



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

**EFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN
LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE
JITOMATE Y PIMIENTO MORRÓN CULTIVADO EN
INVERNADERO**

CÁNDIDO MENDOZA PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: “Efecto de número de tallos y su respuesta en la producción, calidad y rendimiento de jitomate y pimiento morrón cultivado en invernadero” realizado por el alumno: **Cándido Mendoza Pérez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA

ASESOR



DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

ASESOR



DR. ROBERTO ASCENCIO HERNÁNDEZ

ASESOR



DR. ANSELMO LÓPEZ ORDAZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2020.

EFFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE JITOMATE Y PIMIENTO MORRÓN CULTIVADO EN INVERNADERO

Mendoza Pérez Cándido, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de número de tallos en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas en cultivos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero. El trabajo se realizó en un invernadero en condiciones de hidroponía. Se utilizó tezontle como sustrato y un sistema de riego por goteo. Para el jitomate el experimento consistió en dos tratamientos (T), a un tallo (T1) y a dos tallos (T2) por planta y para el pimiento morrón, a dos tallos (T1) y a tres tallos (T2) por planta. Se realizaron muestreos en los frutos para determinar: sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, licopeno, pH, conductividad eléctrica (CE), índice de madurez, firmeza, tamaño, forma, color y rendimiento. Para el jitomate los resultados indicaron que el T1 presentó mayor concentración de ácido ascórbico de 5.54 mg 100g⁻¹, firmeza de 1.06 N, 11.29 en índice de madurez y 3.17 dS m⁻¹ de CE. El rendimiento fue de 28.59 y 37.74 kg m⁻² para T1 y T2. Con relación a los parámetros de calidad el T1 fue mejor con 75, 19, 4 y 1% frutos de tamaño grande, mediano, pequeño y muy pequeños. Se encontró que los sólidos solubles totales, pH y licopeno aumentaron a medida que se incrementó el número de tallos por planta, sin embargo, la firmeza disminuyó. Para el pimiento morrón se encontró que en ambas variedades los frutos presentaron alta concentración de vitamina C de 120 mg 100g⁻¹. El T1 y T2 de la variedad Cannon presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales, licopeno y firmeza. El T2 de variedad Bragi presentó mejor rendimiento de 6.50 kg m⁻². En los parámetros de calidad, el T1 (Cannon) fue mejor, con 63, 35, 2 y 0 % de frutos de tamaño grande, mediano, chico y rezaga. Se observó que al aumentar el número de tallos por planta se incrementó la cantidad de frutos en ambos cultivos, sin embargo, disminuyó el tamaño. El control de las variables climáticas en invernaderos es importante porque las plantas tienen poca capacidad de autorregular su temperatura interna, un control inapropiado puede afectar el desarrollo y rendimiento.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., *Capsicum annuum* L., componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento de frutos.

**EFFECT OF NUMBER OF STEMS AND THEIR RESPONSE TO THE
PRODUCTION, QUALITY AND YIELD OF TOMATO AND BELL PEPPER
CULTIVATED IN GREENHOUSE**

Mendoza Pérez Cándido Ph. Dr.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the response of number of stems in the biochemical components, physical characteristics, yield and their relationship with climatic variables in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crops grown in greenhouse. The work was carried out in a greenhouse under hydroponic conditions. Tezontle was used as a substrate and a drip irrigation system. For the tomato, the experiment consisted of two treatments (T), one stem (T1) and two stems (T2) per plant and for bell pepper, two stems (T1) and three stems (T2) stems per plant. Samples were performed on the fruits to determine: total soluble solids, titratable acidity, vitamin C, lycopene, pH, electrical conductivity (EC), maturity index, firmness, size, shape, color, and yield. For tomato, the results indicate that T1 showed a higher concentration of ascorbic acid of 5.54 mg 100g⁻¹, firmness of 1.06 N, 11.29 in maturity index and 3.17 dS m⁻¹ of EC. The yield was 28.59 and 37.74 kg m⁻² for T1 and T2. In terms of quality parameters, T1 was better with 75, 19, 4 and 1% fruits of large, medium, small and very small size. Total soluble solids, pH and lycopene were found to increase as the number of stems per plant increased, however, firmness decreased. For bell pepper, it was found that in both varieties the fruits had a high concentration of vitamin C of 120 mg 100g⁻¹. The T1 and T2 of the Cannon variety showed higher content of total soluble solids, lycopene and firmness. The Bragi variety T2 has a better yield of 6.50 kg m⁻². In terms of quality parameters, the T1 (Cannon) was better, with 63, 35, 2 and 0% of large, medium, small and lagging fruits. It was observed that increasing the number of stems per plant increased the number of fruits in both crops, however, decreased the size. Controlling climate variables in greenhouses is important because plants have little ability to self-regulate their internal temperature, improper control can affect development and yield.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., *Capsicum annuum* L., biochemical components, physical characters, fruit yields.

