 1-17.
- Castilla, P. N.** 2001. Manejo del Cultivo Intensivo con Suelo en el Cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. pp 190-225.
- Cepeda, D. J-M.** 2007. Química de Suelos. Segunda Edición. Trillas. México. pp 142-146.
- Cobos, C. L. S.** 2008. Nutrición y manejo de la salinidad en policultivo (*Capcium annum*, *lycopericum esculentum*, *zea mays* y *phaseolus vulgaris*).
- Díaz, V. S. G.** 2012. Efecto de la radiación en el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad en policultivo: chile, jitomate, maíz, frijol y amaranto en condiciones de invernadero. Maestría en Ciencias (Ingeniería de Biosistemas) Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. pp 5-6, y 16-17. <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/461/1/RI000120.pdf>
- Escalante, E. J. A.** 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra Volumen 17 numero 2. pp 149-157.
- Escalona, C. V; P. V. Alvarado; H. M. Monardes; C. Z. Urbina y A. B. Martín.** 2009. Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Facultad de CS. Agronómicas Universidad de Chile. InnovaChile. CORFO. pp 13-14 y 30.
- Espinosa, Z. C.** 2004. Producción de tomate en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah, México, Octubre.
- Espinoza, C. A. Y.** 2009. Evaluación y selección de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en base a variables Fisiotécnicas (agroclimáticas, fenológicas,

fisiológicas y de rendimiento). Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah. p 5.

**Estadísticas** de agricultura de la FAO (FAOSTAT, 2008). [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)

**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.

**Food** and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. El Cultivo protegido en clima mediterráneo. Editorial Food y Agriculture Org. pp 92-94.

**García**, M. J. L. y P. Hedden. 1997. Giberelinas and fruit development, en Tomas-Barberan, F. A y R. J. Robins. (eds.). Phytochemistry of fruit and vegetables. OxfordSci. Publications, Heidelberg. p 263.

**Hernández**, J; I. Escobar y N. Castilla. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Casa Rural de Granada. Gabinete Técnico. España. pp 9 y 36.

**Instituto** Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Archivo Histórico. 2004. Cultivo de Tomate Riñón en Invernadero. p11.

**Instituto** Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Archivo Histórico. 2004. Proceso de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero. pp 45-46.

**Jaramillo**, J; V. P. Rodríguez; M. Guzmán y M. Zapata. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rionegro (Antioquia, Colombia). p 48.

**Jerez**, E; J. Dellámico y Torres W. 2014. Estimación del área foliar del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*); variedad Campbell-28.

**Jerez**, M. E; R. Martín M. y Y. Díaz-Hernández. 2014. Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum L.*) por métodos no destructivos. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000100008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100008) (Marzo.2014).

**León**, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. Agroamérica. p 320.

- Ligia**, S. R; C. A. V. de Azevedo; A. W. Albuquerque y J. F. S. Junior. 2013. Índice de área foliar y rendimiento de tomate bajo condiciones en invernadero. Diario de Ingeniería Agrícola y Ambiental. Volumen 17. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662013000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt) (18, Enero, 2013).
- Linares**, O. H. 2004. El cultivo de tomate en invernadero.
- Méndez G.**, T.; Sánchez Del C., F.; Sahagún C., J.; Contreras M., E. 2005. Doseles Escaleriformes Con Hileras De Plantas De Jitomate Orientadas En Dirección Este Oeste. Revista Chapingo Serie Horticultura. pp 185-192.
- Mendoza**, P. C; C. Ramírez A; W. Ojeda B; J. Flores V; H. Flores M. y E. Sifuentes-Ibarra. 2014. Comparación de dos métodos para medir el índice de área foliar de chile poblano en invernadero. [https://www.researchgate.net/publication/267926789\\_COMPARACION\\_DE\\_DOS\\_METODOS\\_PARA\\_MEDIR\\_EL\\_INDICE\\_DE AREA\\_FOLIAR\\_DE\\_CHILE\\_POBLANO\\_EN\\_INVERNADERO](https://www.researchgate.net/publication/267926789_COMPARACION_DE_DOS_METODOS_PARA_MEDIR_EL_INDICE_DE AREA_FOLIAR_DE_CHILE_POBLANO_EN_INVERNADERO)
- Mercado**, L. y Rico-García. 2007. Manual de producción de jitomate en variedades de crecimiento indeterminado bajo invernadero. p 48.
- Mondoñedo**, J. R; D. B. Parsons y J. Medina-Figueroa. 2012. Tomates. Manual para la Educación Agropecuaria. Área: Producción Vegetal. Editorial Trillas. México, D.F. pp 11-13.
- Moreno**, R. A; Aguilar D., J.; Luévano G., A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. pp 763-774.
- Muñoz**, R. J. J. 2003. La producción de hortalizas bajo invernadero en México.
- Nuez**, F; A. Rodríguez; J. Tello; J. Cuartero y B. Segura. 2001. El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa, España. pp 15-55.
- Observatorio** de Precios. 2014. <http://observatoriodeprecios.com.mx/index.php/precios-productos/productos->

agropecuarios/jitomate/186-el-precio-del-tomate-rojo-jitomate-en-el-mes-de-febrero-y-la-primera-quincena-de-marzo-presento-una-caida-promedio-del-47-en-el-mercado-nacional (24, Marzo, 2014).

