



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**Evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero.**

HORACIO ADULFO PÉREZ ESPINOZA

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

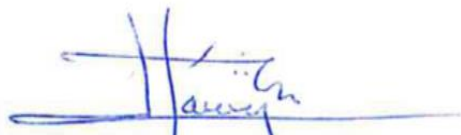
La presente tesis titulada: **Evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero.**

Realizada por el alumno: **Horacio Adolfo Pérez Espinoza** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



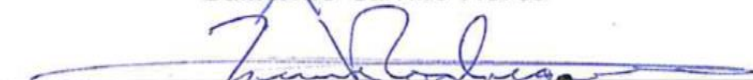
Jesús Chávez Morales

ASESOR



Guillermo Carrillo Flores

ASESOR



María de las Nieves Rodríguez Mendoza

ASESOR

---

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2016

## AGRADECIMIENTOS

A Nuestro Padre Celestial pues con su apoyo y bendiciones nos es permitido seguir adelante en esta vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por ser la institución que brindó el financiamiento necesario para cubrir gastos durante mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo por ser la institución que me aceptó como estudiante y permitió las gestiones necesarias para la realización de mis actividades escolares y de investigación.

A los miembros de mi consejo particular: Dr. Jesús Chávez Morales, M.C. Guillermo Carrillo Flores, Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza y al Dr. Roberto Ascencio Hernández. Profesionales en sus áreas de enseñanza que en todo momento manifestaron sencillez y disposición para apoyarme.

A Dr. Carlos Ramírez Ayala, Dr. Leonardo Tijerina Chávez, Dr. Abel Quevedo Nolasco, Sr. Rogelio, Sr. Cruz, Sra. Paty y en general a todos los integrantes del personal administrativo y académico del Postgrado de Hidrociencias, quienes durante el tiempo de mis estudios me apoyaron con gran disposición.

A mis compañeros de generación: Roberto, Javier, José Luis, Eliezer, Lorenza, Betsy, Alejandra e Isabel; con quienes compartí muchos momentos y tuve la fortuna de establecer una gran amistad la mayoría de ellos.

A mis buenos amigos José Terrones y Erick Popoca con quienes he compartido buenos y divertidos momentos y quienes me han brindado su apoyo desde que nos conocemos.

A mi madre por estar conmigo y apoyarme en mis decisiones.

Muy en especial a mi prometida Adilene Pineda Martínez, mujer excepcional de quien he aprendido muchas cosas y es en gran medida por quien he tenido motivación de progresar y mejorar.

## DEDICATORIAS

Esta Tesis está dedicada a la Memoria de Mi Padre

**Dagoberto Pérez Figueroa.**

Querido Padre:

Nunca dejare de lamentar el que lo poco que he aprendido en cuestiones agrícolas,  
no podré compartirlo contigo en esta vida.

Evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero.

Horacio Adolfo Pérez Espinoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de los fertilizantes foliares en los parámetros de rendimiento y calidad en dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Durante el 2015, se realizó un experimento en un invernadero del postgrado de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México bajo un diseño experimental bifactorial con dos híbridos de tomate indeterminado: Saladette tipo "Cid" y "Azhura" y tres fertilizantes foliares comerciales Foligral®, Nutri-K 80® y Nutri Humus® y un testigo. Por lo tanto se generaron 8 tratamientos con cuatro repeticiones; el sistema de fertirrigación fue por goteo en macetas de sustrato de tezontle, con la solución Steiner a una conductividad máxima de 2.5 dS m<sup>-1</sup>. Las condiciones climáticas y el consumo de agua se cuantificaron durante todo el ciclo de cultivo. Las características físicas del sustrato fueron determinadas, cuando se estableció el experimento. El rendimiento del cultivo con sus componentes de diámetro polar (mm), el diámetro ecuatorial (mm), peso del fruto (g), la calidad física (extra, primera, segunda, tercera y desecho), así como el rendimiento total. También se evaluaron variables de calidad como el contenido de licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup>), contenido de sólidos solubles (° Brix), el pH de la fruta, acidez titulable (% de ácido cítrico) y el contenido de potasio en fruto (g kg<sup>-1</sup>). El consumo de agua estimado en el experimento fue alto y la eficiencia del uso del agua fue bajo. Se presentaron diferencias significativas entre los dos genotipos evaluados en el costo de producción; sin embargo, la aplicación de fertilizantes foliares produjo diferencias altamente significativas en los parámetros de rendimiento de cultivos como el diámetro ecuatorial, el peso del fruto y el rendimiento total; también en los parámetros de calidad como: licopeno, sólidos solubles y de potasio en fruto; resultando que los fertilizantes foliares con un mayor contenido de K<sup>+</sup>, tienen un efecto significativo en el aumento de las variables de calidad indicadas.

Palabras clave:

*Solanum lycopersicon* Mill., Licopeno, Sólidos solubles, Potasio, costo.

Evaluation of foliar fertilizers in the production and quality of two genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) in hydroponics in greenhouses.

Horacio Adolfo Pérez Espinoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

#### ABSTRACT

The aim of this research was to study the effect of foliar fertilizers on yield and quality parameters in two genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) in hydroponics under greenhouse. During 2015, an experiment was conducted in a greenhouse of Hydrosociences department of Postgraduate College, Campus Montecillo, México under a two-factor experimental design with two indeterminate tomato hybrids: Saladette "Cid" and "Azhura" type and three commercial foliar fertilizers Foligral®, Nutri K-80® and Nutri Humus® and a control. Therefore 8 treatments with four replications were generated; A drip fertigation system was used in tezontle substrate pots, with Steiner solution to a maximum conductivity of 2.5 ds m<sup>-1</sup>. Climatic conditions and water consumption were quantified during all the crop cycle. The physical characteristics of the substrate where determined, where the experiment was conducted. Crop production with its components of polar diameter (mm), equatorial diameter (mm), fruit weight (g), physical quality (extra, first, second, third and waste) as well as total yield. Were evaluated also. Quality variables as lycopene content (mg 100 g<sup>-1</sup>), soluble solids content (° Brix), pH of the fruit, titulate acidity (% citric acid) and potassium content of fruit (g kg<sup>-1</sup>) were measured. Estimated water consumption in the experiment was high and water use efficiency was low. Significant differences between the two genotypes evaluated in the production cost were presented; however, the application of foliar fertilizers produced highly significant differences in crop production performance parameters as the equatorial diameter, fruit weight and total yield; also lycopene, soluble solids and potassium in fruit, quality parameters; indicated that foliar fertilizers with a higher content of K<sup>+</sup>, have a significant effect on the increase of the quality indicated variables.

Keywords:

*Solanum lycopersicon* Mill. Lycopene, soluble solids, potassium, cost.



## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. OBJETIVOS (GENERALES Y ESPECÍFICOS).....	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1. El cultivo de tomate.....	5
5.1.1. Importancia.....	5
5.1.2. Requerimientos nutricionales.....	8
5.1.3. Requerimientos climáticos.....	11
5.2. Producción hidropónica bajo invernadero.....	14
5.2.1. Invernadero.....	14
5.2.2. Hidroponia.....	14
5.3. Requerimiento hídrico.....	27
5.4. Rendimiento.....	29
5.4.1. Rendimiento por hectárea.....	29
5.4.2. Clasificación de frutos por calidades.....	30
5.5. Calidad de frutos.....	32
5.5.1. Licopeno.....	32
5.5.2. Sólidos solubles.....	35
5.5.3. pH del fruto.....	37
5.5.4. Acidez titulable.....	38
5.5.5. Potasio.....	39
5.6. Fertilización foliar.....	41
5.6.1. Ventajas y justificación de la fertilización foliar.....	41
5.6.2. Mecanismos de absorción.....	42
5.6.3. Tiempo de absorción.....	43
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
6.1. Ubicación del invernadero.....	44
6.2. Características del invernadero.....	44
6.3. Condiciones climáticas dentro del invernadero.....	45
6.4. Sistema de riego.....	45
6.5. Descripción de los genotipos de tomate utilizados.....	46
6.5.1. Azhura.....	46
6.5.2. El cid.....	46
6.6. Selección y desinfección de sustrato para bolsa.....	47



CONTENIDO

6.7. Contenedores.....	48
6.8. Fertilizantes foliares. ....	48
6.8.1. Foligral®.....	48
6.8.2. Nutri K-80®.....	48
6.8.3. Nutri Humus®.....	49
6.9. Solución nutritiva.....	49
6.10. Factores y tratamientos en estudio. ....	50
6.10.1. Diseño y unidad experimental. ....	50
6.11. Labores de cultivo.....	51
6.11.1. Plántula.....	51
6.11.2. Trasplante.....	52
6.11.3. Pruebas complementarias.....	52
6.11.4. Manejo del riego.....	55
6.11.5. Control de plagas y enfermedades.....	55
6.11.6. Tutorio.....	56
6.11.7. Podas.....	56
6.11.8. Polinización.....	57
6.11.9. Cosecha.....	57
6.12. Variables de respuesta.....	58
6.12.1. Rendimiento.....	58
6.12.2. Calidad de fruto.....	60
6.13. Análisis estadístico.....	63
6.14. Análisis económico.....	64
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
7.1. Pruebas complementarias.....	65
7.1.1. Prueba de uniformidad de riego.....	65
7.1.2. Curva de retención de humedad del sustrato.....	66
7.1.3. Porosidad del sustrato.....	67
7.1.4. Humedad relativa y temperatura dentro del invernadero.....	68
7.1.5. Gasto hídrico.....	74
7.2. Rendimiento.....	76
7.2.1. Diámetro polar y ecuatorial.....	77
7.2.2. Peso de frutos por racimo.....	82
7.2.3. Rendimiento por hectárea y por calidad.....	86
7.3. Calidad.....	87
7.3.1. Licopeno.....	88





CONTENIDO

7.3.2.	Solidos solubles (°Brix).....	91
7.3.3.	pH del fruto.....	94
7.3.4.	Acidez titulable.....	95
7.3.5.	Potasio en fruto.....	96
7.4.	Análisis económico.....	99
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
7.1.	Consumo de agua.....	104
7.2.	Genotipos.....	104
7.3.	Fertilizantes foliares.....	104
IX.	LITERATURA CITADA.....	106



## ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO

Cuadro 5.1. Elementos esenciales para las plantas .....	9
Cuadro 5.2. Demanda nutrimental del tomate (kg t <sup>-1</sup> ) .....	10
Cuadro 5.3. Relación mutua entre aniones y relación mutua entre cationes con base en el porcentaje total de aniones y de cationes (Lara, 1999).....	17
Cuadro 5.4. Niveles de referencia para nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, fosforo, potasio y magnesio, en el extracto acuoso 1:6 (en volumen) de un sustrato orgánico. ....	24
Cuadro 5.5. Niveles de referencia para nutrientes en la disolución del sustrato, en el cultivo hidropónico del tomate sobre materiales minerales. ....	25
Cuadro 5.6. Características del tomate Saladette para exportación. ....	31
Cuadro 5.7. Calidades indicadas según la norma de productos alimenticios no industrializados para consumo humano. ....	31
Cuadro 5.8. Clasificación de calidad en cuanto a diámetro ecuatorial .....	31
Cuadro 6.1. Resistencia de tomate "Azhura" a las enfermedades.....	46
Cuadro 6.2. Resistencia de tomate "Cid" a las enfermedades.....	47
Cuadro 6.3. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Foligral®. ....	48
Cuadro 6.4. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Nutri K 80®. ....	49
Cuadro 6.5. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Nutri Humus®. ....	49
Cuadro 6.6. Formulación de la solución nutritiva Steiner (1961) (meq L <sup>-1</sup> ) .....	49
Cuadro 6.7. Formulación de la solución nutritiva Steiner (1961) para producción de tomate en condiciones de invernadero (g 1000 L <sup>-1</sup> ). ....	50
Cuadro 6.8. Descripción de los tratamientos evaluados. ....	50
Cuadro 6.9. Indicaciones de productos utilizados para el manejo de plagas y enfermedades en el experimento. ....	56
Cuadro 7.1. Medias de las 16 observaciones obtenidas en la prueba de uniformidad de riego. ....	65
Cuadro 7.2. Resultados de prueba de retención de humedad en tezontle utilizado. ....	68
Cuadro 7.3. Diámetro polar (mm) de fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar. ....	77
Cuadro 7.4. Diámetro ecuatorial (mm) de fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar. ....	79



Cuadro 7.5. Peso de fruto (g) de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar. .....	83
Cuadro 7.6. Rendimiento total y por calidades (t ha <sup>-1</sup> ) de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.....	86
Cuadro 7.7. Contenido de licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> ) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.....	88
Cuadro 7.8. Sólidos solubles (°Brix) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar .....	91
Cuadro 7.9. Potencial de hidrógeno en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.....	94
Cuadro 7.10. Acidez titulable (% ácido cítrico) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.....	95
Cuadro 7.11. Contenido de potasio (g kg <sup>-1</sup> ) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.....	97
Cuadro 7.12. Costo de producción (miles de \$ ha <sup>-1</sup> ) y relación beneficio-costos (\$) de la producción de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar. ....	100
Cuadro 7.13. Resumen de resultados obtenidos en el experimento.....	103



## ÍNDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO

Figura 5.1. Principales países exportadores de tomate durante el 2013 (% de participación respecto al total).....	5
Figura 5.2. Principales países importadores de tomate durante el 2013 (% respecto al total). .....	6
Figura 5.3. Consumo anual per-cápita en los principales países productores y/o consumidores de tomate durante el 2013 (Elaboración propia con datos de FAOSTAT, 2013a y FAOSTAT, 2013b). .....	7
Figura 5.4. Principales componentes de la producción de tomate en México durante el 2013 (SIAP, 2013).....	8
Figura 5.5. Curva de liberación de agua de un sustrato (De Boodt <i>et al.</i> , 1974).....	22
Figura 5.6. Requerimiento hídrico del tomate Saladette “CID F1” en hidroponía bajo invernadero. ....	28
Figura 5.7. Países con el mayor rendimiento respecto al resto del mundo. ....	29
Figura 5.8. Estados mexicanos de mejores rendimientos de tomate en riego durante 2013. ....	30
Figura 5.9. Estructura química del Licopeno Khachick <i>et al.</i> (2002). ....	33
Figura 5.10. Variación en el contenido de licopeno en tomate por racimo cosechado. ....	35
Figura 5.11. Variación del contenido de sólidos solubles en tomate por racimo cosechado.....	37
Figura 5.12. Variación del pH del fruto de tomate por racimo cosechado (Ramírez <i>et al.</i> , 2011). ....	38
Figura 5.13. Acumulación diaria de K <sup>+</sup> en fruto de tomate (g kg <sup>-1</sup> de MS) (Betancourt y Pierre, 2013).....	40
Figura 5.14. Concentración de potasio en fruto de tomate (g kg <sup>-1</sup> ) por racimo cosechado (Ramírez <i>et al.</i> , 2011). ....	41
Figura 6.1. Ubicación del sitio experimental.....	44
Figura 6.2. Dimensiones del invernadero.....	45
Figura 6.3. Preparación del sustrato. ....	47
Figura 6.4. Distribución de los tratamientos en campo para evaluar el efecto de tres fertilizantes foliares en el rendimiento y calidad de dos genotipos de tomate en hidroponía bajo invernadero.....	51



Figura 6.5. Trasplante de plántulas de tomate en las bolsas con tezontle como sustrato. ....	52
Figura 6.6. Experimento evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> Mill.) en hidroponía bajo invernadero. ....	58
Figura 6.7. Peso de frutos de tomate .....	59
Figura 6.8. Determinación de color en tomate .....	60
Figura 6.9. Determinación de sólidos solubles en tomate .....	61
Figura 6.10. Determinación de pH en fruto de tomate .....	61
Figura 6.11. Determinación de acidez titulable en fruto de tomate. ....	62
Figura 6.12. Determinación de potasio en fruto de tomate.....	63
Figura 7.1. Curva de retención de humedad del tezontle de tamaño de partícula inferior a 8 mm utilizado en el experimento de tomate en hidroponía bajo invernadero. ....	67
Figura 7.2. Temperatura máxima y mínima registrada en el cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero.....	69
Figura 7.3. Humedad relativa máxima y mínima registradas durante el cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero. ....	70
Figura 7.4. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante la mañana (8:00-11:00).....	71
Figura 7.5. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante el mediodía (12:00-16:00).....	71
Figura 7.6. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante la tarde (17:00-19:00).....	72
Figura 7.7. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante la mañana (8:00-11:00).....	73
Figura 7.8. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante el mediodía (12:00-16:00).....	73
Figura 7.9. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante la tarde (17:00-19:00).....	74
Figura 7.10. Consumo de agua (solución nutritiva) L pl <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> durante el ciclo de cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero. ....	75



Figura 7.11. Consumo hídrico observado por etapa fenológica del cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero.....	76
Figura 7.12. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del tercer racimo. ....	80
Figura 7.13. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del cuarto racimo. ....	81
Figura 7.14. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del quinto racimo.....	81
Figura 7.15. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del sexto racimo.....	82
Figura 7.16. Efecto de los genotipos en el peso del fruto de tomate (g) del segundo racimo. ....	84
Figura 7.17. . Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del cuarto racimo.....	84
Figura 7.18. Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del quinto racimo.....	85
Figura 7.19. Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del sexto racimo.....	85
Figura 7.20. Efecto de los fertilizantes foliares en el rendimiento total de tomate (t ha <sup>-1</sup> ).....	87
Figura 7.21. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> ) en fruto de tomate del tercer racimo. ....	90
Figura 7.22. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> ) en fruto de tomate del sexto racimo.....	90
Figura 7.23. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de solidos solubles (°Brix) en fruto de tomate del tercer racimo.....	93
Figura 7.24. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de solidos solubles (°Brix) en fruto de tomate del sexto racimo. ....	93
Figura 7.25. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de potasio (g kg <sup>-1</sup> ) en el fruto de tomate del tercer racimo.....	98
Figura 7.26. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de potasio (g kg <sup>-1</sup> ) en el fruto de tomate del sexto racimo. ....	99



Figura 7.27. Efecto de los genotipos en el costo experimental (miles de \$ ha <sup>-1</sup> ) de tomate en hidroponía bajo invernadero. ....	101
Figura 7.28. Efecto de los fertilizantes foliares en el costo experimental (miles de \$ ha <sup>-1</sup> ) de tomate en hidroponía bajo invernadero. ....	101



## I. INTRODUCCIÓN.

El cultivo de tomate es una hortaliza que se cultiva en grandes extensiones, de las cuales se obtienen importantes volúmenes de producción y que además participa de manera importante en la economía internacional. En el año 2013 se generó un valor de 8, 803 millones dólares en el comercio internacional de tomate; mismo del que México participo con un 46.7% siendo el máximo exportador de dicho año. Por otro lado Estados unidos importó 1, 537,403 t, siendo el principal importador (FAOSTAT, 2013a). En consumo anual per-cápita, Estados Unidos alcanza hasta 45.8 kg/cápita, mientras que México llega a 14.2 kg/cápita, sin embargo, si se toma en cuenta el rendimiento, México tiene un rendimiento promedio de 38 t ha<sup>-1</sup>, es decir 92% menos que el que obtienen Países Bajos donde alcanzan 484 t ha<sup>-1</sup> según FAOSTAT (2013b). Si bien los datos medios son bastante contrastantes con los buenos rendimientos; son un indicador de cuanto se aleja un país de otro respecto a sus técnicas de cultivo.

La calidad en la producción de tomate es un factor determinante del precio y aceptación en el mercado, de modo que para el tomate fresco se valora: tamaño sabor, aroma y textura. Es importante mencionar que las variaciones que existen entre calidades en frutos de tomate se deben a muchos factores como: el sistema de producción respecto a hidroponia y suelo (Arana *et al.*, 2006; Casierra y Aguilar, 2008), el genotipo (Hernández *et al.*, 2013; López *et al.*, 2015), la dosis en la nutrición potásica (Bugarín *et al.*, 2002a; Ramírez *et al.*, 2011), la forma orgánica o mineral de fertilización (Cano *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2009; Márquez *et al.*, 2013), las aplicaciones foliares de compuestos orgánicos (Arteaga *et al.*, 2006; Terry y Ruiz, 2010), el clima respecto a temporada de siembra (Gaspar *et al.*, 2012), el riego (Fortes *et al.*, 2013), el manejo postcosecha (Gómez y Camelo, 2002) e incluso los recubrimientos al fruto (Amaya *et al.*, 2009). El objetivo de la presente investigación fue cuantificar el efecto de la aplicación de fertilizantes foliares en dos genotipos de tomate tipo Saladette para incrementar parámetros de rendimiento y calidad como licopeno, solidos solubles (TSS), acidez titulable, pH del fruto y potasio en fruto, en hidroponia bajo invernadero.





## II. JUSTIFICACIÓN.

El tomate es una hortaliza que se cultiva prácticamente en todo el mundo, destacando los países europeos, asiáticos y americanos; en donde se cultiva gran superficie, aunado a ello la producción intensiva en sistemas protegidos, da como resultado una alta productividad y debido a la diversidad de alimentos que se pueden elaborar y acompañar con este producto, tiene una gran aceptación en fresco y para la industria. En cuanto a comercio internacional, según datos de FAOSTAT (2013a) se exportó un total de 7, 167,873 toneladas, por las cuales se generó un alrededor de 89 billones de dólares por concepto de comercio internacional.

En México el tomate es la hortaliza de mayor preferencia para su cultivo y comercialización. Durante el 2013 se cultivaron 87,165 hectáreas, con las que se produjeron 3,282,583 t, de las cuales se exportaron un total de 1,535,157 t. De este modo el ingreso a la economía nacional fue de 1,835,175,000.00 dólares. Si bien la producción generada en el país es alta, el rendimiento promedio por hectárea fue de 37.7 t. Por otro lado es importante destacar que el rendimiento en México dista demasiado respecto al de Bélgica que en el mismo año obtuvo un rendimiento de 463.7 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2013b)

Asimismo, es importante destacar que para participar en el comercio internacional de tomate, en ciertos mercados nacionales (supermercados) y en la industria, además del volumen, es de suprema importancia la calidad del fruto, referida a la concentración licopeno, sólidos solubles (°Brix), pH, acidez titulable y potasio. Esto se debe a la importancia que tienen estos parámetros en cuestiones medicinales, industriales y nutricionales.

Si bien es sabido que los datos promedio no son un punto de referencia exacto, es indispensable que mediante investigación se encuentren técnicas de cultivo para incrementar el rendimiento y calidad del tomate. Es por ello que el presente trabajo se basa en la evaluación de tres fertilizantes foliares que incrementen la producción y calidad en el cultivo de dos genotipos de tomate.



III. HIPÓTESIS

**III. HIPÓTESIS.**

- Al menos uno de los dos genotipos de tomate evaluados es mejor en la producción y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero.
- Al menos la aplicación de uno de los tres fertilizantes foliares evaluados produce un incremento en el rendimiento y calidad del tomate cultivado en hidroponía bajo invernadero.
- El cultivo presentara un consumo hídrico similar a los cultivos comerciales.
- Al menos un fertilizante y un genotipo resulta económicamente más rentable.



#### IV. OBJETIVOS (GENERALES Y ESPECÍFICOS).

a) Objetivo general

Determinar si los fertilizantes foliares y los genotipos interfieren en la producción y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero midiendo el consumo de agua.

b) Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de dos genotipos de tomate sobre la producción y calidad en hidroponía bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar el efecto de la aplicación de tres fertilizantes foliares en la producción y calidad de tomate en hidroponía bajo condiciones de invernadero.
- Cuantificar el consumo hídrico del tomate en hidroponía bajo invernadero a la densidad experimental usada en este experimento.
- Determinar el mejor fertilizante foliar y genotipo de tomate usados en este experimento en relación al incremento de calidad y rendimiento contemplando su relación beneficio-costeo.



## V. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 5.1. El cultivo de tomate.

Breve descripción de la importancia económica del producto y de los requerimientos nutricionales y climáticos del cultivo.

#### 5.1.1. Importancia del cultivo del tomate.

El cultivo de tomate es una hortaliza que se cultiva en grandes extensiones, de las cuales se obtienen importantes volúmenes de producción y que además participa de manera importante en la economía internacional. En la figura 5.1 se observan los principales países exportadores de tomate en el año 2013 donde se generó un valor de 8,803,004,000.00 dólares (FAOSTAT, 2013a).

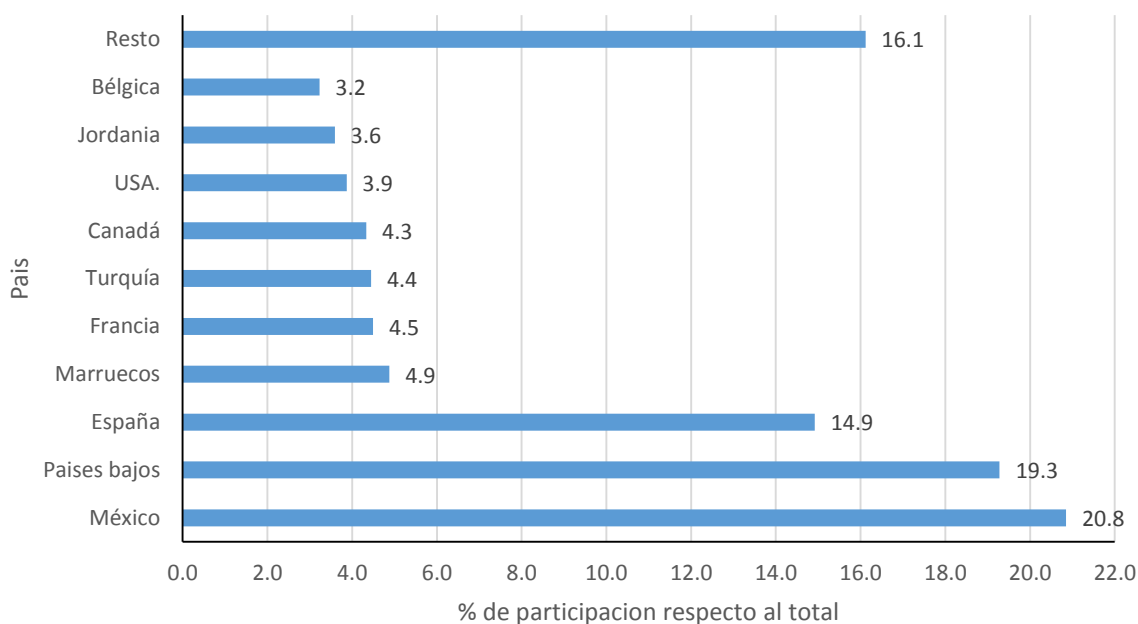


Figura 5.1. Principales países exportadores de tomate durante el 2013 (% de participación respecto al total).

De igual modo, en la Figura anterior, se observa que México fue el principal país exportador de ese año con 1,535,157 t que representa un 46.7% del volumen de



exportación total a nivel mundial. También destaca que por este concepto se generó una derrama económica de 1,835,175,000.00 dólares.

Respecto a las importaciones la Figura 5.2 nos permite observar los principales países que en el 2013 realizaron dicha acción (FAOSTAT, 2013a).

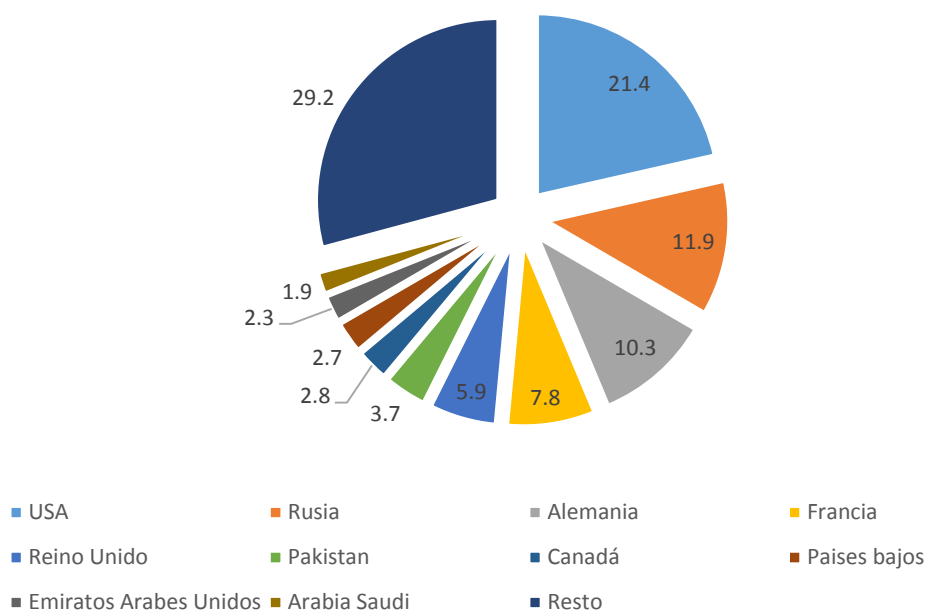


Figura 5.2. Principales países importadores de tomate durante el 2013 (% respecto al total).

Se observa que Estado Unidos de América es el país que más tomate importó durante ese año (21.4%) que en términos de volumen de importación que asciende a 1,537,403 t, y es importante destacar que México es uno de sus principales proveedores.

Los principales países que tienen el mayor consumo per cápita, calculado en base a la cantidad de producto y población se muestran en la Figura 5.3.



V. REVISIÓN DE LITERATURA.

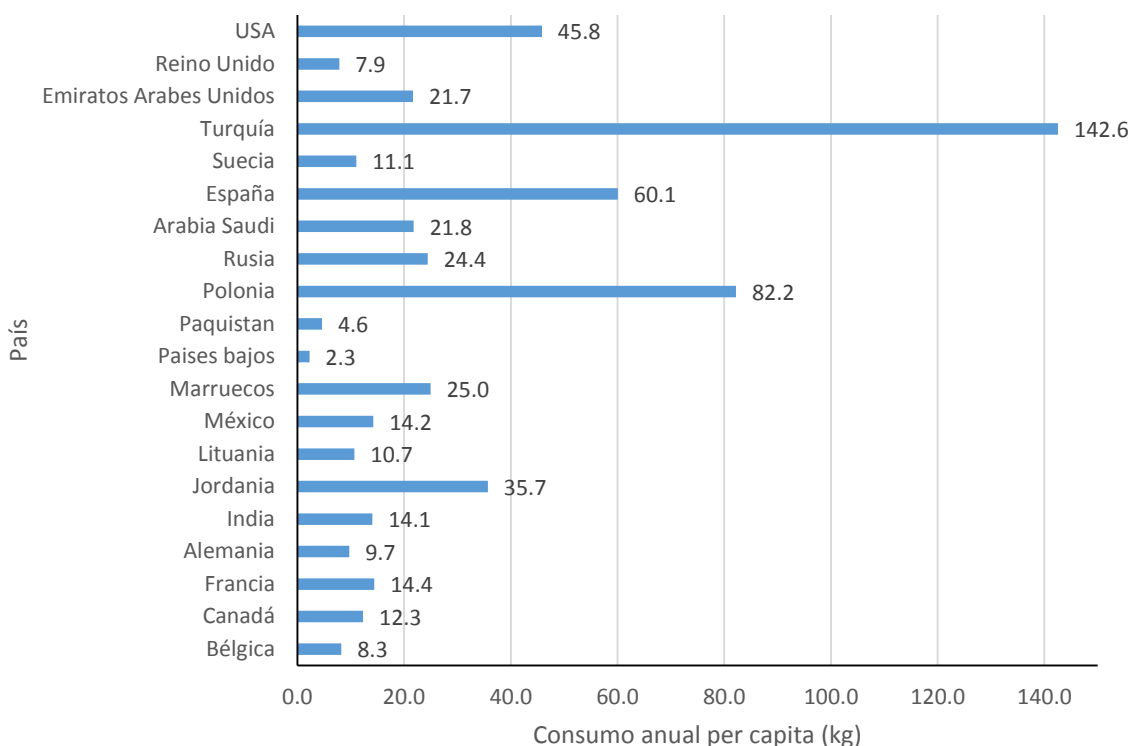


Figura 5.3. Consumo anual per-cápita en los principales países productores y/o consumidores de tomate durante el 2013 (Elaboración propia con datos de FAOSTAT, 2013a y FAOSTAT, 2013b).

Es importante observar el alto consumo de Turquía que alcanza los 142.6 kg de tomate por persona al año, sin embargo; Polonia y España superan el consumo de USA, este país figura como el principal país importador debido a su gran población que ocasiona alta demanda.

En cuanto a nivel nacional se refiere, en la Figura 5.4 se muestran los componentes de la producción a este nivel durante el 2013.