DEDICATORIAS

A mi familia: A mi esposa *Perla Yvete Barreras Talamantes*, mis hijos *Luis Michel Mendoza Barreras* y *Jesús Isacc Mendoza Barreras*, quienes me apoyaron en la culminación de mis estudios, son ellos los que más sacrificaron su tiempo brindándome su amor y fuerza para seguir adelante y ser una persona mejor cada día. Sin ustedes a mi lado no hubiera logrado mi objetivo, tantas desveladas me sirvieron de algo y aquí está el fruto del esfuerzo. Les agradezco a todos ustedes por haber llegado a mi vida y compartir momentos de alegría y de tristeza, esos momentos son los que nos hicieron crecer y valorar a las personas que nos rodea. Los quiero mucho y nunca los olvidare.

A mis padres: *Faustino Mendoza Morales (+)* y *Margarita Pérez Hernández*; por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad ya que muchos de mis logros se lo debo a ustedes. Son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño y todo ello de una manera desinteresada y lleno de amor.

A mis hermanos: *Epifanio, Arturo, Alberta, Adela (+), Pabla, Juana, Catalina y Emilia*, que han sido mi ejemplo, lucha y motivación para alcanzar mis metas, muchas gracias por estar conmigo y por apoyarme siempre, los quiero mucho siempre los llevare en mi corazón.

A mis sobrinos: muchas gracias por existir, por ser parte de mi vida, pero principalmente por sus sonrisas que tanto me alimentaron, aunque hemos pasado por momentos complicados, pero siempre supimos levantarnos y seguir adelante. En especial a los que están en etapa de formación académica profesional les deseo de todo corazón que tengan mucho éxito recuerden que en esta vida nada imposible solo cuesta un poquito más para alcanzar las metas.

También un agradecimiento muy especial mi hermana *Adela Mendoza Perez (+)* por ser una persona valiente, fuerte e imparable que lucho con todo y contra todo para salvar su vida y la de sus hijos (*Marbella, Aldo, Beny y Soledad Jiménez Mendoza*), pero lamentablemente se nos fueron de este mundo. Sin oportunidad alguna de vivir y disfrutar la vida en este mundo.

Todos llegamos a este mundo con mucha alegría y promesas, sin embargo, solo venimos a sufrir luchamos con todo y contra todos para poder sobrevivir. Cuando llega el momento de partir nos vamos dejando tristeza, dolor, sufrimiento y hasta problemas familiares por eso es mejor vivir y disfrutar día a día como si fuera el último día porque la vida es muy corta.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Posgraduados (COLPOS) por haberme dado la oportunidad de continuar con mi formación académica profesional.

Al posgrado de **Hidrociencias**, académico, laboratorio, administrativos y al personal campo por el apoyo y facilidades otorgadas para hacer las determinaciones pertinentes durante mi permanencia en esta área.

Al **Dr. Carlos Ramírez Ayala** por darme la oportunidad de realizar mi estudio de doctorado bajo su dirección. Su apoyo, confianza y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable. No solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también a mi formación hacia la investigación científica. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas tanto en el experimento como en redacción de la tesis.

Al **Dr. Héctor Flores Magdaleno** por sus comentarios y sugerencias en la orientación del presente trabajo y por su invaluable amistad y valiosa calidad humana.

Al **Dr. Roberto Ascencio Hernández** por su apoyo en la realización y supervisión del experimento. Por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento en la instalación y manejo del sistema de riego.

Al **Dr. Anselmo López Ordaz** por su disposición y apoyo para la revisión de este trabajo. Por brindarme asesoría técnica en el manejo de plagas y enfermedades de los cultivos establecidos en esta investigación y por sus acertados comentarios y orientación durante mi trayecto del doctorado en el Colegio de Postgraduados, así como las observaciones realizadas en la presente tesis.

Al **Dr. Abel Quevedo Nolasco** por su dirección y apoyo, siendo fundamental para el desarrollo de mi estudio de doctorado. Gracias por brindarme esa confianza incondicional la cual se ha transformado en un camino lleno de apoyo y enseñanza continúa hacia la investigación agrícola y por ser fundamental en la revisión de mis artículos científicos.

