

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de la Fertilización Orgánica y *Ascophyllum nodosum* Sobre el Crecimiento,  
Rendimiento y Calidad de Fruto en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv.  
Clermon en Condiciones de Invernadero.

Por:

**DANIELA IRIDIAN AVILÉS PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de la Fertilización Orgánica y *Ascophyllum nodosum* Sobre el  
Crecimiento, Rendimiento y Calidad de Fruto en Tomate (*Solanum  
lycopersicum* L.) cv. Clermon en Condiciones de Invernadero.

Por:

**DANIELA IRIDIAN AVILÉS PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos  
Asesor Principal



Dra. Juana Cruz García Santiago  
Coasesor



Ing. Raúl Gándara Huitrón  
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Marzo, 2020

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la oportunidad de llegar a este momento en mi vida, ponerme personas tan bonitas y llevarme por el buen sendero.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, que me brindo la oportunidad de forjar mis conocimientos profesionales, me ofreció los mejores profesores para mi formación, por ser una universidad tan noble que da tanto a sus estudiantes, y donde viví experiencias que me ayudaron a formar la persona que soy el día de hoy.

A mi madre **Rocío Pérez García** por siempre brindarme apoyo en todas mis decisiones, por sus grandes consejos, por todos los sacrificios que ha hecho por mí y mis hermanos.

A mis hermanos **Rocío y Jorge Avilés Pérez** por ser un ejemplo para mí, por apoyarme cuando más lo necesito, por el amor y los bonitos momentos familiares que hemos vivido.

A mis tíos **Trinidad, Heriberto, Miguel y Violeta Pérez García** ya que cada uno ha aportado algo bueno en mí y han sido de un gran soporte para mi familia.

Al **Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos** por dejarme participar en este proyecto, por su colaboración en el desarrollo del experimento y revisión de este trabajo.

A la **Dra. Juana Cruz García Santiago** por su apoyo y orientación durante el desarrollo del proyecto, por su aporte de conocimientos, su colaboración en el desarrollo y revisión de este trabajo.

Al **Ing. Raúl Gándara Huitrón** por ayudarme en el transcurso de la carrera, por su amistad, por su colaboración y revisión de este trabajo.

A mi amiga **Diana Aguilar Santacruz** fue la primera persona que conocí en Saltillo, que junto con **Ramón González** me han brindado una amistad muy sólida, un apoyo incondicional en momentos difíciles, y buenos momentos juntos.

A mis amigos y compañeros **Adán Vázquez, Jesús Izaguirre, Marlene Orozco y Cecilia Monsiváis** por su amistad, por los increíbles momentos juntos y estar cuando lo necesitaba.

A **Ricardo Israel Vielma Zamora** por siempre apoyarme y creer en mí.

A los compañeros con los cuales trabaje en tiempo y espacio **Rafael Pérez, Andony Figueroa y César Galicia** y demás compañeros que colaboraron en el desarrollo de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

### **A mi Alma Mater**

Por haberme dado tanto durante el transcurso de mi formación profesional, siempre pondré en alto el nombre de nuestra honorable Institución “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”.

Buitres por siempre.

### **A mi Madre**

Rocío Pérez García por siempre confiar y apoyar todos mis sueños, por enseñarme lo bonito de la vida, por todo el amor que me das, porque a pesar de que todo se torne gris con el simple hecho de verte o escucharte todo vuelve a ser brillo.

Con todo mi amor este trabajo es para ti.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	OBJETIVOS.....	3
1.1.1.	Objetivo general .....	3
1.1.2.	Objetivos específicos.....	3
1.2.	HIPÓTESIS.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	Origen del cultivo de tomate .....	4
2.2.	Clasificación taxonómica del tomate.....	4
2.3.	Producción de tomate a nivel mundial .....	5
2.4.	Producción de tomate en México.....	5
2.5.	Producción bajo invernadero .....	6
2.6.	Hidroponía .....	7
2.6.1.	Sustrato .....	8
2.7.	Agricultura orgánica.....	8
2.7.1.	Fertilizantes orgánicos.....	9
2.7.1.1.	Phytafish®.....	9
2.7.1.2.	Allganic K ® .....	9
2.7.1.3.	Fijaflor ®.....	10
2.7.1.4.	Bioflora Mg ® .....	10
2.8.	Bioestimulantes .....	10
2.8.1.	Algas marinas.....	11
2.8.1.1.	<i>Ascophyllum nodosum</i> .....	12
2.8.1.1.1.	Bioflora Seaweed Creme® .....	13

III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1. Localización del sitio experimental .....	14
3.2. Material genético .....	14
3.3. Trasplante .....	14
3.4. Tratamientos .....	14
3.5. Manejo del cultivo .....	16
3.5.1. Riego .....	16
3.5.2. Tutorio .....	16
3.5.3. Poda .....	16
3.5.4. Aclareo de fruto .....	17
3.5.5. Cosecha .....	17
3.5.6. Control de plagas y enfermedades .....	17
3.6. Variables evaluadas .....	18
3.6.1. Rendimiento .....	18
3.6.2. Peso promedio de fruto .....	18
3.6.3. Diámetro ecuatorial de fruto .....	18
3.6.4. Diámetro polar de fruto .....	18
3.6.5. Grosor de pericarpio .....	18
3.6.6. Sólidos solubles totales .....	19
3.6.7. PH, CE, $\text{NO}_3^-$ , $\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}$ del sustrato .....	19
3.6.8. Peso fresco aéreo y de raíz .....	19
3.6.9. Peso seco aéreo y de raíz .....	19
3.6.10. Altura de planta .....	20
3.6.11. Diámetro de tallo .....	20
3.6.12. Contenido relativo de clorofila .....	20

3.6.13. Temperatura de la hoja .....	20
3.7. Diseño experimental y análisis estadístico. ....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Rendimiento.....	22
4.2. Peso promedio de fruto.....	23
4.3. Diámetro ecuatorial de fruto.....	25
4.4. Diámetro polar de fruto .....	26
4.5. Grosor de pericarpio .....	27
4.6. Sólidos solubles totales .....	28
4.7. PH, CE, $\text{NO}_3^-$ , $\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}$ del sustrato.....	30
V. CONCLUSIÓN .....	34
VI. LITERATURA CITADA.....	35
VII. ANEXOS .....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Ubicación taxonómica del tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L. (ITIS, 2020).....	4
<b>Cuadro 2</b> Tratamientos evaluados en producción de tomate bajo invernadero. .....	16
<b>Cuadro 3</b> Propiedades químicas del sustrato al finalizar el experimento de los diferentes tratamientos evaluados en tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. ....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Producción mundial de tomate. (FAOSTAT, 2017).....	5
<b>Figura 2</b> Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el rendimiento de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero..	23
<b>Figura 3</b> Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el peso promedio de fruto de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.....	24
<b>Figura 4</b> Efecto de la fertilización inorgánica y orgánica en el diámetro ecuatorial de fruto en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.....	26
<b>Figura 5</b> Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el diámetro polar de fruto en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.....	27
<b>Figura 6</b> Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el grosor de pericarpio de fruto en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.....	28
<b>Figura 7</b> Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el contenido de sólidos solubles totales de fruto en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Variables de rendimiento en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos evaluados bajo condiciones de invernadero.....	42
<b>Anexo 2</b>	Acumulación final de peso fresco y seco de la parte aérea y raíz en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.....	43
<b>Anexo 3</b>	Comportamiento de la altura de planta en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.....	44
<b>Anexo 4</b>	Comportamiento del diámetro de tallo en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.....	45
<b>Anexo 5</b>	Comportamiento del contenido relativo de clorofila (SPAD) en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.....	46
<b>Anexo 6</b>	Comportamiento de la temperatura de la hoja (°C) en el cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.....	47

## RESUMEN

El tomate ocupa el cuarto lugar de productos agroalimentarios exportados del país generando un gran impacto económico. La agricultura convencional genera problemas ambientales, en los últimos años se ha buscado retornar a la agricultura orgánica, pero no se han encontrado resultados deseados ya que los rendimientos obtenidos están por debajo de la agricultura que utiliza productos sintéticos. Se busca potencializar los rendimientos a base de un manejo orgánico, y surge como alternativa el uso de bioestimulantes entre los cuales se encuentran las algas marinas. Los extractos de algas mejoran la resistencia de las plantas a las heladas y la sequía, es decir, a condiciones de estrés abiótico, y aumentan el rendimiento de cultivos, por lo que el objetivo del presente estudio será determinar los efectos de la fertilización orgánica y la aplicación de *Ascophyllum nodosum* sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), así como las propiedades químicas del sustrato al final del experimento. Se aplicaron diferentes dosis de *Ascophyllum nodosum* a 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm y 10 ppm, con una base nutritiva orgánica Steiner (1980) al 100% y como testigo la nutrición inorgánica Steiner 100% sin aplicación de bioestimulante, dando un total de 6 tratamientos. Las variables evaluadas fueron rendimiento, peso promedio de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, diámetro polar de fruto, grosor de pericarpio, Sólidos solubles totales, pH, CE,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  del sustrato, peso fresco y seco de la parte aérea y raíz, altura de planta, diámetro de tallo, contenido relativo de clorofila y temperatura de la hoja. Los resultados indican que la aplicación de *Ascophyllum nodosum* incrementa el diámetro polar de fruto y grosor de pericarpio en dosis adecuadas, el aumento de estas características conlleva a un incremento de rendimiento en producción orgánica. El tratamiento orgánico que tuvo resultados más cercanos a el tratamiento inorgánico fue al que se le incorporo 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*.

**Palabras clave:** algas marinas, bioestimulante, cultivo hidropónico, OMRI, horticultura orgánica.

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) ocupa el cuarto lugar en los productos exportados de México en el 2017 según el SIAP (2018) además de que hay un total de 50,000 ha sembradas en el territorio nacional, con un volumen de producción de 3,470 toneladas generando un valor de 25,483 millones de pesos. Teniendo un rendimiento medio nacional de 69.1 toneladas. El consumo per cápita a nivel nacional es de 15.2 kg El rendimiento de la producción de tomate en casa-sombra oscila de 12 a 15 kilogramos por metro cuadrado; mientras que en invernadero es de 14 a 17 kilogramos por metro cuadrado (Parra, 2011) Siendo así un rendimiento promedio bajo invernadero de 150 ton/ha, se denota la diferencia entre el rendimiento promedio nacional, a la del tomate bajo invernadero, lo cual nos muestra que para obtener mejores rendimientos tenemos que tecnificar para cumplir con demandas de producción.

De acuerdo con la FAOSTAT (2017) la producción mundial de tomate es de 241, 928, 300 de toneladas. México ocupa el décimo lugar en producción mundial de tomate, aportando el 2.3% de la producción mundial (SIAP, 2018).

La agricultura convencional es un sistema de producción con una rápida innovación tecnológica, grandes inversiones de capital en equipamiento y tecnología, grandes escalas de huertas a grandes escalas, monocultivos; rendimiento alto uniforme, cultivos híbridos, dependencia del agronegocio, mecanización del trabajo del huerto, y uso intensivo de plaguicidas, fertilizantes y herbicidas (Fisher, 2019).

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana (Andersen, 2003). Lo cual en la actualidad es muy importante debido a las consecuencias que se han ocasionado debido a la contaminación de las aguas y del ambiente, la pérdida de fertilidad de la tierra, el

aumento de la deforestación, y la expulsión de comunidades campesinas e indígenas, debido al uso intensivo de cantidades inmensas de químicos, fertilizantes sintéticos, semillas transgénicas, combustibles, y agrotóxicos arrojados sin control (Ortega, 2019).

Los bioestimulantes son cualquier sustancia o microorganismo aplicados a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, tolerancia al estrés abiótico y/o mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido en nutrientes de la sustancia (Du Jardín, 2015). Algunos de los tipos de bioestimulantes son los extractos de algas, carbohidratos, proteínas, aminoácidos, lípidos, ácidos húmicos y fúlvicos, así como microorganismos que aumentan la tolerancia al estrés abiótico.

La incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no sólo todos los macros y micronutrientes que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento (Senn 1987). Las fitohormonas son compuestos químicos producidos por las plantas para una respuesta fisiológica como crecimiento, enraizamiento, diferenciación de órganos, maduración de frutos entre otros.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de *Ascophyllum nodosum* bajo fertilización orgánica sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, así como su efecto en las propiedades químicas del medio de crecimiento.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la aplicación de *Ascophyllum nodosum* sobre el crecimiento del cultivo de tomate bajo fertilización orgánica.
- Determinar el efecto de la aplicación de *Ascophyllum nodosum* sobre el rendimiento del cultivo de tomate bajo fertilización orgánica.
- Evaluar el efecto de la aplicación de *Ascophyllum nodosum* en el pH, CE,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  del medio de crecimiento.

## **1.2. HIPÓTESIS**

La aplicación *Ascophyllum nodosum* influye en el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, así como en la distribución de iones en el medio de crecimiento.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del cultivo de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), también llamado jitomate en el centro del país se distribuye de México a Sudamérica. Este nombre proviene del náhuatl Xictomatl, está compuesta por tres palabras, xictli=ombigo, tomohuac=gordura, Atl=agua, lo cual se traduce como ombigo de agua gordo. Tiene su centro de origen en una región montañosa, estrecha y alargada de los Andes que comprende Perú, Ecuador y Chile (Peralta y Spooner, 2000). Este fue domesticado por los aztecas en México y tras la llegada de los españoles, se llevó a Europa, así dando origen a la amplia distribución del cultivo.

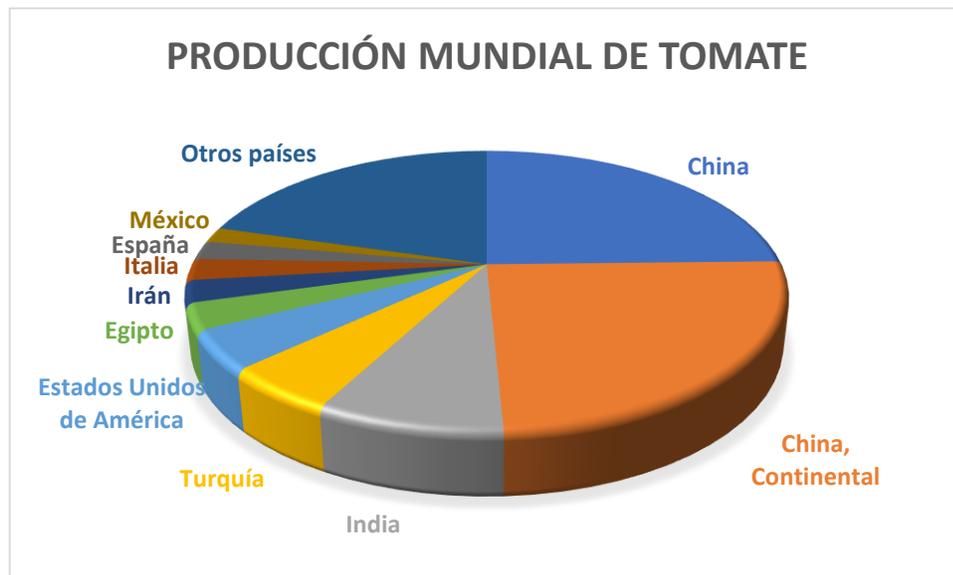
### 2.2. Clasificación taxonómica del tomate

**Cuadro 1** Ubicación taxonómica del tomate *Solanum lycopersicum* L. (ITIS, 2020).

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Superdivisión	Spermatophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteradae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Genero	<i>Solanum</i>
Especie	<i>lycopersicum</i>

### 2.3. Producción de tomate a nivel mundial

La producción mundial de tomate en el 2017 de acuerdo la base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2017) fue de 241,928,300 toneladas, siendo los principales productores China, la India, Turquía, Estados Unidos, Egipto, Irán, Italia, España y México. Entre estos países se reúne un total del 79.5% de la producción de tomate fresco, con un promedio mundial de producción de 55.27 ton/ha.



**Figura 1.** Producción mundial de tomate. (FAOSTAT, 2017).

FIRA (2017) reporta que el consumo per cápita promedio mundial de tomate pasó de 16.7 kg al año en 2003 a 20.6 kg en 2013, en tanto que en los dos principales países consumidores creció a un ritmo mayor; en China pasó de 19.3 a 31.1 kg y en India se incrementó de 6.3 a 12.9 kg. Por su parte, el consumo per cápita en Estados Unidos se ha mantenido estable, con un promedio de 40.4 kg durante ese período.

### 2.4. Producción de tomate en México

En México la producción de tomate en el 2017 fue de 3,470,000 toneladas, generando un valor de 25,483 millones de pesos, teniendo un precio medio rural de 7345 pesos por tonelada. Los principales estados productores de tomate son

Sinaloa (27%), San Luis Potosí (9.8%), Michoacán (7.3%), Jalisco (6.3%), Zacatecas (5.5%), Baja California (5.1), Puebla (3.7%), Sonora (3.4%), Morelos (3.3%) y Oaxaca (2.9). Estos estados producen el 74.3% de tomate nacional. Con estas cifras México se posiciona en el décimo productor mundial aportando el 2.43% del producto. Se tiene un rendimiento promedio de 69.1 ton/ha, que es mayor al rendimiento promedio mundial. Sin embargo, por medios de agricultura protegida, y manejo agronómico se pueden mejorar estas cifras (SIAP. 2018).

Los principales destinos de comercio internacional del tomate de México son Canadá, Japón y Estados Unidos, con este último se exporta e importa.

El tomate ocupa el 4 lugar en el ranking de principales productos agroalimentarios exportados en el 2017 generando 1777 millones de dólares.

Tenemos como proveedor de este producto a China y España. El consumo per cápita en México es de 15.2 kg. A pesar de que importamos, en el 2017 la balanza estuvo a nuestro favor con 58.1 millones de dólares, siendo de gran importancia para la economía mexicana.

## **2.5. Producción bajo invernadero**

En la actualidad hay muchas definiciones de invernadero, es importante conocerla ya que se suele confundir con estructuras de agricultura protegida como macrotúneles y casas sombras. Una definición de acuerdo FRISCO (2016), un invernadero es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la horticultura, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas. El invernadero aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio o un plástico translucido, calienta el ambiente y los objetos que hay dentro.

Estos cuerpos emiten parte de la energía que absorben como radiación infrarroja lejana, que no atraviesa el material de cobertura, produciéndose un aumento de

la temperatura interna del invernadero sobre la temperatura ambiente durante el día (Iglesias, 2006).

El rendimiento de la producción de tomate en casa-sombra oscila de 12 a 15 kilogramos por metro cuadrado; mientras que en invernadero es de 14 a 17 kg por metro cuadrado (Parra, 2011), mientras que Villegas *et al.* (2004) obtuvo un rendimiento de 26.9 kilogramos sobre metro cuadrado.

## **2.6. Hidroponía**

La palabra hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor de trabajo), lo cual significa trabajo en agua. Se entiende literalmente que solo se trabaja en agua, pero la hidroponía es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada (INTAGRI, 2017), también se le suele llamar cultivo sin suelo.

En la solución nutritiva, se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta que se pueden aportar mediante fertilizantes orgánico e inorgánicos solubles, en la cual se equilibra la concentración de aniones y cationes. El contenido de sales de la solución nutritiva se verá reflejada en la CE, por lo que a mayor CE mayor es el contenido de sales. La conductividad eléctrica se expresa en decisiemens por metro (dS/m), el rango de CE generalmente está entre 1 a 2 dS/m esto varía de acuerdo a la tolerancia a la CE de cada cultivo. Se debe de mantener un pH entre 5.5 a 6.5 ya que entre ese intervalo la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilación. Un pH debajo de 5.0 puede provocar deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, y encima de 6.5 dificulta la asimilación de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu.

La hidroponía presenta varios beneficios como lo son un medio libre de patógenos a comparación del suelo, aporte de nutrientes que requiere la planta gracias a esto podemos obtener plantas sanas, y como consecuencia se pueden aumentar la productividad, que de acuerdo a la demanda de productos agrícolas es un objetivo que se busca.

### **2.6.1. Sustrato**

Cruz *et al.* (2012) en su artículo “Sustratos en la horticultura” define como sustrato a todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de estas, o en su caso nutrimentos, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor. Esto quiere decir que un sustrato cumple la función del suelo en la hidroponía.

Las características físicas de los sustratos son espacio poroso total, capacidad de aire o porosidad de aire, capacidad de retención del agua, densidad aparente, densidad real. Las características químicas de un sustrato son la capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad de amortiguamiento del pH (capacidad buffer), nutrimentos y salinidad. Al momento de elegir un sustrato es importante investigar sus propiedades, las propiedades que son más importantes son las físicas ya que estas no se pueden modificar y las químicas se pueden modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas (Baixauli y Aguilar, 2002)

### **2.7. Agricultura orgánica**

En la actualidad hay muchas definiciones acerca de la agricultura orgánica. Andersen (2003) la define como un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana. Otra definición es la de Adamchak, (2018), el cual lo expone como un sistema Agrícola que usa controles biológicos de plagas y fertilizantes biológicos derivados en gran parte de desechos de animales, plantas y cultivos de cobertura que fijan nitrógeno.

Así que podemos definir como agricultura orgánica a un sistema de producción agrícola que utiliza controles biológicos, plaguicidas y fertilizantes derivados de organismos vivos (vegetal y/o animal) con el fin de cuidar el medio ambiente y la salud humana.

### **2.7.1. Fertilizantes orgánicos**

En la agricultura orgánica no se utilizan fertilizantes sintéticos, el medio por el cual se obtienen los requerimientos nutricionales es a través de incorporación de materia orgánica. La materia orgánica se puede aplicar mediante la aplicación de estiércol, compost y subproductos animales, como harina de plumas o harina de sangre (Adamchak, 2018). Además de que también se pueden añadir microorganismos como micorrizas y bacterias que sirven como mejoradores de suelo y eficientiza la asimilación de nutrientes.

El fertilizante orgánico contiene los mismos elementos que los convencionales (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, cobre, zinc) más un contenido de microorganismos benéficos y compuestos que pueden ser proteínas y aminoácidos para que los cultivos tengan una respuesta muy dinámica y favorable (Rodríguez, 2009).

#### **2.7.1.1. Phytafish®**

Phytafish® es un fertilizante orgánico de consistencia líquida a base de subproductos de origen marino. Existen dos presentaciones Phytafish® 4-6-1 que aporta 4% Nitrógeno Total, 6% Fósforo ( $P_2O_5$ ), 1% Potasio ( $K_2O$ ) mientras Phytafish® 4-1-1 aporta 4% Nitrógeno Total, 1% Fósforo ( $P_2O_5$ ), 1% Potasio ( $K_2O$ ). Estos fertilizantes cuentan con certificación OMRI. Actúan como estimuladores de crecimiento de la planta y ayudan en el cuajado de los frutos.

#### **2.7.1.2. Allganic K®**

Allganic K® es un fertilizante potásico rico en azufre procedente de sulfato de potasio natural. Es producido a través de las salmueras en el Desierto de Atacama, ubicadas cerca de la Cordillera de los Andes. Su presentación es un polvo soluble lo cual facilita su uso para la hidroponía. Contiene 52% de potasio y 18% de azufre. Está indicado para mejorar el crecimiento de las plantas, en rendimiento y calidad.

### **2.7.1.3. Fijaflor ®**

Fijaflor® es un fertilizante orgánico derivado de cloruro de calcio, con una concentración de 8% de calcio. Cuenta con certificado OMRI. Ayuda a dar firmeza a los frutos.

### **2.7.1.4. Bioflora Mg ®**

Bioflora Mg® es un fertilizante que entra en la categoría de sulfato de magnesio, contiene 4% de magnesio. Cuenta con certificado OMRI y Organic Input Materials. Es un producto altamente soluble que puede ser utilizado en hidroponía.