V. REVISIÓN DE LITERATURA.

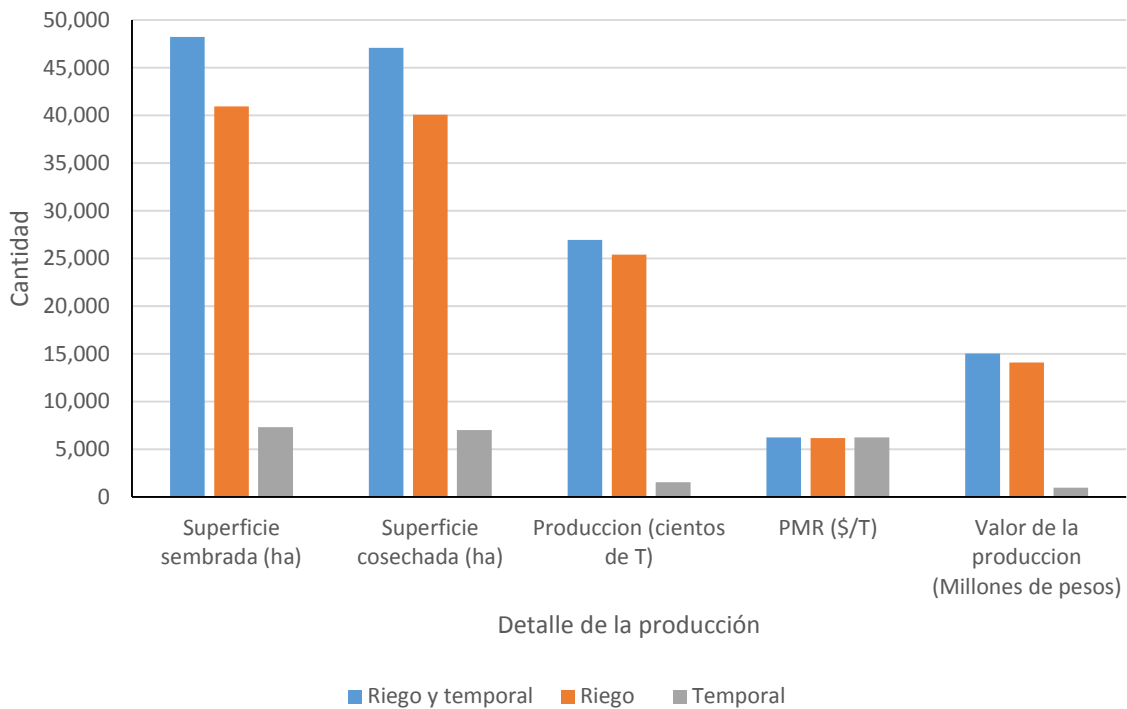


Figura 5.4. Principales componentes de la producción de tomate en México durante el 2013 (SIAP, 2013).

Según SIAP (2013) en México se sembró una superficie total de 48,234 hectáreas de tomate, mismas que estuvieron distribuidas en temporal y riego con 7,303 y 40,931 ha, respectivamente. Descartando la superficie siniestrada se obtuvo una producción total de 2,694,358.19 t, de la cual el 56.98 % se destinó a exportación y el restante 43.02% fue para consumo nacional. El valor total de la producción destinada al consumo nacional fue de 7,241.96 millones de pesos con un precio medio rural de \$6,246.51 por tonelada.

### 5.1.2. Requerimientos nutricionales.

El requerimiento nutricional de un cultivo es variable según la especie, variedad y etapa fenológica del mismo. En adelante se indican los nutrimentos esenciales para las plantas y en la producción de tomate.



### 5.1.2.1. Elementos esenciales.

En la literatura se indica que de los elementos registrados en la tabla periódica, 16 son esenciales para todas las plantas ya que forman parte de la estructura molecular de algún compuesto y participan directamente en alguna función específica (Velazco *et al.*, 2012).

Asimismo son clasificados en minerales y no minerales de acuerdo a como y de donde son tomados. En el cuadro 5.1 se muestran los elementos esenciales y su clasificación.

Cuadro 5.1. Elementos esenciales para las plantas.

Clasificación	Elemento	Lugar de donde se toma
No mineral	Carbono (C )	Atmosfera
	Hidrogeno (H )	Agua
	Oxigeno (O )	Atmosfera y agua
	<b>Macroelementos:</b>	
	Nitrógeno (N )	
	Fosforo (P )	
	Potasio (K )	
	Calcio (Ca )	
	Magnesio (Mg )	
	Azufre (S )	
Minerales	<b>Microelementos:</b>	Suelo
	Manganeso (Mn )	
	Hierro (Fe )	
	Cobre (Cu )	
	Zinc (Zn)	
	Cloro (Cl )	
	Boro (B )	
	Molibdeno (Mo )	

### 5.1.2.2. Funciones de los elementos esenciales en las plantas.

De acuerdo con Alcantar *et al.* (2013) los elementos esenciales juegan un papel preponderante en funciones específicas durante el ciclo de vida de las plantas, dichas funciones pueden clasificarse en tres tipos:





- Estructural. Cuando un elemento se encuentra formando parte de la molécula de uno o más compuestos de tejidos orgánicos (N→ Aminoácidos y proteínas, Ca→ Pectatos de la lámina media de la pared celular, Mg→ Se ubica en el centro del núcleo tetrapirrólico de la clorofila, P→ parte fundamental de nucleótidos y ácidos nucleicos).
- Constituyentes de enzimas. Cuando un elemento, generalmente metales o elementos de transición forman parte de una enzima son esenciales en la actividad de la misma, por ejemplo: cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y níquel, que participan como cofactores (activadores) de cuantiosas reacciones enzimáticas.
- Transporte y regulación osmótica. Se cumple cuando el elemento beneficia procesos de transporte de un órgano a otro formando enlaces de baja energía con moléculas orgánicas cuyo peso molecular es bajo y cuando se almacena en vacuola para procesos de osmoregulación. Tal es el caso del potasio que cumple con ambas funciones por servir como catión acompañante de los carboxilatos.

### 5.1.2.3. Demanda nutrimental.

El cultivo del tomate demanda gran cantidad de nutrientes por tratarse de una hortaliza de gran productividad, particularmente el nutrimento que requiere en mayor cantidad es el potasio, seguido del nitrógeno y calcio. En el cuadro 5.2, se muestra el requerimiento nutricional de los macroelementos en plantas de tomate indeterminado por tonelada producida (Haifa, 2016)

Cuadro 5.2. Demanda nutrimental del tomate (kg t<sup>-1</sup>).

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
2.53	0.66	4.44	2.05	0.63



De acuerdo con lo anterior, se puede conocer la cantidad de nutriente que se necesita para un rendimiento dado; por ejemplo, para 150 toneladas se requieren 380.00, 98.75, 665.63, 306.88 y 95.00 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO, respectivamente.

### 5.1.3. Requerimientos climáticos.

#### 5.1.3.1. Temperatura.

De acuerdo con Velazco *et al.* (2012) la temperatura óptima que requiere el cultivo de tomate en las diferentes etapas fenológicas se describen a continuación.

Para la germinación esta entre los 25 y 28 °C, temperaturas inferiores a 10 °C ocasionan que la semilla no germine o que lo haga de manera no uniforme.

Durante el crecimiento la temperatura debe oscilar entre 21 y 26 °C; destaca que una temperatura menor a 15 °C detiene la floración y si llega a 10 °C, se detiene el crecimiento de la planta. Por otra parte si la temperatura supera los 35 °C hay un detrimento de la fotosíntesis, ocasionando que se formen hojas pequeñas y tallos delgados.

Durante la floración la planta requiere que haya variación térmica entre el día y la noche de al menos 8 °C para promover el crecimiento y formación de mayor número de flores, las temperaturas pueden ser entre los 23 y 26 °C durante el día y los 15 a 18 °C durante la noche. Asimismo la temperatura por arriba de los 28 °C reduce el número de flores y estas son de menor tamaño, que tienden a caerse sin ser polinizadas, esto por falta de carbohidratos que son consumidos por partes vegetativas de la planta. Asimismo, con temperaturas superiores a 35 °C los granos de polen se deshidratan, en las flores, el pistilo se alarga por encima de los granos de polen antes de la apertura de las anteras, con ello se produce menor polinización, poco amarre y frutos no uniformes. Con temperaturas por debajo de los 12 °C el polen pierde su viabilidad o muere provocando caída de flores o detrimento en tamaño de frutos; afectando al rendimiento. La etapa de floración es la más crítica, puesto



temperaturas altas y bajas perjudican en el rendimiento al disminuir tanto la cantidad como calidad de frutos.

En la fructificación las temperaturas óptimas para la noche son de 14 a 18 °C y durante el día 23 a 26 °C, cabe resaltar que la temperatura nocturna es la que más influencia tiene en esta etapa. En la etapa de llenado de fruto, cuando existen temperaturas altas ocasionan la aceleración de la respiración y la disminución de la fotosíntesis; con ello, las células del fruto cuajado son más pequeñas y por ende el tamaño del fruto es menor. También el color del fruto es afectado por la temperatura; el licopeno es el que influye en este parámetro y se presenta mayormente entre los 15 a 29 °C, de no estar en este rango, el color comienza a ser verde, amarillo o rosado. Para un color rojo característico las temperaturas deben oscilar entre los 18 y 24 °C, de los 26 a 29°C se acentúa el color amarillo. Con temperaturas de 15°C durante 95 horas en la semana anterior a la cosecha se produce una maduración anormal. Asimismo con temperaturas inferiores a 8°C se pueden ocasionar grietas circulares.

#### 5.1.3.2. Humedad relativa.

La humedad relativa optima en floración está en el orden de 50 a 60%, puesto que cuando es superior las anteras se hidratan y el polen no se pega; de modo que no cae sobre el estigma por lo que las flores no se polinizan y caen. Cuando la humedad relativa supera el 80% se producen condiciones para aparición de enfermedades como tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y moho gris (*Botrytis cinerea*).

En contraparte, la humedad relativa menor al 50% ocasiona que el polen no se fije a al estigma de la flor, así como su rápida deshidratación ocasionando poco amarre de frutos, por otro lado se disminuye la transpiración; debido al cierre estomático y se ocasiona una deficiencia de calcio, principalmente en frutos (Velazco *et al.*, 2012).



#### 5.1.3.3. Humedad del suelo.

En todo momento se debe evitar estrés hídrico en la planta; esto le ocasiona diversas alteraciones fisiológicas que limitan el rendimiento. Por otro lado también se debe tener cuidado con excesos de humedad debido a la aparición de hongos como *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, ya sea individual o en complejo; afectan la raíz y “cuello” de la planta. Además el cambio repentino de agua en el fruto ocasiona el agrietamiento del mismo; esto se da cuando existe un lapso de sequía edáfica y un repentino exceso de humedad o riego (Velazco *et al.*, 2012).

#### 5.1.3.4. Luz.

Debido a que las plantas en general requieren de luz solar para realizar la fotosíntesis; todos los procesos fisiológicos y etapas fenológicas del cultivo de tomate requieren de suficiente luz solar. De acuerdo con Velazco *et al.*, (2012) el rango de luz solar para el cultivo de tomate es de 2500 a 3000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y un fotoperiodo de 12 horas luz. Cantidades menores como se registran en invierno ocasionan que la planta reduzca su desarrollo, menor amarre de frutos, menor producción y calidad de frutos. Asimismo con cantidades mayores se ven afectados los procesos de síntesis de proteínas y se da una acumulación de carbohidratos.

De modo que como la luz es de suma importancia, determina muchas condiciones y manejo del cultivo, como la densidad de plantación, intensidad y sistema de podas y tutoreo.

Por otro lado la orientación del invernadero es otro factor importante; es recomendable que se ubique con una ligera inclinación hacia el noroeste para que los rayos del sol siempre impacten de modo perpendicular al plástico. Asimismo la cubierta del invernadero debe dejar pasar por lo menos el 70% de radiación solar. Si la cubierta proporciona mayor sombra, se presentan problemas de entrenudos más largos, abundancia de hojas y menor producción. De igual manera bajo estas condiciones, las plantas se vuelven vulnerables al ataque de plagas y enfermedades, pero también se disminuye la transpiración y la planta se desnutra.



## 5.2. Producción hidropónica bajo invernadero.

A continuación, se describe la producción hidropónica del tomate cultivado bajo invernadero.

### 5.2.1. Invernadero.

La producción bajo invernadero surge a partir de la necesidad de producir alimentos cuando las condiciones climáticas no son favorables para una o todas las etapas fenológicas del cultivo, para aumentar la calidad del producto y para darle protección al cultivo de plagas y enfermedades. Un invernadero es una estructura metálica con cubierta de materiales como plástico o policarbonato entre otros que protege un espacio utilizado para fines diversos; que más frecuentemente es la producción agrícola. Con ello se tiene mayor control en las condiciones climáticas, sanitarias e hídricas en el cultivo (Sandoval, 2008).

Existen invernaderos de distintos diseños según el fabricante; sin embargo, en cualquier caso es deseable que se cuente con diversas características como ventilación cubierta con malla antiáfidos en los laterales y en el techo (cenital); para evitar ingreso de plagas y favorecer la circulación de aire en el interior. Altura en laterales superior a dos metros y en el centro no menos de cuatro metros; para poder tutorar la planta, evitando se encuentre muy cerca del plástico y con ello disminuir quemaduras a la misma. Capacidad de carga de 70 kg m<sup>2</sup>; misma que tolera una densidad de hasta 7 pl m<sup>2</sup>. Plásticos cuya reducción de radiación solar oscile entre el 20 y 40%. Instalaciones que permitan amortiguar la temperatura ya sea usando nebulizadores o calefactores en el caso de temperaturas altas y bajas, respectivamente. Ubicación que permita la incidencia perpendicular de los rayos solares; es decir con dirección norte-sur (Sandoval, 2008).

### 5.2.2. Hidroponía

La hidroponía es una técnica que se caracteriza por no necesitar del suelo para llevar a cabo la producción agrícola. Tiene su importancia en que permite producir en



lugares donde el suelo es escaso o se encuentra contaminado química o biológicamente. También es importante destacar que por ser una técnica que se realiza en sustratos o medios de circulación de agua o estancamiento de agua, se hace un uso más eficiente de este recurso (Velazco *et al.*, 2012). Desde el punto de vista económico es una técnica costosa y por ende es conveniente que la producción se encuentre protegida bajo invernadero o alguna otra estructura protectora.

La técnica de hidroponía de acuerdo con lo citado por Lara (1999) puede llevarse en sistemas abiertos o cerrados; siendo más eficiente el uso de la solución nutritiva (SN) en estos últimos. En base a lo anterior se distinguen tres técnicas de producción que responden al medio en el cual se desarrolla en cultivo.

La técnica en medio líquido tiene sus variantes como medio de crecimiento en película nutritiva (NFT), raíz flotante y aeroponía.

El sistema NFT se basa en la circulación de una capa fina de solución nutritiva sobre las raíces del cultivo para abastecerlo de nutrientes; el oxígeno entre ellos. Las plantas se colocan en canales o conductos hechos con material plástico que es oscuro por dentro y blanco por fuera para evitar el crecimiento de algas y el calentamiento de la solución. Es recomendable que la longitud del conducto sea de 20 m aproximadamente, que tenga una pendiente entre el 1.5 y 2% y que el flujo de SN sea entre 60 y 120 L h<sup>-1</sup>.

El sistema de raíz flotante se caracteriza por colocar la raíz de la planta inmersa en la solución nutritiva que continuamente se oxigena mediante un sistema y el vástago de la planta se suspende sobre la SN mediante materiales inertes y ligeros como el poliestireno expandido (unicel).

La diferencia entre la raíz flotante y la aeroponía radica en que en este caso la raíz no se encuentra inmersa; sino que, es asperjada continuamente con la solución nutritiva.



En cuanto a la técnica en medio agregado se caracteriza por el uso de sustrato de diverso origen (tezontle, arena, grava, lana de roca, aserrín, turba, etc.) en contenedores o estructuras.

#### 5.2.2.1. Solución nutritiva.

Para la producción de tomate; se utilizan distintas soluciones nutritivas, mismas que se modifican o cambian de acuerdo con la etapa fenológica o necesidades del cultivo. El argumento sustancial de una solución nutritiva se basa en que debe existir un equilibrio o balance cuanto a los nutrimentos. Se trata de la relación entre aniones y cationes, la relación  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , la conductividad eléctrica (que expresa la concentración de nutrimentos), el pH y la temperatura (Sandoval, 2008).

Según lo descrito por Lara (1999) se detalla las características de las principales soluciones nutritivas usadas, así como las variaciones en requerimientos nutrimentales del tomate en sus etapas fenológicas de la siguiente manera:

Conforme la planta se desarrolla de etapa vegetativa a reproductiva y al desarrollo del fruto, se deben disminuir las relaciones  $\text{NO}_3^- : (\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-})$  y  $\text{K}^+ : (\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ . La conductividad eléctrica (CE) tiene efecto en la nutrición de la planta, por ser un indicador de la concentración de nutrientes; de acuerdo a la etapa fenológica la planta puede necesitar una CE baja al inicio que se tiene que incrementar acorde con la demanda nutrimental. Cabe señalar que una conductividad alta puede llegar a causar problemas de salinidad y de absorción de nutrientes por formación de sales insolubles. Mantener el pH entre 5.5 y 6.0 es importante para mantener solubles los nutrientes; principalmente P y  $\text{Ca}^{2+}$ . La relación  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  interviene en gran medida en la producción y calidad, conforme disminuye la luminosidad, la absorción del  $\text{NH}_4^+$  también lo hace. Por tanto es conveniente que la concentración de este catión no sobrepase el 20% de la concentración total de N. La absorción de nutrientes y la concentración de oxígeno disuelto depende de la temperatura; para ello un valor óptimo debe ser de 22°C.



En cuanto a la aplicación de la solución nutritiva se distinguen los sistemas abiertos; donde se aplica la SN a la planta y el exceso se drena y se pierde. Por otro lado en los sistemas cerrados existe una recirculación de la solución nutritiva que no fue aprovechada por el cultivo para su posterior balance e incorporación de nuevo a los tanques de aplicación.

Una solución balanceada requiere que haya cierta proporción entre los aniones y entre los cationes, además que la suma de aniones y cationes debe ser igual. Con ello se pretende que no existan problemas de absorción, causada por competencia entre los iones con la misma carga. Las necesidades nutrimentales de una planta cambian conforme el crecimiento, debido a que se reestructura el metabolismo primario y se realizan cambios en su actividad bioquímica; afectando a la composición química de la planta en general. En el Cuadro 5.3 se muestra la proporción entre aniones y entre cationes de acuerdo a la solución nutritiva de distintos investigadores.

Cuadro 5.3. Relación mutua entre aniones y relación mutua entre cationes con base en el porcentaje total de aniones y de cationes (Lara, 1999).

Solución	Relación porcentual						
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	Aniones			Cationes			
Knop (1865)	79	10	11	23	66	11	
Robbins (1946)	74	5	21	26	53	21	
Hoagland y Arnon (1950)	74	5	21	32	42	21	5
Steiner (1961)	60	5	35	35	45	20	
Resh (1981)	44	8	48	40	40	12	8
Graves (1983)	50	6	44	40	44	16	

Específicamente, la concentración de N en la sabia del peciolo de las hojas disminuye a lo largo del desarrollo de la planta. La relación entre NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) disminuye de una etapa a otra y en la etapa de desarrollo del fruto, del 60 al 70% de NPK se acumulan en el fruto.

En cuanto a los aniones, las soluciones de Knop, Robbins y Hoagland y Arnon son las más apropiadas para la etapa vegetativa. En el caso de Steiner cubre los





requerimientos de la planta en la etapa reproductiva y finalmente Resh y Graves son las más indicadas para desarrollo del fruto.

La concentración de calcio en tallos, hojas y raíces se incrementa conforme la etapa fenológica; sin embargo, la absorción de este catión se ve limitada en condiciones de alta presión de vapor en el ambiente que ocasiona cierre estomático y por ende la disminución de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ . Si a esto se le suma una relación  $\text{Ca}^{2+}:(\text{K}^{+}+\text{Mg}^{2+}+\text{NH}_4^{+})$  inferior de 40:60 es altamente probable que se genere la pudrición apical.

La relación  $\text{K}^{+}:(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{NH}_4^{+})$  disminuye al pasar de una etapa a otra; particularmente en vegetativa es de 42:58, para reproductiva 35:65 y en desarrollo de fruto 28:72.

Para la relación entre cationes las soluciones de Resh y de Graves cubren más eficientemente las necesidades del tomate en etapa vegetativa, las soluciones de Hoagland y Arnon y de Steiner son más apropiadas para la etapa reproductiva y las de Knop y Robbins son indicadas para desarrollo del fruto

Respecto a la conductividad eléctrica se menciona que conforme esta aumenta a niveles críticos, la planta destina mayor cantidad de energía para la absorción de agua y nutrientes, con ello se ve disminuida la cantidad de energía metabólica y esto conlleva al detrimento del desarrollo de la planta. En cualquier etapa fenológica, al aumentar la CE también aumenta el  $\text{K}^{+}$  en relación al  $\text{Ca}^{2+}$ , por otro lado aumentan el P y en menor medida el  $\text{NO}_3^{-}$  en relación del  $\text{SO}_4^{2-}$ . La disminución de la capacidad de la planta para absorber agua y por tanto estrés hídrico es ocasionada por una CE alta; sin embargo, a conductividades bajas ( $<2.0 \text{ dSm}^{-1}$ ) en etapas avanzadas promueve deficiencias nutrimentales. Asimismo a temperaturas altas la relación  $\text{K}^{+}:(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{NH}_4^{+})$  incrementa ocasionando un desbalance nutrimental que afecta principalmente al  $\text{Ca}^{2+}$  y en menor medida al  $\text{Mg}^{2+}$  que son elementos que se mueven por flujo de masas.



El valor de pH óptimo está en un rango entre 5.5 y 6.0, esto se puede lograr regulando el contenido de  $\text{HCO}_3^-$  con ácidos como  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HNO}_3$ , debido a que concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  superiores a 10 moles  $\text{m}^3$  son tóxicas para el cultivo. A pH mayor de 8.3 el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  precipitan como carbonatos, se puede solubilizar al  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  debido a que esta es la principal forma en que la planta absorbe al P; de modo que se incrementa la proporción de  $\text{HPO}_4^{2-}$  que puede precipitar con el  $\text{Ca}^{2+}$ . A medida que el pH aumenta la solubilidad del  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  disminuye, es importante destacar que es preferible incorporar estos elementos como quelatos EDTA para evitar este problema.

En cuanto a la relación  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  es importante señalar que a pesar de la posibilidad de aplicar solo la forma nítrica para completar los requerimientos del tomate; el incorporar hasta el 20% de forma amoniacal conlleva beneficios en la producción. No obstante la absorción y asimilación de  $\text{NH}_4^+$  es afectada por la luminosidad a tal grado que en días nublados prolongados puede ocasionar efectos de toxicidad para el cultivo.

La temperatura de la solución nutritiva influye principalmente en la absorción y asimilación de nutrientes; a temperaturas menores de  $15^\circ\text{C}$  se presentan deficiencias de  $\text{Ca}^{2+}$ , P y  $\text{Fe}^{2+}$  debido a que la suberización se extiende hacia el ápice de la raíz interfiriendo con la absorción de estos iones. Como se mencionó anteriormente la temperatura óptima es de  $22^\circ\text{C}$ ; en estas condiciones la concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva es el necesario para cubrir las necesidades de la planta; sin embargo, si la temperatura aumenta, la concentración de oxígeno es insuficiente para cubrir la necesidad de la planta.

#### 5.2.2.2. Sustratos.

Según lo descrito por Nuez (2001) se describe de manera detallada lo referente a los sustratos utilizados para el cultivo de tomate.

Cada sustrato tiene características particulares que son de gran importancia en cuanto a la facilidad con la que las raíces pueden crecer a través de él y de la humedad que retiene para determinar los riegos. La elección correcta de un sustrato



radica en varios aspectos. El suministro constante de un sustrato permite que no haya cambios en el sistema de producción, el costo que dicho sustrato representa respecto a los beneficios que trae consigo es de suma importancia para no disminuir las ganancias. Las características físicas, químicas y biológicas son determinantes para la correcta elección del sustrato y conocer la experiencia de los agricultores locales en su utilización es importante para determinar el manejo.

No existe un sustrato ideal para la producción hidropónica, esto se debe a que la eficacia de cada medio de cultivo dependerá de aspectos como el contenedor (en tamaño y forma) en que se cultive, el clima, costo del material, uso local y sistema de riego y fertilización. A pesar de lo anterior el objetivo es encontrar un sustrato que reúna la mayor cantidad de las características siguientes:

- A) Propiedades físicas: alta capacidad de retención de humedad aprovechable, porosidad necesaria para un correcto suministro de aire, tamaño y distribución de partículas que permita lo anterior. Densidad aparente baja, estructura que permita la estabilidad del medio.
- B) Propiedades químicas: Capacidad de intercambio catiónico (CIC) baja a moderada para que la fertirrigación se aplique frecuente en el primer caso o más intermitente para el segundo, nivel de nutrientes asimilables suficiente o de preferencia inerte. Salinidad baja. Alta capacidad tampón en cuanto a pH. Descomposición mínima.
- C) Otras propiedades: libre de contaminantes (semillas plagas y patógenos), fácil obtención, bajo costo, de fácil manipulación, fácil de desinfectar, resistente a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

Las propiedades físicas son muy importantes debido a que una vez que se ha depositado el sustrato en el contenedor y que el sistema radical de la planta comienza a extenderse en él; no es posible modificar su composición como en el caso de las propiedades químicas. En cuanto a estas características es indispensable el conocimiento de la relación agua-aire; para ello se determinan las curvas de liberación



de agua con tensiones pequeñas (0 -100 cm de columna de agua); debido a la baja retención del sustrato y reducido volumen empleado.

- a) Espacio poroso total. Se refiere al volumen no ocupado por sólidos minerales u orgánicos, los valores óptimos son aquellos por arriba del 85%. Este espacio se clasifica en microporos y macroporos; los primeros de  $<30 \mu\text{m}$  de tamaño son los que retienen el agua y los segundos con un tamaño  $>30 \mu\text{m}$  se encargan de drenar el agua una vez que el sustrato se vacía; quedando en ellos una fina película de agua que conforme el medio se seca es disminuida. Dependiendo del tipo de sustratos; puede presentar poros interparticulares (poros entre la partícula) que por su forma pueden ser abiertos o cerrados; siendo el primer caso participes de la porosidad total del sustrato y en el segundo no influirán sobre la distribución del agua en el medio.
- b) Agua fácilmente disponible. Resulta de la diferencia entre el agua retenida por el sustrato a tensiones entre 10 y 50 cm columna de agua, equivalente a un volumen de agua óptimo esta entre el 20 y 30%. Cuando el sustrato termina de drenar el exceso de agua, la restante es retenida principalmente por microporos y constituye el agua fácilmente disponible también queda el agua que se encuentra fuertemente retenida por el sustrato a tensiones superiores a 50 cm, misma que limita el crecimiento vegetal. Es por ello la importancia de diferenciar entre el agua que retiene el sustrato cuya tensión no es superior a la que las plantas extraen el agua. Además las principales causas por las que un sustrato tiene una baja retención de humedad radican en su porosidad total sea baja, gran cantidad de macroporos, poros muy pequeños o una combinación de lo anterior.
- c) Agua de reserva. Es aquella que se libera a tensiones entre 50 y 100 cm de agua o mayor y el óptimo radica entre un 4 y 10% en cuanto a su volumen. Para la mayoría de las especies ornamentales no es recomendable que la tensión supere los 100 cm en cualquier etapa del cultivo; sin embargo, en algunas hortalizas como el tomate puede llegar a tensiones de hasta 300 cm sin perjuicios en el crecimiento. La suma del agua fácilmente disponible y la de



reserva es denominada como “agua total disponible” y el agua retenida a tensión de 100 cm corresponde al “agua difícilmente disponible”.

- d) Capacidad de aireación. Es el volumen del total del sustrato liberado después de haber drenado a tensiones de 10 cm de agua, su valor óptimo está entre el 20 y 30% del volumen. La importancia de este parámetro radica en que un periodo corto de déficit de oxígeno ocasiona una reducción en el crecimiento de raíz y parte aérea; y si estas condiciones se prolongan varios días se provoca la muerte de la planta. Además el oxígeno es importante para microorganismos que viven en el suelo; de modo que en sustratos orgánicos se requiere hasta el doble del requerido en sustratos inertes. En el medio, el oxígeno se mueve por difusión a través de la película de agua que rodea a las partículas, cuya difusión es  $10^4$  veces menor en el agua que en el aire; de modo que si existe una saturación de poros por mucho tiempo se pueden presentar condiciones propicias para la disminución del Oxígeno, incremento de  $CO_2$  y liberación de etileno, esto a su vez provocará en ocasiones, marchitamiento de la planta y reducción de crecimiento. En este factor influye la altura o profundidad del contenedor, a mayor altura; mayor aireación. En la figura 5.5 se indica la curva de liberación de agua de un sustrato ideal.

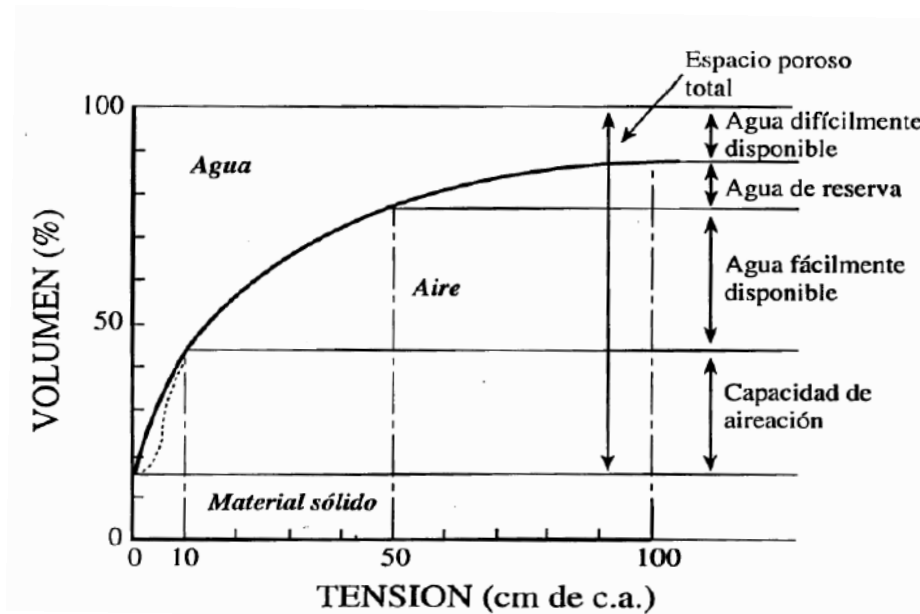


Figura 5.5. Curva de liberación de agua de un sustrato (De Boodt *et al.*, 1974).



- e) Distribución del tamaño de las partículas. El tamaño de las partículas así como la distribución de las mismas afectan el crecimiento de las raíces y el balance entre el contenido de agua y aire independientemente del nivel de humedad. Los materiales gruesos cuyo tamaño de partícula es superior a 9 mm con poros mayores de 100  $\mu\text{m}$  tienen gran aireación pero retienen poca cantidad de agua; por el contrario aquellos con poros menores a 30  $\mu\text{m}$  y cuyo tamaño es inferior a 2.5 mm retienen agua difícilmente disponible para la planta y no tienen una aireación adecuada.
- f) Densidad aparente. Es el cociente del peso seco y el volumen aparente del sustrato húmedo; lo que incluye el espacio poroso. Este aspecto es importante por cuestiones de manejo y transporte del sustrato y contenedores, además de que influye en el anclaje de las plantas; aunque si el viento no es un factor limitante la densidad del sustrato no es un problema aunque sea 0.150  $\text{g cm}^3$ .

Respecto a las propiedades químicas, es de apreciable importancia el destacar que intervienen en cuestiones de hidrólisis de minerales (reacciones químicas), intercambio iónico (reacciones físico-químicas) y la correspondiente a reacciones de biodegradación de materia orgánica (bioquímicas).

- a) Capacidad de intercambio catiónico. Son la totalidad de cationes que pueden ser adsorbidos por un volumen de sustrato, que pueden ser lixiviados por el agua y que están disponibles para la planta. El valor óptimo de este indicador depende fundamentalmente de la frecuencia en la aplicación de la fertirrigación; de modo que cuando esta se aplica de manera constante, es recomendable que se utilicen sustratos con baja a nula CIC y en contraparte cuando la fertirrigación es poco frecuente se requiere utilizar sustratos con una CIC mayor de 20 meq 100  $\text{g}^{-1}$ . Por su composición, los sustratos orgánicos poseen valores de CIC alta, así como alta capacidad tampón para cambios repentinos de pH y contenido de nutrientes. Un sustrato con CIC elevada proporciona una reserva de cationes que pueden ser absorbidos por la planta posteriormente, es por ello que los sustratos orgánicos requieren menor frecuencia de fertirrigación a diferencia de los sustratos minerales; dicho de



otro modo, se pueden prevenir los repentinos cambios en pH al utilizar una porción de sustratos orgánicos en las mezclas. Las sustancias húmicas contienen grupos fenólicos como carboxílicos, fenólicos, enólicos, etc., cuyas cargas negativas atraen cationes como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , etc. según su afinidad por los centros de carga de adsorción del ion y la concentración del mismo en la solución. La CIC de un sustrato puede incrementarse conforme incrementa el pH, por tanto, algunos autores recomiendan el uso de sustratos con muy baja CIC o inertes en el cultivo del tomate para un adecuado control de la nutrición.