- OPIC**, A. C. 2013. Manual de manejo sustentable del cultivo de jitomate en invernadero. Editorial Palibrio. p 107.
- Ortiz**, V. I. C. 2011. Efecto de la topología en el rendimiento, calidad y rentabilidad del tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) en un sistema de producción bajo invernadero. Tesis de especialidad en ingeniería de invernaderos. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. pp 6-10.
- Palao**, T. F. y J. A. Salinas-Andújar. 2007. Potencialidad del transporte hortofrutícola por el Puerto de Almería. Editorial Universidad de Almería. p 185.
- Pastor**, Z. O. A. 2014. Disposición de plantas, cultivares y densidades de población en la producción hidropónica de jitomate. Maestría en ciencias en horticultura. Departamento de fitotecnia. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. pp 14, 31-32, 39-40. <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2014013111131549.pdf>
- Pérez**, A. J. A. 2004. Análisis De Crecimiento, Área Foliar y Concentración De Nitrógeno En Hojas De Pasto Mulato (*Brachita Hibrido cv.*). p 448.
- Picken**, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*). Journal of Horticultura Science. pp 1223-1240.
- Ramírez**, M. A. A. 2013. Evaluación de la Lombricomposta Como Parte del Sustrato en la Producción de Plántula de Tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*). Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah. p 8.
- Raya**, J. C. 2016. Tercer Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Memoria Científica. Primera edición. p 125.
- Resh**, H. M. 2004. Cultivos Hidropónicos. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 369.

- Rodríguez, F. H;** L. S. Muñoz y E. Alcorta-García. 2006. El tomate rojo: sistema hidropónico. pp 44-46.
- Rodríguez, M. R.** 2014. Índice y Densidad Estomática de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) Mediante la Aplicación de Quitosán y Complejos de PAA-Quitosán. Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah. p 16.
- Rodríguez, R. R;** Tabares R. J-M y J-A. Medina-San Juan. 2001. Cultivo Moderno del Tomate. pp 15-18.
- Rosemary, W;** J. Valenzuela; A. Trujillo; P. Madriz y M. Gutierrez. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. Agronomía Trop. p 21.
- Ruiz, E. F. H;** B. Murillo A; J. L. García H; E. Troyo D; A. Palacios E; A. Beltrán M; L. Fenech L; S. Zamora S; P. Marrero L; A. Nieto G. y O. Cruz de la Paz. Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en albahaca (*Ocimum basilicum L.*). pp 29-33.
- Saavedra, del R. G.** 2013. Efecto del medio ambiente en el contenido de licopeno y solidos solubles del tomate para procesamiento. p 49. <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33528.pdf>
- Sánchez, del C. F.;** E. del C. Moreno P.; R. Coatzín R.; M. T. Colimas L. y A. Peña-Lomelí. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Horticultura. Volumen 16. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2010000300009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000300009)
- Sánchez, del C. F. y J. Ponce O.** 1998. Proyecto de Producción de Hortalizas en Hidroponía bajo Invernadero en el Valle de San Fernando, San Luis Potosí. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p 108.
- Sánchez, G. V;** I. M. Gutiérrez y G. G. Rivas-Platero. 2008. Producción ecológica de cultivos anuales comerciales: chile y tomate. Bib. Orton IICA/CATIE. p 24.

- Servicio** de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Monografía de cultivos. p 10.
- Shany**, M. 2007. Tecnología de producción bajo cobertura. Mashav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. Israel. p 69.
- Sistema** Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). 2013. Disponible en <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>. Consultado el 9 /12/2013.
- Spooner**, D. M., E. Peralta I.; Knapp S. Phylogeny of wil tomatoes. [Solanum, l. section lycopersicon (Mill). Wettst. Subsection. Lycopersicon]. Taxon.
- Tinoco**, A. C. A; A. Ramírez; E. Villareal A. Ruiz-Corral. 2008. Arreglo Espacial de Híbridos de Maíz, Índice de Área Foliar y Rendimiento. pp 271-278.
- Trejo**, R. R. 2014. Evaluación de sustratos y enarenados en producción de tomate bola (*Solanum lycopersicon L.*) en invernadero. Maestría en ciencias en producción agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. p 3.
- Ubaque**, L. H y C. A. Parrado. 2004. Buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de tomate bajo invernadero. Universidad de Bogotá. p 19.
- Ultria**, B. E; J. A. Cabrera R; R. Escobar; I. M. Morales y E. Toledo-Toledo. 2008. Utilización agraria de los biosolidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Revista Chapingo. Serie Horticultura. pp 4-6.
- Usón**, M. A; J. Boixadera; A. Bosch y A. Enrique-Martín. 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Universidad de Zaragoza. p 420.
- Vallejo**, C. F-A y E-I. Estrada-Salazar. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Univ. Nacional de Colombia. pp 70- 96.
- Villegas**, C. J. R.; V. A. Gonzales H.; J. A. Carrillo S.; M. Livera M.; F. Sánchez del C. y Osuna E. T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. Artículo científico.