## **2.8. Bioestimulantes**

La primera definición de bioestimulante fue por Kauffman (2007), como materiales diferentes a los fertilizantes, que promueven el crecimiento de las plantas cuando aplicado en pequeñas cantidades o potenciadores metabólicos. Du Jardín (2015) se dio la tarea de realizar una definición en forma la cual fue la siguiente: los bioestimulantes son cualquier sustancia o microorganismo aplicados a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, tolerancia al estrés abiótico y/o mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido en nutrientes de la sustancia. Entre los beneficios que tiene el uso de bioestimulantes esta mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, lo que tiene un impacto positivo en la rentabilidad de la huerta, mejorar la absorción y el uso eficiente de otros insumos esenciales, en particular los fertilizantes (European Biostimulants Industry Council, 2020).

Los bioestimulantes se derivan de un conjunto diverso de materiales biológicos como fermentaciones microbianas de materia prima animal o vegetal, cultivos microbianos vivos, macro y microalgas, proteínas hidrolizadas, ácidos húmicos y fúlvicos, compost, abonos, alimentos y residuos industriales preparados utilizando procesos de fabricación industrial diferentes, así teniendo un modo de

acción diferente (Brown y Saa, 2015). Kauffman (2007) menciona que los bioestimulantes se clasifican en tres principales grupos en función de su fuente y contenido. Estos grupos abarcan sustancias húmicas (HS), productos que contienen hormonas (HCP) y productos que contienen aminoácidos (AACP).

En la Actualidad las principales categorías de bioestimulantes de plantas son los ácidos húmicos y fúlvicos, proteínas hidrolizadas y otros compuestos que contienen N (Nitrógeno), extractos de algas marinas y botánicos, quitosanos y otros biopolímeros, compuestos inorgánicos, bacterias y hongos benéficos.

Muchos bioestimulantes contienen carbohidratos simples y complejos que, cuando se aplican a la planta, pueden alterar el metabolismo al actuar directamente como fuente de energía para las poblaciones microbianas endofíticas y no endofíticas o como moléculas de señalización (Brown y Saa, 2015).

### **2.8.1. Algas marinas**

Las algas marinas están presentes en un grupo de macroscópicos, marinos multicelulares que pueden ser de color marrón, rojo y verde. Son una fuente importante de materia orgánica y nutrientes fertilizantes. Se han utilizado extractos de algas marinas en la agricultura como acondicionadores de suelo o estimuladores de plantas (Bulgari *et al.*, 2019). Estos actúan como bioestimulantes principalmente debido a la presencia de hormonas vegetales. (Tuhy, *et al.*, 2013) señalan que las principales fitohormonas identificadas en extractos de algas son: auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno.

Los productos más utilizados de algas marinas en cultivos hortícolas son los extractos de algas, estos están disponibles como extractos líquidos, soluble o en polvo. Los extractos líquidos se pueden aplicar cerca de la raíz de la planta, esto se puede lograr mezclando los extractos con fertirriego y se aplica como riego por goteo a los cultivos (Battacharyya *et al.*, 2015) también se pueden aplicar por aspersión foliar y son capaces de mejorar el crecimiento de las plantas, tolerancia

a estrés abiótico, la actividad fotosintética y la resistencia a hongos, bacterias y virus, mejorando el rendimiento y la productividad de varios cultivos (Bulgari *et al.*, 2019).

Los extractos de algas dan los siguientes beneficios: tolerancia a estrés abiótico como salinidad, sequia, heladas, inundación y altas temperaturas; mejora crecimiento y calidad nutricional, mejorando brotes y crecimiento de raíces, pronta floración, altos rendimientos, aumento y uniformidad de calibre de fruta; reduce la transmisión de patógenos en el suelo, incrementa la fertilidad de suelo, aumenta el número de raíces laterales y mejora las asociaciones de micorrizas (Battacharyya *et al.*, 2015).

La mayoría de los extractos de algas comerciales están hechos de algas pardas, como *Ascophyllum nodosum*, otras especies que son usadas para bioestimulantes son *Fucus spp.*, *Laminaria spp.*, *Sargassum spp.* y *Turbinaria spp.* (Chojnacka *et al.*, 2018).

#### **2.8.1.1. *Ascophyllum nodosum***

Las algas pardas *Ascophyllum nodosum* son utilizadas como bioestimulantes, estas abundan en las aguas más frías de Irlanda, Escocia, Noruega y Canadá (Medjdoub, 2006).

*Ascophyllum nodosum* ayuda a mejorar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico y/o biótico, promover el crecimiento de las plantas, aumentar el rendimiento agrícola y efectos sobre las interacciones raíz/microbiota (Shukla *et al.*, 2019). Dentro de la biología compleja de *Ascophyllum nodosum* se encuentran compuestos tal como betaínas, compuestos similares a auxinas y giberelinas, manitol, ácido algínico y laminarina (Norrie, 2015).

En la actualidad hay varias presentaciones comerciales las cuales se pueden aplicar vía foliar, riego, combinados, de igual forma se puede utilizar como tratamiento de semilla para germinar.

#### **2.8.1.1.1. Bioflora Seaweed Creme®**

Bioflora Seaweed Creme® es un bioestimulante y regulador de crecimiento orgánico derivado del alga marina *Ascophyllum nodosum*. Contiene altos niveles de fitohormonas naturales de auxinas, citoquininas, giberelinas, así como betaínas y aminoácidos que ayudan a maximizar la calidad y los rendimientos de los cultivos. Tiene una composición de 12% algas marinas, 0.16% N, 0.11% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.7% K<sub>2</sub>O, 0.2% Mg, 0.45% Ca y 0.53% S. Este bioestimulante cuenta con certificado OMRI.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el periodo de abril a septiembre de 2018 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro campus Saltillo, Coahuila en el Invernadero Orgánico del Departamento de Fitomejoramiento, el cual se encuentra a una Latitud de 25° 21'18" N, Longitud de 101°02'11" W y a una Altitud de 1, 760 msnm (Google Earth, 2020).

Las condiciones ambientales del experimento fueron las siguientes: temperatura promedio de 24 °C, Humedad Relativa promedio de 63%, radiación fotosintéticamente activa promedio de 571  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

#### 3.2. Material genético

Para la realización del experimento se empleó semilla híbrida de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo bola cv. Clermon, de habito indeterminado. La siembra fue realizada el 25 de abril en charola de poliestireno de 200 cavidades. Como medio de germinación se usó Sphagnum Peat Moss (PRO-MIX PG ORGANIK) de la empresa Premier Tech Horticulture con pH de 4.5 a 6.5. Se depositó una semilla por cavidad. Se regó durante un mes con atomizador utilizando solo agua.

#### 3.3. Trasplante

El trasplante se realizó el 25 de mayo, en contenedores de polietileno bicolor (blanco al exterior, negro al interior) de 10 litros con una mezcla de sustrato de Sphagnum Peat Moss (PRO-MIX PG ORGANIK), polvo de coco y perlita en una proporción 40:40:20 v/v. Cabe mencionar que el peat moss y el polvo de coco cuentan con certificado OMRI.

#### 3.4. Tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos para determinar el impacto del uso de fertilizantes orgánicos y algas marinas en la producción de tomate bajo invernadero. Los

tratamientos evaluados consistieron en 5 tratamientos a base de fertilizantes orgánicos y uno a base de fertilizantes inorgánicos. En la fertilización inorgánica se empleó la solución nutritiva Steiner (1980); macronutrientes ( $\text{meq L}^{-1}$ ): 12 N, 1 P, 7 S, 9 Ca, 7 K y 4 Mg, y micronutrientes ( $\text{mgL}^{-1}$ ): 5 Fe, 0.02 Cu, 0.05 Zn, 0.5 Mn, 0.01 Mo y 0.5 B. Se proporcionó esa nutrición con los siguientes fertilizantes sintéticos:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y Nutrimix. En los tratamientos orgánicos se emplearon varias fuentes de fertilizantes orgánicos para igualar los  $\text{meq L}^{-1}$  de los nutrientes de la solución inorgánica Steiner, agregando los siguientes fertilizantes orgánicos: Phytafish® (4-6-1) [4% nitrógeno total, 6%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 1%  $\text{K}_2\text{O}$ ], Phytafish® (4-1-1) [4% nitrógeno total, 1%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 1%  $\text{K}_2\text{O}$ ], Allganic Potassium® (52%  $\text{K}_2\text{O}$ , 54%  $\text{SO}_4$ ), Fijaflor® (8% Ca), BioFlora® Magnesium (4% Mg) y micronutrientes: BioFlora® Iron (4% Fe), BioFlora® Copper (3% Cu), BioFlora® Zinc (7% Zn), BioFlora® Manganese (4% Mn) y BioFlora® Boron (5% B). Además, a los tratamientos orgánicos se les adicionó un bioestimulante llamado Bioflora Seaweed Creme® a base de algas pardas *Ascophyllum nodosum* en diferentes dosis (Cuadro 2). Cabe mencionar que los productos orgánicos mencionados cuentan con certificado OMRI para su uso en la producción orgánica certificada.

La unidad experimental consistió en dos contenedores con una planta cada uno, y cada tratamiento tuvo cinco repeticiones. La distancia entre contenedores fue de 30 cm, y una distancia entre hileras o bloques de 80 cm.

Cada solución nutritiva se elaboraba en tambos de 70 litros. Se consideró las propiedades químicas del agua de riego para la formulación de la SN. El pH de la SN se ajustó entre 5.6 a  $5.8 \pm 0.1$  antes de cada riego con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para el tratamiento inorgánico, y para los tratamientos orgánicos se utilizó BioFlora® Acidifier (ácido cítrico no sintético).

**Cuadro 2** Tratamientos evaluados en producción de tomate bajo invernadero.

Tratamientos	Fertilización	Bioestimulante (Bioflora Seaweed Creme®) ppm
1	Orgánica	0
2	Orgánica	2.5
3	Orgánica	5
4	Orgánica	7.5
5	Orgánica	10
6	Inorgánica	0

### **3.5. Manejo del cultivo**

#### **3.5.1. Riego**

La frecuencia del riego vario según las necesidades hídricas de las plantas, aplicando un volumen suficiente para mantener una fracción de lixiviado del 30%. El riego se aplicaba a mano, con un volumen que variaba de 1 a 2.5 litros por riego.

#### **3.5.2. Tutoreo**

Se utilizó el entutorado vertical o tipo holandés guiando las plantas a un solo tallo, para lo cual se colocaron anillos de tutoreo a los 15 días después del trasplante, haciendo la conducción de la planta con una rafia con el fin de que crecieran erguidas y así evitar el contacto de las hojas y frutos con el sustrato.

#### **3.5.3. Poda**

La poda de la planta se realizó a un tallo, eliminando brotes axilares. Estas actividades se realizaron de forma manual. La poda de hoja consistió, en eliminar

las hojas viejas de los racimos ya cuajados, con el objetivo de mejorar la aireación, mejorar madurez de fruto y evitar el desarrollo de plagas o enfermedades. Se dejaron 11 a 13 hojas fotosintéticamente activas procurando tener un equilibrio entre el desarrollo vegetativo y reproductivo. Se realizaron tres podas durante el experimento.

#### **3.5.4. Aclareo de fruto**

Esta actividad se realizó durante el amarre o cuajado de fruto en cada racimo, dejando solamente 5 frutos por racimo, para obtener frutos más grandes y uniformes.

#### **3.5.5. Cosecha**

La cosecha inició el 03 de agosto y concluyó el 26 de septiembre. Se efectuó el corte cuando los frutos adquirieron un 80% del color rojo característico de la variedad. Se cosecharon cuatro racimos por planta. Estos eran marcados de acuerdo con el número de fruto y racimo para la evaluación de variables. Control de plagas y enfermedades

#### **3.5.6. Control de plagas y enfermedades**

Se realizaron aplicaciones preventivas de Best Ultra® S y Best Ultra® F (fungicidas orgánicos e inductores de resistencia sistémica de las plantas tanto para sustrato como su uso vía foliar), durante el experimento. Asimismo, se aplicó un repelente insecticida de amplio espectro (Pestil Out®). Dichos productos elaborados por la empresa GreenCorp Biorganiks de México S.A de C.V., los cuales a su vez cuentan con certificado OMRI y acreditación IFOAM. Las aplicaciones se realizaron con una aspersora nebulizadora eléctrica (SWISSMEX® Modelo W1000).