- b) Disponibilidad de nutrientes. La mayoría de los sustratos minerales carecen de nutrientes por no descomponerse química ni biológicamente. Por otro lado, los sustratos orgánicos tienen un contenido nutrimental muy variable pasando de bajo en turba rubia y mantillo de bosque a ser elevado en compostas que a su vez difieren según su compostaje. Si bien es necesario adicionar nutrimentos a lo largo del ciclo de cultivo, en el Cuadro 5.4 se muestran valores óptimos de nutrientes en sustratos orgánicos obtenidos por extracto acuoso 1:6 y cuyos valores de un sustrato turboso más adecuados para tomate son: nitrógeno 4-5, fósforo 7-8, potasio 5 y magnesio 4.

Cuadro 5.4. Niveles de referencia para nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, fosforo, potasio y magnesio, en el extracto acuoso 1:6 (en volumen) de un sustrato orgánico.

Nivel	Concentración del nutriente (mg L <sup>-1</sup> de sustrato)				
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>
0	<20	<15	<4	<25	<5
1	21-50	16-25	5-7	26-50	6-10
2	51-100	26-50	8-11	51-100	11-15
3	101-150	51-80	12-18	101-175	16-25
4	151-200	81-130	19-28	176-250	26-35
5	>200	131-200	29-40	251-400	36-50
6		201-300	41-55	401-650	51-85
7		>300	56-75	651-1000	86-150
8			76-100	1001-1500	151-200
9			>100	>1500	>200

Fuente: Johnson (1980)





En cuanto a los sustratos minerales, el contenido nutrimental se determina mediante la extracción con jeringa de la disolución del sustrato. Los valores óptimos se muestran en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Niveles de referencia para nutrientes en la disolución del sustrato, en el cultivo hidropónico del tomate sobre materiales minerales.

	Nutriente	Nivel de referencia
Macronutrientes (mmol L <sup>-1</sup> )	N-NO <sup>3-</sup>	10-20
	P	1-2
	K <sup>+</sup>	4-8
	Ca <sup>2+</sup>	4-6
	Mg <sup>2+</sup>	1-4
	Fe <sup>2+</sup>	30-60
Micronutrientes (μmol L <sup>-1</sup> )	Mn	10-20
	Cu	2-5
	Zn	3-7
	B	20-45

Fuente: Escudero (1993)

- c) Salinidad. Básicamente es la concentración de sales en la solución del sustrato. Principalmente las causas que propician el incremento en salinidad son: acumulación de sales insolubles o fertilizantes de lenta liberación, mayor adición de sales de las que se pueden lixiviar o pueden ser absorbidas por las plantas y cuando el sustrato tiene alta CIC, se liberan nutrientes al descomponerse. Prácticas como la lixiviación controlada, constante humedad en el cultivo, evitar la aplicación de sales con alta fuerza iónica en sustrato seco, sombrear el cultivo y aumentar humedad relativa; pueden atenuar los efectos de salinidad. El cultivo de tomate responde a diferentes concentraciones de salinidad según la etapa fenológica; siendo más sensible en las primeras etapas, además también responde a las condiciones climáticas causando más problemas cuando el clima es seco que cuando es húmedo. El tomate responde adecuadamente a una concentración de 3 a 5 dSm<sup>-1</sup> y según el genotipo puede ser más o menos.





- d) pH. El tomate es un cultivo que puede sobrevivir a grandes rangos de pH sin sufrir aparentes trastornos en su metabolismo; siempre y cuando los nutrientes se encuentren en forma asimilable. El efecto marcado del pH del sustrato; al igual que el de la solución nutritiva, radican en la disponibilidad de los nutrimentos, causando serios problemas a valores muy ácidos o muy alcalinos. Es decir a pH por debajo de 5.0 se presentan deficiencias de N, K, Ca, Mg y B., por otro lado en valores superiores a 7.0 los elementos Fe, P, Mn, B, Zn y Cu se vuelven menos asimilables para la planta, además los óxidos metálicos a pH inferior de 5.0 se solubilizan en mayor proporción y pueden llegar a ser fitotóxicos. El rango óptimo de la disolución del sustrato oscila entre 5.5 y 6.8. Los sustratos orgánicos tienen una mayor capacidad tampón que los minerales; sin embargo, si el sustrato llegara a tener valores de pH fuera del rango pueden adicionarse cal o dolomita si es ácido o disminuirse utilizando azufre en el caso de alcalinidad.
- e) Relación Carbono/Nitrógeno. Esta relación es un indicador de la madurez del sustrato y tiene su importancia en que sustratos con una relación C/N alta, manifiestan inmovilización del nitrógeno debido a que los microorganismos tienen que degradar la materia orgánica y necesitan el N para síntesis de sus proteínas, por otro lado una alta actividad microbiana demanda oxígeno que también llega a ser insuficiente para la planta. Una relación C/N apropiada es de 20 cuyo valor indica que el sustrato se encuentra en una descomposición adecuada.

Las propiedades biológicas son de alta importancia para completar un estudio detallado de un sustrato.

- a) Velocidad de descomposición. Se refiere básicamente a que todos los sustratos orgánicos están sujetos a una descomposición en mayor o menor velocidad, misma que es ocasionada por los microorganismos que prosperan mayormente en condiciones que provoca el invernadero, con ello puede ocasionarse inmovilidad de nutrimentos, falta de oxígeno y liberación de sustancias que pueden ser fitotóxicas.



- b) Efectos de los productos de descomposición. Principalmente los ácidos húmicos y fúlvicos; provenientes de la degradación microbiana de la lignina y hemicelulosa, son en alto grado benéficos para numerosos procesos a nivel célula y órgano en la planta.
- c) Actividad reguladora de crecimiento. A los compuestos fenólicos provenientes principalmente de la degradación de la lignina se les ha atribuido un efecto sinérgico con las auxinas (que la planta produce o que se aplican de manera exógena), en el crecimiento radical.

### 5.3. Requerimiento hídrico.

El tomate es un cultivo altamente demandante de agua en todas sus etapas fenológicas, pues es un factor que determina el crecimiento celular y por ende el desarrollo de la planta, junto con todos sus órganos. El requerimiento hídrico total de un cultivo; está determinado por la ecuación de evapotranspiración.

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (5.1)$$

Donde

ET<sub>c</sub>= Evapotranspiración del cultivo.

ET<sub>o</sub>= Evapotranspiración de referencia.

K<sub>c</sub>= Coeficiente del cultivo.

Los valores de K<sub>c</sub> son variables y siguen una tendencia creciente en las primeras etapas del cultivo que se estabiliza en época de producción y decrece al final del cultivo. La determinación de los valores de K<sub>c</sub> para un cultivo dado puede calcularse por diversas metodologías que requieren de algunos parámetros climáticos, de la duración del ciclo de cultivo con sus respectivas etapas fenológicas, ubicación y época de siembra.



Existen diversos métodos para determinar ETo, que pueden ser directos o indirectos y que dependen de toma de datos en campo o utilización de información meteorológica para calcular de manera más o menos precisa el volumen de agua que necesita un cultivo.

Es de notoria importancia que factores como el clima, el genotipo y el manejo interfieren de manera notoria en el volumen de agua necesaria para un cultivo (FAO 2006). Por lo que las necesidades hídricas de un cultivo dado bajo ciertas condiciones varían respecto a otro con tan solo algunas diferencias en las condiciones en que se desarrolla. Tomando en cuenta lo anterior, para el genotipo CID F1 cultivado en hidroponía bajo condiciones protegidas en una densidad comercial, Mendoza (2015) señala que el requerimiento máximo de agua es de  $1.04 \text{ L pl}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , Figura 5.6

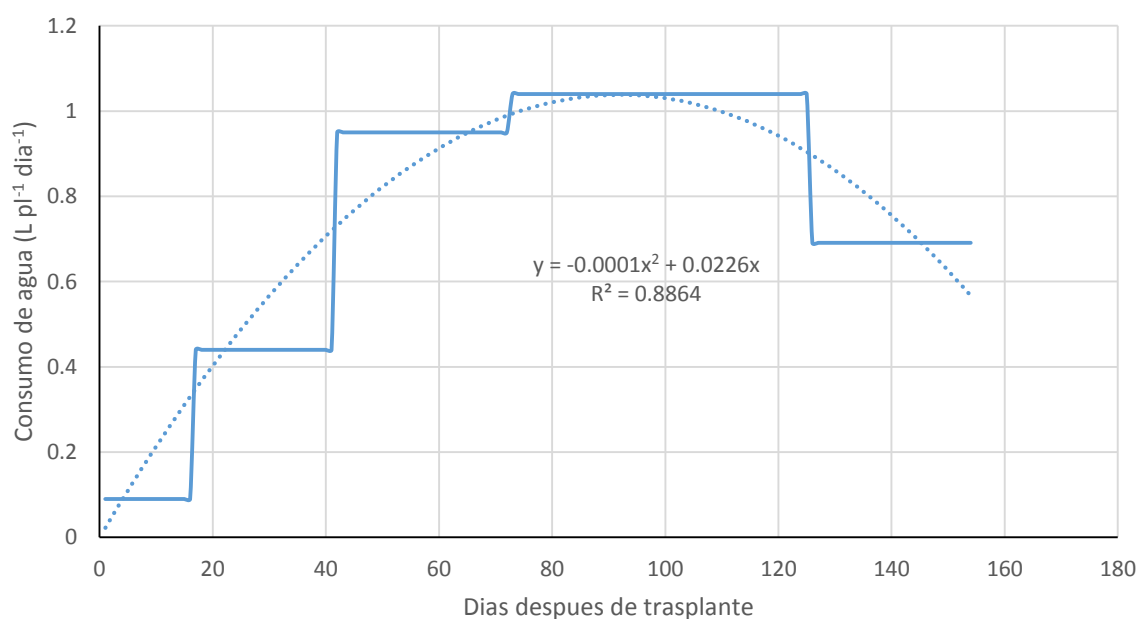


Figura 5.6. Requerimiento hídrico del tomate Saladette "CID F1" en hidroponía bajo invernadero.



## 5.4. Rendimiento.

Se incluyen los rendimientos reportados en la literatura en diferentes lugares.

### 5.4.1. Rendimiento por hectárea.

A nivel mundial los rendimientos más altos son obtenidos en países europeos con una superioridad del 93% respecto al resto del mundo, Figura 5.7

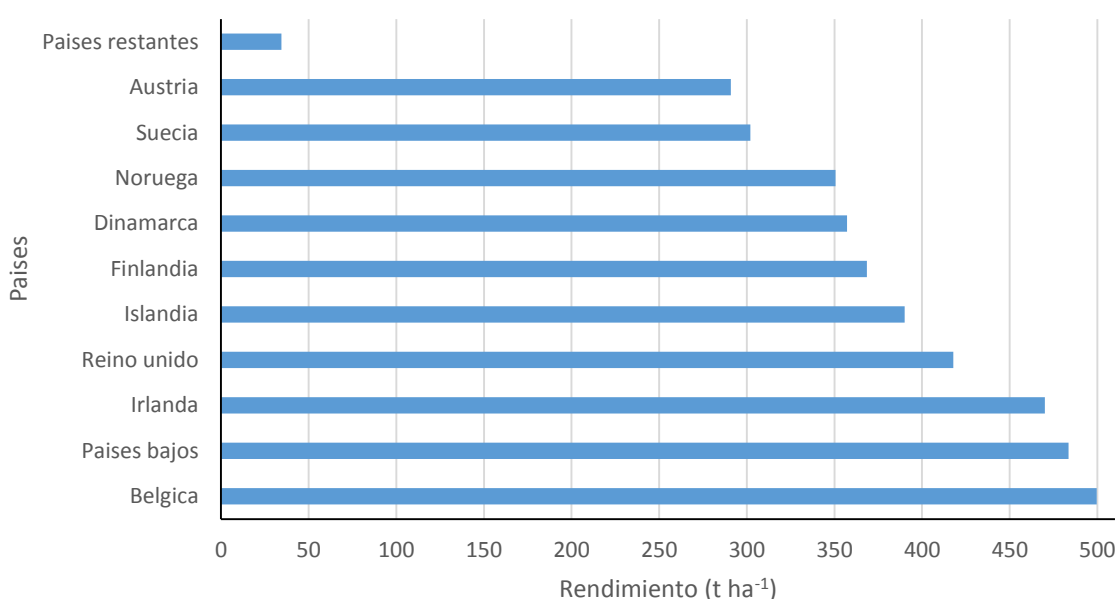


Figura 5.7. Países con el mayor rendimiento respecto al resto del mundo.

Se puede observar que Bélgica y Países Bajos encabezan los mejores rendimientos con 499.60 y 483.60 t ha<sup>-1</sup>, respecto a los países restantes que en promedio alcanzan 34.44 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2013b).

A nivel nacional se obtuvo una alta producción de tomate durante el 2013 (Figura 5.8); sin embargo, se cultivó una gran superficie, lo que indica que los rendimientos son bajos. Si se contempla el rendimiento a nivel nacional tanto en riego como en temporal de ese año es de 60.57 t ha<sup>-1</sup>. (SIAP, 2013).



V. REVISIÓN DE LITERATURA.

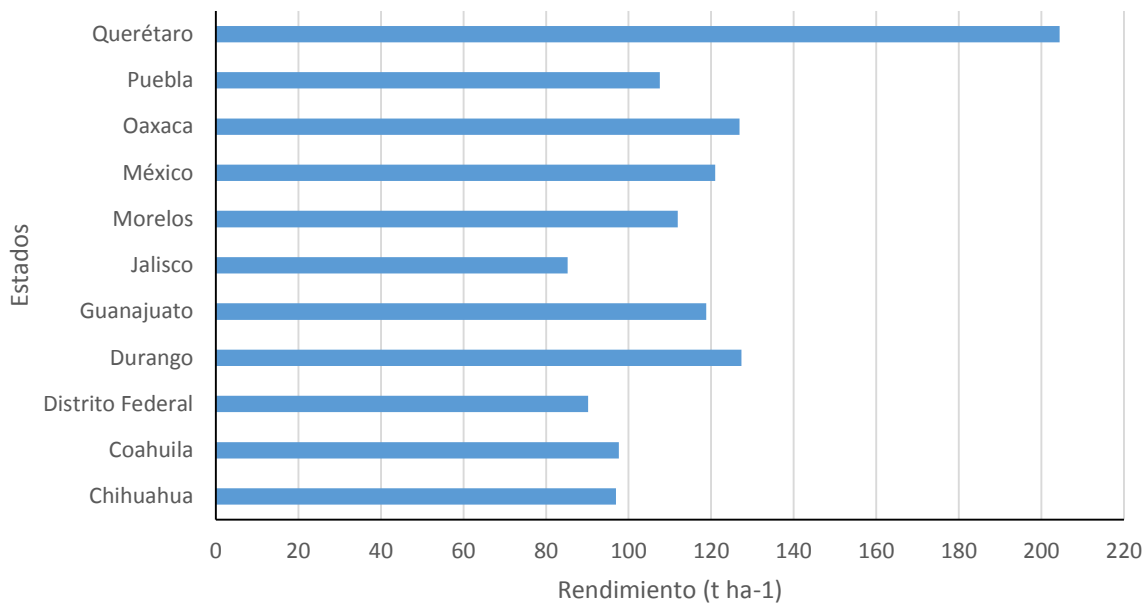


Figura 5.8. Estados mexicanos de mejores rendimientos de tomate en riego durante 2013.

La grafica corresponde a los estados de la república mexicana que destacan por los rendimientos más altos, cabe mencionar que dichos rendimientos fueron obtenidos en riego y por la magnitud del rendimiento es altamente probable que se trate de producciones bajo invernadero en diferentes modalidades. Los anterior se infiere porque en cultivos de temporal, que son cultivados a intemperie alcanzaron un rendimiento promedio de 18 t ha<sup>-1</sup>, siendo los rendimientos máximos de 32.5 t ha<sup>-1</sup>.

#### 5.4.2. Clasificación de frutos por calidades.

En cuanto a la clasificación física de los frutos de tomate Saladette se puede distinguir entre los destinados a exportación y los de mercado nacional, para el primer caso el Cuadro 5.6 indica la clasificación según la empresa PREMIER HORTICULTURA GROUP, S. DE R.L DE C.V.



Cuadro 5.6. Características del tomate Saladette para exportación.

Tamaño	Calibre (Diámetro ecuatorial) (cm)	Peso (g)
Chico	2.5 a 3.4	20 a 59
Mediano	3.5 a 4.4	60 a 83
Grande	4.5 a 5.4	84 a 100
Extra Grande	5.5 a 5.9	100 a 135

En cuanto a la clasificación nacional, la NMX-FF-031-1997-SCFI especifica tres principales clasificaciones indicadas en el Cuadro 5.7 y cuyas características mínimas son: estar enteros, de aspecto fresco, con características típicas de la variedad, sanos interior y exteriormente, completamente maduros, no sobre maduración o flojos, limpios, completamente desarrollados, sin daños por heladas, congelación o asoleado, libres de olor y/o sabor extraños, exentos de humedad exterior anormal y exentos de daños causados por plagas o enfermedades.

Cuadro 5.7. Calidades indicadas según la norma de productos alimenticios no industrializados para consumo humano.

Calidad	Características de la calidad
México 1	Madurez coloración y tamaño uniforme, bien formados, suaves y exentos de cualquier daño. Tomates que no pueden clasificarse en el México 1 que deben estar
México 2	razonablemente bien formados, Ligeramente suaves y No presentar daños severos Tomates que no pueden clasificarse en los grados de calidad superiores
México 3	y pueden estar malformados, ligeramente suaves y sin presentar daños severos

Esta clasificación abarca mayoritariamente aspectos físicos y cualitativos; sin embargo la misma norma indica las sub-clasificaciones en cuanto a diámetro ecuatorial (calibre) que se muestran en el Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8. Clasificación de calidad en cuanto a diámetro ecuatorial.

Tamaño	Diámetro (cm)	
	Mínimo	Máximo
Chico	3.8	5.2
Mediano	5.1	6.0
Grande	5.9	7.1
Extra grande	7.0	En adelante



Es evidente que la clasificación para exportación es más restrictiva en cuanto a frutos de peso elevado respecto a la norma mexicana que contempla mayor rango y clasificaciones. Por ello es importante el determinar el mercado destino de la producción.

### 5.5. Calidad de frutos.

Se describen las características que según la literatura deben cubrir los frutos de tomate.

#### 5.5.1. Licopeno.

El tomate es un reservorio de sustancias antioxidantes como: carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas y tocoferol. Mismos que se encuentran distribuidos en las partes del fruto (piel, pulpa y semillas); la piel y pulpa son más ricos en licopeno, antocianina, ácido ascórbico y compuestos fenólicos que las semillas; asimismo en algunos genotipos las semillas contienen más compuestos fenólicos que la pulpa pero menos que la piel, de modo que las semillas son una valiosa fuente de antioxidantes y citotóxicos importantes para uso farmacéutico y cosmético. (Tommonaro *et al.*, 2014). La actividad antioxidante del tomate en fresco expresada en mmoles  $\text{Fe}^{2+}$   $100 \text{ g}^{-1}$  de muestra seca es de 11.48, 13.33 y 46.11 a los 15 segundos, 4 y 30 min, respectivamente, en todos los casos superior a la de pasta de tomate concentrada y salsa tipo Kétchup (Sulbarán *et al.*, 2011).

Visto desde el punto de vista medicinal, el licopeno, que es un carotenoide característico del tomate por su coloración roja, es dos veces más eficiente que el  $\beta$ -caroteno en su capacidad antioxidante, dicha acción protege a las células de la oxidación causada por los radicales libres que originan enfermedades como el cáncer, problemas cardiovasculares y evidentemente el envejecimiento. El licopeno interviene en la comunicación celular y modula los mecanismos inmunológicos, por lo que es considerado como un anticarcinogénico y antiaterogénico.



A pesar de las bondades del licopeno no se ha podido industrializar en alto grado su producción debido a que es una molécula poco estable y de costosa extracción. Es absorbido en aceites y grasas por su liposolubilidad. También es un hecho que la principal fuente de licopeno es el tomate y su concentración aumenta conforme se incrementa la maduración, pudiendo llegar a ser hasta el 83% del total de carotenoides presentes. Evidentemente el contenido es variable según factores como nutrición, clima y maduración de modo que se reportan concentraciones desde 3.9 a 16.8 mg 100 g<sup>-1</sup> de fruto, las metodologías para su determinación implican procesos de espectrofotometría o colorimetría.

Otro aspecto importante es que si bien el tomate fresco contiene buena concentración de licopeno, una vez que el tomate es cocinado la asimilación del licopeno es hasta cuatro veces más que en tomate fresco, de ahí que sobresalen las conservas; sin embargo, si es retirada la piel del fruto y eliminada de la conserva, la concentración de licopeno disminuye; lo que indica que una importante cantidad del mismo se encuentra en la piel (Ordoñez *et al.*, 2009). El licopeno es una molécula con formulación C<sub>40</sub>H<sub>56</sub> con peso molecular de 536.88 (Figura 5.9).

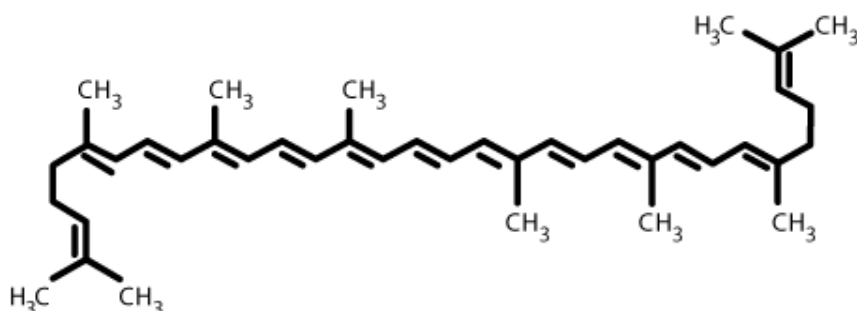


Figura 5.9. Estructura química del Licopeno Khachick *et al.* (2002).

Durante la maduración del fruto, la acumulación de carotenoides se incrementa de 10 a 14 veces ocasionado, principalmente por la acumulación de licopeno, lo que no ocurre a tal grado en los frutos de otros cultivos. Cuando el fruto madura progresivamente, la coloración roja del licopeno comienza a aparecer, la concentración de clorofila disminuye y cambian las propiedades organolépticas del fruto (Bramley, 2002).





La síntesis del licopeno está regulada mediante control genético y se realiza a partir del fitoeno durante cuatro etapas de desaturación. Asimismo la concentración de licopeno en el fruto de tomate se ve afectada por el genotipo, el manejo y las condiciones climáticas predominantes. Contemplando la temperatura, la formación del licopeno ocurre más fácilmente en temperaturas entre 16 y 26 °C y se ve inhibida fuertemente por arriba de los 30 °C. Por otro lado, la alta concentración de polifenoles, a temperaturas de 35 °C la concentración de estos es el doble de la producida a 25°C, siendo esta una forma de aclimatación de la planta a temperaturas excesivas, gracias a que polifenoles similares al licopeno tienen capacidad antioxidante que supera la varias veces la capacidad del ácido ascórbico. Existe gran variación entre el contenido de polifenol (104-400 mg kg<sup>-1</sup>) y ácido ascórbico (85-560 mg kg<sup>-1</sup>) en diferentes genotipos de tomate. Asimismo el contenido de ácido ascórbico se incrementa en la exposición a la luz, de modo que los tomates producidos en invernadero tienen un contenido menor que los producidos a intemperie. También en procesamiento, los tratamientos térmicos afectan la calidad y compuestos químicos en el producto; por tanto en productos procesados las reacciones enzimáticas y no enzimáticas son responsables de una coloración marrón en presencia de altas temperaturas. En las reacciones de Maillard se genera un compuesto denominado hidroximetilfurfural (HMF), que es nocivo a la salud humana y que se encuentra tanto en productos procesados como en tomate fresco; sin embargo, en los primeros la concentración de HMF es directamente proporcional al contenido de licopeno (Helyes *et al.*, 2006).

En tomate de crecimiento determinado también destaca la importancia del contenido de licopeno en cada racimo cosechado, al respecto Ramírez *et al.* (2011) señala que la concentración de este carotenoide varía en función del racimo que se cosecha, de modo que la tendencia es decreciente a partir del primer racimo. Con ello es de notarse la importancia de seleccionar correctamente la cantidad de racimos a cosechar si la finalidad de la producción se centra en este compuesto (Figura 5.10).



V. REVISIÓN DE LITERATURA.

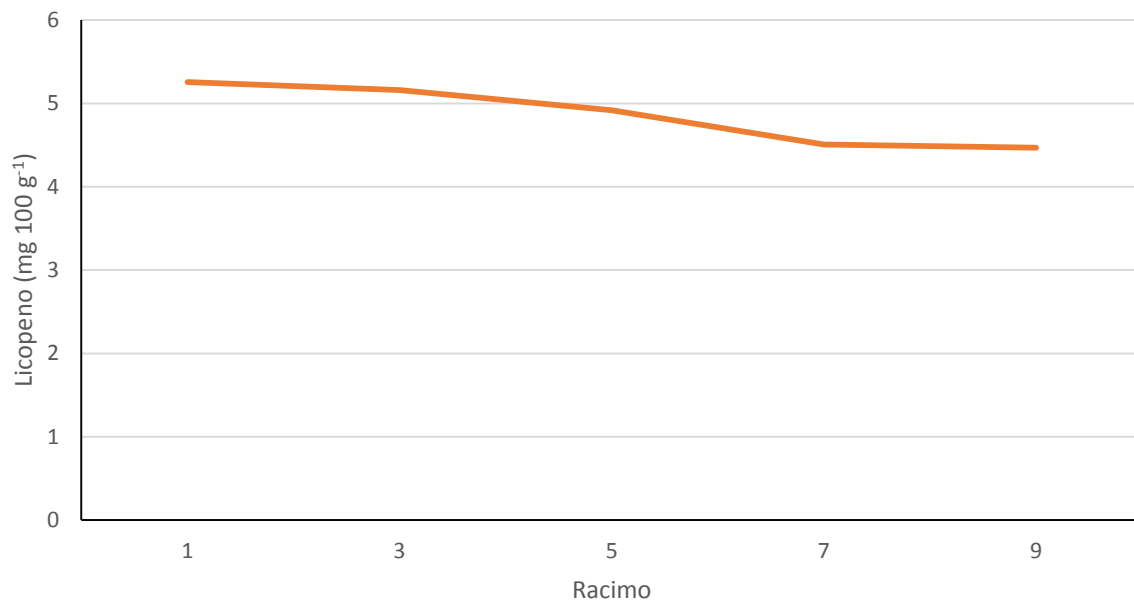


Figura 5.10. Variación en el contenido de licopeno en tomate por racimo cosechado.

### 5.5.2. Sólidos solubles.

Los sólidos solubles son la concentración de azúcares, disueltos en un medio acuoso, su determinación se realiza comúnmente mediante un refractómetro que puede ser digital o análogo y este mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido determinada en una escala denominada °Brix, La cual es una medida utilizada para la cuantificación aproximada de azúcares disueltos en zumos, futas y vinos; esto quiere decir que se cuantifica la cantidad de sólidos solubles totales. La utilización en la agricultura radica en que dicha escala es utilizada para cuantificar los azúcares de determinada fruta y con ello dar seguimiento a la maduración del fruto para su cosecha y comercialización. A manera de ejemplo: una solución de 25 °Brix tiene 25 gramos de sólidos solubles (azúcares y ácidos orgánicos) por 100 gramos de líquido. De los sólidos solubles totales, el 60% son azúcares; principalmente glucosa y fructosa (Gómez y Camelo, 2002), que unidos forman la sacarosa (Hernández y Sastre, 1999). También es importante señalar que el fruto del tomate existe una mayor cantidad de azúcares en el exocarpio y mayor acidez en el interior del fruto, lo que indica que para una muestra representativa es recomendable realizar una licuefacción y filtración del tomate y a partir de ahí tomar la medición. En tomate de larga vida se reportan variaciones 3.18 a 4.93 °Brix (CAJAMAR, 2014).



La variación en cuanto al contenido de sólidos solubles radica en el tipo de tomate (larga vida, cherry, grape, Saladette y bola) así como la variedad, a su vez también de las condiciones en que se desarrolla el cultivo como: riego, nutrición y clima, principalmente. Para los tomates tipo Saladette hay valores óptimos de °Brix que van desde los 4 hasta los 6 para ser considerados en un rango de buena calidad organoléptica con buen potencial para su uso industrial (Arana *et al.* 2006).

A través de la planta existe el flujo de azúcares (sacarosa y monosacáridos como: glucosa, fructosa, manosa y ribosa) de órganos fuente a órganos demanda a través del floema y se realiza la carga y descarga desde vasos conductores del floema o desde células acompañantes mediante transporte activo transmembranal. La sacarosa es la forma de más fácil transporte a larga distancia a través del floema; sin embargo, existe una escisión en glucosa y fructosa al madurar el fruto. A nivel celular el azúcar es mayormente almacenada en la vacuola, misma que sirve como almacén de diversos carbohidratos y otras sustancias. Tanto en la membrana celular (plasmalema) como en la membrana de la vacuola (tonoplasto) el transporte de azúcar se realiza mediante mecanismos de transporte activo o difusión pasiva a tasa acelerada; estos procesos de carga y descarga generan un gradiente de concentración de azúcar que provoca el movimiento del agua y de solutos en el floema. Un adecuado suministro de azúcares por parte del floema es altamente necesario para el desarrollo del fruto. Una vez que los azúcares son descargados al fruto se realiza una distribución de los mismos por vía simplástica y apoplástica (Reuscher *et al.*, 2014).

De acuerdo con lo citado por Ramírez *et al.* (2011) existe variación en el contenido de sólidos solubles en el fruto de tomate de acuerdo al racimo cosechado, y aunque la variación es mínima es importante señalarla (Figura 5.11)



V. REVISIÓN DE LITERATURA.

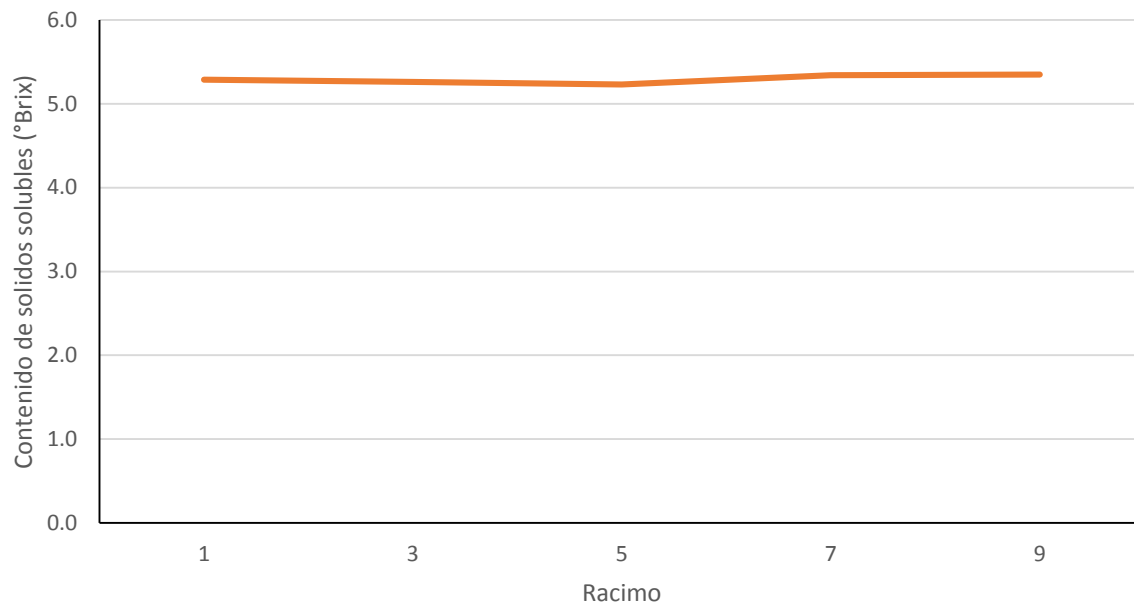


Figura 5.11. Variación del contenido de sólidos solubles en tomate por racimo cosechado.