Al **Dr. Carlos Trejo López** gracias por facilitarme el invernadero para el establecimiento del experimento y por la revisión de mis artículos científicos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE CUADROS	xvii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS PARTICULARES	2
HIPÓTESIS GENERAL	2
CAPÍTULO 1. EFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE JITOMATE CULTIVADO EN INVERNADERO.....	3
1.1. RESUMEN.....	3
1.2. INTRODUCCIÓN	4
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos particulares.....	6
1.2.3. Hipótesis	6
1.3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
1.3.1. Anatomía y fisiología del jitomate.....	7
1.3.2. Requerimientos edafoclimáticos	11
1.3.3. Suelo.....	11
1.3.4. Clima.....	11
1.3.5. Humedad relativa	12
1.3.6. Luminosidad.....	12
1.4. ELECCIÓN DE VARIEDADES DE JITOMATE PARA INVERNADERO..	13
1.4.1. Variedades para invernaderos	13

1.4.2. Jitomate para consumo fresco	13
1.4.3. Características exigibles para consumo en fresco	13
1.4.4. Labores agronómicas	14
1.4.5. Poda.....	14
1.4.6. Brotes laterales	14
1.4.7. Brote apical	15
1.4.8. Entutorado	15
1.4.9. Polinización.....	15
1.4.10. Sustratos y sus propiedades.....	16
1.4.11. Sustrato hortícola	16
1.4.12. Clasificación de sustratos	17
1.4.13. Propiedades físicas	17
1.4.14. Espacio poroso total	17
1.4.15. Agua fácilmente disponible.....	17
1.4.16. Capacidad de aireación	18
1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUSTRATOS	18
1.5.1. Densidad aparente	18
1.5.2. Propiedades químicas.....	19
1.5.3. pH.....	19
1.5.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	19
1.5.5. Disponibilidad de los nutrientes.....	20
1.5.6. Relación de Carbono/Nitrógeno (C/N)	20
1.5.7. Otras propiedades.....	20
1.5.8. Características de algunos sustratos más utilizados	21
1.5.9. Tezontle.....	21
1.5.10. Agrolita	21
1.5.11. Vermiculita.....	22

1.5.12. Lana de roca	22
1.5.13. Turba o peat moss	22
1.5.14. Fibra de coco	23
1.6. NUTRICIÓN DE CULTIVO DE JITOMATE CULTIVADO EN INVERNADERO	24
1.6.1. Sistema y frecuencia de riego	24
1.6.2. Fertilización.....	26
1.6.3. Principios generales de nutrición vegetal.....	26
1.6.4. La solución nutritiva para el cultivo de jitomate.....	29
1.7. MANEJO DE POSTCOSECHA DEL JITOMATE.....	29
1.7.1. Cosecha y postcosecha del jitomate	29
1.7.2. Manejo de la cosecha del jitomate	29
1.7.3. Sistemas de cosecha	30
1.7.4. La cosecha y la maduración de los frutos	30
1.7.5. Manejo de la postcosecha del jitomate.....	33
1.7.6. Factores que afectan la postcosecha de los frutos de jitomate	34
1.7.7. Factores nutricionales.....	34
1.7.8. Factores agronómicos.....	36
1.7.9. Factores ambientales	36
1.7.10. Factores genéticos	38
1.7.11. Parámetro de calidad del jitomate	38
1.7.12. Componentes de calidad de las hortalizas.....	39
1.7.13. Calidad del jitomate	39
1.7.14. Calidad industrial del jitomate	40
1.7.15. Parámetros de la calidad industrial del jitomate.....	41
1.7.16. Contenido de sólidos solubles totales	42
1.7.17. El índice de acidez (pH).....	42

1.7.18. Contenido de materia seca	42
1.7.19. Acidez titulable total y azúcares reductores	42
1.7.20. Rendimiento en zumo	42
1.8. MATERIALES Y MÉTODOS	43
1.8.1. Descripción del experimento.....	43
1.8.2. Semillero	43
1.8.3. Trasplante.....	44
1.8.4. Solución nutritiva.....	45
1.8.5. Sistema de riego	47
1.8.6. Calendario de riego para el cultivo de jitomate variedad Cid F1 cultivado en invernadero.....	47
1.8.7. Entutorado de las plantas	48
1.8.8. Polinización.....	49
1.8.9. Plagas y enfermedades	50
1.8.10. Descripción del marco de plantación	50
1.8.11. Descripción de los tratamientos	50
1.8.12. Materia seca	50
1.9.13. Variables de tiempo atmosférico.....	51
1.8.14. Grados día desarrollo	51
1.8.15. Clasificación de tamaño de fruto.....	52
1.8.16. Evaluación de rendimiento y número de frutos por planta	52
1.8.17. Evaluación de los componentes bioquímicos del fruto.....	52
1.9.18. Evaluación de los caracteres físicos.....	54
1.9.19. Productividad del agua.....	54
1.9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
1.9.1. Componentes bioquímicos	55
1.9.2. Variación de firmeza y solidos solubles totales en diferentes etapas de maduración	57