### **3.6. Variables evaluadas**

#### **3.6.1. Rendimiento**

Se determinó con la suma del peso de los frutos obtenidos por racimo, después se sumaron los 4 racimos obtenidos por planta derivados del experimento. Este se expresó en gramos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

#### **3.6.2. Peso promedio de fruto**

Se determinó sacando el promedio de pesos obtenidos al momento de cosecha de todos los frutos de cada racimo en todas las plantas, para lo cual se utilizó una balanza analítica (VELAB® VE-1000). Los datos se expresaron en gramos por fruto ( $\text{g fruto}^{-1}$ ).

#### **3.6.3. Diámetro ecuatorial de fruto**

Se evaluaron dos frutos por cada racimo, midiendo la parte media de cada fruto recién cosechado (corte transversal), para lo cual se utilizó un vernier digital (Mitutoyo®). Los datos fueron expresados en milímetros (mm).

#### **3.6.4. Diámetro polar de fruto**

Se evaluaron dos frutos por cada racimo, midiendo desde la cicatriz del pedúnculo hasta el ápice de cada fruto recién cosechado (corte longitudinal), para lo cual se utilizó un vernier digital (Mitutoyo®). Los datos fueron expresados en milímetros (mm).

#### **3.6.5. Grosor de pericarpio**

Se determinó al momento de cosecha de todos los frutos de cada racimo en todas las plantas, para lo cual se utilizó un vernier digital (Mitutoyo®). Cada fruto fue cortado de manera transversal y se procedió a medir el grosor. Los datos se expresaron en milímetros (mm).

### **3.6.6. Sólidos solubles totales**

Se determinó al momento de cosecha en dos frutos de cada racimo en todas las plantas. El contenido de sólidos solubles totales fue expresado en Grados Brix (°Brix). La evaluación fue hecha colocando una gota de jugo de tomate en el prisma de un refractómetro digital ATAGO® (PAL-1) con compensación automática de temperatura.

### **3.6.7. PH, CE, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> del sustrato**

Al finalizar el experimento se determinó el pH, CE, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> del sustrato tomando una muestra representativa del mismo en la parte media de cada contenedor. Para llevar a cabo el análisis de dichas propiedades químicas, se realizó una mezcla de sustrato (secado previamente) y agua destilada, en una proporción 1:2 (v/v), se agitó manualmente por 5 minutos y dejó reposar por 20 min, posteriormente se filtró cada muestra y la solución recuperada se utilizó para el análisis de dichas propiedades con ayuda de ionómetros portátiles (Horiba LAQUA Twin).

### **3.6.8. Peso fresco aéreo y de raíz**

Se recolectaron y evaluaron todas las hojas eliminadas en cada poda durante el experimento. Al final del mismo, se cortaron los tallos a partir del cuello radicular y se retiró el cepellón de cada contenedor para lavar la raíz eliminando el sustrato adherido a la misma. Para registrar el peso fresco se utilizó una balanza analítica (VELAB® VE-1000) y los datos se expresaron en gramos (g).

### **3.6.9. Peso seco aéreo y de raíz.**

Las hojas, tallos y raíz de cada planta se depositaron en bolsas de papel estraza perforadas. Posteriormente, se colocaron en un horno de secado a 70° C por 48 h para determinar el peso seco utilizando una balanza analítica (VELAB® VE-1000) expresando el resultado en gramos (g).

### **3.6.10. Altura de planta**

Se midió desde la base del tallo hasta el meristemo apical de cada planta, utilizando una cinta métrica. Se tomaron datos semanales a lo largo del experimento iniciando a las tres semanas después del transplante. Los datos fueron expresados en centímetros (cm).

### **3.6.11. Diámetro de tallo**

Se midió a una altura de 10 cm con respecto a la base del tallo en todas las plantas, utilizando un vernier digital (Mitutoyo®). Se tomaron datos semanales a lo largo del experimento iniciando a las tres semanas después del transplante. Los datos fueron expresados en milímetros (mm).

### **3.6.12. Contenido relativo de clorofila**

Los niveles relativos de clorofila total fueron estimados usando un medidor portátil de clorofila (Modelo SPAD-502, Minolta Co., Ltd.). Las mediciones se llevaron a cabo entre las 10:00 a.m. y 11:00 a.m. en la hoja más recientemente madura por debajo del meristemo apical. Se tomaron datos semanales a lo largo del experimento iniciando a las tres semanas después del transplante. Los datos fueron expresados como unidades SPAD.

### **3.6.13. Temperatura de la hoja**

Se evaluó usando un termómetro infrarrojo portátil. Las mediciones se llevaron a cabo en la misma hoja utilizada para evaluar el contenido relativo de clorofila. Se tomaron datos semanales a lo largo del experimento iniciando a las tres semanas después del transplante. Los datos fueron expresados en grados centígrados (°C).

## **3.7. Diseño experimental y análisis estadístico.**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco repeticiones por tratamiento, cada repetición consistió de dos contenedores dando un total de 60 plantas, bajo el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $i = 1, 2, \dots, t$  (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$  (repeticiones)

$Y_{ij}$  = Valor de la característica en estudio

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento con respecto a la media

$R_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición con respecto a la media

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS® versión 9.4).

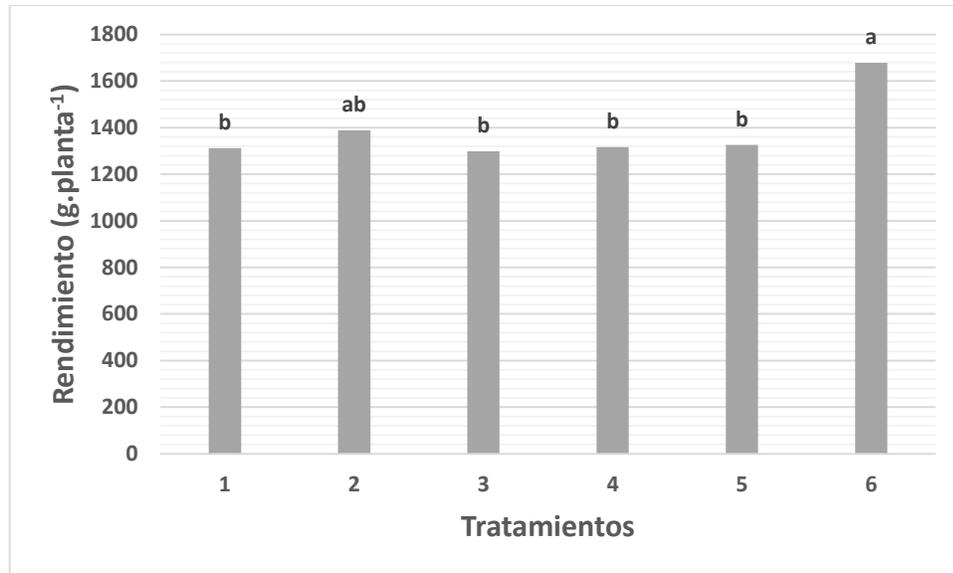
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Rendimiento

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de rendimiento se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ), posicionando como mejores tratamientos a T6 (SN inorgánica) seguido por T2 (SN orgánica + 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) (Anexo 1, Fig. 2), con un rendimiento de 1678.3 y 1388.5 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Lo cual a su vez corresponde a 6.98 y 5.77 kg.m<sup>-2</sup>. Esto corresponde a una diferencia del 17.33% en rendimiento. Los resultados anteriores se pueden deber a que las plantas obtienen los nutrientes más eficientemente cuando se emplea una solución balanceada y en las formas iónicas que ellas pueden aprovechar. Preciado *et al.* (2011) quienes trabajaron con diferentes tipos de fertilizantes (Solución Steiner, Té de vermicompost, Té de compost y Lixiviado de vermicompost) en tomate bajo invernadero, reportaron un mayor rendimiento al emplear la fertilización inorgánica. Por otra parte, se observa una diferencia del 5.53% en rendimiento entre el T2 y T1, siendo este último el tratamiento orgánico sin aplicación de *Ascophyllum nodosum*. En este contexto, Koyama *et al.* (2012) indicaron que una dosis de 0.3% de *Ascophyllum nodosum* (L.) en agricultura protegida y en campo abierto aumenta la producción del cultivo de tomate. Este resultado puede estar dado por el aumento de características como el DPF y GP. Con base a lo anterior, Borrero (2012) evaluó un bioestimulante (Fitomás-E) en el cultivo de tomate, el cual tuvo un efecto positivo en la calidad externa del fruto, lo cual a su vez se manifestó en un incremento en el número de racimos, número de frutos por planta, peso de fruto, así como en la longitud y grosor del mismo; estas variables fueron, finalmente, una causa importante en el incremento de rendimiento de este cultivo.

Con esto podemos observar que con ayuda de bioestimulantes conseguimos potencializar la agricultura orgánica, alcanzando rendimientos si no iguales, similares a la de una producción inorgánica. Que entre los temores de los productores y los agronegocios para entrar en la agricultura orgánica es tener

rendimientos muy por debajo del promedio. Así se puede inducir el manejo orgánico de la agricultura, favoreciendo al medio ambiente.

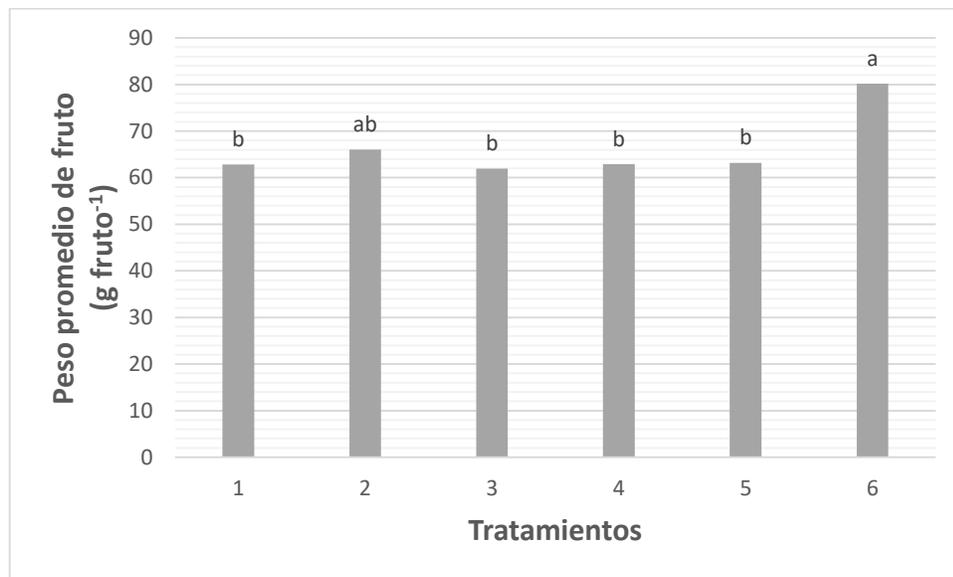


**Figura 2.** Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.0097$ .

#### 4.2. Peso promedio de fruto

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de peso promedio de fruto hubo diferencia estadísticamente significativa mostrándose como mejor tratamiento el T6 (SN inorgánica), seguido por el T2 (SN orgánica + 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) (Anexo 1, Fig. 3), con un valor de 80.15 g fruto<sup>-1</sup> y 66.05 g fruto<sup>-1</sup>, respectivamente. Dicho dato corresponde a una diferencia de 17.59% entre estos dos tratamientos. Con base a lo anterior, estos resultados concuerdan con Heeb *et al.* (2006) quienes reportaron que el peso promedio de fruto para los tomates verdes (inmaduros) de los tratamientos orgánicos fue significativamente menor (81 g fruto<sup>-1</sup>) en comparación con los frutos de los tratamientos inorgánicos (103 g fruto<sup>-1</sup>). Este resultado puede ser porque el T6 (SN inorgánica) generó más hojas de acuerdo al PFH (Anexo 2). En este contexto Acosta *et al.* (2008) mencionan que el índice de área foliar (IAF) se relaciona con el rendimiento. Por