### 5.5.3. pH del fruto.

El pH es definido como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidronio ( $H_3O^+$ ) y su contraparte es la concentración de hidróxido ( $OH^-$ ), de modo que cuanto mayor sea la concentración de uno, la del otro será menor. Una solución 1 M de ácido clorhídrico tiene una concentración del ion hidronio 1 M, una solución 1 M de hidróxido de sodio tiene una concentración 1 M del ion hidróxido y una concentración del ion hidronio de  $1 \times 10^{-14}$ , esta relación es inversa de modo que cuando la concentración de hidróxido es de  $1 \times 10^{-4}$ , la concentración de hidronio es 1 M. Cuanto más bajo sea el valor de pH, la concentración de iones de hidronio es más elevada y la determinación de este valor se realiza mediante potenciómetros, que son equipos de bajo costo y bastante precisos (Dickson, 1999).

En el fruto de tomate este valor toma gran importancia debido a que si bien se cuantifica la concentración de iones  $H_3O^+$ , esta se relaciona con los ácidos presentes; mismos que proporcionan una protección contra la actividad microbiana, por tanto valores bajos de pH proporcionan mayor vida de anaquel al producto (CAJAMAR,



2014). Para tomates tipo Saladette cultivados en invernadero los valores de pH se encuentran en un rango de 3.8 a 4.9 (Ramírez *et al.*, 2011 y Casierra y Aguilar, 2008), a su vez, de 4 a 5 es un rango óptimo de pH para frutos con alta calidad organoléptica y con aptitud para procesamiento industrial. Por otro lado el pH del fruto de tomate varía en función del racimo cosechado, de modo que sigue una tendencia decreciente desde el primer racimo, es decir tiene a acidificarse conforme la planta envejece (Figura 5.12).

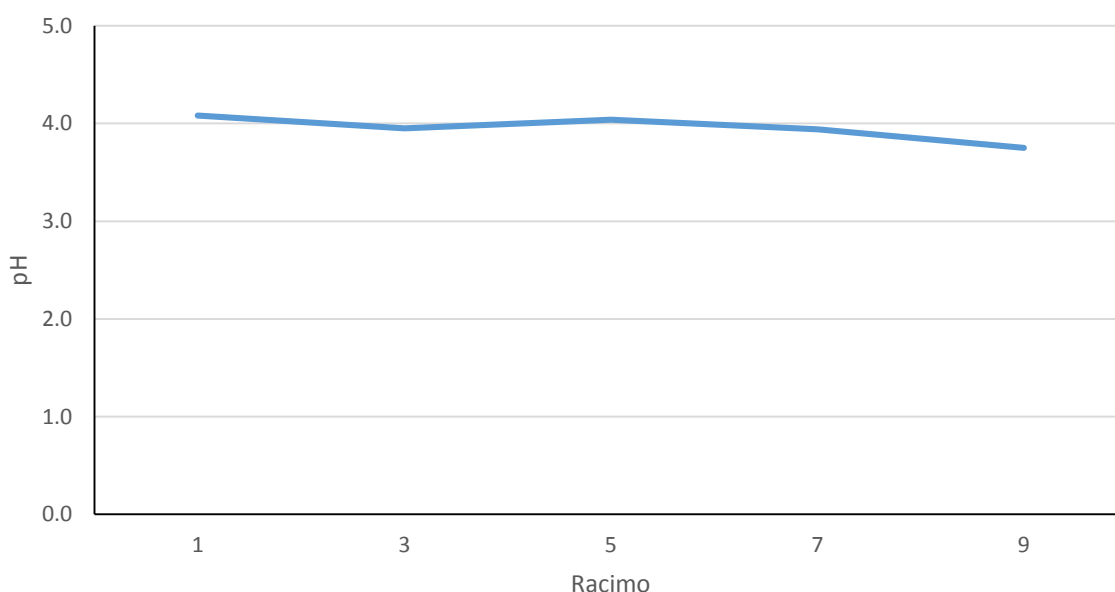


Figura 5.12. Variación del pH del fruto de tomate por racimo cosechado (Ramírez *et al.*, 2011).

#### 5.5.4. Acidez titulable.

La acidez titulable es la concentración de ácidos orgánicos presentes en el fruto, tales como: cítrico, málico, láctico, oxalacético, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, galactourónico, glicérico, tartárico, etc. mismos que inciden en el sabor, color, estabilidad microbiana y la calidad de la conservación. Se determina por volumetría acido-base empleando hidróxido de sodio (NaOH) 1 N y fenolftaleína como indicador (CAJAMAR, 2014). La acidez titulable que involucra a la concentración de ácidos (cítrico y málico en mayor y menor medida) es un factor determinante del sabor del fruto del tomate (Gómez y Camelo, 2002). En cuanto a concentración porcentual



de ácido cítrico en tomates Saladette cultivados bajo invernadero se reportan rangos comprendidos entre 0.24 y 0.65 % de ácido cítrico (Casierra y Aguilar, 2008 y Gaspar *et al.*, 2011).

#### 5.5.5. Potasio.

El potasio representa el catión de mayor demanda por las plantas. Gran parte del  $K^+$  se encuentra como ion libre dentro de las vacuolas y el citoplasma, por tanto junto con otros iones disueltos genera una presión osmótica que ocasiona la entrada de agua, dando lugar a la turgencia celular, siendo esta una de las principales funciones del  $K^+$  en la planta. En contraparte, un déficit de este nutriente en la planta, da lugar a que el metabolismo general de la planta, así como el rendimiento se vean disminuidos, no obstante, aunque el potasio no es el único elemento que interviene en la presión osmótica, éste participa de manera significativa. El  $K^+$  se acumula en la superficie de los cloroplastos, penetrando en ellos cuando se realiza la fotosíntesis, siendo un factor indispensable para esta reacción puesto que proporciona estabilidad a diversas estructuras y las mantiene en condiciones óptimas para las reacciones enzimáticas.

Una vez que se realiza la fotosíntesis, el potasio incentiva la translocación de los fotosintatos, de igual manera, cuando estos se acumulan en la hoja se ocasiona una disminución de la fotosíntesis; por tanto es de gran importancia la rápida translocación de fotosintatos y en concentraciones adecuadas de potasio se propicia una alta tasa de fotosíntesis neta en las hojas. Por otro lado, son conocidos alrededor de 50 sistemas diferentes activados por el potasio en mayor o menor grado de especificidad (Alcantar *et al.*, 2013).

Especialmente, el potasio interviene fisiológicamente en los procesos de síntesis de azúcar y almidón, de traslado de azúcares y de síntesis de proteínas. La abundancia de potasio se manifiesta en características físicas como incremento en vigor y crecimiento, correcto desarrollo de flores, frutos y semillas, resistencia al frío y a enfermedades criptogámicas (causadas por hongos u organismos filamentosos) y un incremento en la calidad de los frutos. En contraste, la deficiencia de potasio ocasiona



trastornos como disminución del traslado de azúcares a la raíz, acumulación de compuestos orgánicos nitrogenados (debido a que no se sintetizan proteínas), aparición de sustancias catabólicas como la putrescina que propicia la necrosis de los tejidos vivos y debido a la disminución de la presión osmótica de las células, estas son más susceptibles al ataque de los patógenos (Rodríguez, 1997).

La acumulación de potasio en la planta de tomate sigue una tendencia a incrementarse de forma diferente conforme avanza el crecimiento de la planta (Figura 5.13), asimismo hay variación de los valores de potasio acumulados en el fruto de acuerdo al genotipo, hábito de crecimiento y condiciones en que se desarrolla, no obstante sigue una tendencia similar; de modo que hasta el 30% de desarrollo del cultivo, la pendiente de la extracción de  $K^+$  es mucho menor que después de ese lapso (Bugarin *et al.*, 2002b), esto debido a que la demanda de  $K^+$  del fruto en crecimiento representa entre el 70 y 80% de la demanda total de la planta (Bugarin *et al.*, 2002a).

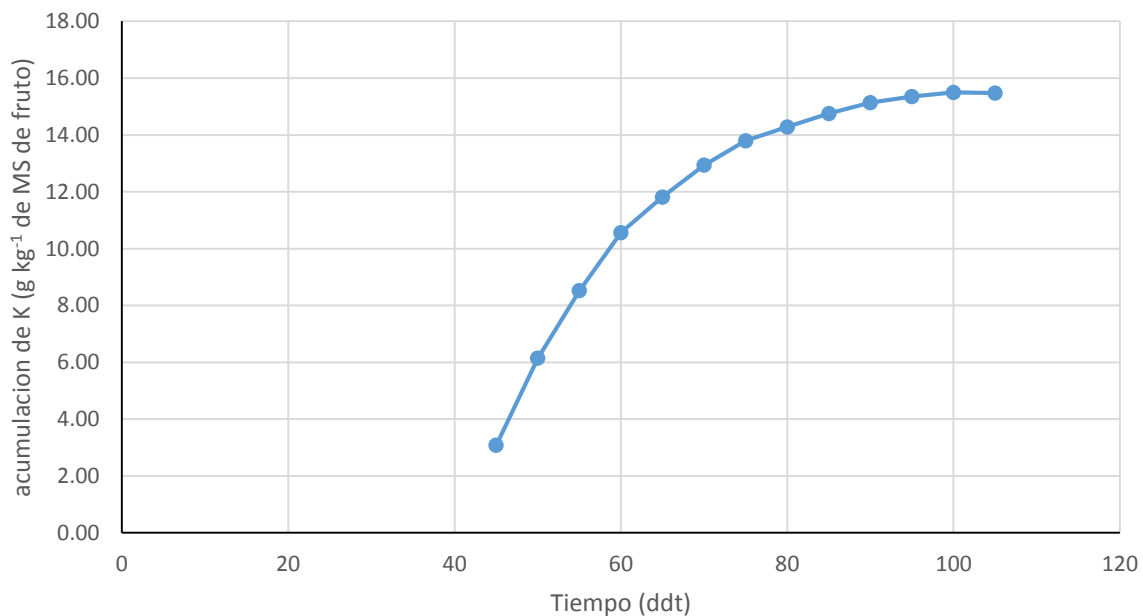


Figura 5.13. Acumulación diaria de  $K^+$  en fruto de tomate ( $g\ kg^{-1}$  de MS) (Betancourt y Pierre, 2013).

Asimismo es importante señalar la variación que existe en los racimos cosechados en cuanto a la acumulación de potasio en fruto, el quinto racimo es el que más



acumulación de este ion tiene, asimismo el noveno racimo también alcanza un repunte; sin embargo, los primeros dos racimos son los que menores valores alcanzan (Figura 5.14).

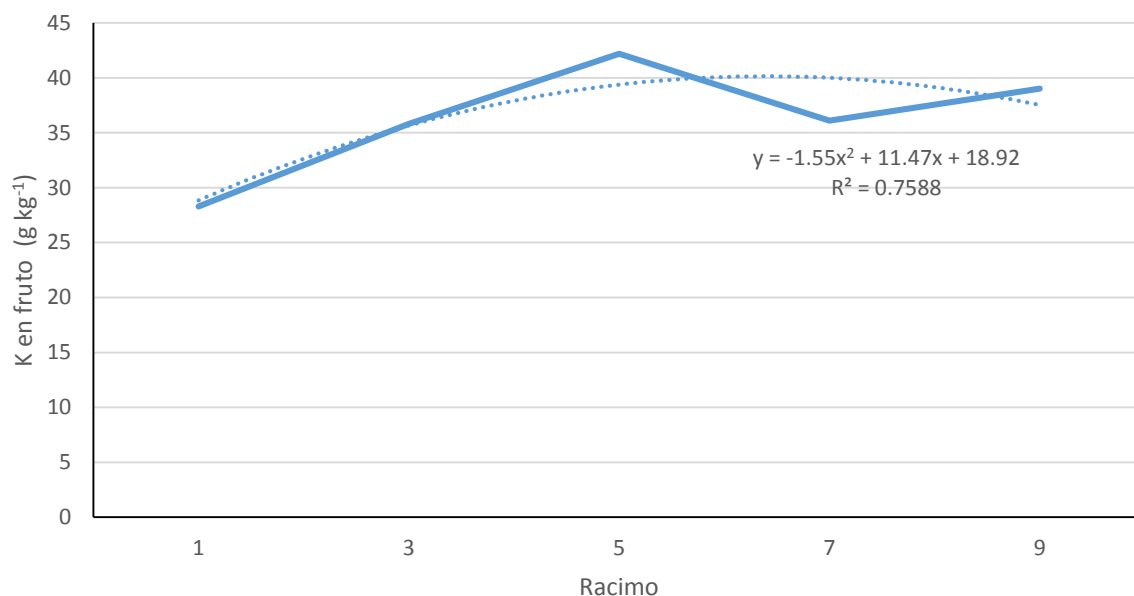


Figura 5.14. Concentración de potasio en fruto de tomate (g kg<sup>-1</sup>) por racimo cosechado (Ramírez *et al.*, 2011).

De modo que si se toma en cuenta el contenido de K<sup>+</sup> como un parámetro de valor agregado en la producción de tomate es conveniente tomar en cuenta esta tendencia.

## 5.6. Fertilización foliar.

Se menciona la importancia de la fertilización foliar así como los mecanismos de absorción y el tiempo necesario.

### 5.6.1. Ventajas y justificación de la fertilización foliar.

Los beneficios de la fertilización foliar son reportados desde 1844; sin embargo, desde la antigua Babilonia se realizaba esta práctica. Con el tiempo se descubrieron efectos benéficos en el rendimiento y la calidad del producto; es por ello que las aplicaciones





foliares se difundieron y son practicadas en la actualidad. Visto desde el aspecto fisiológico, la hoja es la fábrica de fotosintatos y desde donde estos, junto con los nutrientes son repartidos; para dicho proceso la materia prima (nutrientes y agua) provienen desde el suelo y se transporta por el xilema como “savia bruta”, que al ser procesada mediante la fotosíntesis se transforma en carbohidratos y es transportada junto con nutrientes en forma de “savia elaborada” a través del floema. Cabe mencionar que iones como el potasio incentivan el transporte de azúcares (Rodríguez, 1997). Por tanto; el adicionar nutrientes vía foliar en forma disponible y asimilable para la planta, directo al lugar donde se procesan y reparten compuestos demandados por el resto de la misma, es una forma de reducir el tiempo y aumentar la eficiencia del proceso de transporte nutrimental. Por otro lado, en ocasiones es necesaria la aplicación de nutrientes vía foliar debido a que estos no pueden ser absorbidos por la planta desde el suelo, también es necesario cuando se necesita corregir deficiencias nutrimentales o bien, si se requiere incrementar mejorar ciertas características del producto (Trinidad y Aguilar, 1999).

#### 5.6.2. Mecanismos de absorción.

Si bien la hoja no es el órgano más especializado en la absorción como lo es la raíz, existen zonas protuberantes que coinciden con la ubicación de los ectodésmos; mismos que sirven para excretar sustancias del interior de la hoja y es también por donde pueden ingresar soluciones acuosas con nutrimentos.

En una hoja existen una variable cantidad de tricomas dispersos en la superficie de la misma. Además, la hoja se encuentra cubierta casi totalmente por una capa denominada cutícula; la cual está compuesta de cutina, sustancia que es repelente e impermeable al agua. Debajo de la cutícula se encuentra la pared externa de las células epidermales que consisten de fibras entrelazadas de pectina, hemicelulosa y cera. A su vez existen espacios interfibrilares de un tamaño aproximado a  $10 \text{ \AA}$ , por donde pueden ingresar agua y sustancias disueltas en ella. Finalmente se encuentra la membrana plasmática que se compone de una bicapa lipídica que incluye proteínas transportadoras que sirven para intercambiar iones entre el citoplasma y el exterior de la célula.



De toda la superficie de la hoja, los lugares por donde es posible la absorción de soluciones acuosas es en la base de los tricomas; donde se ubican los ectodésmos, en la cutícula y vía apoplasto (Rodríguez, 1997).

### 5.6.3. Tiempo de absorción.

En condiciones de invernadero para tomate, después de 30 minutos de la aplicación, se manifiesta adherencia del fertilizante foliar en la cutícula, en la epidermis, en la periferia del poro del estoma, en el tricoma y en la base del mismo.

A los 60 minutos el fertilizante se localiza entre las células de empalizada sin llegar al parénquima esponjoso. Después de dos horas se encuentra disperso en las células de empalizada; en algunas de las cuales ha sido absorbido, también llega a las células del parénquima esponjoso e incluso a algunos vasos del xilema. El fertilizante llega al parénquima de empalizada, parénquima esponjoso y al xilema después de cuatro horas. Después de 6 horas ya no se encuentra el fertilizante en el parénquima de empalizada, presentándose ligeramente en el parénquima esponjoso y estomas. Después de 12 horas de la aplicación, prácticamente no se encuentran residuos en la hoja por la probable translocación de los nutrientes a sitios demandantes (Rodríguez, 1997).



## VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este capítulo se describe todo lo realizado en el experimento así como de los materiales y equipo necesario para la realización de pruebas y análisis de laboratorio y estadísticos.

### 6.1. Ubicación del invernadero.

El presente trabajo se realizó en un invernadero para trabajos experimentales del Postgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (Figura 6.1), y se localiza a una latitud norte de  $19^{\circ} 21'$ , longitud oeste  $98^{\circ} 54'$  y altitud 2240 m durante el periodo primavera-verano 2015.



Figura 6.1. Ubicación del sitio experimental.

### 6.2. Características del invernadero.

El invernadero que se muestra en la Figura 6.2 es de tipo cenital con cubierta de polietileno. Las medidas son 9 m de ancho y 20 m de largo, resultando una superficie



de 180 m<sup>2</sup>. La altura hasta el desplante del arco es de 3 m y desde el desplante del arco hasta la ventana cenital es de 3 m. cuenta con dos cortinas a los lados y una al fondo, todas de 3 m de altura (del suelo al desplante del arco); y una cortina cenital de 90 cm de altura.

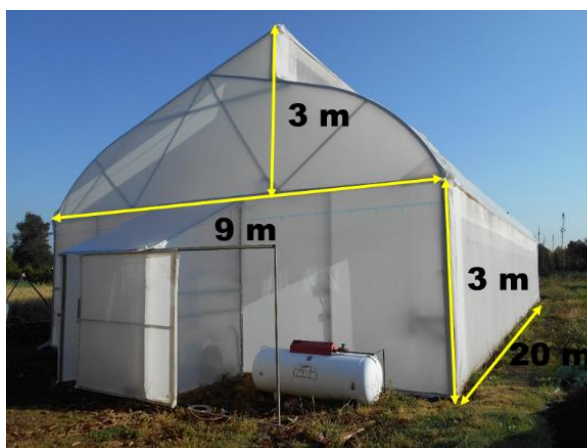


Figura 6.2. Dimensiones del invernadero.

### 6.3. Condiciones climáticas dentro del invernadero.

Se utilizó un termohigrómetro marca EXTECH modelo 445702 para el monitoreo de temperatura y humedad relativa. Con el cual se determinó que la temperatura promedio fue de 23°C con variaciones entre los 8 y 44 °C, cuyo punto máximo se alcanzó entre las 14:00 y 16:00 y el mínimo entre las 01:00 a 07:00 horas, asimismo la humedad relativa estuvo en un rango entre 17 y 97% entre las 14:00 y 16:00 así como entre las 01:00 a 07:00 horas, respectivamente; con un promedio de 61%.

### 6.4. Sistema de riego.

El sistema de riego utilizado fue por goteo. Se instaló un controlador de riego Hunter SRC®, que cuenta con su respectivo relevador para activar una bomba de 1 Hp que abastece 8 líneas de riego cada una con una válvula manual para apertura y cierre. Entre planta y planta se colocó un gotero autocompensado cuyo gasto es de 3 L h<sup>-1</sup> unido a un distribuidor de cuatro salidas; a las cuales se insertó un tramo de tubín de aproximadamente 65 cm y en cada extremo se colocó una estaca reguladora de



presión para ser fijada en el tezontle. Cabe señalar que el gasto de solución nutritiva aplicado por minuto de riego a cada planta fue de 25 ml.

#### 6.5. Descripción de los genotipos de tomate utilizados.

Se describen a detalle las características agrologicas de los genotipos utilizados en el experimento.

##### 6.5.1. Azhura.

Hibrido indeterminado Saladette de planta vigorosa y tallo fuerte, entrenudos muy cortos y follaje abierto, mismo que le confieren excelente ventilación y menor incidencia de enfermedades bacterianas y fungosas, es remarcable su alto rendimiento por su alto porcentaje de frutos con pesos entre 150 y 170 gr. Es un hibrido de ciclo intermedio y muy adaptable a calor y frio. En cuanto a sus características de resistencia se muestran en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Resistencia de tomate "Azhura" a las enfermedades.

Resistencia	Enfermedad	Abreviación	Causado por
T	Mancha negra del tomate	BSK	<i>Pseudomonas syringae</i>
T	Fusarium del tomate	Fol US 1,2	<i>Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici</i> raza 1,2

T= Tolerancia

##### 6.5.2. Cid.

Hibrido indeterminado tipo Saladette cuya es planta vigorosa entrenudos cortos, follaje moderado. Sus frutos son uniformes en tamaño y forma con un color rojo intenso. Sus paredes gruesas le brindan una excelente firmeza para una mayor vida de anaquel. Es un hibrido de altos rendimientos y excelente aceptación en el mercado. En cuanto a sus características de resistencia se muestran en el Cuadro 6.2.





Cuadro 6.2. Resistencia de tomate "Cid" a las enfermedades.

Resistencia	Enfermedad	Abreviación	Causado por
HR	Verticilosis	V	<i>Verticilium albo-atrum</i> V. <i>Dahlie</i>
HR	Agallas radiculares por nematodos	Ma, Mi, Mj	<i>Meloidogyne arenaria</i> , <i>M. incognita</i> & <i>M. javanica</i>
HR	Mosaico del tomate	ToMV	<i>Virus mosaico del tomate</i>
HR	Fusarium del tomate	Fol US 1,2	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i> raza 1 y 2

HR= Alta resistencia

### 6.6. Selección y desinfección de sustrato para bolsa.

El sustrato que se utilizó fue tezontle con granulometría menor de 8 mm de diámetro, el cual se obtuvo tamizándolo para obtener homogeneidad y se procedió a llenar las bolsas de 35 x 35 cm. Una vez llenas y acomodadas dentro del invernadero se aplicó 5 L por maceta de una solución con cloro a una razón de 1 ml l<sup>-1</sup> y al día siguiente se aplicaron 6 litros de agua por maceta para lavar los residuos de cloro (Figura 6.3).



Figura 6.3. Preparación del sustrato.



### 6.7. Contenedores.

Se usaron bolsas polietileno de color negro de 35 centímetros de diámetro por 35 centímetros de largo calibre 600, mismas que fueron perforadas para drenar excesos de agua.

### 6.8. Fertilizantes foliares.

Tres fertilizantes foliares de productos comerciales se seleccionaron porque son recomendados para cultivos hortícolas como el tomate y que incrementan calidad y rendimiento del mismo.

#### 6.8.1. Foligral®.

Fertilizante foliar comercial elaborado por la empresa FERQUIM S.A. DE C.V. La dosis recomendada por la empresa para este cultivo oscila entre 0.5 y 1 L ha<sup>-1</sup> y el contenido nutrimental del producto se muestra en el Cuadro 6.3.

Cuadro 6.3. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Foligral®.

Nutriente	Forma	%
Potasio	K <sub>2</sub> O	65.00
Nitrógeno	N	5.50
Fosforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.50
Magnesio	Mg	0.50
Azufre	S	0.70
Fierro	Fe	0.23
Manganeso	Mn	0.20
Zinc	Zn	0.15
Boro	B	0.10
Cobre	Cu	0.05

#### 6.8.2. Nutri K-80®.

Fertilizante foliar formulado y distribuido por QUIMICA SAGAL S.A. DE C.V. misma que recomienda para este cultivo dosis entre 1 y 4 kg ha<sup>-1</sup>. El contenido nutrimental del producto se muestra en el Cuadro 6.4.



Cuadro 6.4. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Nutri K 80®.

Nutriente	Forma	%
Potasio	K <sub>2</sub> O	50.600
Fosforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30.700
Azufre	S	2.900
Materia orgánica		2.900
Aminoácidos	L-aminoácidos	0.450
Boro	B	0.042
Magnesio	Mg	0.025
Molibdeno	Mo	0.003
Fitohormonas		0.008
Vitaminas		0.002

### 6.8.3. Nutri Humus®.

Fertilizante foliar concentrado formulado y distribuido por QUIMICA SAGAL S.A. DE C.V. la cual recomienda para este cultivo dosis entre 1 y 2 L ha<sup>-1</sup>. En el Cuadro 6.5 se muestra el contenido nutrimental del producto.

Cuadro 6.5. Contenido nutrimental del fertilizante foliar Nutri Humus®.

Nutriente	Forma	%
Ácidos Húmicos		47.38
Ácidos Fúlvicos		42.62
Potasio	K <sub>2</sub> O	9

### 6.9. Solución nutritiva.

La solución nutritiva que se utilizó fue Steiner (1961) la cual se usa comercial y experimentalmente debido a la efectividad de la misma de acuerdo con la CE aplicada. Las formulaciones tanto en meq L<sup>-1</sup> como en g 1000 L<sup>-1</sup> se muestran en los Cuadros 6.6 y 6.7, respectivamente.

Cuadro 6.6. Formulación de la solución nutritiva Steiner (1961) (meq L<sup>-1</sup>).

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
12	1	7	7	9	4





Cuadro 6.7. Formulación de la solución nutritiva Steiner (1961) para producción de tomate en condiciones de invernadero (g 1000 L<sup>-1</sup>).

Fertilizante	g 1000 L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	1062.72
KNO <sub>3</sub>	303.33
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	261.42
MgSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	492.96
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.09

#### 6.10. Factores y tratamientos en estudio.

En el experimento se evaluaron dos factores: Genotipos (“Azhura” y “El Cid”) y fertilizantes foliares (Foligral, NutriK-80 y Nutri Humus) más un testigo. Mediante un arreglo bifactorial 2x4 se generaron 8 tratamientos, mismos que se presentan en el Cuadro 6.8.

Cuadro 6.8. Descripción de los tratamientos evaluados.

Genotipos	Fertilizantes foliares	Tratamiento	No.
Azhura (A)	Testigo (A)	AA	1
	NutriK-80 (B)	AB	2
	Nutri Humus (C)	AC	3
	Foligral (D)	AD	4
El cid (B)	Testigo (A)	BA	5
	NutriK-80 (B)	BB	6
	Nutri Humus (C)	BC	7
	Foligral (D)	BD	8

#### 6.10.1. Diseño y unidad experimental.

En el experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en la cada repetición generando 32 unidades experimentales (Figura 6.4).



VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

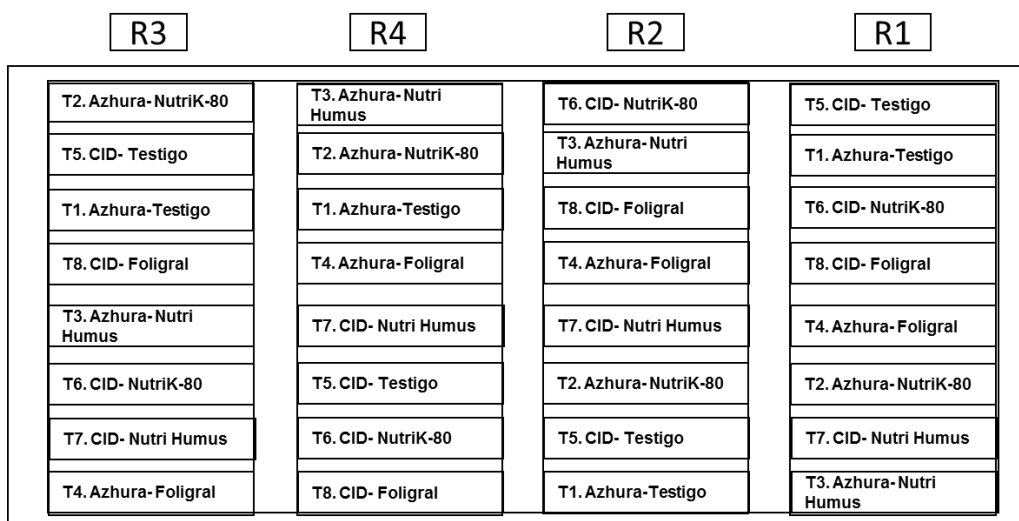


Figura 6.4. Distribución de los tratamientos en campo para evaluar el efecto de tres fertilizantes foliares en el rendimiento y calidad de dos genotipos de tomate en hidroponia bajo invernadero.

Cada repetición o bloque estuvo definido por 8 unidades experimentales a una separación de 1.2 m entre sí con una longitud de 4 m, cada unidad experimental se constituyó por 7 plantas distanciadas a 65 cm una de la otra. Se seleccionaron 3 plantas del centro de cada hilera (parcela útil), mismas de las que se tomaron todas las mediciones de las variables.

6.11. Labores de cultivo.

A continuación se describe la manera en que realizaron todas las labores necesarias durante el ciclo de cultivo de tomate en hidroponia bajo invernadero.

6.11.1. Plántula.

Se adquirió en la empresa EDMA PRODUCCIÓN DE PLANTULA S. DE P.R. DE R.L. en Tonicato, estado de México.



### 6.11.2. Trasplante.

Se muestra en la Figura 6.5 y se realizó el 30 de abril por la tarde para evitar deshidratación de la plántula y se aplicó un riego de 500 ml por bolsa.

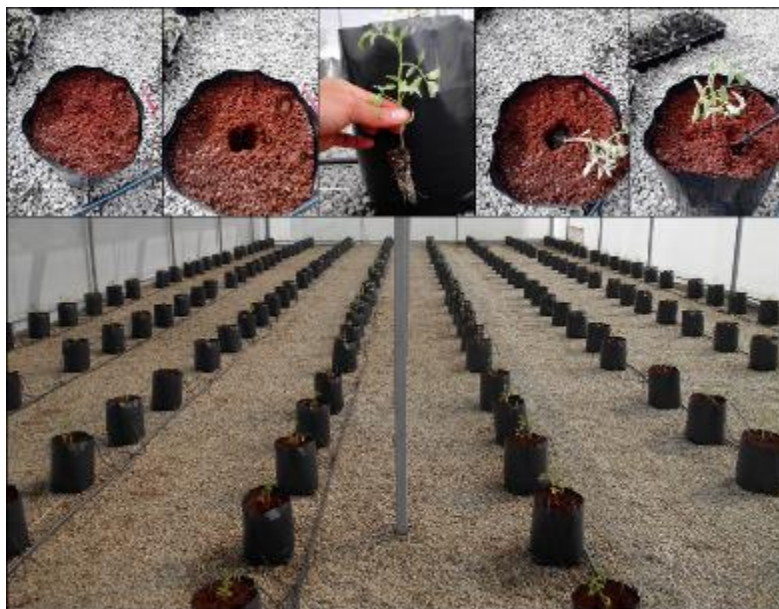


Figura 6.5. Trasplante de plántulas de tomate en las bolsas con tezontle como sustrato.

### 6.11.3. Pruebas complementarias.

A continuación se describe la forma en cómo se realizaron las pruebas que involucran la medición de factores que no son evaluados estadísticamente en el experimento pero que si influyen en gran medida en el desarrollo y producción del cultivo si no se mantienen en un rango óptimo.

#### 6.11.3.1. Prueba de uniformidad de riego.

Se realizó una prueba de uniformidad de riego para determinar el desempeño del mismo. Para tal fin se seleccionaron cuatro líneas de riego y a su vez cuatro puntos a lo largo de cada una, después se acciono el sistema y se colecto el gasto emitido de dichos puntos durante el lapso de un minuto haciendo dos repeticiones de cada



medición. Los datos obtenidos fueron tabulados para calcular medias en cada repetición, posteriormente se ordenaron de mayor a menor, se calculó el valor de la lámina media en el 25% de los valores más bajos, así como la media general para emplearlas en la siguiente formula (Soccoll *et al.*, 2002)

$$UD = \left( \frac{\bar{X}_{(25\%)}}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (6.1)$$

Donde:

U= Coeficiente de uniformidad de riego

$\bar{X}_{(25\%)}$ = Media en el 25% de los valores más bajos

$\bar{X}$ = Media general

#### 6.11.3.2. Curva de retención de humedad del sustrato.

Para conocer mejor las características del sustrato se realizó la curva de retención de humedad, para la cual se utilizó una muestra del sustrato tamizado, se saturó con agua destilada y se tomó una muestra para someterlo a la prueba de columna de agua.