1.9.3. Caracteres físicos de los frutos.....	59
1.9.4. Número de frutos por racimo	61
1.9.5. Color de frutos de jitomate.....	63
1.9.6. Evaluación de rendimiento.....	64
1.9.7. Productividad del agua.....	65
1.9.8. Relación de las variables atmosféricas con la calidad de frutos de jitomate ..	65
1.9.9. Temperatura y humedad relativa.....	66
1.9.10. Humedad relativa	67
1.9.11. Déficit de Presión de Vapor (DPV)	69
1.9.12. Potencial hídrico atmosférico (Ψ_w)	71
1.9.13. Materia fresca y seca en el cultivo de jitomate	72
1.9.14. Biomasa de materia fresca	72
1.9.15. Biomasa de materia seca	73
1.9.16. Análisis de costos de producción para jitomate	75
1.9.17. Costos de producción para el tratamiento de un tallo por planta (T1)	75
1.9.18. Costos de producción para el tratamiento de dos tallos por planta (T2).....	77
1.10. CONCLUSIONES	78
1.11. LITERATURA CITADA	79
CAPÍTULO 2. EFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN CULTIVADO EN INVERNADERO	91
2.1. RESUMEN.....	91
2.2. INTRODUCCIÓN	92
2.2.1. Objetivo general	94
2.2.2. Objetivos particulares.....	94
2.2.3. Hipótesis	94
2.3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	95
2.3.1. Origen del pimiento morrón	95

2.3.2. Ubicación de pimiento en el mercado	95
2.3.3. Taxonomía del pimiento morrón.....	96
2.3.4. Morfología del pimiento morrón.....	97
2.3.5. Raíz	97
2.3.6. Tallos.....	98
2.3.7. Hojas	99
2.3.8. Flores.....	100
2.3.9. Frutos.....	102
2.3.10. Semillas	104
2.4. EXIGENCIAS DE CLIMA DEL PIMIENTO MORRON CULTIVADO EN INVERNADERO	105
2.4.1. Importancia del clima y repercusión sobre la planta.....	105
2.4.2. Exigencias climáticas en el cultivo del pimiento	106
2.4.3. Temperatura	106
2.4.4. Invernaderos para producción de hortalizas.....	108
2.4.5. Características constructivas	109
2.4.6. Factores que influyen en la duración de los plásticos	111
2.4.7. Tipos de invernadero.....	112
2.5. VARIABLES DE LA CALIDAD DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN	113
2.5.1. Textura del fruto.....	114
2.5.2. Firmeza.....	114
2.5.3. Sólidos solubles totales	114
2.5.4. Color de cosecha	115
2.5.5. Grosor de la pared del fruto (pericarpio).....	115
2.5.6. Antioxidantes del fruto de pimiento.....	115
2.5.7. Valor nutricional del pimiento	116
2.6. LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA LA PRODUCCIÓN DEL PIMIENTO MORRÓN.....	118

2.6.1. Concepto de solución nutritiva verdadera.....	118
2.6.2. Importancia de la solución nutritiva.....	118
2.6.3. Composición química de la solución nutritiva.....	119
2.7. MATERIALES Y MÉTODOS	120
2.7.1 Descripción del experimento.....	120
2.7.2. Semillero	120
2.7.3. Trasplante.....	120
2.7.4. Descripción del marco de plantación y los tratamientos.....	121
2.7.5. Solución nutritiva.....	122
2.7.6. Sistema de riego	124
2.7.7. Entutorado de las plantas	126
2.7.8. Polinización.....	126
2.7.9. Plagas y enfermedades	127
2.7.10. Materia seca	127
2.7.11. Variables climáticas	127
2.7.12. Grados día desarrollo	127
2.7.13. Clasificación de tamaño de fruto.....	128
2.7.14. Evaluación de rendimiento y número de frutos por planta	129
2.7.15. Evaluación de los componentes bioquímicos del fruto.....	129
2.7.16. Evaluación de caracteres físicos.....	130
2.7.17. Evaluación de productividad del agua	130
2.8. RESULTADOS Y DISCUSION	132
2.8.1. Componentes bioquímicos	132
2.8.2. Variación de firmeza y solidos solubles totales en diferentes etapas de maduración	134
2.8.3. Caracteres físicos	136
2.8.4. Color de fruto	137