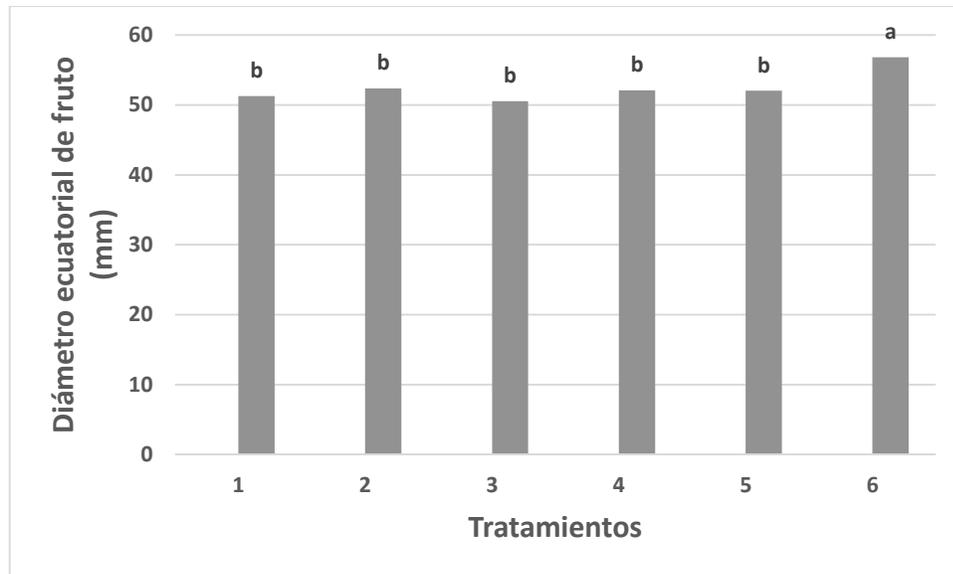
otra parte, entre el T2 (SN orgánica + 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) y T1 (SN orgánica) existe una diferencia de 4.89% (Anexo 1, Fig. 3), esto es consecuencia del aumento de dimensiones en el fruto como el DPF (Anexo 1, Fig. 5) y GP (Anexo 1, Fig. 6), dando como resultado un mayor peso por fruto. Con base a lo anterior, Koyama *et al.* (2012) obtuvo un aumento de peso promedio de fruto significativo con una aplicación de 0.5% semanal de *Ascophyllum nodosum* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. En otra investigación, Chouliaras *et al.* (1997) obtuvieron un aumento de peso medio del fruto, longitud del fruto y aceleraron la maduración con aplicación de *Ascophyllum nodosum* en vides de kiwi. A pesar de que hay significancia entre tratamientos, al momento de exportar la clasificación de frutos se determina por el DEF, los frutos que se obtuvieron entran en el mismo calibre, el peso que fija Premier Horticultura Group (2010) es de hasta 110 g. En ese contexto, al momento de exportar no hay diferencia entre una nutrición orgánica o inorgánica en cuanto el peso de fruto obtenido.



**Figura 3** Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el peso promedio de fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.0081$ .

### 4.3. Diámetro ecuatorial de fruto

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de diámetro ecuatorial de fruto se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ), posicionando como mejores tratamientos a T6 (SN Inorgánica) seguido por T2 (SN orgánica + 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) (Anexo 1, Fig. 4), con un valor de 56.84 y 52.38 mm, respectivamente. Esto corresponde a una diferencia del 7.84% en esta variable entre ambos tratamientos. El diámetro ecuatorial de fruto fue mayor en plantas que fueron cultivadas bajo una nutrición inorgánica (T6); Sin embargo, numéricamente le sigue el T2 con una diferencia de 7.84%, en cuanto el tratamiento que se vio menos favorecido en esta variable se encuentra el T3 que tiene una diferencia de 11.03% (Figura 5). De acuerdo a lo anterior, esto concuerda con los resultados presentados por Ilupeju *et al.* (2015) donde la aplicación de NPK (fertilización inorgánica) dio el diámetro ecuatorial del fruto más ancho de la fruta (15.9 cm), mientras que el menor se obtuvo con el uso de 100% composta de tithonia (13.8 cm). Por otro lado, la aplicación de *Ascophyllum nodosum* no presentó una significancia en esta variable. Este resultado es igual al que obtuvieron Koyama *et al.* (2012) donde para el diámetro transversal del fruto no hubo interacción significativa entre aplicación de *Ascophyllum nodosum* tanto en campo abierto como en agricultura protegida. A pesar de que se observaron diferencias estadísticas significativas para esta variable, la Norma Mexicana NMX-FF-009 (1982) indica que el tamaño de los tomates tipo bola se determina con base a su diámetro ecuatorial. En este contexto, Premier Horticultura Group (2010), presentan diversos calibres para exportación para tomate bola: GG, 82-102 mm; GG, 67-82 mm; M, 57-67 mm; MM, 47-57 mm. Con base a la información anterior, el rango de valores correspondientes al diámetro ecuatorial de fruto de los tratamientos evaluados en esta investigación corresponde al mismo grupo de calibre de exportación señalados por esta empresa.

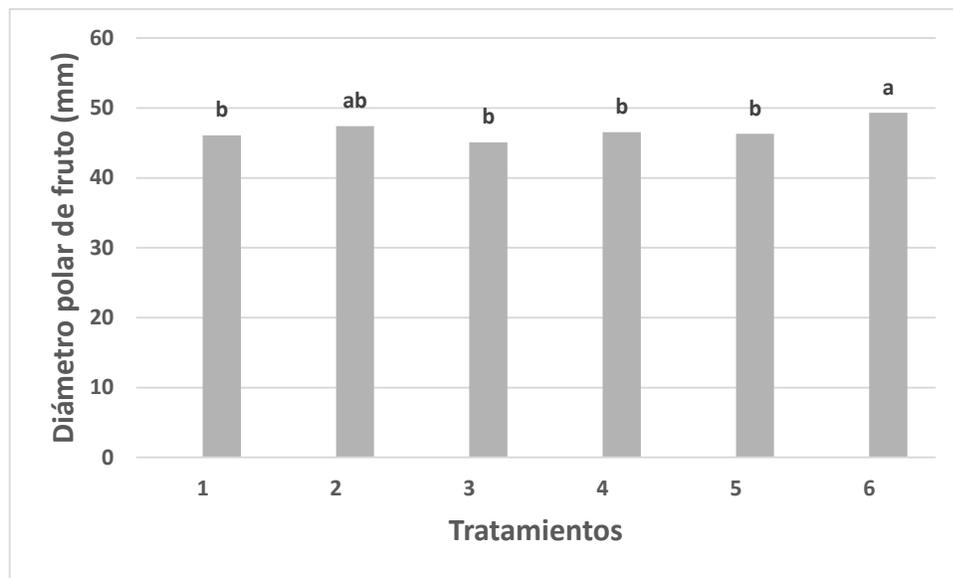


**Figura 4** Efecto de la fertilización inorgánica y orgánica en el diámetro ecuatorial de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.001$ .

#### 4.4. Diámetro polar de fruto

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de diámetro polar de fruto se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ), posicionando como mejores tratamientos a T6 (SN Inorgánica) seguido por T2 (SN orgánica + 2.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) (Anexo 1, Fig. 5), con un valor de 49.31 y 47.42 mm, respectivamente. Esto corresponde a una diferencia del 2.78% en esta variable entre ambos tratamientos. Esto coincide con los datos presentados por Ilupeju *et al.* (2015) en los cuales tuvieron una diferencia significativa en el diámetro polar de fruto entre fertilización orgánica (100% composta de tithonia) e inorgánica (100% NPK sintético) en tomate, con mejores resultados la nutrición inorgánica. En cuanto los tratamientos orgánicos, la diferencia entre T2 (SN orgánica + 2.5 ppm *Ascophyllum nodosum*) y T1 (SN orgánica) es de 2.78%. Estos resultados son similares a los obtenidos por Ali *et al.* (2015) en el cual el diámetro polar del fruto tuvo diferencia significativa entre tratamientos con aplicación del extracto de

alga *Ascophyllum nodosum* bajo condiciones de invernadero, teniendo como mejores resultados la aplicación de una dosis de 0.5%. Esto puede estar relacionado con las auxinas que aporta *Ascophyllum nodosum* (Norrie, 2015), ya que las auxinas están implicadas en la regulación del desarrollo del fruto (Taíz y Zeiger, 2006).

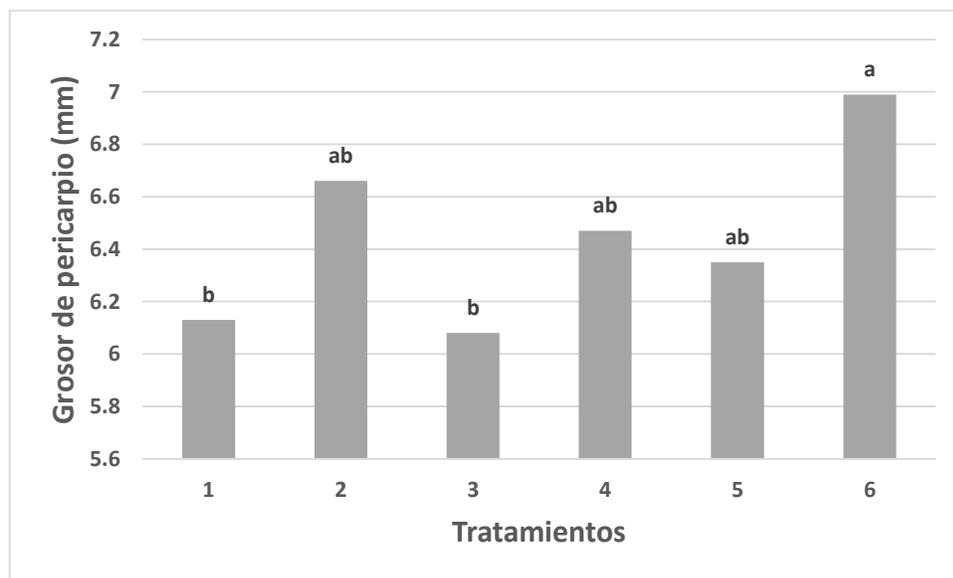


**Figura 5** Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el diámetro polar de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.0005$ .

#### 4.5. Grosor de pericarpio

De acuerdo con el análisis de varianza esta variable registró diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ), siendo la SN inorgánica (T6) el mejor tratamiento con un valor de 6.99 mm (0.7 cm), seguido por T2 (mejor tratamiento orgánico para esta variable) con un valor de 6.66 mm (0.67 cm). Esto corresponde a una diferencia del 5% en esta variable entre ambos tratamientos. Por otra parte, se observa una diferencia del 7.95% en el grosor de pericarpio entre el T2 (6.66 mm) y T1(6.13 mm), siendo este último el tratamiento orgánico sin aplicación de *Ascophyllum nodosum*. En este contexto, Pal *et al.* (2015), a través de la aplicación de una

fuente orgánica a base de estiércol al 100%, obtuvieron un grosor de pericarpio en frutos de tomate de 0.41 cm, y Espinosa *et al.* (2017) obtuvieron un grosor de pericarpio de 0.58 cm con un tratamiento compuesto de 50% de compost, 40 % de arena y 10% de perlita. Ambos valores son menores a los registrados por el T2 en esta investigación. Al igual que la variable de DPF esto puede estar relacionado por la acción de las auxinas que aporta *Ascophyllum nodosum*. Al-Wandawi *et al.* (1985), indicaron que el pericarpio contiene los niveles más altos de antioxidantes en comparación con la pulpa y las semillas, por lo que es de suma importancia el efecto del T2 en esta característica en la presente investigación.