Los datos fueron tabulados y se calculó en cada nivel de agua el % de humedad con la siguiente formula:

$$\%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100 \quad (6.2)$$

Donde:

%H= Porcentaje de humedad del sustrato

PSH= Peso de sustrato húmedo

PSS= Peso de sustrato seco

#### 6.11.3.3. Porosidad del sustrato.

Se colocó sustrato en una probeta de 1 L de capacidad, posteriormente dicho volumen de sustrato se vació en un recipiente y se saturó con agua. Se cubrieron las



perforaciones de un permeanómetro con cinta adhesiva y se pesó en una báscula digital marca Sartorius® PRO 32/34F, se retiró el permeanómetro de la báscula y se llenó con agua para volverlo a pesar, esto para conocer el volumen del permeanómetro (VP). Se vació el agua y se llenó el permeanómetro con sustrato saturado para pesarlo una vez más (Ps saturado), se retiró la cinta para que se drenara el agua y se volvió a pesar con la cinta (Ps drenado). Finalmente el sustrato se secó a peso constante en la estufa de secado durante 24 h a 100°C y se volvió a pesar (Ps seco). Una vez obtenidos los datos se emplearon las siguientes formulas:

$$V_{ai} = P_s \text{ saturado} - P_s \text{ drenado} \quad (6.3)$$

$$V_{TP} = P_s \text{ saturado} - P_s \text{ seco} \quad (6.4)$$

$$(\%PT) = \left( \frac{V_{TP}}{VP} \right) * 100 \quad (6.5)$$

$$(\%P_{ai}) = \left( \frac{V_{ai}}{VP} \right) * 100 \quad (6.6)$$

$$(\%Prh) = \%PT - \%P_{ai} \quad (6.7)$$

Donde:

V<sub>ai</sub>: Volumen de poros de aireación (g)

P<sub>s saturado</sub>: Peso del sustrato saturado (g)

P<sub>s drenado</sub>: Peso del sustrato drenado (g)

P<sub>s seco</sub>: Peso del sustrato seco (g)

V<sub>P</sub>: Volumen del permeanómetro (g)

V<sub>TP</sub>: Volumen total de poros (g)

PT: Porosidad total (%)

P<sub>ai</sub>: Porosidad de aireación (%)

Prh: Porosidad de retención de humedad (%)

#### 6.11.3.4. Humedad relativa y temperatura durante el cultivo.

Para conocer la humedad dentro del invernadero se utilizó un termohigrómetro EXTECH 445702 en el cual se tomó la lectura en la mañana, al medio día y por la tarde.



#### 6.11.3.5. Gasto hídrico.

Durante todo el ciclo se cuantificó la cantidad de agua aplicada mediante el producto del tiempo de riego por el gasto del gotero, logrando calcular el gasto aplicado por riego, por día y total durante el experimento.

#### 6.11.4. Manejo del riego.

El sistema se programó en un inicio para dar tres riegos al día de cuatro minutos; sin embargo se incrementó tanto la frecuencia como la cantidad y duración de riegos en cada semana durante el desarrollo del cultivo hasta llegar a aplicar 1.4 L por planta al día.

#### 6.11.5. Control de plagas y enfermedades.

A mediados de julio se presentó un brote de tizón tardío que se disparó por días nublados con alta humedad relativa, a lo que se respondió con aplicaciones METALKIL PH® + Cupravit PH® + Q-2000 alternando Cupravit PH® con Benlate®, pues se realizaron 3 aplicaciones en ese brote. Un brote más de tizón tardío sucedió en septiembre, mismo que se controló con el tratamiento indicado. Respecto a plagas fueron controladas muy fácilmente por Senvicid y Allium los cuales son productos orgánicos muy efectivos para dichos insectos. Las indicaciones de los productos para plagas y enfermedades así como la dosis empleada se muestran en el Cuadro 6.9.



Cuadro 6.9. Indicaciones de productos utilizados para el manejo de plagas y enfermedades en el experimento.

Plaga o enfermedad	Agente causal	Producto	Ingrediente activo	Dosis	
				Prevención	Control
Larvas	<i>Spodoptera exigua</i>				
Mosquita blanca	<i>Bemisia tabaci</i> , <i>B. argentifolii</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Senvicid SL + Allium PH	Extractos de <i>C. frutescens</i> , <i>A. canadense</i> , <i>A. multida</i>	5 + 5 ml L <sup>-1</sup> Foliar	8 + 8 ml L <sup>-1</sup> Foliar
Minador de hoja	<i>Liriomyza sativae</i> , <i>L. trifolii</i>				
Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	METALKIL PH	Clorotalonil 72% + metalaxil 9%	12.5 gr L <sup>-1</sup> Foliar	15 gr L <sup>-1</sup> Foliar
		Cupravit PH	Oxicloruro de cobre	7 g L <sup>-1</sup> foliar	10 g L <sup>-1</sup> foliar
		Q-2000 SL	Iodoformo	4 ml L <sup>-1</sup> foliar	7 ml L <sup>-1</sup> foliar
		Benlate PH	Benomil	1 g L <sup>-1</sup> foliar	3 g L <sup>-1</sup> foliar

#### 6.11.6. Tutoreo.

Las plantas se llevaron a un tallo y se sujetaron con rafia al cableado del invernadero. La colocación del tutorado se realizó a partir de los siete días después de trasplante y de manera semanal se procedió a acomodar y enredar los tallos en la rafia según su crecimiento.

#### 6.11.7. Podas.

Se realizaron distintos tipos de podas, los cuales se describen a continuación:

##### 6.11.7.1. Podas de chupones.

Se realizaron podas de los chupones semanalmente para conservar el porte a un tallo con una frecuencia semanal.



#### 6.11.7.2. Podas de hojas.

Se podaron las hojas basales una vez que el racimo inmediato superior termino el llenado de fruto y comenzó a madurar.

#### 6.11.7.3. Podas de frutos.

Ambos genotipos tienen alrededor de 6 a 8 frutos por racimo; sin embargo para homogeneizar el tamaño de los mismos se podaron los excedentes de manera que por racimo hubiera solo 6 frutos.

#### 6.11.8. Polinización.

Por no contar con sopladora a combustión interna ni insectos polinizadores se substituyeron mediante el ligero golpeteo de la rafia de soporte en las mañanas cuando la temperatura oscilaba entre 24 y 27 °C. Esta temperatura se alcanzaba entre las 9 y 11 am.

#### 6.11.9. Cosecha.

El fruto se cosechó cuando éste alcanza un color rojo intenso y estuvo completamente maduro, se cosecharon alrededor de 36 frutos por planta desde el primer al sexto racimo. En la Figura 6.6 se muestra el cultivo experimental en pleno desarrollo.





Figura 6.6. Experimento evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero.

#### 6.12. Variables de respuesta.

De las plantas que conforman a la parcela útil se utilizaron todos los frutos desde el segundo hasta el sexto racimo para cuantificar el rendimiento y los frutos tres y cuatro del tercero y sexto racimo para los análisis de calidad.

##### 6.12.1. Rendimiento.

De las plantas que conforman la parcela útil se utilizaron todos los frutos cosechados desde el segundo al sexto racimo para las variables de diámetro polar, ecuatorial y peso de fruto con el que se pudo calcular el rendimiento y clasificar por calidad física.



#### 6.12.1.1. Diámetro polar y ecuatorial.

A cada fruto cosechado se le midió con un vernier digital marca TRUPER el diámetro polar y ecuatorial.

#### 6.12.1.2. Peso de frutos por racimo.

Se pesaron los frutos cosechados del primer al sexto racimo con una báscula digital de bolsillo marca REMO (Figura 6.7).



Figura 6.7. Peso de frutos de tomate.

#### 6.12.1.3. Rendimiento por hectárea.

Una vez que se cosechó hasta el sexto racimo se realizó una sumatoria y se calculó el rendimiento por hectárea contemplando la densidad de 12,800 pl ha<sup>-1</sup> obtenida con la distribución de plantas en el experimento.

#### 6.12.1.4. Rendimiento por hectárea por calidad.

Los frutos fueron clasificados por calidades según su peso y daños físicos y tales datos fueron extrapolados a una hectárea para determinar el rendimiento por hectárea de cada calidad.



### 6.12.2. Calidad de fruto.

Las siguientes variables en estudio se eligieron por ser determinantes de la calidad de los frutos en cuanto a características de sabor y contenido nutrimental.

#### 6.12.2.1. Licopeno.

Fue determinado mediante colorimetría, se empleó un colorímetro marca HUNTERLAB (Figura 6.8) el cual se calibró al inicio para determinar mediciones de color L, a\* y b\* reportadas en el sistema internacional de color (CIE). A cada fruto cosechado para determinaciones de calidad se le determinaron estos parámetros y mediante la fórmula descrita por Arias *et al.*, (2000) se determinó el licopeno.

$$\text{Licopeno (mg 100 g)} = 11.848 * \left(\frac{a^*}{b^*}\right) + 1.5471 \quad (6.8)$$



Figura 6.8. Determinación de color en tomate

#### 6.12.2.2. Sólidos solubles (°Brix).

Cada fruto fue partido por mitad y se extrajo una gota de jugo para la respectiva medición en un refractómetro digital marca ATAGO (Figura 6.9).



VI. MATERIALES Y MÉTODOS.



Figura 6.9. Determinación de sólidos solubles en tomate.

6.12.2.3. pH del fruto.

Se extrajo y centrifugó el jugo de tomates de cada unidad experimental en grupos de tres, es decir dos muestras por racimo, finalmente sin diluir se tomó la lectura con la ayuda de un potenciómetro marca HANNA (Figura 6.10).



Figura 6.10. Determinación de pH en fruto de tomate.

6.12.2.4. Acidez titulable.

Se determinó mediante la metodología de Gómez y Camelo (2002), para tal fin se utilizaron 20 g de jugo fresco (obtenido para la prueba anterior) que se diluyó con 50



ml de agua destilada y fueron agregadas 5 gotas de fenolftaleína al 1%, posteriormente se tituló con NaOH 0.1 N (Figura 6.11). La acidez titulable fue calculada como % de ácido cítrico mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{0.0064 V}{G} 100 \quad (6.9)$$

Donde:

A= Acidez en % de ácido cítrico

V= Volumen de NaOH 0.1 N gastado en cm<sup>3</sup>

G= Cantidad de la muestra en g



Figura 6.11. Determinación de acidez titulable en fruto de tomate.

#### 6.12.2.5. Potasio en fruto.

Para esta variable se utilizaron los frutos tres y cuatro del tercer y sexto racimo. Se procedió a quitar semillas y cortarlo en láminas delgadas, se introdujeron a la estufa de secado a una temperatura de 65° C durante cinco días. Una vez deshidratados los tomates se procedió a moler en un molino General Electric hasta polvo. Concluido lo anterior se realizó una digestión húmeda con una solución biácida a base de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HClO<sub>4</sub> en relación 2:1 de la cual se tomó 2 ml por muestra a la que también se



adiciono 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Una vez terminada la digestión se filtró y aforo a 10 ml con agua des-ionizada para finalmente analizar el contenido de potasio en el espectrofotómetro de masas (ICP) marca VALIAN modelo 725-ES (Figura 6.12).



Figura 6.12. Determinación de potasio en fruto de tomate.

### 6.13. Análisis estadístico.

Los datos obtenidos de las variables, se sometieron al análisis de varianza mediante el Statistical Analysis System (SAS); de acuerdo al diseño experimental de Bloques al azar, cuyo modelo estadístico es el siguiente (Martínez, 1988):

$$y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + B_k + (AB)_{jk} + e_{ijk} \quad (6.10)$$

Donde:

$\mu$ = es la media general.

$R_i$ = es el efecto del  $i$  ésimo bloque o repetición.

$A_j$ = es el efecto debido al  $j$  ésimo nivel del factor A.

$B_k$ = es el efecto debido al  $k$  ésimo nivel del factor B.



$(AB)_{jk}$  = efecto de la interacción entre el k ésimo nivel del factor B y el j ésimo del factor A.

$e_{ijk}$  = es el error experimental.

#### 6.14. Análisis económico.

Se calcularon los costos experimentales de producción por tratamiento, tomando en cuenta el costo y depreciación de la estructura, instalaciones, equipo y herramientas. La finalidad fue determinar cuál tratamiento es el más económico y comparar los resultados con en el análisis estadístico para determinar el tratamiento más rentable y que produjo un incremento en rendimiento y calidad en el cultivo.



## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se describen los resultados obtenidos en los análisis y pruebas realizados en el experimento así como la comparación e interpretación de los datos en base a otras investigaciones.

### 7.1. Pruebas complementarias.

En esta parte indican los resultados de las pruebas y mediciones realizadas en factores no evaluados en el experimento pero que intervienen en él.

#### 7.1.1. Prueba de uniformidad de riego.

En el Cuadro 7.1 se muestran los datos y cálculos primordiales de la prueba de uniformidad de riego.

Cuadro 7.1. Medias de las 16 observaciones obtenidas en la prueba de uniformidad de riego.

Observación	Media ordenada
1	28.00
2	28.00
3	27.75
4	27.75
5	27.50
6	27.25
7	27.00
8	27.00
9	26.75
10	26.50
11	26.50
12	26.25
13	26.00
14	26.00
15	26.00
16	25.75
Media 25% de observaciones más bajas ( $\bar{X}_{(25\%)}$ )	25.94
Media general ( $\bar{X}$ )	26.88





VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

$$UD = \left( \frac{\bar{X}_{(25\%)}}{\bar{X}} \right) * 100 = \left( \frac{25.94}{26.88} \right) * 100 = 96.51\% \quad (7.1)$$

Una vez obtenidos los promedios se sustituyeron en la siguiente formula y con ello se logró cuantificar la uniformidad del riego en un 96.51%, resultado similares obtuvo Ajete *et al.* (2011) con uniformidades del 96% que según los criterios convencionales corresponde a una excelente uniformidad (Smajstrla *et al.*, 2015). Esto se justifica porque se implementó en una superficie pequeña y plana, también porque la mayor parte del sistema de riego establecido fue nuevo, principalmente líneas de conducción, distribución y emisores, así como el controlador.

#### 7.1.2. Curva de retención de humedad del sustrato.

Los datos obtenidos a 10, 50 y 100 cm de columna de agua representan puntos importantes en la disponibilidad de agua, mismos que se extraen a presiones de 0.1, 0.49 y 0.98 bar, con estos puntos se realizó una regresión para obtener una ecuación potencial que fue la que mejor se ajustó a los valores obtenidos resultando la formula  $y = 96.222x^{-0.517}$  con una  $R^2=0.9997$ . Con dicha ecuación se calculó los valores desde 0 a 100 cm resultando la gráfica en la Figura 7.1.

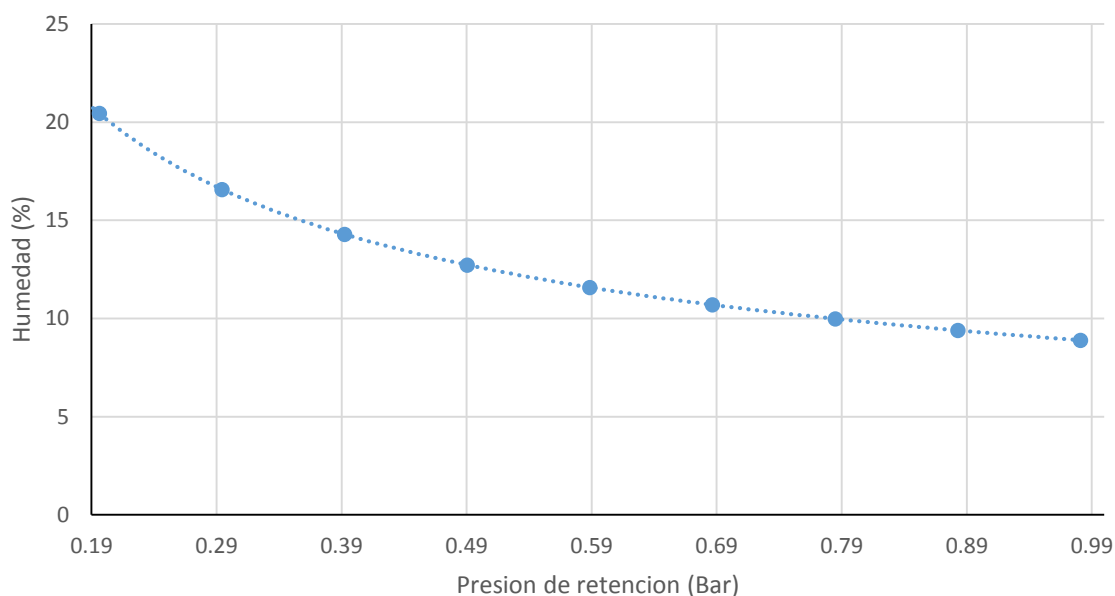


Figura 7.1. Curva de retención de humedad del tezontle de tamaño de partícula inferior a 8 mm utilizado en el experimento de tomate en hidroponia bajo invernadero.

Analizando la gráfica se puede observar que valores mayores al 14% de humedad (0.39 bar) propician condiciones en que la planta puede fácilmente absorber el agua, por otro lado porcentajes de humedad menores proporcionan tensiones más altas y ocasionan estrés hídrico. Asimismo Cruz *et al.* (2013) mencionan que la retención de agua depende del tamaño de la partícula y el tipo de sustrato empleado, resultando que partículas inferiores a 5 mm de diámetro aumentan la capacidad de retención de humedad; cabe destacar que este sustrato fue tamizado con la finalidad de que las partículas fueran inferiores de 8 mm de diámetro, de modo que una alta cantidad de partículas menores al diámetro citado por el autor participaron en la capacidad de retención de humedad y debido a que el suministro de agua fue constante durante el ciclo de cultivo, las condiciones de humedad existente en el sustrato favorecieron la absorción de agua en las raíces de la planta.

### 7.1.3. Porosidad del sustrato.

En este aspecto pudo determinarse los tipos de porosidad del sustrato que se muestran en el Cuadro 7.2.



Cuadro 7.2. Resultados de prueba de retención de humedad en tezontle utilizado.

Indicadores	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Porosidad de retención de humedad (%)
Valores	58.85	13.97	44.87

Como puede notarse en el cuadro anterior, el tezontle utilizado cuya granulometría <8 mm tienen una porosidad de retención de humedad de casi el 45% es decir que por cada litro de agua aplicada, este conserva alrededor de 0.45 L, así como una porosidad de aireación cerca del 14%, que en conjunto proporciona una porosidad total de 58.85%, eso constituye un parámetro importante ya que según Cruz *et al.* (2013), el sustrato debería tener al menos 85% de porosidad total. A pesar de que la porosidad total en el sustrato utilizado en este experimento es menor a la indicada como mínima, el mismo autor señala que la porosidad total es variable, debido a que a menor tamaño de partícula disminuye la porosidad de aireación y aumenta la retención de humedad y en contraparte al contar con partículas grandes se incrementa la porosidad de aireación pero disminuye la retención de humedad. Por tanto aunque la porosidad total sea baja, no es un factor limitante si se considera que los riegos en cultivos bajo invernadero e hidropónicos son controlados; en parte para dosificar el agua y nutrientes y otro tanto para evitar la saturación del sustrato. Además en el tezontle la porosidad total difícilmente se ve saturada de agua por tratarse de un medio de rápida infiltración. Finalmente en un sustrato, gran parte de la porosidad es ocupada por las raíces del cultivo y el restante por agua y aire.

#### 7.1.4. Humedad relativa y temperatura dentro del invernadero.

Durante el cultivo y a lo largo del día se registró gran variación de condiciones climáticas dentro del invernadero, siendo superados frecuentemente los márgenes de tolerancia del cultivo a temperatura y humedad relativa. Tales valores se pueden observar en las Figuras 7.2 y 7.3 donde se muestran las máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa, respectivamente.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

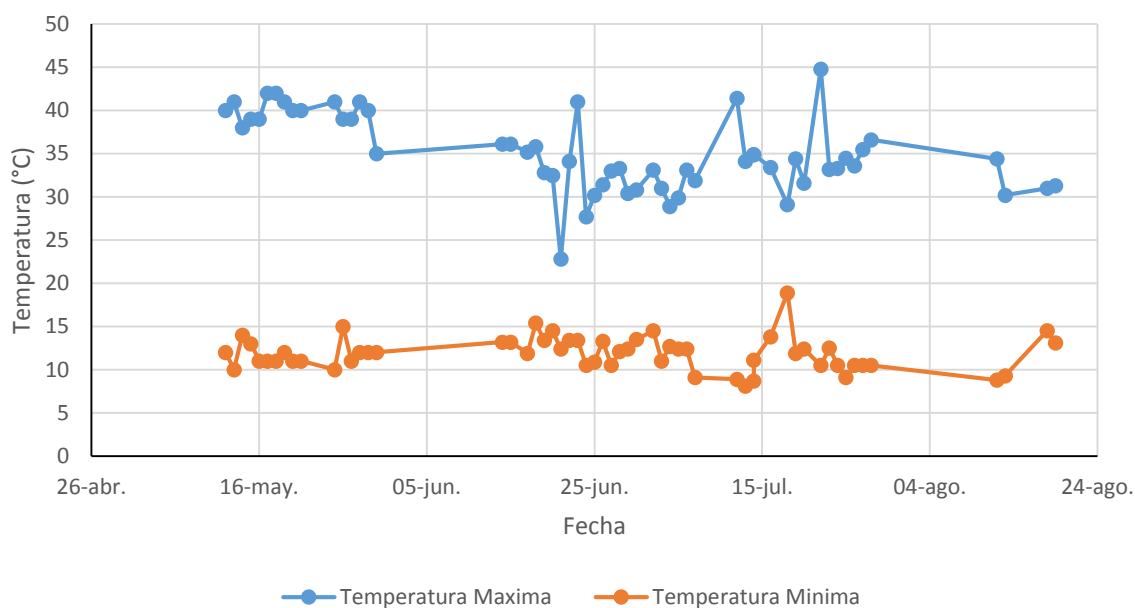


Figura 7.2. Temperatura máxima y mínima registrada en el cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero.

Por lo que se puede observar en la Figura anterior, las temperaturas máximas fueron en general superiores a 30°C, por otro lado las temperaturas mínimas frecuentemente estuvieron por debajo de los 15 °C. De acuerdo con Sandoval (2008) para el tomate, la temperatura puede variar entre 15 y 30 °C durante la noche y el día, respectivamente. Cuando la temperatura supera ese rango se ocasionan disminuciones en el rendimiento potencial debido al desecamiento de polen; por otro lado si la temperatura es inferior también se disminuye el rendimiento por la formación de grumos con el polen.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

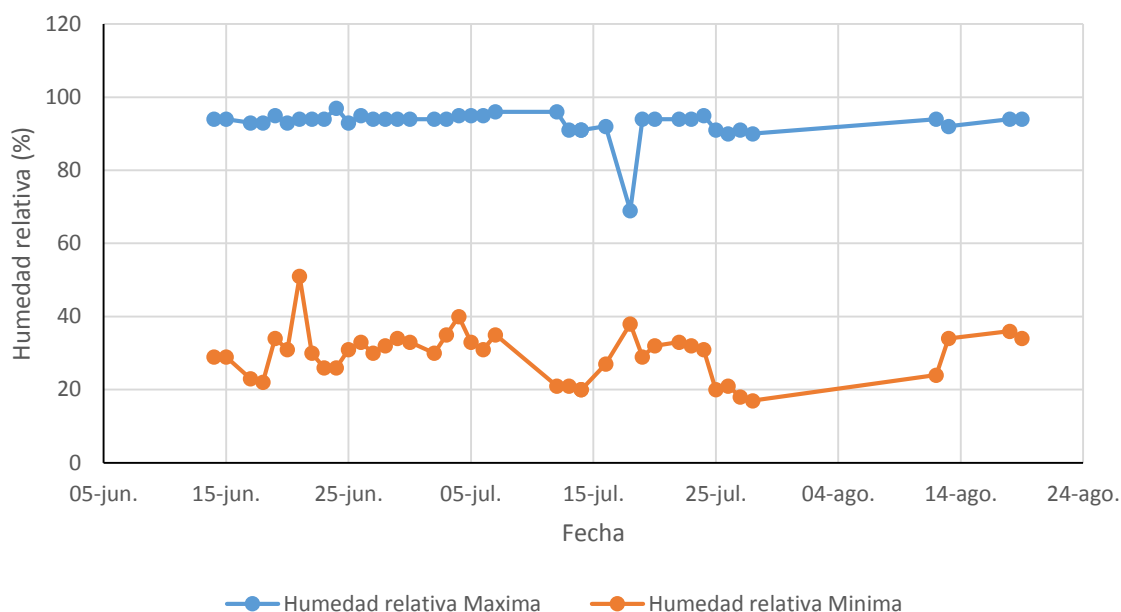


Figura 7.3. Humedad relativa máxima y mínima registradas durante el cultivo de tomate en hidroponia bajo invernadero.

Con la Figura anterior se puede observar que la humedad relativa máxima se ubicó por arriba del 90%, mientras que la mínima frecuentemente estuvo por abajo del 40%. La humedad relativa debe oscilar entre 50 y 80%, puesto que al superarse hay una alta incidencia de enfermedades fungosas y ocurren problemas de polinización, asimismo con humedades inferiores se produce deshidratación del estigma, lo que afecta negativamente a la polinización (Sandoval, 2008).

Bajo el esquema planteado se puede observar en las Figuras de temperatura y humedad relativa anteriores que la temperatura promedio fue de 23 °C y la humedad relativa de 61%; sin embargo, esto no es indicativo de las condiciones en que se desarrolló el cultivo. En las figuras 7.4 7.5 y 7.6 se muestran la variación de temperatura durante la mañana, mediodía y tarde, respectivamente y de igual manera en las figuras 7.7, 7.8 y 7.9 se observa la variación de humedad relativa en los mismos periodos.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

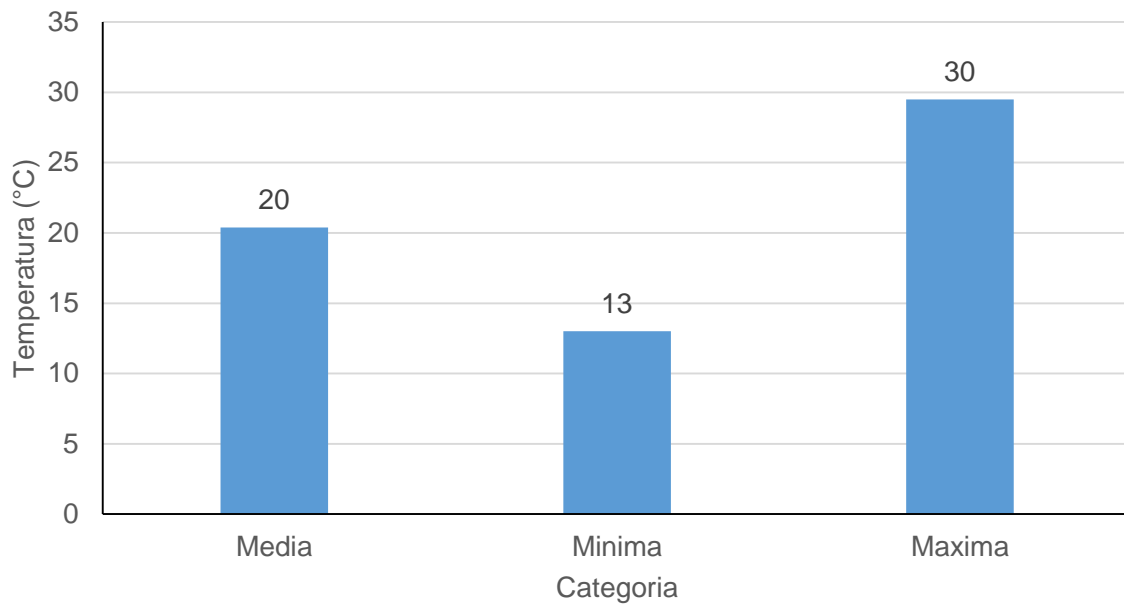


Figura 7.4. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante la mañana (8:00-11:00).

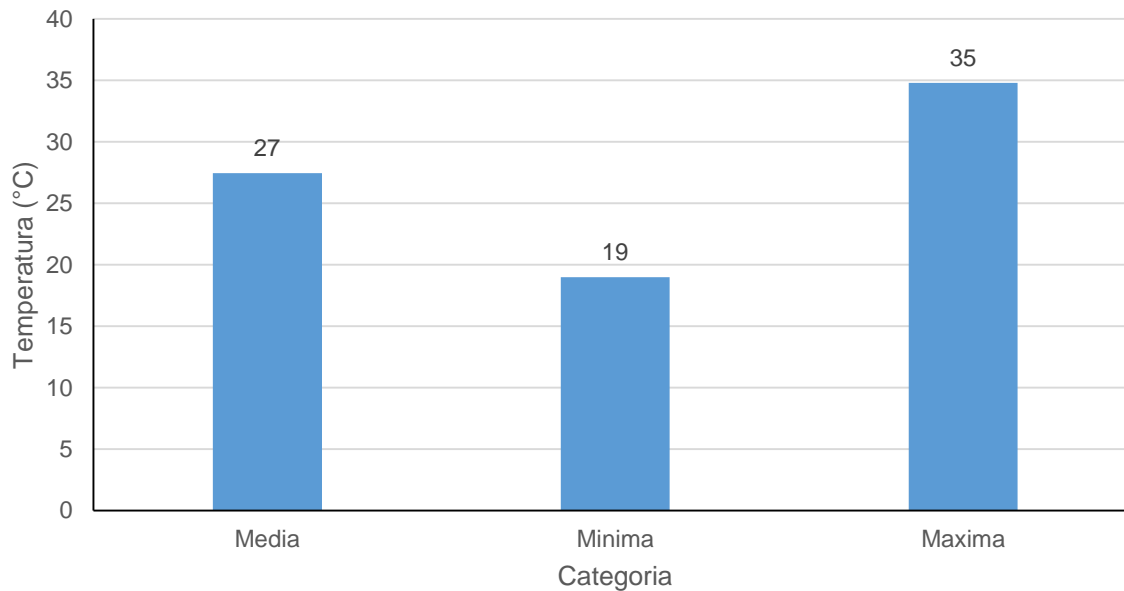


Figura 7.5. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante el mediodía (12:00-16:00).



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

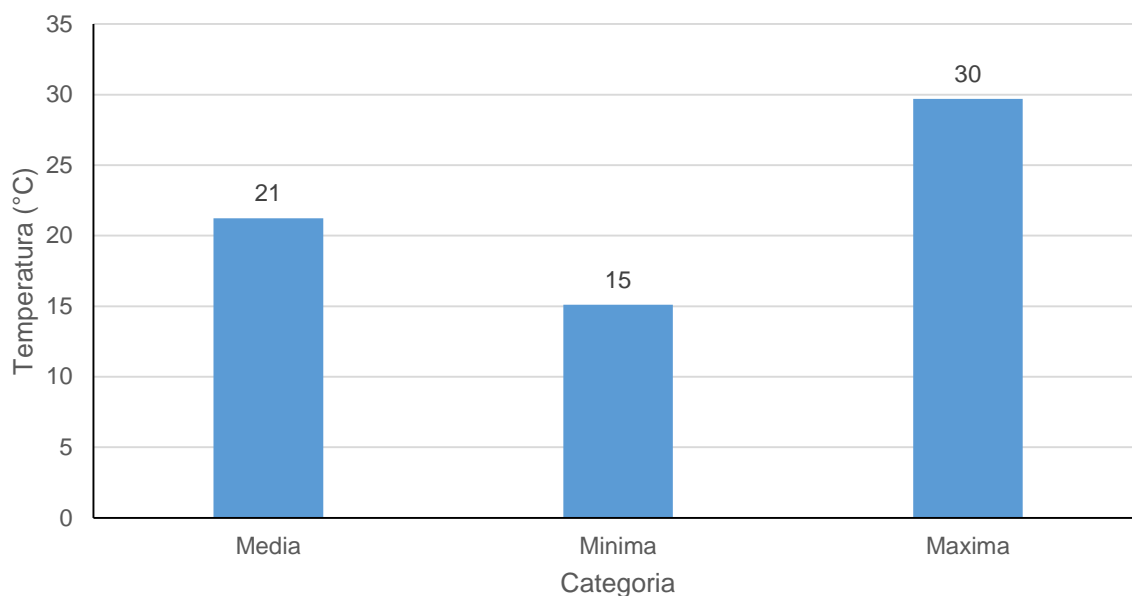


Figura 7.6. Temperatura ambiental dentro del invernadero (°C) durante la tarde (17:00-19:00).