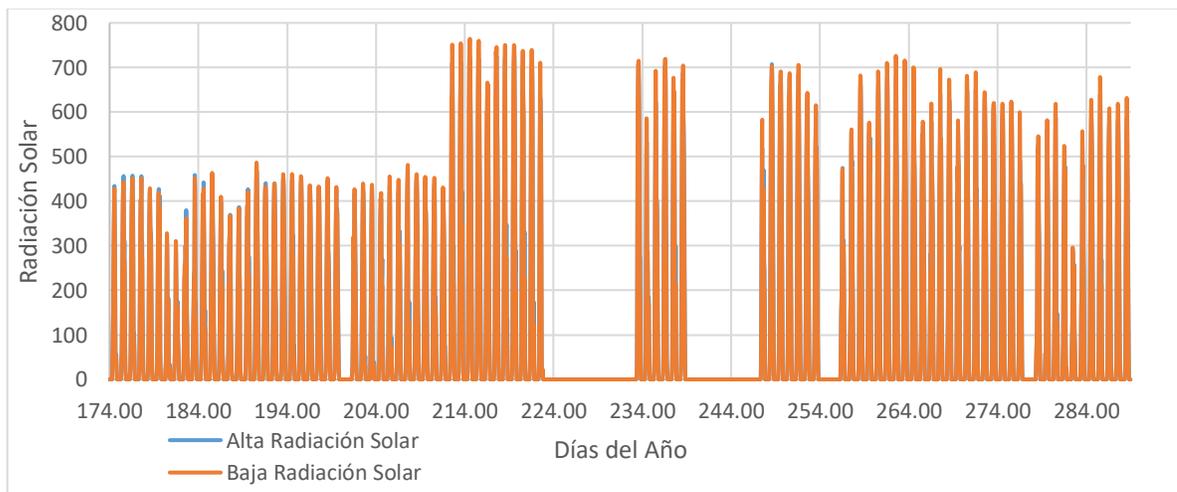
Revista Fitotecnia Mexicana. Volumen 27. pp 333-338.  
<http://www.redalyc.org/pdf/610/61027405.pdf>

**Vázquez R.**, J.C.; Sánchez-Del C., F.; Moreno P., E. Del C. 2007. Producción de jitomate en doseles Escaleriformes Bajo Invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura. pp 55- 62.

**Zárate**, N. B. H. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Maestría en ciencias en conservación y aprovechamiento de recursos naturales. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional-unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. pp 8-9 y 13.