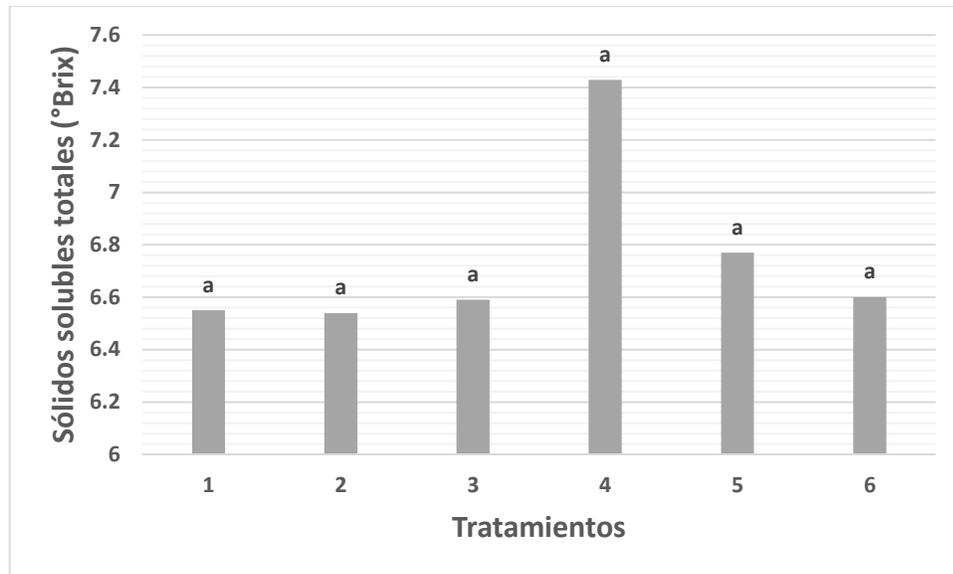


**Figura 6** Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el grosor de pericarpio de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.0081$ .

#### 4.6. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales en frutos de tomate no fue afectado por los tratamientos (Anexo 1, Fig. 7). Nuestros resultados son similares a los de Rinaldi *et al.* (2007) y Polat *et al.* (2010), quienes reportaron que los tratamientos

con fertilización orgánica no tuvieron efecto positivo en el contenido de sólidos solubles totales en tomate; sin embargo, los frutos obtenidos de plantas fertilizadas con el T4 (SN orgánica + 7.5 ppm de *Ascophyllum nodosum*) registraron el valor más alto de SST (7.43 °Brix) (Anexo 1, Fig. 7). Preciado-Rangel *et al.* (2011) señalaron que los frutos de tomate orgánico contienen más sólidos solubles que los producidos con fertilización mineral (SN Steiner). En este experimento, los sólidos solubles totales fluctuaron de 6.54 °Brix (T2) y 7.44 °Brix (T4) (Anexo 1, Fig. 7). A pesar de que estadísticamente no hay significancia entre tratamientos, numéricamente se observó un aumento de SST en los tratamientos con aplicación de *Ascophyllum nodosum* (Fig. 7) que concuerda con lo reportado por Ali *et al.* (2015) y Murtic *et al.* (2018) donde la fruta tratada con *Ascophyllum nodosum* influyó en el rendimiento y atributos de calidad, incluyendo tamaño, color, firmeza, sólidos solubles totales, niveles de ácido ascórbico y minerales. Este resultado puede estar dado por el aporte extra de K<sub>2</sub>O del producto Bioflora® Seaweed Creme, ya que altas concentraciones de potasio (K) mejoran el transporte de fotosintatos (Marschener *et al.*, 1995).



**Figura 7** Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el contenido de sólidos solubles totales de fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero. Medias con diferente letra en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA  $p \leq 0.6773$ .

#### 4.7. PH, CE, $\text{NO}_3^-$ , $\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}$ del sustrato

En lo que respecta al pH del sustrato se observaron diferencias significativas, teniendo el mayor pH al utilizar el T6 (testigo – SN inorgánica) con un valor de 7.21, seguido del T4 (orgánico) con un valor de 6.36, como se observa en el Cuadro 3. Considerando solamente los tratamientos orgánicos el pH se mantuvo en un rango entre 6.02 a 6.36, lo cual muestra que la fertilización orgánica tiene la capacidad de estabilizar el pH del sustrato lo cual a su vez concuerda con Kafkafi y Tarchitzky (2011), quienes mencionan que los medios de crecimiento orgánicos presentan alta CIC, alta capacidad reguladora del pH del medio, y son normalmente mucho más estables. Por otro lado, Zermeño *et al.* (2015) determinó que la aplicación del extracto de alga *Sargassum spp.* en una plantación de vid disminuyó el pH al suelo, lo cual es conveniente en un suelo con pH Alcalino. Lo anterior, es importante ya que la asimilación de nutrientes se encuentra en un pH de 5.5 a 6.5, por lo que al tener un pH elevado (más alcalino)

puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre (Barbaro *et al.*, 2014). En términos generales, la adición de algas marinas en la SN incrementó el pH del medio de crecimiento al final del ciclo del cultivo, esto a medida en que aumentó la concentración de este bioestimulante en la SN (T3-T5) (Cuadro 3).

En cuanto a la variable de CE no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, la CE del medio de crecimiento fue mayor en el T2 con un valor de  $5.1 \text{ dS m}^{-1}$  con respecto a  $3.66 \text{ dS m}^{-1}$  del T6 (inorgánico). En los tratamientos en los cuales se adicionó *Ascophyllum nodosum* promedió un valor de  $4.44 \text{ dS m}^{-1}$  en esta variable (Cuadro 3). En términos generales, la adición de algas marinas en la SN incrementó la CE del medio de crecimiento al final del ciclo del cultivo, esto a medida en que aumentó la concentración de este bioestimulante en la SN (T2-T4) (Cuadro 3). Este resultado pudo ser por el contenido de  $\text{K}_2\text{O}$ , Mg y Ca del producto Bioflora® Seaweed Creme ya que se puede generar una elevada concentración de sales con distintas combinaciones de estas, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (Lamz y González, 2013), por otro lado, conforme se aumenta la concentración de K en el sustrato, aumenta la CE (San Miguel *et al.*, 1999).

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la variable de  $\text{NO}_3^-$  concentrado en el sustrato. Se observó una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el medio de crecimiento en contenedores con plantas tratadas con solución nutritiva inorgánica (T6) con un valor promedio de 425 ppm. Lo anterior puede deberse a una mayor disponibilidad de nutrientes en el medio de crecimiento de plantas fertilizadas con esta SN, principalmente  $\text{NO}_3^-$ . Por otra parte, tomando como referencia solamente las SN en las cuales se aplicaron algas marinas, se observó que el T5 registró la mayor concentración de este anión en el sustrato al final del ciclo del cultivo con un valor de 306 ppm. Lo anterior, posiblemente se deba a que *Ascophyllum nodosum* promovió la fijación de nitratos en el sustrato. En este contexto, Gil (2005) señaló que las algas marinas abastecen el suelo de

carbohidratos para su uso en los procesos de fijación de nitrógeno, a la vez que promueven una mejor estructura, y aumentan los microorganismos benéficos.

Con respecto a la concentración de  $K^+$  en el medio de crecimiento, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, el T2 registró la mayor concentración de este elemento en el medio de crecimiento con un valor de 251.4 ppm, siendo 24% mayor con respecto al T6 (Inorgánico) (Cuadro 3). Esto concuerda con los datos presentados por Rangel (2018) donde el sustrato regado con SN inorgánica presenta menos concentración de  $K^+$  en comparación del tratamiento donde sustituyó sales minerales por fertilizantes orgánicos en un sistema de subirrigación en condiciones de invernadero.

**Cuadro 3** Propiedades químicas del sustrato al finalizar el experimento de los diferentes tratamientos evaluados en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	NO <sup>3-</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)
1	6.08 b	3.91 a	283.00 b	194.50 a	280.00 a
2	6.20 b	5.10 a	225.00 b	251.40 a	254.00 ab
3	6.27 b	3.61 a	193.40 b	167.30 a	218.00 ab
4	6.36 b	4.31 a	255.00 b	197.50 a	270.00 a
5	6.02 b	4.73 a	306.00 ab	223.00 a	295.00 a
6	7.21 a	3.66 a	425.00 a	191.00 a	180.00 b
ANOVA	0.0001	0.0503	0.0008	0.227	0.0015
CV (%)	3.63	19.47	24.91	25.88	15.73

Medias con diferente letra dentro de la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA = análisis de varianza. CV (%) = coeficiente de variación.

Con respecto a la variable de  $\text{Ca}^{2+}$  se observaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3). El T5 registró la mayor concentración de este elemento en el medio de crecimiento con un valor de 295 ppm, siendo 38.98% mayor con respecto al T6 (Inorgánico), el cual a su vez fue el que registró la menor concentración de este elemento con un valor de 191 ppm (Cuadro 3). Con base a lo anterior, se puede interpretar que al aplicar fuentes orgánicas de fertilización se aumenta la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  retenido en el sustrato. De igual forma, esta variable pudo ser influenciada por la fibra de coco utilizada en la mezcla del sustrato como medio de crecimiento. En este contexto, Velez *et al.* (2014) reportaron que es necesario considerar la retención de los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , ya que sus concentraciones son significativamente mayores en un sustrato con mayor contenido de fibra de coco.

## V. CONCLUSIÓN

En las condiciones propias de esta investigación, la aplicación de *Ascophyllum nodosum* como bioestimulante en una dosis de 2.5 ppm agregada en la solución nutritiva orgánica incrementa el diámetro polar, grosor de pericarpio, y por consecuencia, el rendimiento de fruto en el cultivo de tomate. Por el contrario, a medida que se incrementa la dosis de este bioestimulante provoca un efecto negativo en el tamaño de fruto, así como en el rendimiento del cultivo.

La nutrición orgánica regula o estabiliza el pH del medio de crecimiento, lo cual a su vez favorece la asimilación de nutrientes por las plantas. Asimismo, la aplicación de fertilizantes orgánicos aumenta la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el sustrato.

La nutrición inorgánica muestra una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el sustrato comparado a los tratamientos de fertilización orgánica, esto es debido al proceso de mineralización, ya que, al aplicar fertilizantes orgánicos, los nutrientes (N, P, K, y Ca, principalmente) no son liberados rápidamente del compuesto orgánico, y por consecuencia no se encuentran disponibles de forma inmediata para el cultivo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Acosta, E. D., Acosta, J. A. G., Amador, M.D.R., Padilla, J.S.R., 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México* Vol. 34 Núm. 1. P. 13-20.
- Adamchak, R., 2018. Organic farming, *Encyclopaedia Britannica*. Consultado en diciembre de 2019 disponible en: <https://www.britannica.com/topic/organic-farming>.
- Ali, N., Farrel, A., Ramsubhag, A. Jayaraman, J., 2015. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. DOI 10.1007/s10811-015-0608-3.
- Al-Wandawi, H., Abdul-Rahman, M. y Al-Shaikhly, K., 1985. Tomato Processing Wastes as Essential Raw Materials Source. *J. Agric. Food Chem.* IQ85, 33. P. 804-807.
- Andersen, M., 2003. ¿Es la Certificación Algo para Mí?: Una Guía Práctica sobre por qué, cómo y con Quién Certificar Productos Agrícolas para la Exportación, FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), Series de Publicaciones RUTA: Material de Capacitación, ISBN: 9968-866-30-X.
- Baixauli, S. C. y Aguilar, O. J.M., 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias. Generalitat Valenciana Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Serie de divulgación técnica no. 53. Valencia, España.
- Barbaro, L.A., Karlanian, M. A., Mata, D. A., 2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.
- Borrero, Y R., Cabrera, M. M, Rojas, O. M., Angarica, E. B, Rodriguez, A.F., 2012. Efecto Del Bioestimulante Fitomás-E En El Cultivo Del Tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill), Híbrido Ha- 3057 Bajo Condiciones De Casa De Cultivo Protegido. *Ciencia en su PC*, núm. 1.P 35-46.
- Battacharyya, D., Zamani, M. B., Rathor, P. y Prithiviraj, B., 2015. Seaweed extracts as biostimulants in Horticulture. *Scientia Horticulturae* Vol. 196. P. 39-48.