Con las figuras anteriores se observa que la temperatura durante el día superó el nivel crítico con máximas entre las 12:00 y las 16:00 horas, por lo que se asume que la planta estuvo bajo estrés por temperatura alta durante en ese periodo, por otro lado debido al distanciamiento entre plantas no existió sombreado en ninguna porción del área foliar; con ello se deduce que la planta tuvo una elevada transpiración que pudo ocasionar el problema de deficiencia de calcio que se presentó en el cultivo debido a la lenta movilidad de este catión (Marschner, 2002). Tomando en cuenta lo anterior, en flujos rápidos de agua o alta tasa de transpiración, el calcio no llega oportunamente a puntos de crecimiento que en este caso son los frutos (Velazco *et al.* 2012), por lo que la deficiencia de calcio alcanzo elevados porcentajes de disminución de la producción en este experimento. De igual manera se puede notar que hubo temperaturas por abajo de las ideales; sin embargo, la gráfica anterior revela datos solo entre las 8:00 y las 19:00 horas, de modo que es evidente que la temperatura haya caído aún más en la madrugada como se indica en la gráfica de máximas y mínimas.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

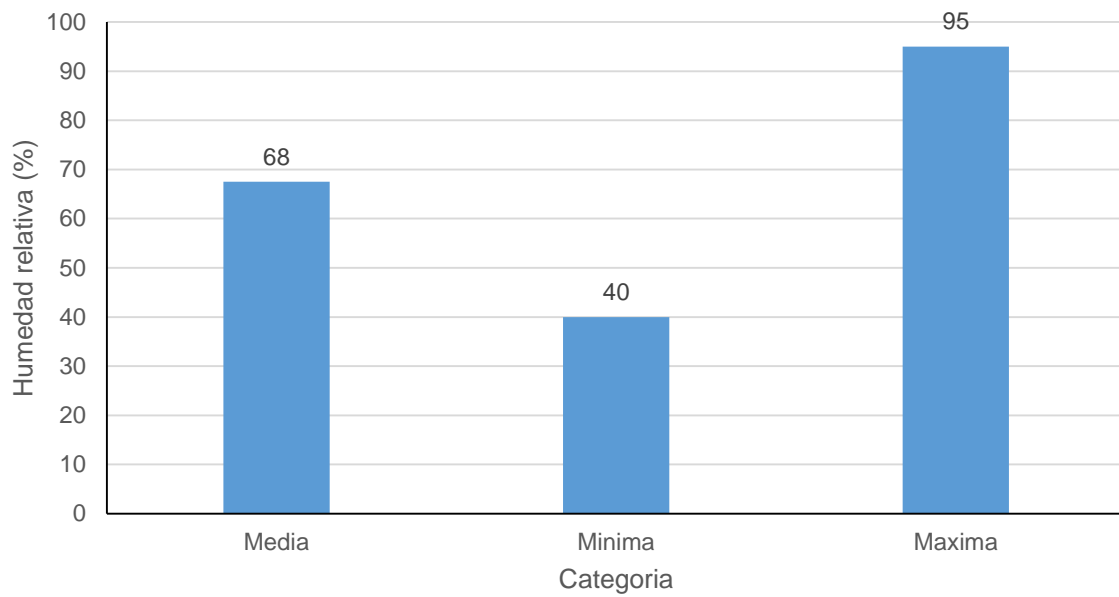


Figura 7.7. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante la mañana (8:00-11:00).

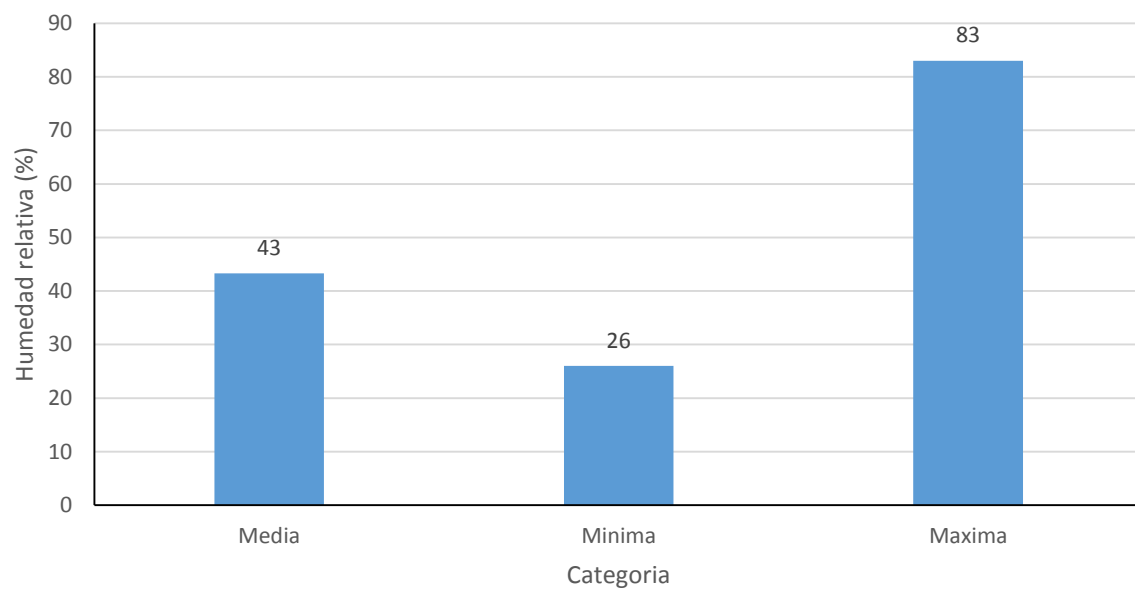


Figura 7.8. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante el mediodía (12:00-16:00).





VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

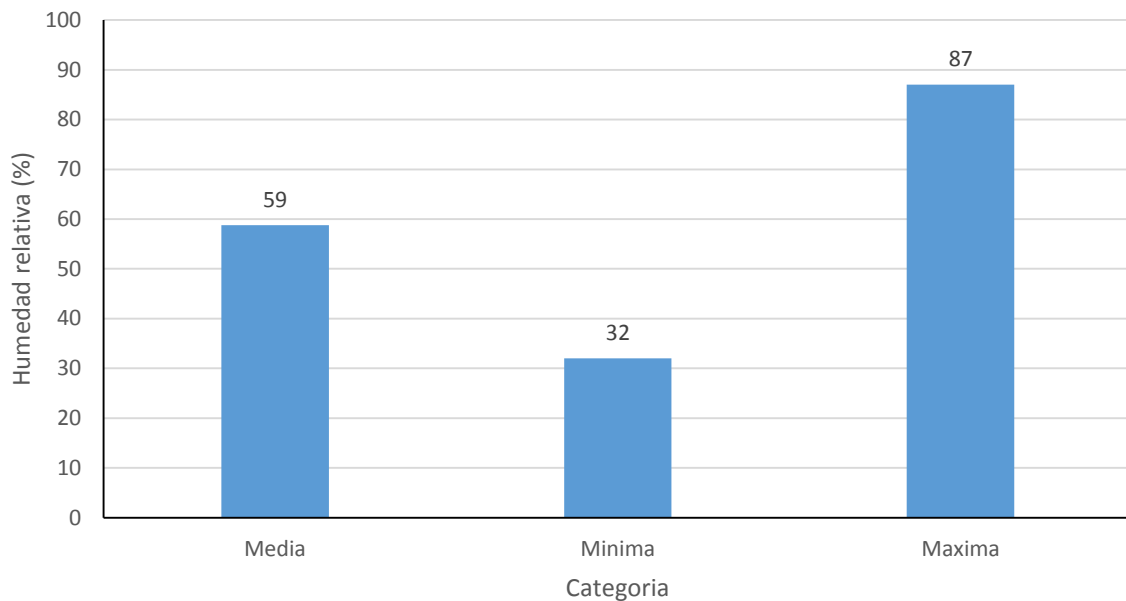


Figura 7.9. Humedad relativa dentro del invernadero (%) durante la tarde (17:00-19:00).

Las gráficas indican que la humedad relativa estuvo por arriba y muy por debajo de la citada por la literatura, con humedades promedio de 43% y mínimas de 26% que se alcanzaron frecuentemente entre las 12:00 y 16:00 horas, de modo que debido a estas condiciones, se incrementa la transpiración de la planta; por tanto aumenta la movilización de agua y nutrientes; misma que acelera el proceso de abatimiento de la humedad en sustrato y que una vez que el agua disponible en el sustrato es abatida, el cultivo se encontró en estrés hídrico.

#### 7.1.5. Gasto hídrico.

Este parámetro es fundamental para determinar las condiciones hídricas y nutricionales en las que se desarrolló el cultivo, en la Figura 7.10 se muestra el gasto de agua (solución nutritiva) aplicada a cada planta durante el ciclo de cultivo que duro 162 días.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

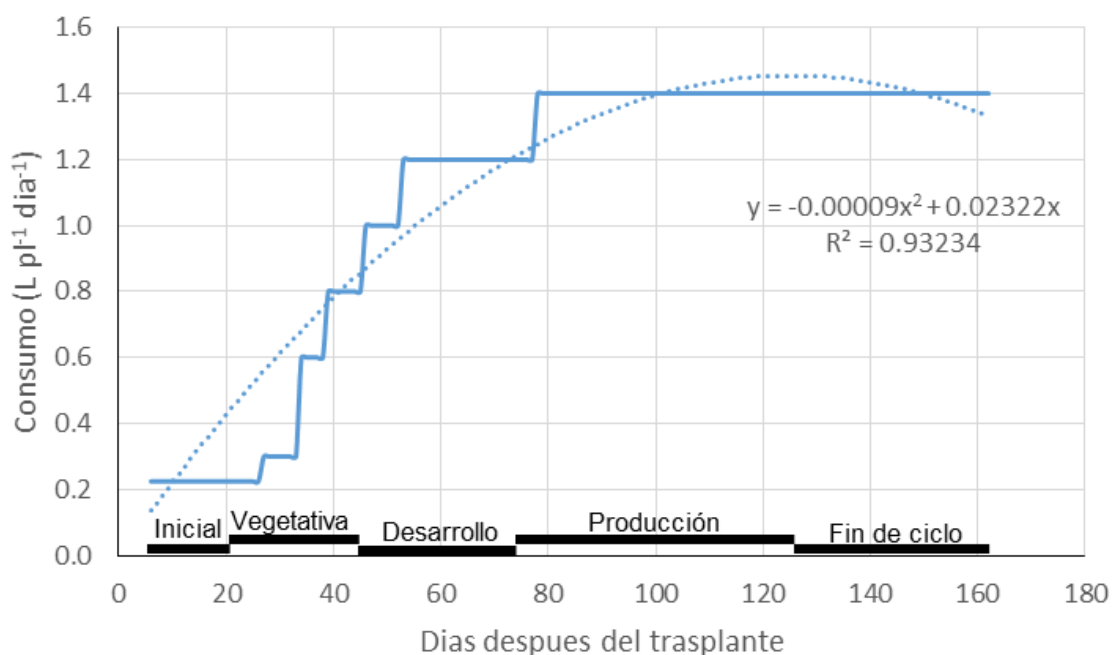


Figura 7.10. Consumo de agua (solución nutritiva) L pl<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante el ciclo de cultivo de tomate en hidroponía bajo invernadero.

Se observa que el volumen aplicado por planta en etapa productiva fue superior al citado por Mendoza, (2015), el cual es de 1.04 L pl<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, quien determinó tal consumo hídrico con lisímetros de drenaje en cultivo de tomate CID a una densidad de 33 000 pl ha<sup>-1</sup> aproximadamente. En ese sentido dicho requerimiento hídrico no puede ser igual en ambos cultivos debido a la densidad de población, que en este experimento fue inferior, ocasionando que el flujo de aire entre las plantas (menos plantas = más aireación), radiación percibida por cada una de ellas (menos plantas = menor competencia por luz) y la temperatura (menos plantas = menor transpiración global y menor amortiguamiento de temperatura) fueron superiores, así como la humedad relativa (menor densidad = menor transpiración global y menor humedad en la atmósfera) fue inferior; resultando en una mayor transpiración por planta.

Asimismo el consumo hídrico acumulado por etapa fenológica que se registró durante el experimento de muestra en la Figura 7.11.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

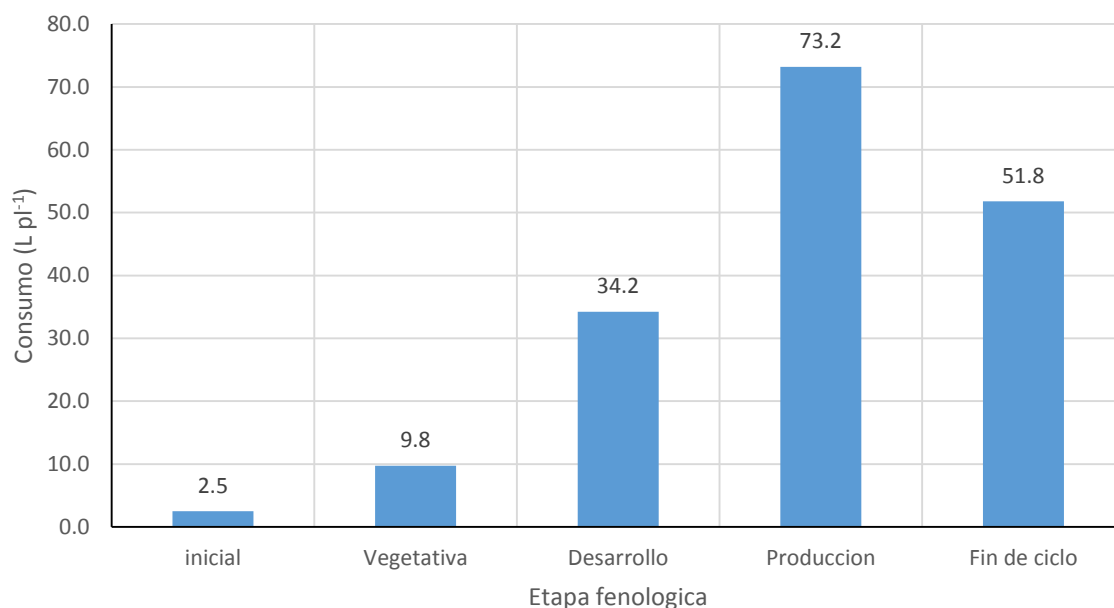


Figura 7.11. Consumo hídrico observado por etapa fenológica del cultivo de tomate en hidroponia bajo invernadero.

Se puede apreciar que el gasto total suministrado por planta es de 171.4 L, superior al reportado por Flores *et al.*, (2007) (143 L pl<sup>-1</sup>) y Mendoza (2015) (117 L pl<sup>-1</sup>). El gasto total en el experimento, durante 162 días (a seis racimos) fue de 30.4 m<sup>3</sup> de agua, a partir de ahí se puede calcular que el gasto por hectárea para la densidad de 13,890 plantas sería de 2,380.1 m<sup>3</sup>, de modo que en base al rendimiento se tiene una productividad de 21 kg m<sup>3</sup> de agua, es decir que el consumo de agua por kg de fruto producido fue de 47.62 L. En ese sentido Mendoza (2015) registró una eficiencia de 29 L kg<sup>-1</sup>, valor inferior al obtenido en este experimento. El alto gasto de agua y menor eficiencia se debe en gran medida a que no se realizó el ajuste de riego en base a la evapotranspiración del cultivo; esto debido a la falta de instrumentos. Cabe señalar que el pH de la solución osciló entre 5.5 y 6.5, mientras que la conductividad eléctrica varió en un rango de 0.5 a 2.5 dSm<sup>-1</sup> según la etapa fenológica del cultivo.

## 7.2. Rendimiento.

A continuación se muestran los resultados de los análisis de varianza y comparación de medias realizadas para las variables involucradas en el rendimiento.



### 7.2.1. Diámetro polar y ecuatorial.

El análisis de varianza del diámetro polar, así como la prueba de Tukey se muestran en el Cuadro 7.3. Donde se observa que solo hubo diferencias significativas entre genotipos en el racimo dos, diferencias altamente significativas para los fertilizantes foliares en el racimo cuatro y hubo efecto de la repetición en los racimos cuatro y seis.

Cuadro 7.3. Diámetro polar (mm) de fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo				
		2	3	4	5	6
Genotipo	Cid	71.45 a	70.14 a	68.87 a	60.96 a	60.80 a
	Azhura	68.50 b	69.02 a	70.23 a	63.59 a	61.54 a
	Foligral	72.05 a	71.95 a	72.67 a	65.97 a	64.10 a
Foliar	Nutri K-80	69.80 a	69.76 a	70.64 a	62.33 a	61.54 ab
	Nutri Humus	70.94 a	69.30 a	69.87 a	63.10 a	60.62 ab
	Testigo	67.11 a	67.31 a	65.02 b	57.71 a	58.41 b
F.V		Fc				
BLOQUE		0.0857 ns	0.7619 ns	0.0243 *	0.5073 ns	0.0007 **
GEN		0.0303 *	0.3910 ns	0.1811 ns	0.2504 ns	0.5974 ns
FOL		0.0667 ns	0.1150 ns	0.0002 **	0.0994 ns	0.0573 ns
GEN*FOL		0.4539 ns	0.8057 ns	0.4750 ns	0.9395 ns	0.8883 ns
CV (%)		5	5	4	10	6

ns= no significativo ( $P>0.05$ ) \* = Significativo ( $P>0.01$  y  $P\leq 0.05$ ) \*\*=altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Para esta variable, en general no se presentaron diferencias significativas pues los genotipos son de tipo Saladette con un tamaño homogéneo, salvo en el segundo racimo donde Cid resulto superior a Azhura. Por otro lado no se mostró efecto de los fertilizantes salvo en el cuarto racimo, donde resulto haber diferencia altamente significativa en la aplicación de fertilizantes foliares respecto al testigo. Por otro lado se observa una disminución crítica en el diámetro polar desde el cuarto hasta el sexto racimo equivalente al 12%; esto se debe principalmente a que los racimos cinco y seis se vieron altamente afectados por la deficiencia de calcio. Al respecto Velazco *et al.* (2012) señala que temperaturas por arriba de los 30° pueden ser perjudiciales en la fotosíntesis, asimismo Sanz *et al.* (2001) indica que la exposición a radiación excedente a la que puede ser usada en la fotosíntesis produce un desprendimiento



de  $\text{Ca}^{2+}$  de una de las proteínas extrínsecas del fotosistema II generando la inactivación de su funcionamiento y la generación de zeaxantina para disipar energía y proteger de daños a dicho fotosistema, sin embargo esto es visible en hojas jóvenes en casos de alta ausencia de calcio en la nutrición, cuando la deficiencia es causada por factores climáticos, los síntomas más visible se desarrollan en frutos. En este caso contemplando los factores como el distanciamiento entre plantas y el flujo de aire entre las mismas se infiere que por el exceso de radiación recibida entre las 12:00 y 16:00 horas y el efecto de la renovación constante de aire entre las plantas se generó una mayor transpiración por planta, ocasionando deficiencia de calcio severa en frutos, que no se presentó en los racimos anteriores debido a que la planta presentaba menor área foliar. Se puede notar que el valor del diámetro polar osciló entre 57.71 a 72.67 mm con un promedio de 66.51 mm, este valor concuerda con los reportados por Gaspar *et al.*, (2012) en un rango de 43 a 95 mm y ligeramente menor a Hernández *et al.*, (2013) entre 69.6 y 80.2 mm.

Para el diámetro ecuatorial, como lo indica el Cuadro 7.4 en el ANOVA se observa que no hubo diferencias significativas entre los genotipos pero si entre los foliares aplicados para la mayoría de los racimos cosechados y la prueba de comparación de medias demuestra que Foligral produjo los diámetros mayores en el cuarto racimo.



Cuadro 7.4. Diámetro ecuatorial (mm) de fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo				
		2	3	4	5	6
Genotipo	Cid	53.47 a	57.40 a	58.45 a	53.94 a	52.37 a
	Azhura	52.90 a	56.99 a	59.70 a	55.47 a	53.21 a
	Foligral	53.74 a	59.53 a	62.18 a	58.36 a	55.57 a
Foliar	Nutri K-80	53.22 a	57.49 ab	59.79 b	54.74 ab	52.64 ab
	Nutri Humus	53.62 a	56.47 ab	58.88 b	54.64 ab	52.82 ab
	Testigo	52.17 a	55.28 b	55.44 c	51.08 b	50.14 b
F.V		Fc				
BLOQUE		0.2787 ns	0.4412 ns	0.0787 ns	0.5826 ns	0.0080 **
GEN		0.5958 ns	0.6922 ns	0.0506 ns	0.3716 ns	0.4186 ns
FOL		0.7094 ns	0.0498 *	<.0001 **	0.0471 *	0.0112 *
GEN*FOL		0.8546 ns	0.5715 ns	0.6957 ns	0.9938 ns	0.6481 ns
CV (%)		6	5	3	9	5

ns= no significativo (P>0.05) \* = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) \*\*=altamente significativo (P≤0.01) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

El diámetro ecuatorial que también es llamado calibre presentó un incremento sustancial del racimo dos al racimo cuatro (11%) pero a partir de este racimo sufrió un detrimento del 10.6% al racimo seis. El incremento y a su vez el detrimento se justifican a que en primer lugar en el segundo racimo hubo problemas en la polinización, lo que genero frutos pequeños, y a partir del racimo tres se controló mayormente, asimismo en el quinto y sexto racimo se presentaron problemas severos de calcio, mismos que afectaron severamente los valores de esta variable.

La prueba de Tukey arroja un promedio de 55.39 mm de diámetro ecuatorial, comprendido en un rango desde los 50.14 a 62.18 mm, también indica que del racimo tres al seis existen diferencias significativas atribuibles a los fertilizantes foliares (Figuras 7.12, 7.13, 7.14 y 7.15), esto se debe a que la aplicación de fertilizantes foliares reduce la ruta de los iones y los coloca en el sitio de demanda (Lara, 1999). Al respecto Gaspar *et al.*, (2012) señala un rango de diámetro ecuatorial entre 49 y 65 mm y Hernández *et al.*, (2013) indica 50.4 a 51.2 mm. Estos resultados son ligeramente inferiores, sin embargo en ambos casos se utilizaron híbridos diferentes de tomate Saladette, por tanto es probable que las diferencias radiquen en dicho factor. Es útil señalar que las diferencias en concentración de K<sup>+</sup> contenida en los



fertilizantes tuvo efecto en el incremento del diámetro ecuatorial sobre todo en el cuarto racimo donde se muestra que Foligral es estadísticamente superior a los otros fertilizantes, esto según lo indican Alcantar *et al.* (2013), el potasio interviene en el potencial osmótico, provocando un gradiente entre el interior y exterior de la célula y con ello promueve el ingreso de agua; lo que provoca la turgencia y el crecimiento celular; por tanto un incremento de volumen de la misma.

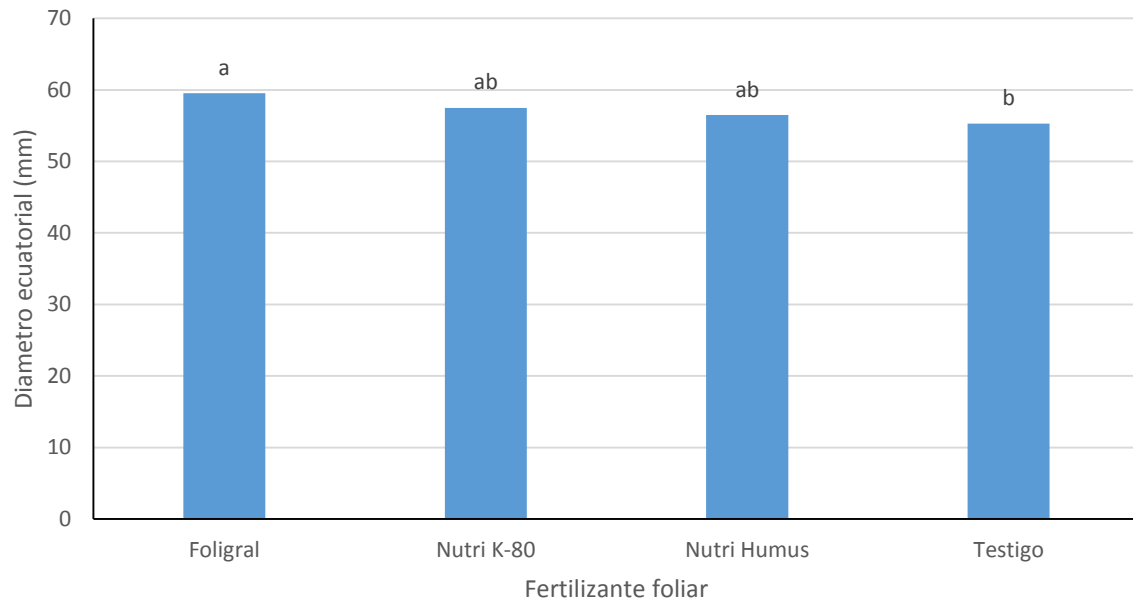


Figura 7.12. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del tercer racimo.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 7.13. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del cuarto racimo.

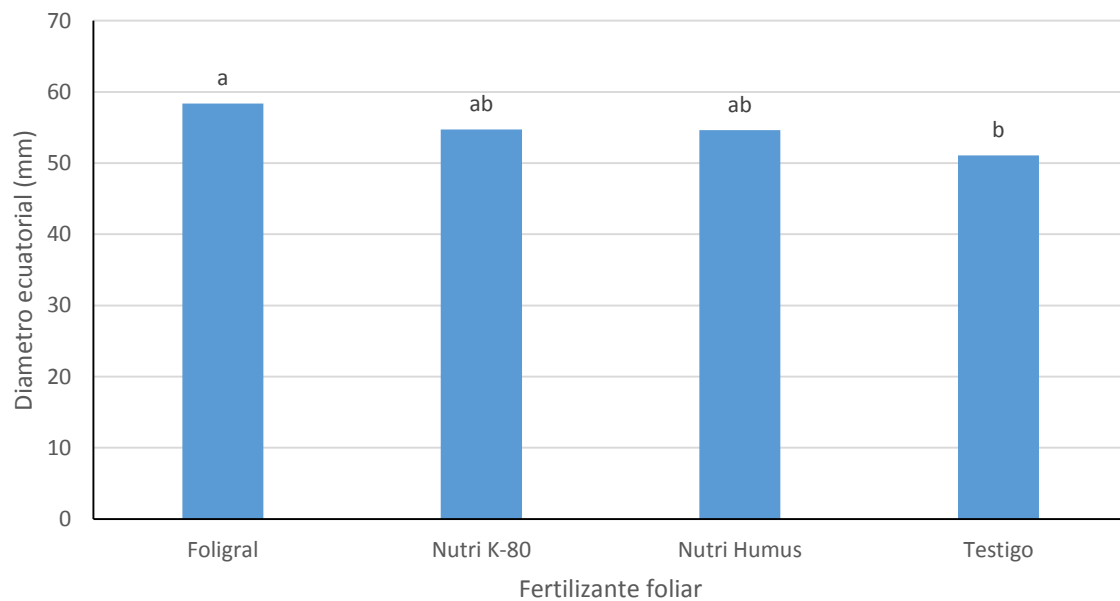


Figura 7.14. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del quinto racimo.





VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

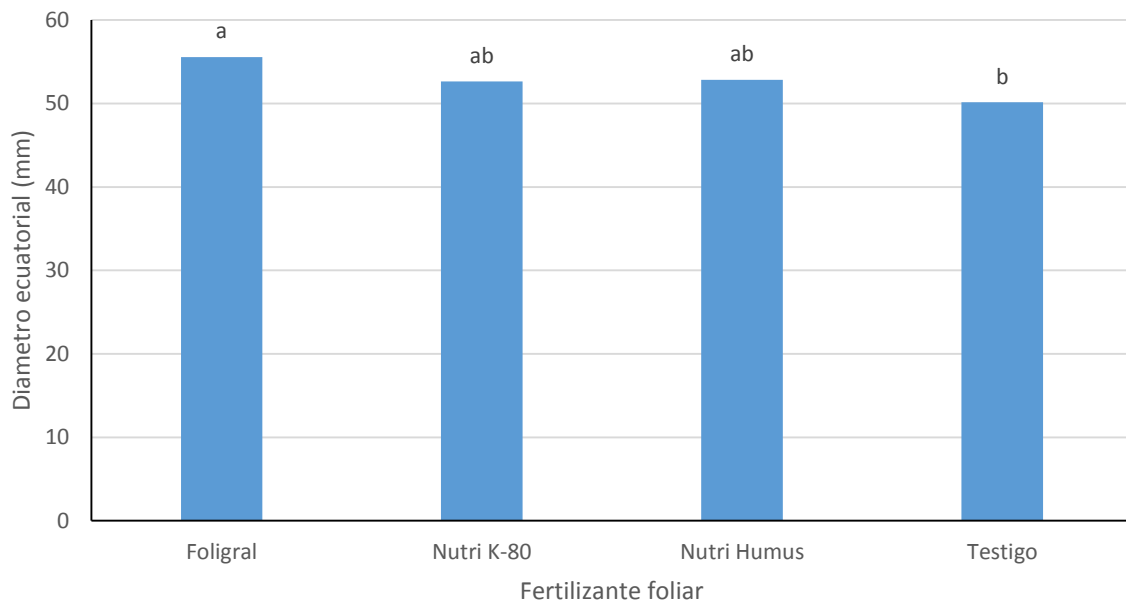


Figura 7.15. Efecto de los fertilizantes foliares en el diámetro ecuatorial del fruto de tomate (mm) del sexto racimo.

### 7.2.2. Peso de frutos por racimo.

Los resultados del ANOVA y comparación de medias del peso de fruto se muestran en el Cuadro 7.5. Se puede notar que en ambos genotipos no hubo diferencias significativas en cuanto a esta variables; sin embargo, los foliares produjeron diferencias significativas y la prueba Tukey señala que solo en el cuarto racimo Foligral® superó a los demás fertilizantes.



Cuadro 7.5. Peso de fruto (g) de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo				
		2	3	4	5	6
Genotipo	Cid	119.82 a	127.97 a	138.16 a	108.36 a	101.25 a
	Azhura	104.49 b	135.79 a	145.56 a	120.52 a	107.28 a
	Foligral	119.87 a	144.07 a	161.20 a	132.93 a	116.98 a
Foliar	Nutri K-80	98.20 ab	130.57 a	147.57 ab	116.32 ab	105.78 ab
	Nutri Humus	118.79 a	131.39 a	139.67 b	117.19 ab	99.89 ab
	Testigo	111.76 ab	121.49 a	119.01 c	91.33 b	94.40 b
F.V		Fc				
BLOQUE		0.5909 ns	0.6440 ns	0.0215 *	0.5690 ns	0.0014 **
GEN		0.0005 **	0.2072 ns	0.0633 ns	0.1840 ns	0.2594 ns
FOL		0.0019 **	0.0981 ns	<.0001 **	0.0261 *	0.0348 *
GEN*FOL		0.0004 **	0.7378 ns	0.4060 ns	0.9951 ns	0.6807 ns
CV (%)		9	13	8	22	14

ns= no significativo ( $P>0.05$ ) \* = Significativo ( $P>0.01$  y  $P\leq 0.05$ ) \*\*=altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

El peso del fruto siguen la misma tendencia que las variables anteriores debido a que el peso está en función con el diámetro del fruto y en este caso el fruto paso de incrementar 26.5% del segundo al cuarto racimo y disminuir la misma proporción del cuarto al sexto, las causas son las mismas que las descritas en las variables anteriores. En los resultados se puede notar que el promedio en el peso de fruto es de 121 g y que los valores se encuentran en un rango entre 91 y 161 g. Los genotipos solo manifestaron diferencias significativas en el segundo racimo (Figura 7.16), mientras que los fertilizantes foliares causaron diferencias significativas en el cuarto (Figura 7.17), quinto (Figura 7.18) y sexto (Figura 7.19). Los valores son mayores a los reportados por Bugarín *et al.*, (2002a) con 102 a 112 g, Gaspar *et al.*, (2012) quienes indican una variación de 73 a 110.6 g y Hernández *et al.*, (2013) señalan de 109.3 a 126 g. Una parte de esa diferencia radica en los diferentes genotipos utilizados, sin embargo en el experimento, además de lo anterior la diferencia en la densidad de población ocasiona que cada planta tenga más área foliar en contacto directo con la luz solar; con ello es lógico que la tasa fotosintética sea mayor y se produzcan más fotosintatos. Aunado a ello la aplicación de fertilizantes foliares causo incremento del peso del fruto, esto por el efecto de la concentración de  $K^+$  (Alcantar *et al.*, 2013).