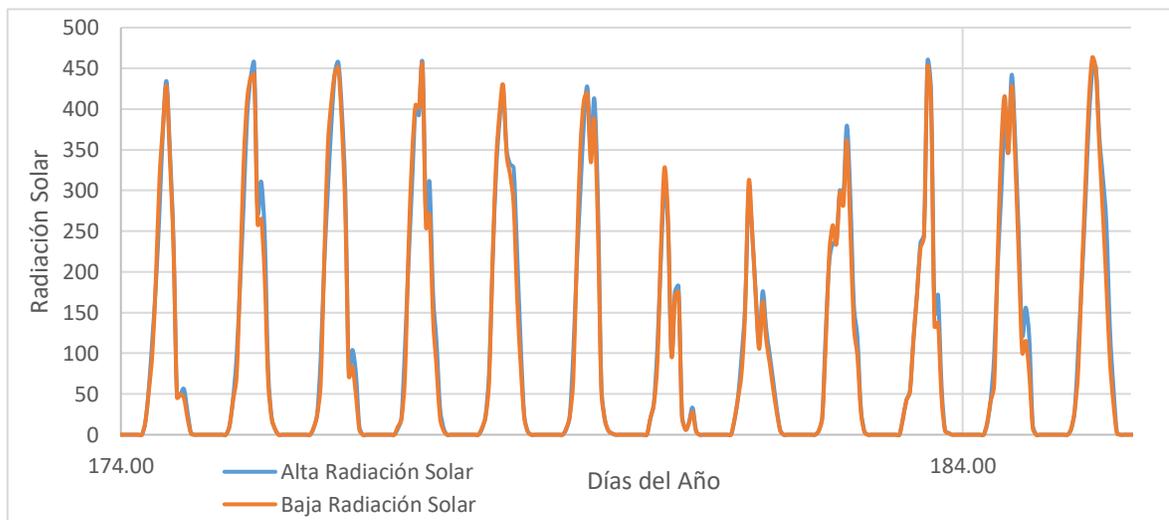
## VII. APÉNDICE

Apéndice 7.1. Se muestra la radiación solar total en las unidades de  $\text{Wm}^{-2}$  para el ciclo de cultivo de tomate híbrido Gabriela, influenciada por las épocas del año como se observa que en los días 174-211 correspondiente de verano donde los días son largos lo que indica mayor radiación misma que disminuye por la colocación de malla sombra la cual se retira el día 212 donde es visible el incremento de los valores de radiación, en los días 200, 223-232, 239-246, 254,255 y 277 no se midió la radiación solar por fallas en el equipo, el día 265 comienza el otoño y se observa que los valores de radiación empiezan a disminuir ya que esta época del año se caracteriza por tener los días cortos y noches largas. Según Díaz, (2012) público que el tomate requiere días soleados para el buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto deben tener de 1,000 a 1,500 horas luz al año o 14 a 16  $\text{MJm}^{-2}$  por día (4.44  $\text{wh m}^{-2}$ ).



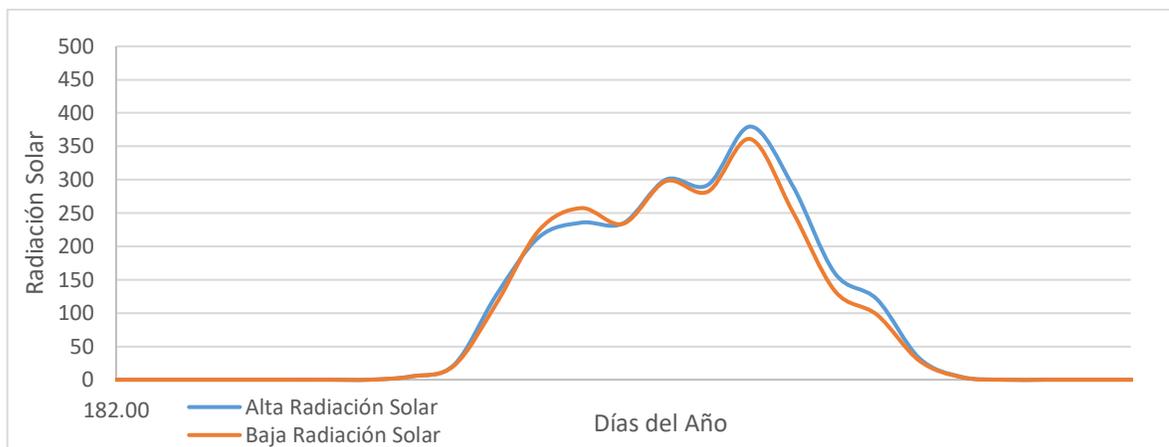
**Apéndice 7.1.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para todo el ciclo del cultivo bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas  $\text{m}^{-2}$ , 6.6 plantas  $\text{m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.2. La etapa fenológica vegetativa dura del día 146-185 de los cuales se midió la radiación solar en las unidades de  $Wm^{-2}$  los días 174-185, los datos de radiación son instantáneos y son arrojados cada hora. Durante la temporada vegetativa la radiación absorbida por el cultivo es de suma importancia ya que si es la requerida incrementa la cantidad de biomasa por lo que arroja valores altos de productividad así como de la calidad.



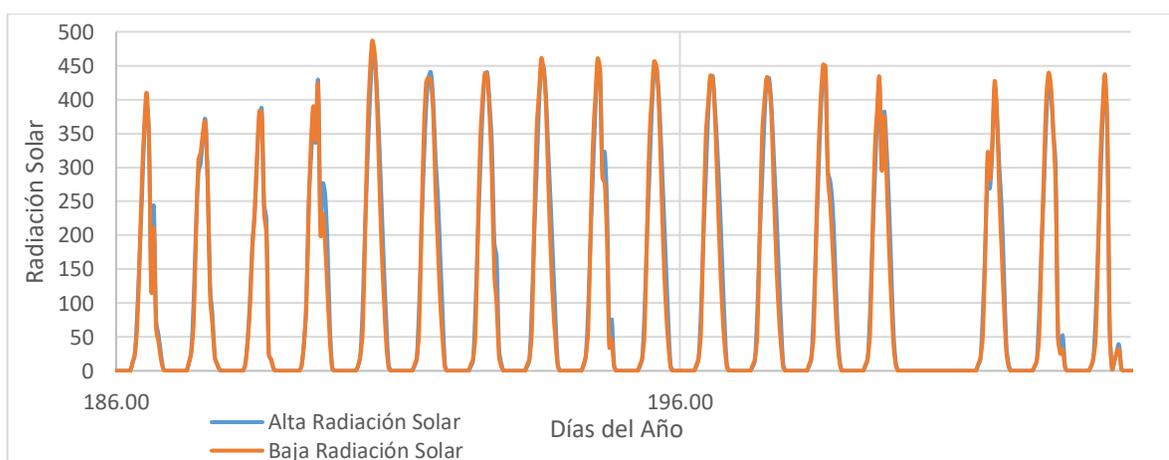
**Apéndice 7.2.** Radiación solar total (RS) en  $Wm^{-2}$  para la etapa vegetativa (39 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas  $m^{-2}$ , 6.6 plantas  $m^{-2}$ ).