- Brown, P. y Saa, S., 2015. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science* 6:671. doi: 10.3389/fpls.2015.00671.
- Bulgari, R., Franzoni, G. y Ferrante, A., 2019. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Chojnacka, K., Pawel, P. W., Schroeder, G. y Michalak, I., 2018. *Algae Biomass: Characteristics and Applications*. Cham, Suiza. Springer International Publishing AG.
- Chouliaras, V., Gerascapoulos, D., y Lionakis, S., 1997. Effects of seaweed extract on fruit growth, weight and maturation of “hayward” kiwifruit. *Acta Horticulturae*, (444). P. 485–492. doi:10.17660/actahortic.1997.444.74
- Cruz, C. E., Can C. A., Sandoval, M. V., Bugarín, R. M., Robles, A. B. y Juárez, P. L., 2012, Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias* ISSN:2007-3380. Nayarit, México. P. 17-26.
- Du Jardín, P., 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories orgánica nation. *Scientia Horticulturae*. HORTI-6048. P. 3-14.
- Espinosa, P. B., Moreno. R. A., Cano, R. P., Alvarez, R. V. P., Saénz, M. J., Sánchez, G. H. y González, R. G. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditita en invernadero. *Terra Latinoamericana*, vol. 35, núm. 2. P. 169-178.
- European Biostimulants Industry Council, 2020. Promover la industria de bioestimulantes y el papel de los bioestimulantes de las plantas para hacer que la agricultura sea más sostenible. Consultado en febrero de 2020, disponible en: <http://www.biostimulants.eu/>
- FAOSTAT, 2017, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Consultado en noviembre 2019 disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), 2017. Panorama Agroalimentario Tomate Rojo. Citado en diciembre de 2019 disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310>

- Fisher, M., 2019. Environmental Biology. Oregon, Estados Unidos de América. Creative Commons.
- FRISCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido), 2016. El cultivo bajo invernadero, detona proyectos competitivos con calidad de exportación. Citado en diciembre de 2019 disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/el-cultivo-bajo-invernadero-detona-proyectos-competitivos-con-calidad-exportacion>
- Gil, B. P., Gil, J. M. y Zarco, P. J. T., 2005. Aplicación de técnicas de teledetección hiperespectral en viñedo fertilizado con extracto de algas. Universidad de Valladolid, España.
- Google Earth, 2020. consultado en Enero de 2020 disponible en: <https://earth.google.com/web/@25.35514558,-101.03643791,1759.15195804a,124.41891785d,35y,0h,0t,0r>
- Heeb, A., Bengt, L. Geoffrey, S y Ericsson, T., 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2006, 169. P. 535-541.
- Iglesias, N., 2006. Producción de hortalizas bajo cubierta: estructura y manejo de cultivo para la Patagonia Norte, Boletín de Divulgación Técnica N° 49, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Ilupeju, E. A. O. , Akanbi, W. B., Olaniyi, J. O. , Lawal, B. A., Ojo M. A. y Akintokun, P. O., 2015. Impact of organic and inorganic fertilizers on growth, fruit yield, nutritional and lycopene contents of three varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill) in Ogbomoso, Nigeria. Academic Journals, Vol. 14(31). P. 2424-2433
- INTAGRI, 2017. La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System), 2020, *Solanun lycopersicum*. Consultado en enero de 2020, disponible en: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=521671#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671#null)

- Kafkafi, U. y Tarchitzky, J., 2011. Manejo de la fertilización en medios de cultivo sin suelo y sustratos de crecimiento. Consultado en febrero de 2020, disponible en: <https://www.fertilizar.org.ar/subida/revistas/Articulos/2011/2011%20-%20n%C2%BA%2021%20-%20Manejo%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20en%20medios%20de%20cultivo%20sin%20suelo%20y%20sustratos%20de%20crecimiento.pdf>
- Kauffman, G. L., Kneivel, D. P., y Watschke, T. L., 2007. Effects of a Biostimulant on the Heat Tolerance Associated with Photosynthetic Capacity, Membrane Thermostability, and Polyphenol Production of Perennial Ryegrass. *Crop Science*, 47(1). P. 261-267.
- Koyama, R. Michelloti M. Roder C. Marinho A., Ruffo S. Mógor Á., 2012. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis no desenvolvimento vegetativo e na produção do tomateiro. *Revista de Ciências Agrárias. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. vol. 55, n. 4. P. 282-287.
- Lamz A. P. y González M. C. C., 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Consultado en febrero de 2020, disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005)
- Marschner, H., Kirkby, E. A. y Cakmak, I., 1995. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47, Special Issue. P. 1255-1263.
- Medjdoub, R. 2006. Las Algas Marinas y la Agricultura. División agrícola Catsaigner, Adiego Hermanos S.A. Consultado en enero de 2020, disponible en: [http://catsaigner.adiego.com/sites/default/files/las\\_algas\\_marinas.pdf](http://catsaigner.adiego.com/sites/default/files/las_algas_marinas.pdf)
- Murtic, S. Oljaca, R. Smajic, M. Vranac, A. Koleska, I. Karic, L., 2018. Effects of seaweed extract on the growth, yield and quality of cherry tomato under different growth conditions. *Acta agriculturae Slovenica*, 111 - 2, september. P. 315 – 325.
- NMX-FF-009-1982. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Fruta fresca - Determinación del tamaño en base al diámetro

- ecuatorial. Diario Oficial de la Federación, Cd. de México, México, 7 de enero de 1982.
- Norrie, J., 2015, Extractos de *Ascophyllum nodosum* en la producción agrícola. Consultado en enero de 2020, disponible en: <https://www.horticultivos.com/nutricion/extractos-de-ascophyllum-nodosum-en-la-produccion-agricola/>
- Ortega, G., 2009. Agroecología vc. Agricultura Convencional. Base Investigaciones Sociales, Asunción, Parahuay.
- Pal, A., S. Maji, Govid, R. Kumawat, S. Kumar, and D. C. Meena., 2015. Efficacy of various sources of nutrients on growth, flowering, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. Azad T-6. The Bioscan Int. Quat. J. Life Sci. 10. P. 473-477.
- Parra, M. D., 2011, Resultados de Producción de tomate Orgánico. Cultura Orgánica Julio-Agosto 2011, México. P. 30-31.
- Peralta, I. E. y Spooner, D. M. 2000. Clasification of wild tomatoes a review. Kurtziana 28. P. 45-54.
- Polat E, Demir H, Erler F. 2010. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey. Sci Agric. 67(4). P. 424–429.
- Preciado Rangel, P., Fortis Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda Puente, E. O., Esparza Rivera, J. R., Lara Herrera, A., Segura Castruita M. A., Orozco Vidal, J. A. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. Interciencia, 36 (9). P. 689-693.
- Premier Horticultura Group, 2010. Productos de Exportación. Consultado en febrero de 2020, disponible en: [http://www.premierhorticultura.com/exportacion\\_premier\\_horticultura\\_group.html](http://www.premierhorticultura.com/exportacion_premier_horticultura_group.html)
- Rangel, R. A., Gallegos, A.T, Hernadez, A. P y García, J. C. S. ,2018.Efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo un sistema de subirrigación (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

- Rinaldi M, Vonella AV, Garofalo P., 2007. Organic fertilization in a “tomato-pea” rotation in southern Italy. In: Proceedings of the 3rd QLIF Congress. Hohenheim (Germany). P 3–10.
- Rodríguez, I., 2009. Fertilizantes orgánicos y convencionales: la combinación perfecta para mejores rendimientos. Consultado en diciembre de 2019, disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/biotecnologia/fertilizantes-organicos-y-convencionales-la-combinacion-perfecta-para-mejores-rendimientos/>
- San Miguel, R. C., Hernandez, V. S., Rosas, D.C., Trinidad, A. S., Larqué, A. S., 1999. Efecto del potasio sobre la conductancia estomática y contenido de clorofila en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura, Volumen 5, número 1. P.19-22
- Senn, T.L. 1987. Seaweed and plant growth. Traducido al español por Benito Canales López. Crecimiento de alga y planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA
- Shukla, P.S., Mantin, E.G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A.T. y Prithiviraj B., 2019. *Ascophyllum nodosum*-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. *Front Plant Sci.* 2019; 10:655. doi:10.3389/fpls.2019.00655
- SIAP, 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2018, México, Jitomate. Citado el 10 de diciembre de 2019 en: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)
- Taiz, L y Zeiger, E., 2006. Fisiología vegetal. Castello, España. Universitat Jaume I. Publicacions ed. III.
- Tuhy, K., Chowańska, J. Chojnacka, K., 2013. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth: review. *CHEMIK* 2013, 67, 7. P. 636–641.
- Vélez, N. A. C., Melo S. E. M. Flórez V. J. R., 2014. Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. Revista Chapingo Serie Horticultura 20(2). P. 171-185.

Villegas, R. C., González, V. A. H., Carrillo, J. A. S., Livera, M. M., Sánchez, F. del C. y Osuna, T. E., 2004. Crecimiento y Rendimiento de Tomate en Respuesta a Densidades de Población en Dos Sistemas de Producción. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 27 (4). P. 333 – 338.

Zermeño, A. G., López, B. R. R., Meléndres, A. A.I., Ramírez, H.R.R., Cárdenas, J.O.P. y Munguía, J. P. L., 2015 Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 12 .P. 2437-2446.

## VII. ANEXOS

**Anexo 1** Variables de rendimiento en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos evaluados bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	REND	PPF	PPR	DPF	DEF	GP	SST
1	1311.7 b	62.82 b	327.94 b	46.10 b	51.30 b	6.13 b	6.55 a
2	1388.5 ab	66.05 ab	347.12 ab	47.42 ab	52.38 b	6.66 ab	6.54 a
3	1299.1 b	61.96 b	324.77 b	45.08 b	50.57 b	6.08 b	6.59 a
4	1316.8 b	62.89 b	329.21 b	46.53 b	52.10 b	6.47 ab	7.43 a
5	1325.4 b	63.15 b	331.36 b	46.33 b	52.07 b	6.35 ab	6.77 a
6	1678.3 a	80.15 a	419.56 a	49.31 a	56.84 a	6.99 a	6.6 a
ANOVA	0.0097	0.0081	0.0097	0.0005	0.001	0.0081	0.6773
CV (%)	11.61	11.39	11.61	2.55	3.68	5.76	14.26