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

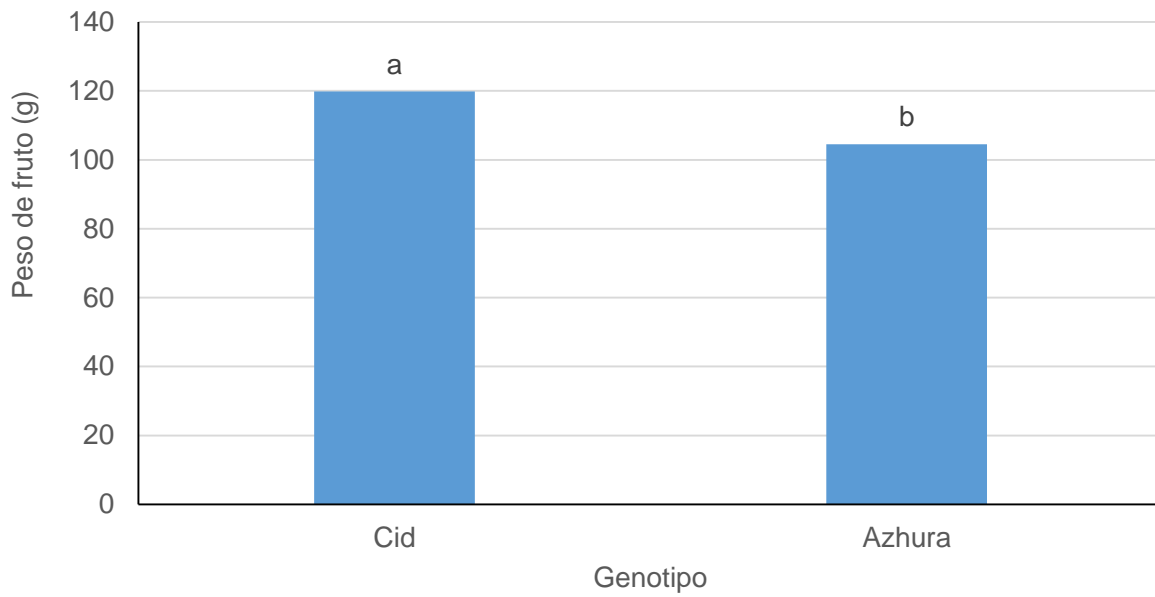


Figura 7.16. Efecto de los genotipos en el peso del fruto de tomate (g) del segundo racimo.

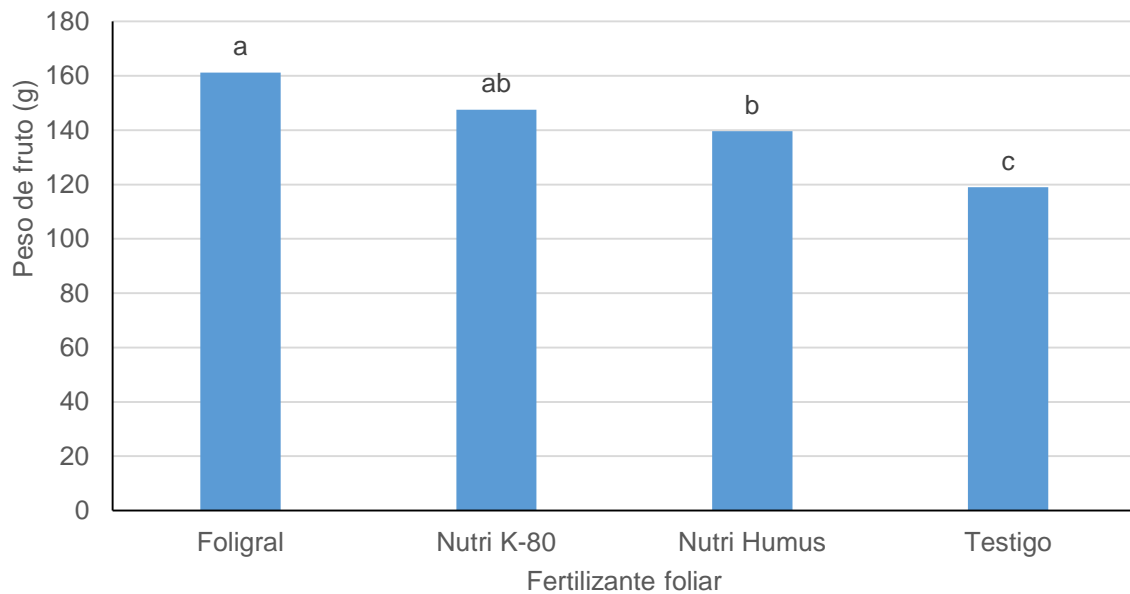


Figura 7.17. Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del cuarto racimo.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

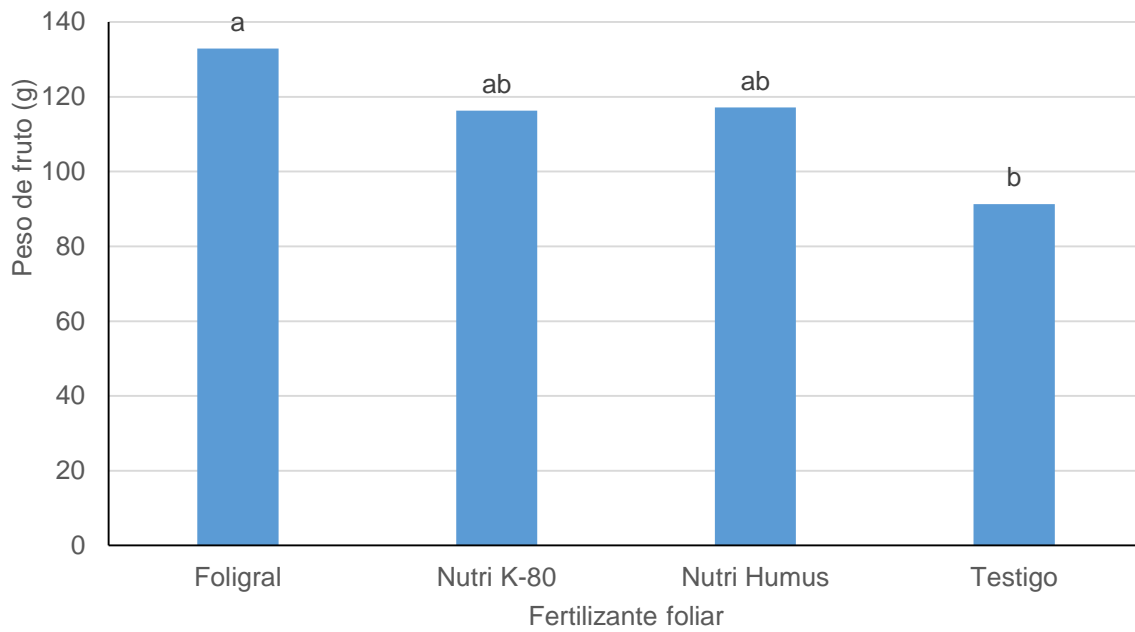


Figura 7.18. Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del quinto racimo.

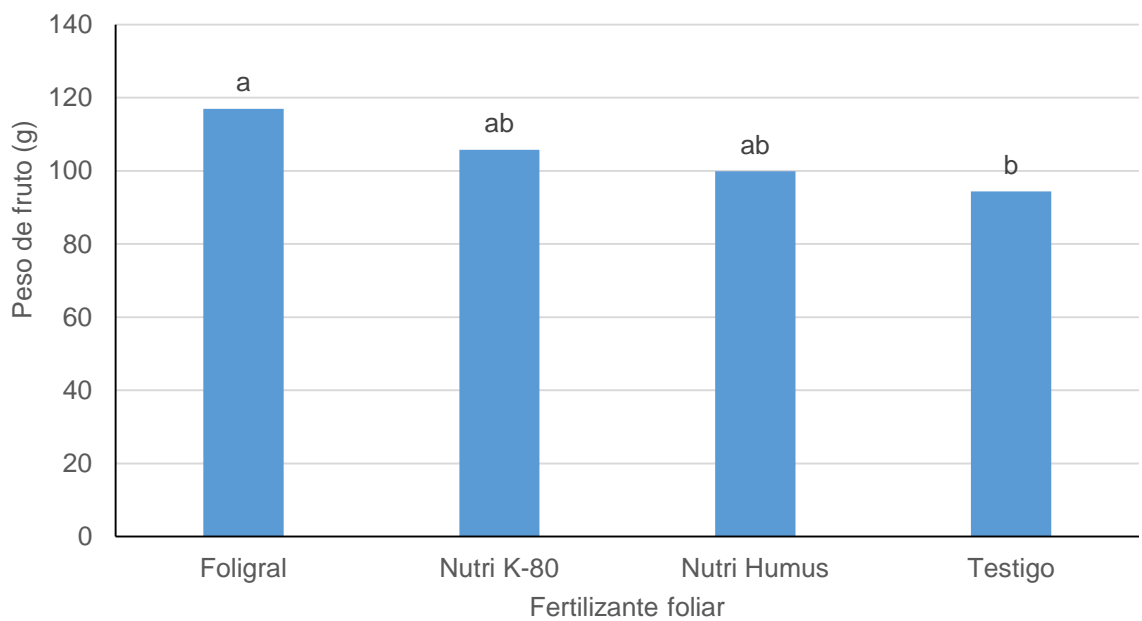


Figura 7.19. Efecto de los fertilizantes foliares en el peso del fruto de tomate (g) del sexto racimo.



### 7.2.3. Rendimiento por hectárea y por calidad.

Para el rendimiento se puede observar el ANOVA en el Cuadro 7.6 que hubo diferencias significativas en cuanto a la aplicación de los fertilizantes foliares y la prueba de Tukey indica que los fertilizantes fueron estadísticamente iguales, sin embargo; aquellos con mayor concentración de K<sup>+</sup> produjeron los rendimientos más altos.

Cuadro 7.6. Rendimiento total y por calidades (t ha<sup>-1</sup>) de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Extra	Primera	Segunda	Tercera	Desecho	Total
		Clasificación (g)					
		>150	<150	<100	20-50	<20	
Genotipo	Cid	19.77 a	20.04 a	7.06 a	0.72 a	3.04 a	50.63 a
	Azhura	19.75 a	21.06 a	6.18 a	0.68 a	2.31 a	49.98 a
	Foligral	22.36 a	21.49 a	7.40 a	0.80 a	2.15 a	54.19 a
Foliar	Nutri K-80	19.71 a	21.56 a	6.06 a	0.73 a	3.19 a	51.28 ab
	Nutri Humus	18.03 a	19.39 a	7.25 a	0.66 a	2.95 a	48.26 ab
	Testigo	18.94 a	19.76 a	5.76 a	0.61 a	2.43 a	47.50 b
F.V		Fc					
BLOQUE		0.1681 ns	0.0801 ns	0.1798 ns	0.0952 ns	0.5141 ns	0.5777 ns
GEN		0.9909 ns	0.3978 ns	0.1035 ns	0.7831 ns	0.1246 ns	0.7024 ns
FOL		0.2924 ns	0.4395 ns	0.0861 ns	0.7804 ns	0.3794 ns	0.0395 *
GEN*FOL		0.0066 **	0.0102 *	0.0029 **	0.9800 ns	0.6358 ns	0.9903 ns
CV (%)		23	16	22	54	48	9

ns= no significativo (P>0.05) \* = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) \*\*=altamente significativo (P≤0.01) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Es interesante señalar que los valores porcentuales promedio fueron 39.3, 40.9, 13.2, 1.4 y 5.3 de calidad extra, primera, segunda, tercera y desecho, respectivamente; con un rendimiento promedio de 50.3 t ha<sup>-1</sup>. Algo que no fue evaluado estadísticamente pero que es altamente significativo en cuanto a rendimiento es que Foligral® obtuvo 41.3, 39.7, 13.7, 1.5 y 4.0% de las clasificaciones anteriormente descritas, con un rendimiento de 54.2 t ha<sup>-1</sup>. De manera que es notoria la calidad física de la producción pues cerca del 80% de la misma fue clasificación extra y primera, sumando la segunda se llega cerca del 93%, dichas calidades alcanzan los mejores precios en el mercado. El rendimiento promedio oscila entre 47.5 y 54.2 t ha<sup>-1</sup> (Figura



7.20) es evidente que el rendimiento es bajo respecto a lo reportado por Bugarín *et al.* (2002a) con 190 t ha<sup>-1</sup> Flores *et al.* (2007) indicaron 200 t ha<sup>-1</sup>, y Márquez *et al.* (2013) citan 137 t ha<sup>-1</sup>; sin embargo, la razón principal de tal magnitud en diferencia se debe principalmente a la densidad de siembra, que para este experimento fue de cerca del 30% de la densidad comercial y en segundo lugar al número de racimos cosechados, que en este caso fueron seis. Cabe señalar que contemplando este último punto, la productividad por planta hasta dicho racimo fue superior a los demás teniendo 3.6 kg.

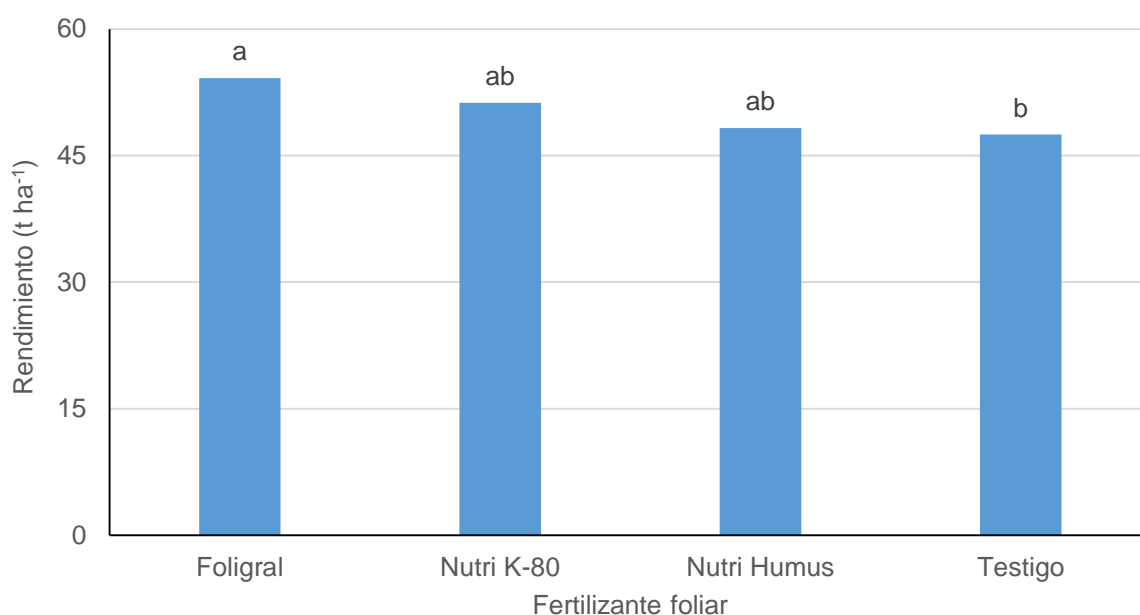


Figura 7.20. Efecto de los fertilizantes foliares en el rendimiento total de tomate (t ha<sup>-1</sup>).

### 7.3. Calidad.

En lo posterior se describen los resultados de los análisis de varianza y comparación de medias de las variables que intervienen en la calidad del fruto.



### 7.3.1. Licopeno.

Respecto al contenido de Licopeno en fruto de tomate, se observa en el Cuadro 7.7 el ANOVA correspondiente e indica que no hubo diferencias significativas en cuanto a genotipos, pero si para la aplicación de fertilizantes foliares, y mediante la prueba de Tukey se observa tiene una ligera tendencia a incrementarse conforme el contenido de potasio en el fertilizante aumenta.

Cuadro 7.7. Contenido de licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup>) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo	
		3	6
Genotipo	Cid	17.90 a	14.91 a
	Azhura	17.56 a	14.65 a
	Foligral	18.31 a	15.61 a
Foliar	Nutri K-80	18.09 a	15.28 a
	Nutri Humus	17.69 ab	14.69 ab
	Testigo	16.82 b	13.54 b
F.V		Fc	
BLOQUE		0.4077 ns	0.9206 ns
GEN		0.2373 ns	0.5200 ns
FOL		0.0061 **	0.0093 **
GEN*FOL		0.6775 ns	0.9852 ns
CV (%)		4	8

ns= no significativo (P>0.05) \* = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) \*\*=altamente significativo (P≤0.01) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Como se describió con anterioridad el licopeno es un carotenoide que por su capacidad antioxidante protege a las células de la oxidación por los radicales libres presentes en el organismo, lo que ayuda a prevenir enfermedades como el cáncer, problemas cardiovasculares y envejecimiento acelerado (Ordoñez *et al.*, 2009). Cabe señalar que en el mercado existen capsulas de licopeno de 10 mg cuyo precio es aproximadamente de \$2.50 cada una. En las Figuras 7.21 y 7.22 se muestra que hubo diferencias significativas para la aplicación de fertilizantes foliares en ambos racimos y puntualiza que los tres fertilizantes foliares provocan incrementos de licopeno a pesar de tener concentraciones de K<sup>+</sup> diferentes. Los resultados oscilan entre 13.54 y 18.31 mg 100 g<sup>-1</sup> con un promedio de 16.25 mg 100 g<sup>-1</sup>, es decir que también se



observa una variación en el contenido de licopeno de los racimos cosechados, en tomate indeterminado tipo Saladette este valor sigue una tendencia polinómica decreciente reportada hasta el racimo noveno (Ramírez *et al.*, 2011) y es por ello que en los resultados de este experimento, el tercer racimo fue superior que el sexto en esta variable. Mediante la prueba de Tukey se identifica a Foligral® y Nutri K-80® como los que favorecen un incremento en la concentración de licopeno, ligeramente abajo se ubica Nutri Humus® por arriba del testigo; esta variación puede deberse a la concentración de K<sup>+</sup> en los fertilizantes y también a que en su formulación existen otros constituyentes como aminoácidos, fitohormonas y ácidos húmicos y fúlvicos que pudieron participar en dichas diferencias. Cabe señalar que los dos fertilizantes foliares que provocaron mayor concentración de licopeno diferían en 15% de concentración de K<sup>+</sup> pero uno de ellos (Nutri K-80®) contiene aminoácidos, vitaminas y fitohormonas que pudieron participar en el incremento. Si bien la concentración de licopeno en el fruto está relacionada con la maduración; debido al aumento de este y disminución de la clorofila al pasar el fruto de verde a rojo (Bramley, 2002); el potasio participa como agente hidratante que al causar un gradiente osmótico, propicia la entrada de agua, ocasionando la turgencia celular (Alcantar *et al.*, 2013), mecanismo que permite que las células en desarrollo alcancen el tamaño adecuado, relacionado en este caso con el tamaño del fruto, incrementando el rendimiento de tomate y cantidad de licopeno.

Los resultados obtenidos en este experimento se encuentran entre los citados por Gaspar *et al.* (2012), George *et al.* (2004) y Ramírez *et al.* (2011), e indican una variación de 4.2 a 16.8 mg 100 g, al respecto este último autor señala que sus resultados fueron consecuentes con otros realizados en base al incremento de carotenoides respecto a la adición de K en la fertilización. De modo que es por ello que el contenido de licopeno se incrementó debido a la adición de fertilizantes foliares formulados a base de potasio, logrando un incremento ligeramente mayor en aquellos cuya concentración de tal catión fue más alta.





VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

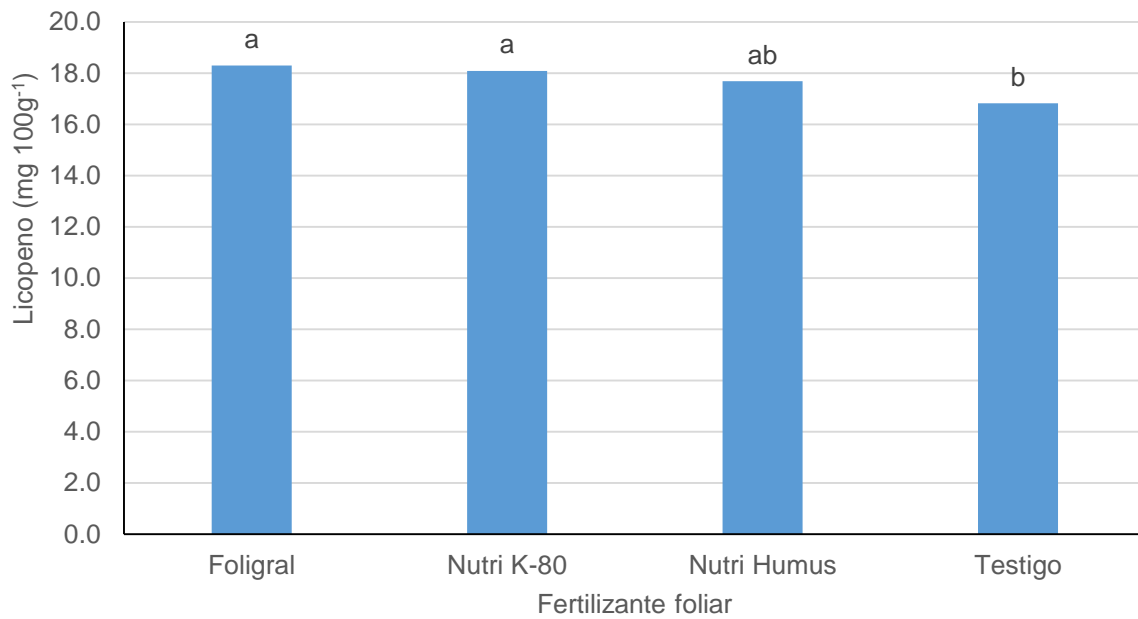


Figura 7.21. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de Licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup>) en fruto de tomate del tercer racimo.

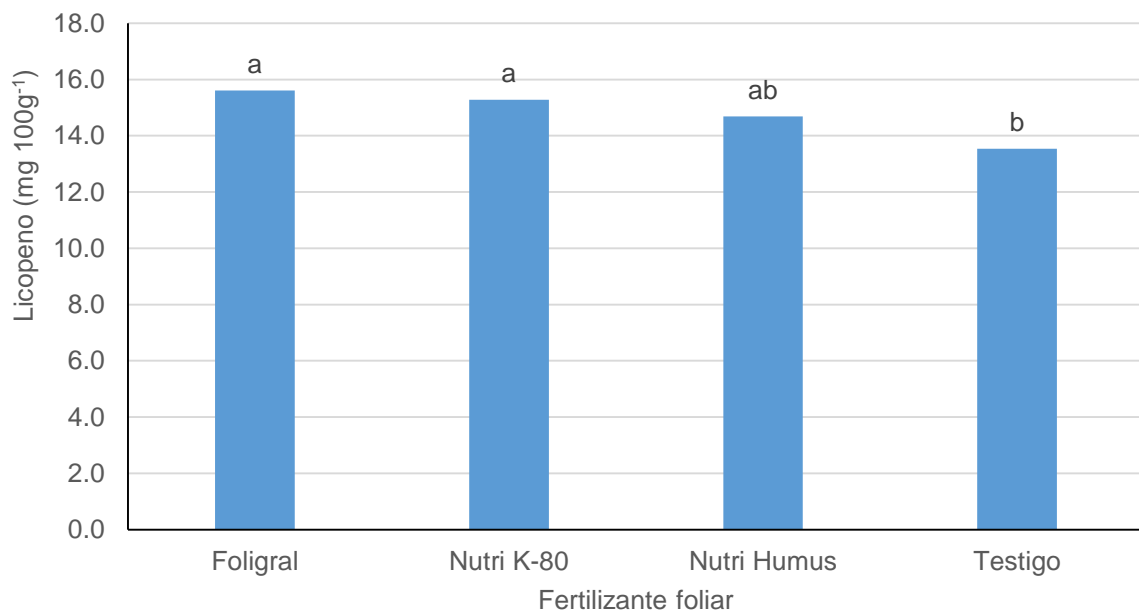


Figura 7.22. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de Licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup>) en fruto de tomate del sexto racimo.



### 7.3.2. Sólidos solubles (°Brix).

Los sólidos solubles (°Brix) en el Cuadro 7.8 mostraron diferencias significativas en cuanto a la aplicación de fertilizantes foliares; donde la Prueba de comparación de medias Tukey indica que para el tercer racimo la aplicación de cualquier fertilizante es estadísticamente igual, mientras que en el sexto Foligral® y Nutri K-80® fueron los fertilizantes que ocasionaron los valores mayores.

Cuadro 7.8. Sólidos solubles (°Brix) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo	
		3	6
Genotipo	Cid	5.05 a	5.28 a
	Azhura	4.99 a	5.20 a
	Foligral	5.27 a	5.44 a
Foliar	Nutri K-80	5.21 ab	5.36 a
	Nutri Humus	4.83 ab	5.29 ab
	Testigo	4.77 b	4.87 b
F.V		Fc	
BLOQUE		0.1792 ns	0.7533 ns
GEN		0.6891 ns	0.5124 ns
FOL		0.0160 *	0.0078 **
GEN*FOL		0.9854 ns	0.9744 ns
CV (%)		7	6

ns= no significativo ( $P>0.05$ ) \* = Significativo ( $P>0.01$  y  $P\leq 0.05$ ) \*\*=altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Se puede notar que los valores de °Brix están entre los 4.77 y 5.44 con un promedio de 5.13 y que las diferencias son atribuibles a la aplicación de fertilizantes foliares entre los cuales hubo ligeras diferencias estadísticas sobresaliendo los fertilizantes con mayor contenido de potasio (Figuras 7.23 y 7.24). Los resultados, según Arana *et al.* (2006) están en el rango óptimo que proporciona propiedades organolépticas de calidad y que tiene potencial para su uso en la industria.

Las diferencias entre los resultados radican en la concentración de potasio en los fertilizantes, elemento que favorece la translocación de fotosintatos (entre ellos azúcares) desde las hojas hacia los órganos demandantes, en este caso los frutos;



de tal modo que una nutrición suficiente de  $K^+$  genera una adecuada tasa de translocación que propicia mayor concentración de azúcares al fruto (Alcantar *et al.*, 2013). Además, la aplicación foliar de potasio es una ventaja puesto que por ser aplicado directamente en las hojas agiliza el proceso (Trinidad y Aguilar, 1999).

Por otro lado Ramírez *et al.* (2011) señalan que existe variación entre el contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) de cada racimo cosechado en tomate indeterminado tipo Saladette; siendo que existe un detrimento en el valor de  $^{\circ}$ Brix desde el primer al quinto racimo que posteriormente tiene un repunte en los racimos séptimo y noveno, esto justifica el hecho que en el experimento el racimo tercero tenga valores inferiores que el racimo sexto en el contenido de sólidos solubles.

Los valores de este experimento se encuentran en general por arriba de los reportados por Bugarin *et al.*, (2002a) con 3.9 a 4.2, Gómez y Camelo (2002) reportaron de 3.8 a 4.53, George *et al.*, (2004) citaron un promedio de 5.0, Arana *et al.*, (2006) indicaron 4.21 a 5.30, Arteaga *et al.*, (2006) lograron 4.45 a 5.27, Casierra y Aguilar (2008) señalaron 3.8 a 5.0, Ramírez *et al.*, (2011) indicaron los mayores datos valores 4.8 a 5.5 y un promedio de 5.06, Gaspar *et al.*, (2012) reportó 3.9 a 5.2, Hernández *et al.*, (2013) referencian de 3.9 a 5.2 y Márquez *et al.*, (2013) indican 4.2 a 4.7  $^{\circ}$ Brix.

Se puede observar que los genotipos por si solos tienen un contenido significativo de sólidos solubles, éste se incrementa hasta los valores más altos citados por los autores; con la adición de fertilizantes foliares con potasio como formulación básica, de modo que aquellos cuya concentración de  $K^+$  fue mayor lograron producir un incremento más significativo de estos azúcares en la planta.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

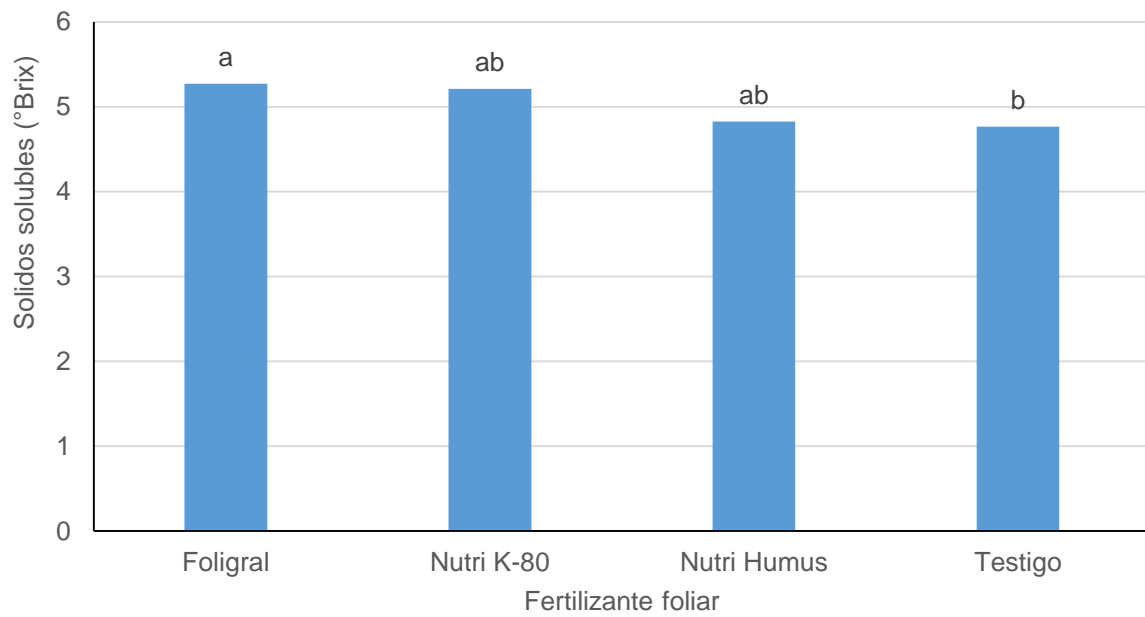


Figura 7.23. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de sólidos solubles (°Brix) en fruto de tomate del tercer racimo.

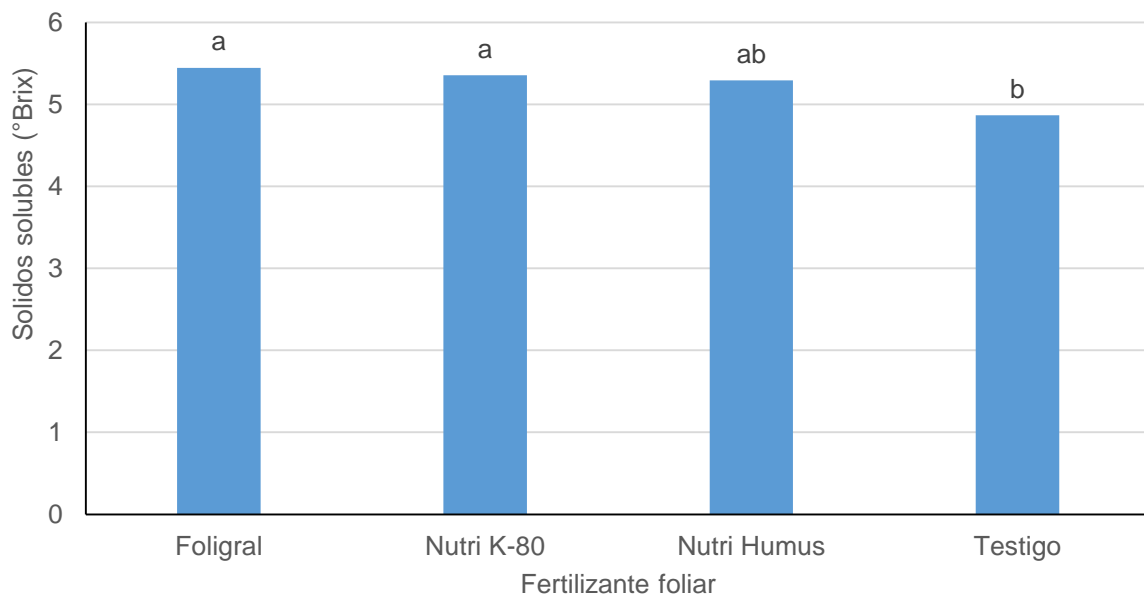


Figura 7.24. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de sólidos solubles (°Brix) en fruto de tomate del sexto racimo.



### 7.3.3. pH del fruto.

En el Cuadro 7.9 se muestran los resultados del análisis de varianza y prueba de Tuckey para el potencial de Hidrogeno del fruto. Se observa que no existió diferencia alguna entre genotipos ni entre fertilizantes foliares en los racimos evaluados.