Apéndice 7.3. Se toma un día representativo de la etapa fenológica vegetativa el cual es el día 182 del año, se observa la radiación solar en las unidades de  $Wm^{-2}$  a partir de las 7 am comienzan a incrementar los valores hasta las 8 pm de los cuales el valor más alto se da a las 3 pm donde la baja radiación arroja 361  $Wm^{-2}$  y la alta radiación 379.7  $Wm^{-2}$ , cuando los días son más soleados el consumo de agua aumenta.



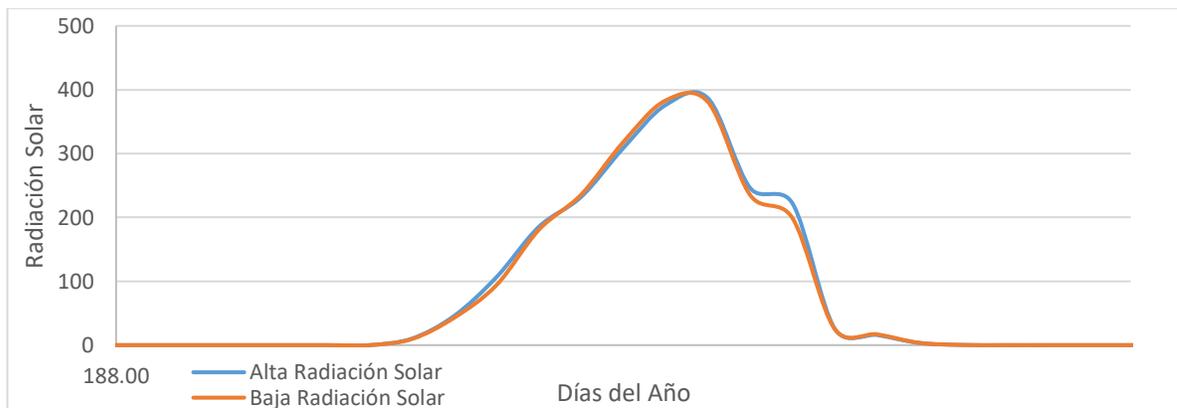
**Apéndice 7.3.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para el día 182 bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población ( $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$ ,  $6.6 \text{ plantas m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.4. Se puede observar la radiación solar en  $\text{Wm}^{-2}$  para la etapa de floración misma que se da de los días del 186-203, esta etapa fenológica requiere gran cantidad de radiación solar ya que se necesita para la formación de los racimos florales mismos que determinan la fructificación apoyada de temperaturas no tan altas ya que si sobrepasan los  $30^{\circ}\text{C}$  el polen se deshidrata y no es viable por lo que no se lleva a cabo la polinización y disminuye la productividad del cultivo.



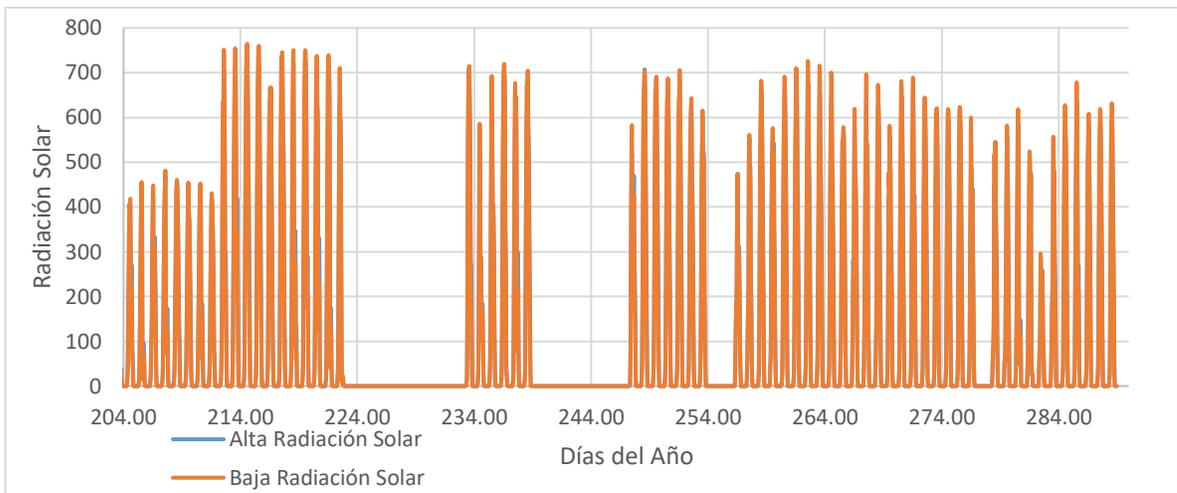
**Apéndice 7.4.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para la etapa de floración (18 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población ( $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$ ,  $6.6 \text{ plantas m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.5. Se puede observar la radiación solar en  $\text{Wm}^{-2}$  para el día 188 de la etapa fenológica de floración donde la radiación solar del día se da de las 6 am a 8 pm donde los valores más altos son a las 2 pm donde la radiación alta arroja  $386.6 \text{ Wm}^{-2}$  y la baja radiación  $380.7 \text{ Wm}^{-2}$ , los días de verano se caracterizan por ser días largos y noches cortas lo que significa que la radiación solar diaria es alta y abastece las necesidades del cultivo.