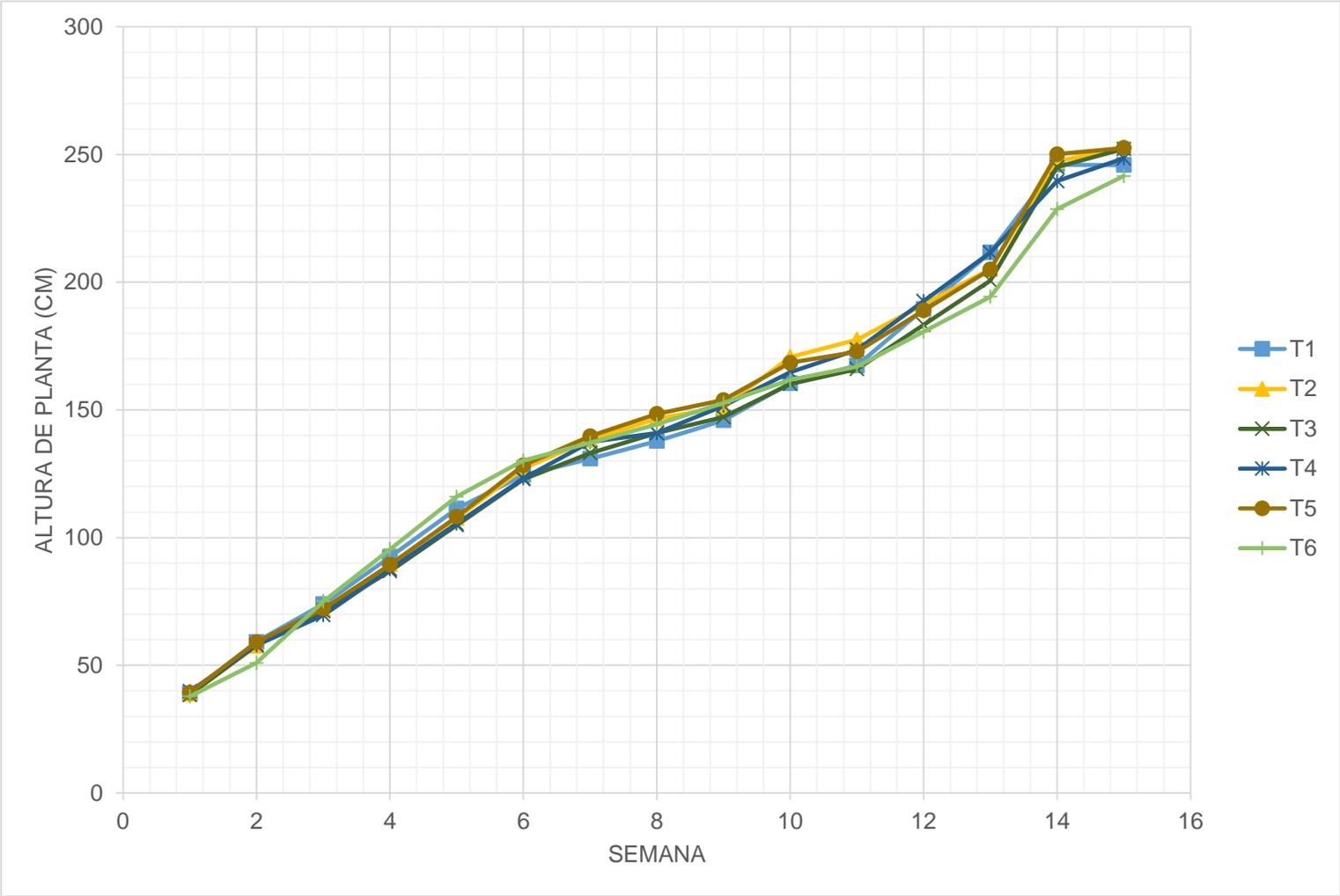
Medias con diferente letra dentro de la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA = análisis de varianza. CV (%) = coeficiente de variación. REND = Rendimiento ( $\text{g planta}^{-1}$ ); PPF = Peso Promedio de Fruto ( $\text{g fruto}^{-1}$ ); PPR = Peso Promedio por Racimo (g); DPF = Diámetro Polar de Fruto (mm); DEF = Diámetro Ecuatorial de Fruto (mm); GP = Grosor de Pericarpio (mm); SST = Sólidos Solubles Totales ( $^{\circ}$  Brix).

**Anexo 2** Acumulación final de peso fresco y seco de la parte aérea y raíz en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.

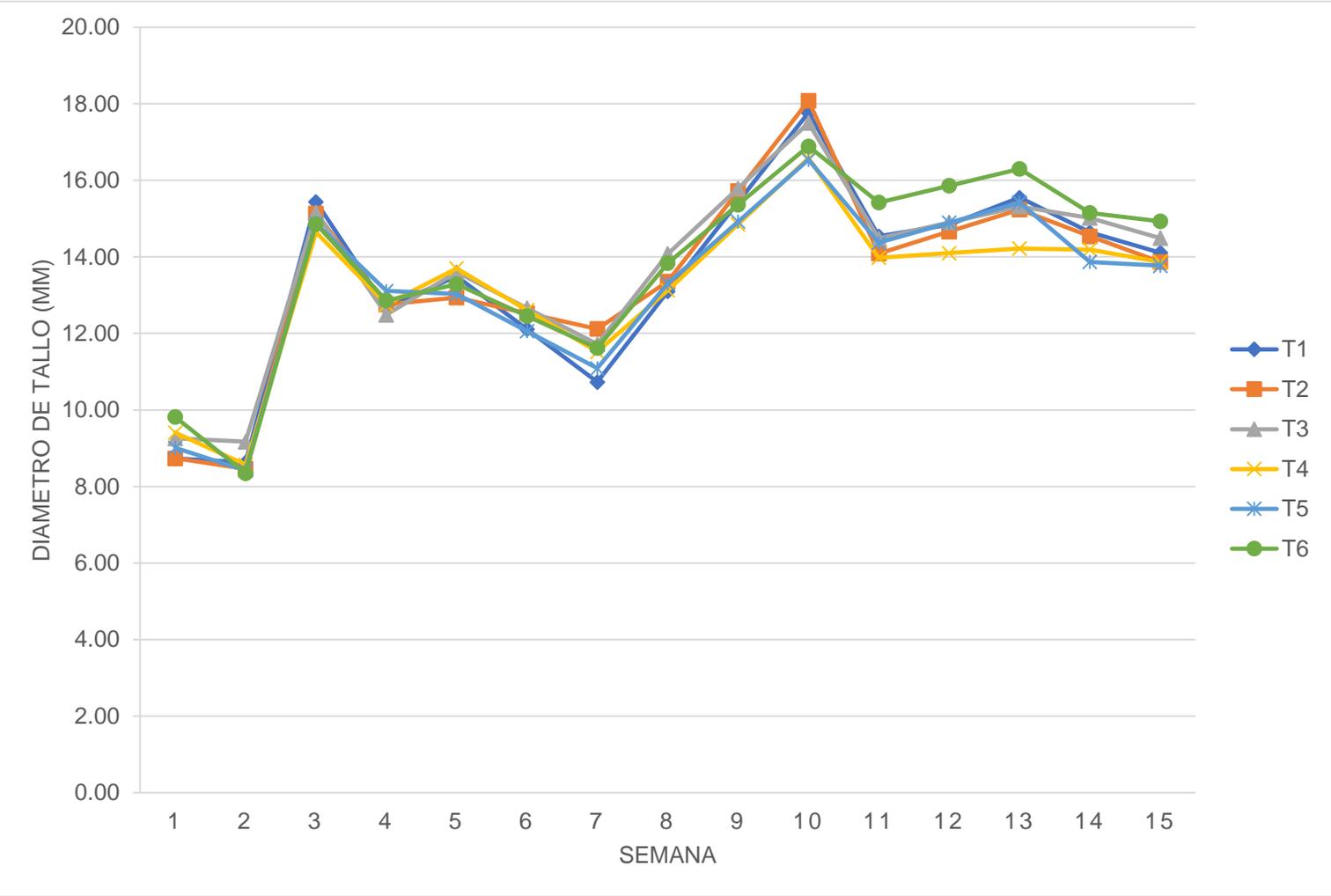
TRATAMIENTO	PFH	PSH	PFT	PST	PFR	PSR
1	476.66 b	54.28 b	191.13 b	32.40 b	98.13 a	14.94 a
2	469.92 b	54.10 b	205.43 b	32.78 b	101.05 a	20.87 a
3	487.46 b	55.14 b	207.83 b	31.49 b	109.16 a	16.74 a
4	450.02 b	53.62 b	195.04 b	30.69 b	87.47 a	13.18 a
5	473.80 b	56.06 b	198.00 b	34.29 b	128.72 a	18.34 a
6	598.64 a	75.07 a	286.48 a	52.86 a	122.52 a	20.02 a
ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.4612	0.539
CV (%)	10.52	8.12	11.12	15.89	32.78	41.83

Medias con diferente letra dentro de la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). ANOVA = análisis de varianza. CV (%) = coeficiente de variación. PFH=Peso Fresco de Hoja (g), PSH=Peso Seco de Hoja (g), PFT=Peso Fresco de Tallo (g), PST= Peso Seco de Tallo (g), PFR=Peso Fresco de Raíz (g) y PSR=Peso Seco de Raíz (g).

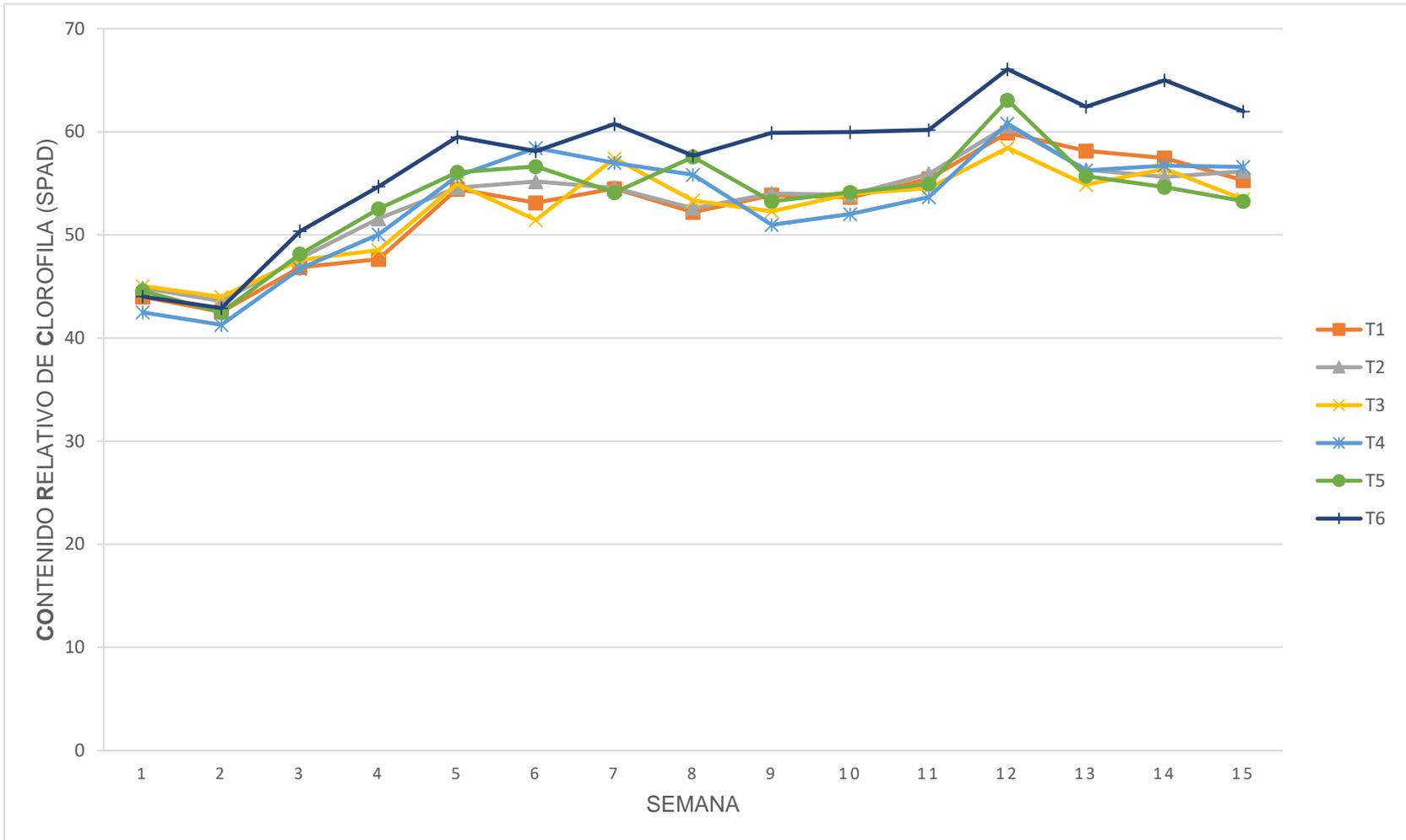
**Anexo 3** Comportamiento de la altura de planta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.



**Anexo 4** Comportamiento del diámetro de tallo en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.



**Anexo 5** Comportamiento del contenido relativo de clorofila (SPAD) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.



**Anexo 6** Comportamiento de la temperatura de la hoja (°C) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, en los diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.