Cuadro 7.9. Potencial de hidrógeno en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo	
		3	6
Genotipo	Cid	4.40 a	4.68 a
	Azhura	4.39 a	4.67 a
	Foligral	4.42 a	4.69 a
Foliar	Nutri K-80	4.40 a	4.69 a
	Nutri Humus	4.38 a	4.67 a
	Testigo	4.37 a	4.66 a
	F.V	Fc	
BLOQUE		0.8788 ns	0.9831 ns
GEN		0.6083 ns	0.7034 ns
FOL		0.2026 ns	0.5512 ns
GEN*FOL		0.9951 ns	0.9958 ns
CV (%)		1.0	1.1

ns= no significativo ( $P>0.05$ ) \* = Significativo ( $P>0.01$  y  $P\leq 0.05$ ) \*\*=altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

El potencial de hidrogeno tiende a incrementarse del tercer al sexto racimo, este comportamiento también lo menciona Ramírez *et al.* (2011), quien indica un incremento del tercer al quinto racimo y una ligera disminución en el sexto, esto puede estar relacionado con la cantidad de  $K^+$  contenido en el fruto pues el mismo autor en sus resultados indica que a mayor concentración de potasio en la solución nutritiva, el pH obtuvo valores superiores, en este caso a pesar de que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la aplicación de fertilizantes foliares para potencial de hidrogeno, existe una mayor concentración de potasio en el fruto del sexto racimo que en el tercero, hecho que se menciona más adelante. Se observa que los resultados tienen un promedio de 4.54 que y una variación entre 4.37 y 4.69. Estos valores son similares a los citados por Bugarin *et al.*, (2002a) con promedio de 5.1, Gómez y Camelo (2002) indicaron 4.0 a 4.7, Arana *et al.*, (2006) señalaron 4.30



a 4.65, Arteaga *et al.*, (2006) mencionó un promedio de 3.8, Casierra y Aguilar (2008) indicaron un rango entre 4.2 y 4.9, Ramírez *et al.*, 2011 reportaron de 3.8 a 4.0, Gaspar *et al.* (2012) mencionaron de 4.2 a 4.5 y Hernández *et al.*, (2013) mencionan una variación de 4.7 a 4.9. Tanto los resultados del experimento como los citados se encuentran en el rango de pH que señalaron Aguayo y Artés (2004) como un indicador de tomates de alta calidad organoléptica.

#### 7.3.4. Acidez titulable.

La acidez titulable no mostro diferencias entre los factores evaluados cuyos resultados del ANOVA y prueba de comparación de medias se muestran en el Cuadro 7.10.

Cuadro 7.10. Acidez titulable (% ácido cítrico) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo	
		3	6
Genotipo	Cid	0.57 a	0.54 a
	Azhura	0.59 a	0.55 a
	Foligral	0.53 a	0.53 a
Foliar	Nutri K-80	0.56 a	0.54 a
	Nutri Humus	0.60 a	0.55 a
	Testigo	0.63 a	0.58 a
	F.V	F <sub>c</sub>	
BLOQUE		0.5962 ns	0.1915 ns
GEN		0.4424 ns	0.6946 ns
FOL		0.0913 ns	0.4400 ns
GEN*FOL		0.9254 ns	0.9944 ns
CV (%)		12	12

ns= no significativo (P>0.05) \* = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) \*\*=altamente significativo (P≤0.01) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

La acidez titulable manifestó una diferencia entre racimos, resaltando que el sexto presentó valores inferiores que el tercero, esto se relaciona con el pH que manifestó una tendencia invertida; lógicamente conforme aumenta el pH disminuye la acidez.



En cuanto a la acumulación de ácido cítrico en fruto, esta se debe al balance de cargas que ocurre cuando el  $K^+$  es ingresado al citoplasma sin un ion acompañante como el  $NO^{-3}$  (Bugarin *et al.*, 2002a). En este caso se puede observar que el promedio de acidez titulable es de 0.564 % con mínimas de 0.53 y máximas de 0.63 %. Resultados similares indicaron: Bugarin *et al.* (2002a) desde 0.19 hasta 0.32, Gómez y Camelo (2002) de 0.35 a 0.46, George *et al.* (2004) de 0.26 a 0.51, Casierra y Aguilar (2008) de 0.6 a 0.65 y Gaspar *et al.* (2012) de 0.24 a 0.39. Es importante señalar que de acuerdo con lo reportado por Gómez y Camelo (2002); un porcentaje de acidez titulable entre 0.35 y 0.55 es altamente deseable en tomate para su procesamiento industrial.

#### 7.3.5. Potasio en fruto.

En cuanto al contenido de potasio, en el Cuadro 7.11 se muestra el ANOVA y la prueba de Tukey donde se aprecia que no hubo diferencias significativas entre los genotipos utilizados pero se presentaron diferencias altamente significativas en cuanto a la aplicación de foliares, resultando que el contenido de K en  $g\ kg^{-1}$  se incrementó estadísticamente en el racimo seis en función de la aplicación de foliares con mayor concentración de dicho nutrimento.



Cuadro 7.11. Contenido de potasio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Racimo	
		3	6
Genotipo	Cid	12.15 a	12.98 a
	Azhura	11.95 a	12.66 a
	Foligral	13.09 a	13.46 a
Foliar	Nutri K-80	12.30 ab	13.06 a
	Nutri Humus	11.74 ab	12.77 ab
	Testigo	11.07 b	11.99 b
F.V		Fc	
BLOQUE		0.5685 ns	0.4369 ns
GEN		0.6104 ns	0.1758 ns
FOL		0.0089 **	0.0015 **
GEN*FOL		0.9900 ns	0.9394 ns
CV (%)		9	5

ns= no significativo ( $P>0.05$ ) \* = Significativo ( $P>0.01$  y  $P\leq 0.05$ ) \*\*=altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Los resultados indican que sobresalen Foligral® y Nutri K-80®, esto es evidente pues las aplicaciones de potasio contribuyeron a satisfacer la demanda de dicho nutrimento por parte de la planta. Bugarin *et al.* (2002a) indica que la cantidad de  $\text{K}^+$  influye significativamente en la calidad de la producción en un rango de 3 a 6 meq  $\text{L}^{-1}$  en la solución nutritiva. Asimismo entre el 70 y 80% del  $\text{K}^+$  es demandado por los frutos en desarrollo, esto debido a que el potasio es necesario para uniformizar la maduración, acumular ácidos orgánicos en el fruto para mejorar el sabor y para incentivar el ingreso de agua al fruto (Alcantar *et al.*, 2013). Asimismo en cada racimo cosechado difiere la concentración de potasio, misma que sigue una tendencia polinómica ascendente hasta el quinto racimo que decrece en los racimos posteriores (Ramírez *et al.*, 2011), lo que en los resultados obtenidos en este experimento justifica la variación entre el tercer y sexto racimo.

Los resultados (Figuras 7.25 y 7.26) concuerdan con Betancourt y Pierre (2013) ( $3$  a  $14 \text{ g kg}^{-1}$ ) pero difieren de Bugarin *et al.* (2002a) ( $42$  a  $60 \text{ g kg}^{-1}$ ), ambos en tomate de crecimiento determinado, también se encuentran por debajo de los reportados por Ramírez *et al.* (2011) ( $28.3$  a  $56.1 \text{ g kg}^{-1}$ ) en tomate indeterminado tipo Saladette, lo





que se puede explicar tomando que cuenta que la variación entre la concentración de  $K^+$  en tomate tiene entre otros causales (clima y manejo) el genotipo, hábito de crecimiento de la planta y ciclo de cultivo (Bugarin *et al.*, 2002b). El mismo autor señala que la acumulación de potasio por parte del fruto sigue una tendencia creciente que corresponde a una función polinómica donde el incremento más rápido se encuentra en las primeras cosechas y disminuye al final del ciclo de cultivo. También señala que la acumulación de  $K^+$  en el fruto es de aproximadamente el 60% de la acumulación total en la planta, de modo que es de suma importancia la aportación de este elemento debido al efecto que tiene en la calidad del fruto así como la turgencia de las células (Alcantar *et al.*, 2013).

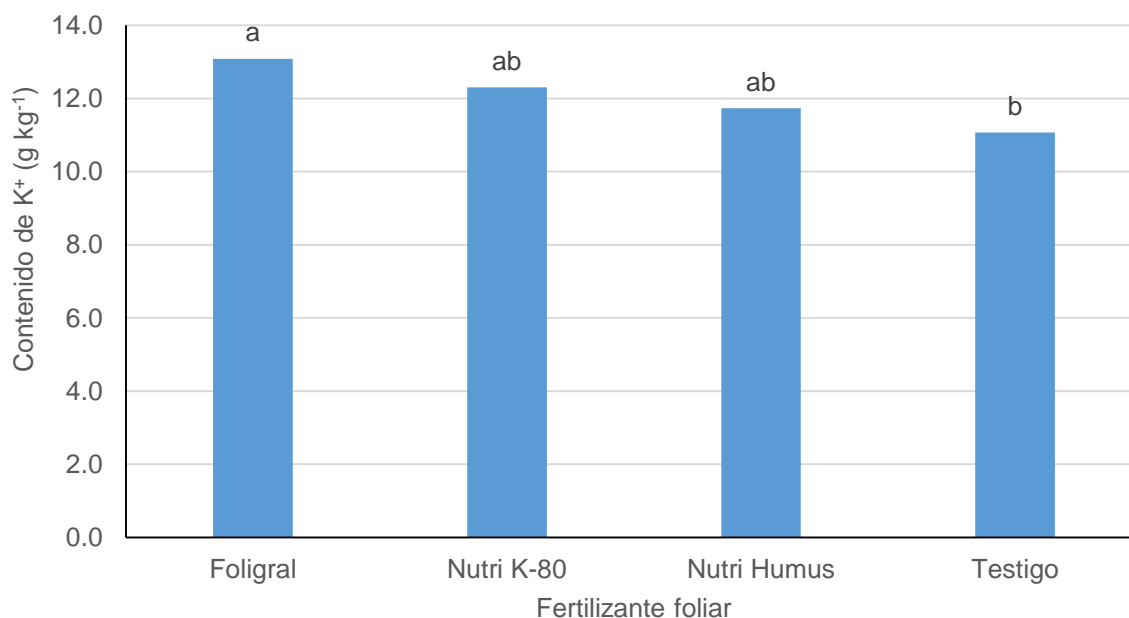


Figura 7.25. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de potasio ( $g\ kg^{-1}$ ) en el fruto de tomate del tercer racimo.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

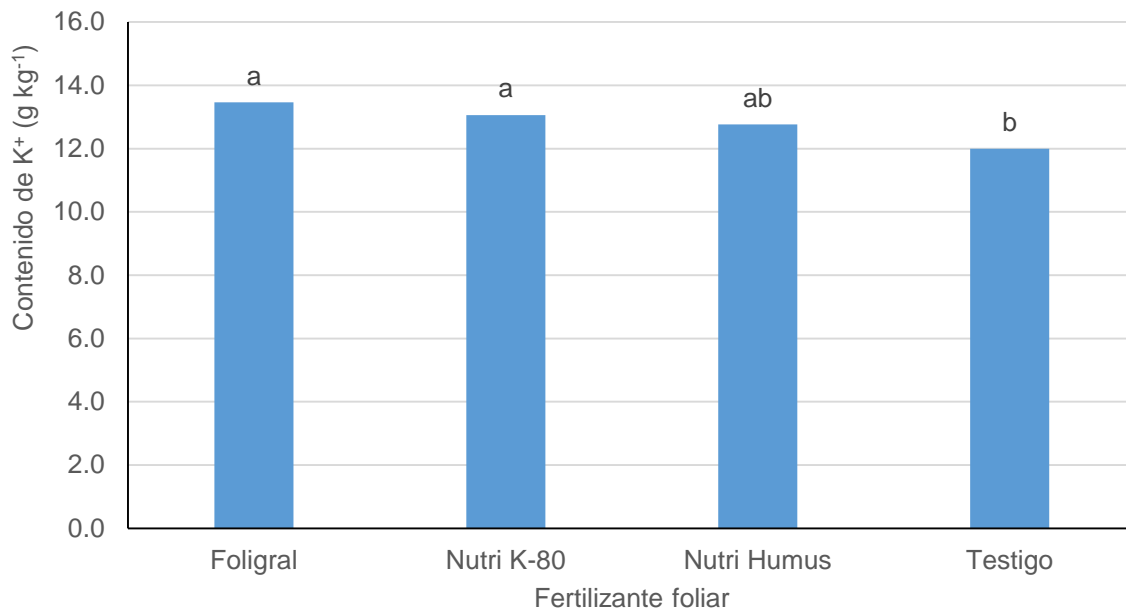


Figura 7.26. Efecto de los fertilizantes foliares en el contenido de potasio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en el fruto de tomate del sexto racimo.

#### 7.4. Análisis económico.

Los resultados del análisis económico del experimento se muestran en el Cuadro 6.12, donde se observa que en cuanto a costo existen diferencias altamente significativas entre ambos factores, señalando que el genotipo que Azhura es el que menor costo produce y obviamente el testigo es menos costoso.



Cuadro 7.12. Costo de producción (miles de \$ ha<sup>-1</sup>) y relación beneficio-costos (\$) de la producción de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.

Factor	Nivel	Costo		RBC	
		(miles \$ ha <sup>-1</sup> )		(\$)	
Genotipo	Cid	487.80	b	1.04	a
	Azhura	488.00	a	1.02	a
	Foligral	488.10	b	1.11	a
Foliar	Nutri K-80	492.00	a	1.04	a
	Nutri Humus	486.50	c	0.99	a
	Testigo	485.00	d	0.98	a
	F.V		Fc		
BLOQUE	.		ns	0.6035	ns
GEN	<.0001		**	0.7067	ns
FOL	<.0001		**	0.0551	ns
GEN*FOL	.		ns	0.9897	ns
CV (%)			0		9

ns= no significativo (P>0.05) \* = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) \*\*=altamente significativo (P≤0.01) Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Los genotipos presentaron diferencias estadísticamente significativas, siendo CID el menos costoso (Figuras 7.27). Por otro lado es interesante que Foligral®, a pesar de ser el segundo más costoso (Figura 7.28), en base a las variables evaluadas anteriormente fue el que mejores resultados produjo; por tanto es el más rentable para utilizar. Es importante destacar que los costos manifestados en este trabajo corresponden a costos experimentales que por definición pueden ser diferentes a cualquier otra investigación, sobre todo por la densidad establecida; misma que proporciona una disminución de costos por concepto de planta del 66%, lo cual repercute en todo lo demás (costos por nutrición, riego, manejo, cosecha y comercialización), siendo en conjunto factores abaratadores de costos pero también de rendimiento.



VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

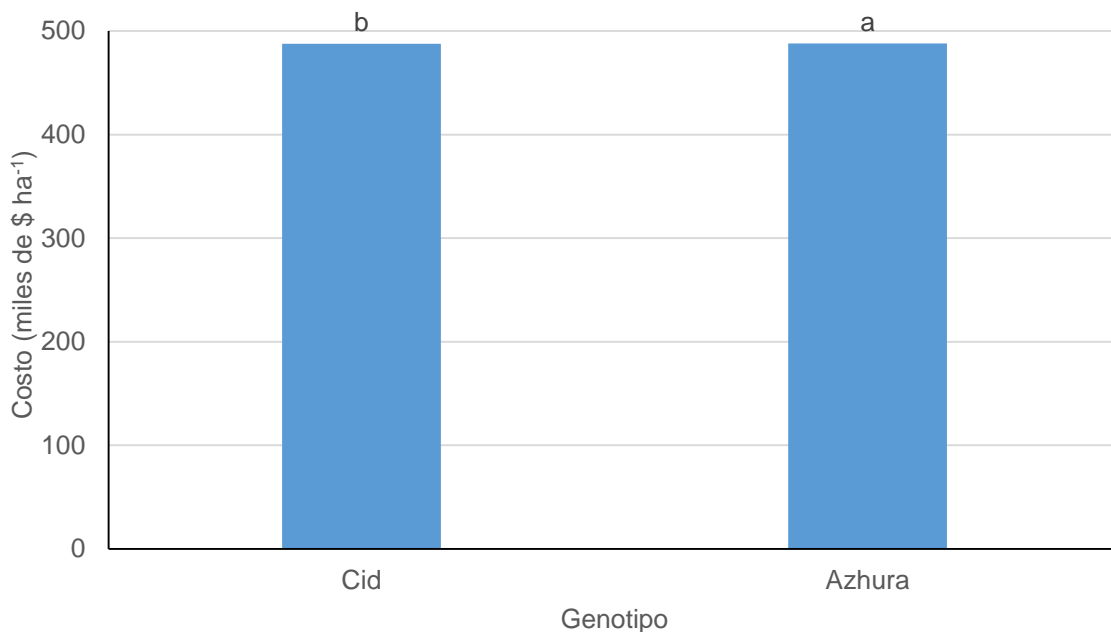


Figura 7.27. Efecto de los genotipos en el costo experimental (miles de \$ ha<sup>-1</sup>) de tomate en hidroponia bajo invernadero.

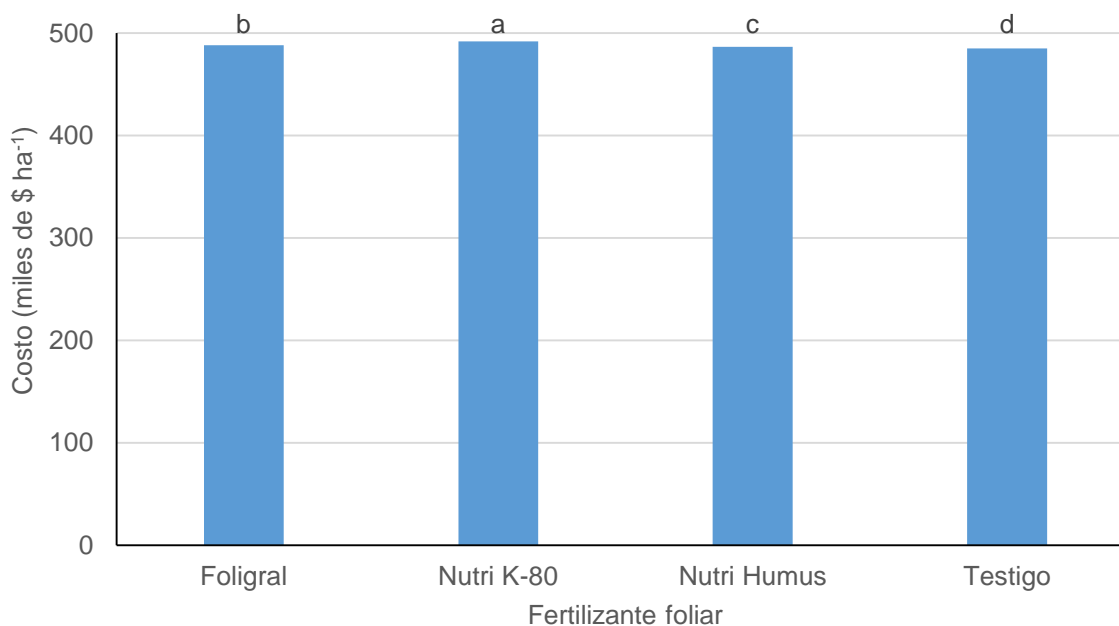


Figura 7.28. Efecto de los fertilizantes foliares en el costo experimental (miles de \$ ha<sup>-1</sup>) de tomate en hidroponia bajo invernadero.

Por otro lado en cuanto a la relación beneficio-costo Foligral® es el que produjo el dato mejor valor. Respecto a este punto se observa que a pesar de que los valores



de la RBC son bajos y estadísticamente iguales, es importante señalar que se nota rentabilidad con los genotipos y con el uso de los fertilizantes foliares Foligral® y Nutri K-80® y a pesar de tres aspectos importantes: se cosecho solo hasta el sexto racimo, se presentaron grandes pérdidas por deficiencia de calcio y la densidad de cultivo fue de un tercio de la densidad convencional.

En el Cuadro 7.13 se muestra resumido y conciso lo más sobresaliente de la investigación.



Cuadro 7.13. Resumen de resultados obtenidos en el experimento.

Variable	Resultado
Consumo de agua.	El volumen de agua consumido fue superior al citado por otros autores, también la eficiencia de uso de agua fue menor.
Diámetro polar	No hubo diferencias estadísticamente significativas en ambos factores.
Diámetro ecuatorial	Los genotipos resultaron ser estadísticamente iguales. La aplicación de fertilizantes incrementó el diámetro ecuatorial, siendo superior Foligral® en el cuarto racimo y estadísticamente iguales entre sí los fertilizantes en los racimos tres, cinco y seis.
Peso de fruto	Solo en el racimo dos se presentaron diferencias estadísticas en los genotipos, siendo Cid el mejor. La aplicación de fertilizantes foliares incrementó el peso del fruto en la mayoría de los racimos. Fueron estadísticamente iguales los fertilizantes foliares, pero se presentaron valores más altos con Foligral® en todos los racimos.
Rendimiento por calidades	No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos ni fertilizantes foliares en cada calidad física, sin embargo, la aplicación de Foligral® produjo un incremento de los porcentajes de frutos de calidades extra, primera y segunda.
Rendimiento total	Estadísticamente fueron iguales los genotipos aunque numéricamente Cid fue superior. La aplicación de fertilizantes foliares produjo incremento en el rendimiento. Foligral fue el que mayor rendimiento obtuvo a pesar de ser estadísticamente igual a los otros dos fertilizantes foliares.
Licopeno	No se presentaron diferencias entre genotipos para ambos racimos. La aplicación de fertilizantes foliares produjo incremento de licopeno respecto al testigo, los tres fertilizantes resultaron ser estadísticamente iguales, aunque numéricamente son sobresalientes Foligral® y Nutri K-80® en los racimos tres y seis
Sólidos solubles	No se registró diferencia estadística entre genotipos. La aplicación de fertilizantes foliares produjo el incremento de los sólidos solubles y a pesar de que estadísticamente son iguales, Foligral® en el racimo tres y Foligral® a la par con Nutri K-80® en el racimo seis son los que tuvieron mejores resultados.
pH	No hubo diferencias estadísticamente significativas en ambos factores
Acidez titulable	No hubo diferencias estadísticamente significativas en ambos factores
Potasio en fruto	No hubo diferencias entre genotipos. La aplicación de fertilizantes foliares produjo el incremento de potasio en fruto respecto al testigo. Los fertilizantes foliares son estadísticamente iguales entre sí, pero Foligral® en el racimo tres y tanto Foligral® como Nutri K-80® en el racimo seis fueron los que tuvieron los valores más altos.
Costo	Los genotipos tuvieron diferencias significativas indicando a Cid como el menos costoso, en cuanto a los fertilizantes foliares Nutri K-80 resulto ser el más costoso, seguido por Foligral y Nutri-Humus.
RBC	A pesar de que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, se aprecia que los genotipos son estadísticamente iguales en variables de rendimiento y calidad, asimismo Cid es más económico en su costo de producción y el que mayor RBC proporciona por ello se recomienda usarlo. Para los fertilizantes foliares; Foligral sobresale en la mayoría de las variables estudiadas y a pesar de ser el segundo más costoso, tiene el valor de RBC mas alto con 1.11, por tanto es la mejor opción para usar.



## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 7.1. Consumo de agua.

La cantidad de agua aplicada es mayor a la citada por la literatura para el cultivo de tomate en tal periodo, sin embargo; también sería necesario cuantificar el requerimiento hídrico para la densidad de plantación evaluada en este experimento debido a que por menor densidad de plantación es muy probable que la tasa de transpiración por planta sea mayor que en densidades comerciales, dando lugar a un requerimiento superior de agua que en base a lo observado repercutió en la gravedad de la deficiencia de calcio manifestada en los frutos. También, la radiación que recibe la planta estando a esta densidad debe ser mayor que en densidades comerciales, ocasionando por un lado que haya mayor tasa fotosintética por planta que favoreció en el incremento del tamaño de fruto respecto a otros autores, pero que en horas pico de radiación ocasionaron pérdidas excesivas de agua, por tanto sería importante en trabajos posteriores evaluar dichos factores.

### 7.2. Genotipos.

Los genotipos solo manifestaron diferencias significativas en el costo de producción, de manera que puede usarse indistintamente cualquier genotipo y si se requiere un ahorro utilizar el CID F1.

### 7.3. Fertilizantes foliares.

Los fertilizantes foliares provocaron incremento en diámetro ecuatorial para la mayoría de los racimos y el peso del fruto en todos ellos, lo que repercute en el rendimiento y la calidad física del tomate, logrando mayores proporciones de frutos de calidad extra y primera con el uso de Foligral®.

El uso de los fertilizantes foliares logro incrementar parámetros de calidad química que son de importancia como: contenido de sólidos solubles (°Brix), contenido de licopeno y contenido de potasio en fruto, resaltando que Foligral y Nutri K-80 fueron



VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

los más sobresalientes, asimismo el análisis de relación beneficio costo indica que es más rentable utilizar el primero pues fue el que mejores resultados produjo y también el que mayor valor obtuvo en esta variable.





## IX. LITERATURA CITADA.

Aguayo, E. y F. Artés. 2004. Elaboración de tomate mínimamente procesado en fresco. *In: Tomates. Producción y comercio.* Namesny A. (coordinador) Reus, España Ediciones de Horticultura S.L. 11: 121-133.

Ajete, G. M., C. Bonet P., C. Duarte D., M. Vargas C. y V. Pérez G. 2011. Criterios sobre la uniformidad de riego en cultivos protegidos de las provincias centrales. Cuba *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 2(20): 47-50.

Alcantar, G.G., L.I. Trejo T., L. Fernández P. y M.N. Rodríguez M. 2013. Elementos esenciales. *In: Nutrición de cultivos.* Alcantar G.G. y Trejo T.L.I. (eds.) Texcoco, México 2013. Colegio de postgraduados. 8-43 pp.

Amaya, P., L. Peña, A. Mosquera, H. Villada, y D. Villada. 2009. Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). España. *Dyna.* 162: 67-73.

Arana, I., C. Jarén, S. Arazuri, M. García, A. Ursua y P. Riga. 2006. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. España. *ResearchGate.* (20): 111-115.

Arias, R., T. Lee, L. Logendra, and H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color reading of a hidroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. U.S.A. *J. Agric. Food Chem.* 48:1697-1702.

Arteaga, M., N. Garcés, F. Guridi, J. Pino, A. López, J. Menéndez y O. Cartaya. 2006. Evaluación de las aplicaciones foliares de humus liquido en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Var. Amalia en condiciones de producción. Cuba. *Cultivos tropicales* 3(27): 95-101.



Betancourt, P. y F. Pierre. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) en casas de cultivo en Quibor, Estado Lara. Venezuela. *Bioagro* 25(3):181-188.

Bramley, P. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. U.S.A. *Journal of Experimental Botany*. 53(377): 2107-2113.

Bugarín M., R., A. Galvis S., P. Sánchez G. y D. García P. 2002a. Demanda de potasio del tomate tipo Saladette. México. *Terra Latinoamericana* 20(4): 391-399.

Bugarín M., R., A. Galvis S., P. Sánchez G. y D. García P. 2002b. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. México. *Terra Latinoamericana* 20(4): 401-409.

CAJAMAR. 2014. Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. Fundación CAJAMAR. 5. 1-18 pp.

Cano, P., A. Moreno, C. Márquez, N. Rodríguez y V. Martínez. 2004. Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la comarca lagunera. *In: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción.* Torreón, Coahuila, México. 109-122 p.

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

Cruz C., E., A. Can C., M. Sandoval V., R. Bugarín M., A. Robles B. y P. Juárez L. 2013. Sustratos en la horticultura. México. *Bio Ciencias* 2(2): 17-26.

De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Bélgica. *Acta Horticulturae*, 37: 2054-2062.



Dickson T., R. 1999. Introduction to chemistry. Jhon Willey & Sons, Inc. USA. 428-429 pp.

Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. *In*: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. I.E.A. /F.I.A.P.A. Cánovas F; Díaz J.R. (eds.) Almería, España. 263:297 pp.

FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. FAO, Roma, Italia, 327pp.

FAOSTAT. 2013a. Importaciones y exportaciones de tomate. <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>.

FAOSTAT. 2013b. Producción de tomate. <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>.

Flores, J., W. Ojeda, I. López, A. Rojano y I. Salazar. 2007. Requerimiento de riego para tomate de invernadero. México. Terra Latinoamericana 25: 127-134.

Fortes, R., M. Prieto, J. González y C. Campillo. 2013. Evaluación del riego deficitario controlado sobre la calidad y la producción en las distintas fases fenológicas del cultivo de tomate para industria. *In*: VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid Agosto 2013, Ref. N° C0305.

Gaspar, P., J. Carrillo, J. Chávez, A. Vera y I. Pérez. 2012. Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Argentina. Phyton 81: 15-22.

George, B., C. Kaur, S. Khurdiya D. and C. Kapoor H. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. U.S.A. Food Chemistry 84: 45-51.

Gómez, P.A. y A.F.L. Camelo. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Brasil. Horticultura Brasileira 20(1): 38-43.



Haifa. 2016. Nutri Net. Requerimiento nutricional del tomate. Obtenido de la red: <http://www.haifa-group.com/spanish/>. Fecha de consulta 09/03/2016.

Helyes, L., A. Lugasi, Z. Pék and S. Brandt. 2006. Analysis of antioxidant compounds and Hidroxymethylfurfural in processing tomato cultivars. U.S.A. Hortecology 16 (4). 615-619 pp.

Hernández, E., R. Lobato, J. García, D. Reyes, A. Méndez, O. Bonilla y A. Hernández. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). México. Revista Fitotecnia Mexicana 3(36): 209 – 215.

Hernández R., M. y A. Sastre G. 1999. Tratado de nutrición. Diez de Santos S.A. Madrid. 79 pp.

Johnson E., W. 1980. Comparison of methods of analysis for loamless composts. Bélgica. Acta Horticulturae. 99:197-204

Khachick, F., L. Carvalho, S. P. Bernstein, G. J. Muir, D. Zhao. 2002. Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. U.S.A. Experimental Biology and Medicine 227: 845-851 pp.

Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. México. Terra latinoamericana 17 (3). 221-229 pp.

López, E., J. Gabriel, A. Angulo, J. Magne, M. Crespo y J. La Torre 2015. Herencia y relación genética asociados al rendimiento, Madurez en híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. Mill.). Costa Rica. Agronomía Costarricense 39(1) pp. 107-119.

Márquez, C., P. Cano, U. Figueroa, J. Ávila, N. Rodríguez y J. García. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. Argentina. Phytion 82: 55-61.

Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. London, U.K. 889 p.



Martínez, A. 1988. Diseños experimentales, métodos y técnicas de teoría.1. Trillas. México. 299-329 pp.

Mendoza P., C. 2015. Respuesta hídrica y productiva del chile poblano y jitomate a diferentes condiciones de manejo del número de tallos bajo condiciones protegidas. Tesis de maestría. Montecillo, Méx.

Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. España. 1: 131-168 pp.

Ordóñez, A., M. Balanza, F. Martín y C. Flores. 2009. Estabilidad del Carotenoide Licopeno en Tomates en Conserva. Chile. Información Tecnológica 20(4). 31-37 pp.

Ramírez, L., J. Muro y F. Díaz. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. México. Acta universitaria 1(21): 5-10.

Reuscher, S., M. Akiyama, T. Yasuda, H. Makino, K. Aoki, D. Shibata and K. Shiratake. 2014. The Sugar Transporter Inventory of Tomato: Genome-Wide Identification and Expression Analysis. U.S.A. Plant Cell Physiology. 55(6): 1123–1141 pp.

Rodríguez, N., P. Cano, U. Figueroa, E. Favela, A. Moreno, C. Márquez, E. Ochoa y P. Preciado. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México. Terra Latinoamericana 4(27): 319-327.

Rodríguez M., M.N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero. Tesis Doctoral. EDAF-IRENAT-CP. Montecillo, Méx.

Sandoval, V. M. 2008. Cultivo de jitomate en México, con énfasis en nutrición. In. Jitomate Tecnología para su producción en invernadero. Bautista M.N.; Chavarin P.C. y Valenzuela E.F. (eds.) Texcoco, México 2008. Colegio de postgraduados. 11-34 pp.



Sanz M., A., A. Blanco, E. Monge y J. Val. 2001. Caracterización de la deficiencia de calcio en plantas de tomate utilizando parámetros fisiológicos. España. Información técnica económica agraria 1(97):26-38.

SIAP. 2013. Reporte de producción de tomate por estado. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.

Smajstrla A., G., J. Boman B., Z. Haman D., J. Pitts D. and S. Zazueta F. 2015. Field Evaluation of Microirrigation Water Application Uniformity. U.S.A. Agricultural and Biological Engineering Department. University of Florida. 1-8 p.

Soccoll, O., M. Ullmannl and J. Frizzonell. 2002. Performance analysis of a trickle irrigation subunit installed in an apple orchard. Brazil. Braz. Arch. Biol. Technol. 4(45): 525-530.

Sulbarán, B., E. Sierra, G. Ojeda, M. Berradre, V. Fernández y J. Peña. 2011. Evaluación de la actividad antioxidante del tomate crudo y procesado. Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 28:273-291

Terry, E. y J. Ruiz. 2010. Respuesta del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicon* L) a la aplicación foliar de un bioestimulante derivado del Vermicompost. Cuba. Temas de Ciencia y Tecnología 41(14): 27– 32.

Tommonaro, G., A. Caporale, L. De Martino, A. Popolo, R. De Prisco, B. Nicolaus, R. Abbamondi G. and C. Saturnino. 2014. Antioxidant and cytotoxic activities investigation of tomato seed extracts. U.S.A. Natural Product Research, 28 (10), 764-768.

Trinidad S., A y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. México. Terra Latinoamericana 3(17): 247-255.

Velazco H., E., R. Nieto A. y E.R. Navarro L. 2012. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Colegio de postgraduados 1: 21-62 pp.