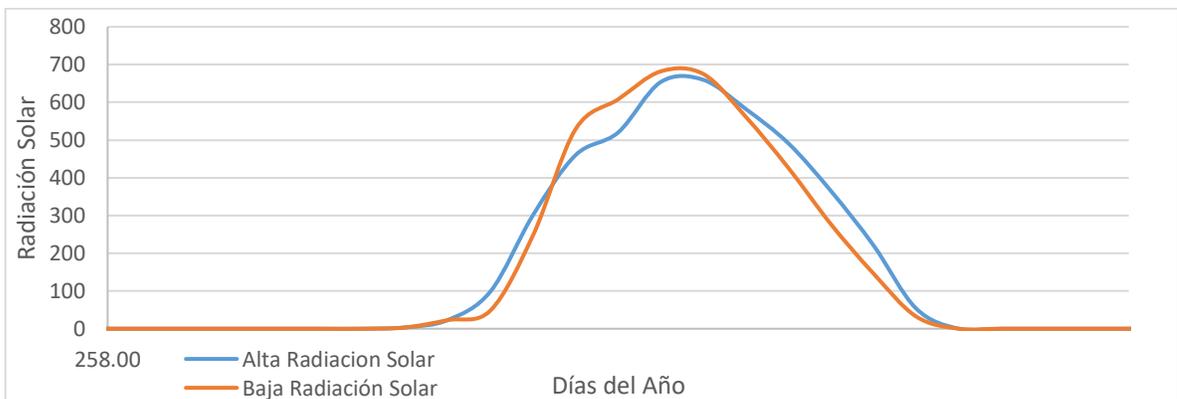
**Apéndice 7.5.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para el día 188 bajo condiciones en invernadero con baja y alta densidad de población ( $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$ ,  $6.6 \text{ plantas m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.6. Se puede observar la radiación solar en  $\text{Wm}^{-2}$  para la etapa fenológica de fructificación donde la radiación solar es baja durante los días 204-212 donde se encuentra una malla sombra en la parte superior del invernadero misma que se retira el día 213 por lo que los valores aumentan hasta la entrada de otoño esta época del año se caracteriza por ser de días cortos y noches largas por lo que la radiación solar comienza a disminuir a partir del día 265. La radiación alta genera altas temperaturas siempre y cuando no sobrepase los  $30^{\circ}\text{C}$  es un beneficio para el fruto para el tiempo de maduración, la maduración uniforme y el color encendido. Esta etapa fenológica inicia con la cosecha de los primeros frutos hasta la senescencia de la planta donde los valores de producción disminuyen drásticamente.



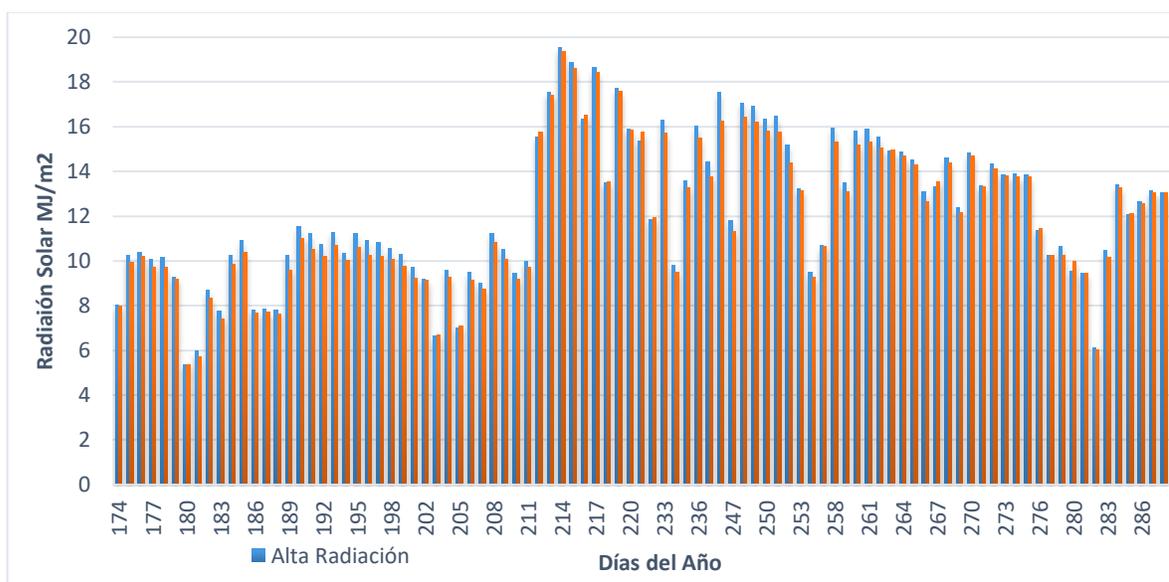
**Apéndice 7.6.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para la etapa d fructificación (94 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población ( $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$ ,  $6.6 \text{ plantas m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.7. Se puede observar la radiación solar en  $\text{Wm}^{-2}$  para el día 258 de la etapa fenológica de fructificación donde la radiación solar es alta ya que es verano. Se elige un día representativo de la etapa fenológica para distinguir el comportamiento de la radiación solar, lo que nos arroja datos donde la baja radiación supera a la alta en algunas horas del día, esto se debe a la posición del sol.



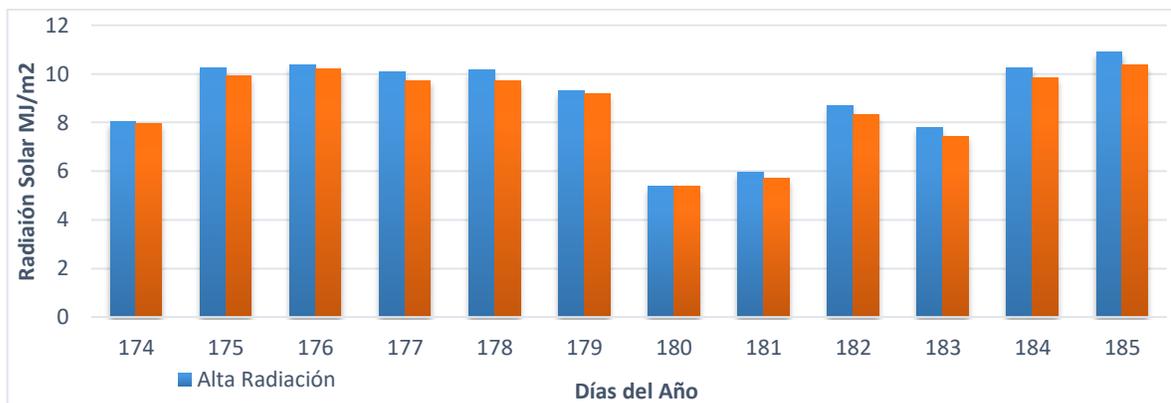
**Apéndice 7.7.** Radiación solar total (RS) en  $\text{Wm}^{-2}$  para el día 258 bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población ( $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$ ,  $6.6 \text{ plantas m}^{-2}$ ).

Apéndice 7.8. Se puede observar la radiación solar diaria en MJm<sup>-2</sup> para el ciclo del cultivo, su establecimiento se lleva a cabo el día 146 y finaliza el día 288 de los cuales las mediciones de radiación solar se toman los días 174-288. Díaz en el 2012 publico que el tomate requiere 14 a 16 MJm<sup>-2</sup> por día, por lo que los valores arrojados son similares y el desarrollo del experimento se ve favorecido por trabajar bajo invernadero ya que este disminuye la radiación solar y evita daños severos para el cultivo.



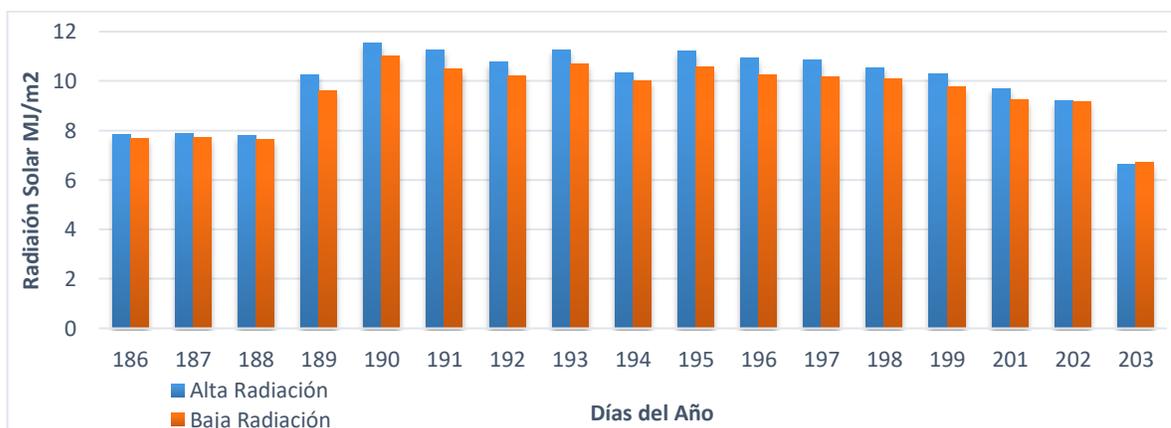
**Apéndice 7.8.** Radiación solar total diaria MJm<sup>-2</sup> para ciclo del cultivo bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas m<sup>-2</sup>, 6.6 plantas m<sup>-2</sup>).

Apéndice 7.9. Se puede observar la radiación solar diaria en MJm<sup>-2</sup> para la etapa fenológica vegetativa que dura los días 146-185 las mediciones de radiación solar se toman los días 174-185. Esta etapa fenológica es muy importante ya que con la radiación absorbida por el cultivo este se desarrolla eficientemente y puede soportar los efectos de productividad sin problemas.



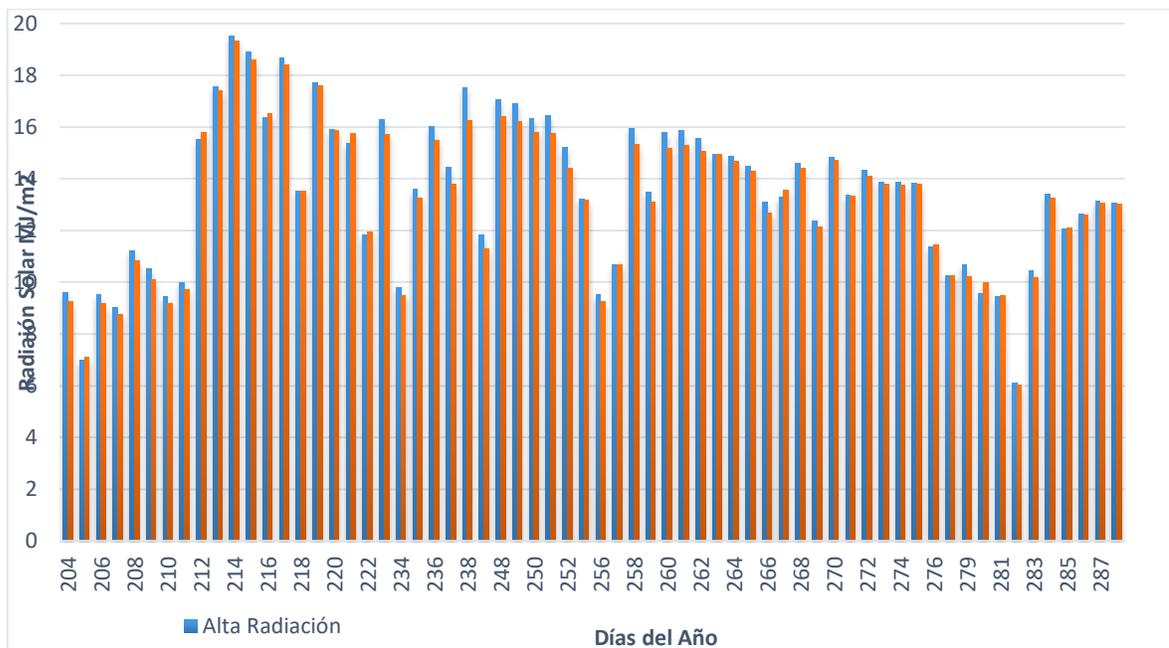
**Apéndice 7.9.** Radiación solar total MJm<sup>-2</sup> para la etapa vegetativa (39 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas m<sup>-2</sup>, 6.6 plantas m<sup>-2</sup>).

Apéndice 7.10. Se puede observar la radiación solar diaria en MJm<sup>-2</sup> para la etapa fenológica de floración que dura los días 186-203, donde los valores de radiación solar son constantes por lo que propicia que por medio de la fotosíntesis se lleven a cabo procesos fisiológicos como la fecundación pues se necesita energía para este proceso; la radiación solar no es muy elevada por lo que propicia temperaturas menores de 30°C lo que es bueno ya que el polen es viable ya que no se deshidrata por lo que arroja valores altos de productividad.



**Apéndice 7.10.** Radiación solar total diaria MJm<sup>-2</sup> para la etapa de floración (18 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas m<sup>-2</sup>, 6.6 plantas m<sup>-2</sup>).

Apéndice 7.11. Se puede observar la radiación solar diaria en MJm<sup>-2</sup> para la etapa fenológica de fructificación que dura los días 204-288, donde los valores de radiación solar de los días 204-211 son bajos ya que es por la presencia de la malla sombra, los días 212-264 la radiación es alta por la época del año es verano y los días 265-287 es otoño. En esta etapa fenológica se necesitan altos valores de radiación solar ya que propicia alta temperatura que es ideal para la maduración de frutos.



**Apéndice 7.11.** Radiación solar total diaria MJm<sup>-2</sup> para la etapa de fructificación (94 días) bajo condiciones de invernadero con baja y alta densidad de población (3.3 plantas m<sup>-2</sup>, 6.6 plantas m<sup>-2</sup>).