2.8.5. Rendimiento de pimiento	138
2.8.6. Productividad del agua	139
2.8.7. Clasificación de tamaño de frutos de pimiento morrón	139
2.8.8. Número de frutos por planta	140
2.8.9. Efecto de las variables climáticas en la producción de pimiento	141
2.8.10. Temperatura	141
2.8.11. Efecto de la temperatura en los frutos de pimiento	142
2.8.12. Humedad relativa	144
2.8.13. Déficit de presión de vapor	145
2.8.14. Potencial hídrico atmosférico	146
2.8.15. Efecto de la radiación en los frutos de pimiento morrón	147
2.8.16. Biomasa de cultivo de pimiento morrón	149
2.8.17. Materia fresca	149
2.8.18. Materia seca	150
2.8.19. Costos de producción de pimiento morrón	151
2.9. CONCLUSIONES.....	154
2.10. LITERATURA CITADA	155
CONCLUSIÓN GENERAL.....	164

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema radical de cultivo de jitomate (Garza y Molina, 2008).....	7
Figura 2. Formación de los tallos de jitomate (Mendoza, 2015)	8
Figura 3. Hoja completamente desarrollada de jitomate (Mendoza, 2015).....	9
Figura 4. Flor de jitomate	9
Figura 5. Fruto de jitomate de la variedad Cid F1 (Mendoza, 2015)	10
Figura 6. Germinación de semillas de jitomate	43
Figura 7. Trasplante de plántulas de jitomate en invernadero	44
Figura 8. Entutorado de las plantas de jitomate.....	49
Figura 9. Muestreo destructivo de material vegetal de jitomate.....	51
Figura 10. Comparación de firmeza en diferentes etapas de maduración	58
Figura 11. Etapas de maduración de jitomate (verde, inicio de maduración, naranjado, rojo maduro).....	58
Figura 12. Variación de sólidos solubles totales en diferentes etapas de maduración ..	59
Figura 13. Clasificación de tamaño de frutos en los tratamientos	60
Figura 14. Número de frutos en los racimos para el T1 (un tallo) por planta.....	62
Figura 15. Número de frutos en los racimos para el T2 (tallo principal)	62
Figura 16. Número de frutos en los racimos para el T2 (tallo secundario)	63
Figura 17. Temperatura y humedad relativa adentro del invernadero durante ciclo de cultivo.....	67
Figura 18. Déficit de presión de vapor a nivel diario (izquierda) y a nivel horario (derecha).....	70
Figura 19. Potencial hídrico atmosférico a nivel diario (izquierda) y a nivel horario (derecha).....	71
Figura 20. Materia fresca en la hoja, tallo, fruto, flor y raíz en los tratamientos.....	73
Figura 21. Materia seca en la hoja, tallo, fruto, flor y raíz para los tres tratamientos ..	75
Figura 22. Tallos de planta de pimiento morrón.....	99
Figura 23. Hojas de pimiento morrón en etapa vegetativa	100
Figura 24. Floración de pimiento morrón	101
Figura 25. Fructificación de pimiento.....	103
Figura 26. Trasplante de plántulas de pimiento morrón en bolsas maceteras	121
Figura 27. Instalación y aplicación de riego por goteo en cultivo de pimiento morrón	125

Figura 28. Sistema de entutorado de plantas de pimiento morrón.....	126
Figura 29. Variación de firmeza en diferentes etapas de maduración en pimiento	135
Figura 30. Variación de °Brix en diferentes etapas de maduración de pimiento.....	136
Figura 31. Rendimiento de pimiento morrón.....	139
Figura 32. Clasificación de cantidad (%) de frutos de pimiento en todos los tratamientos	140
Figura 33. Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero	142
Figura 34. Pudrición apical por deficiencia de calcio en pimiento.....	143
Figura 35. Frutos deformes de pimiento en invernadero por bajas temperaturas.....	143
Figura 36. Comportamiento de la humedad relativa en el interior del invernadero	144
Figura 37. Déficit de presión de vapor diario (izquierda) y horario (derecha).....	146
Figura 38. Potencial hídrico atmosférico (izquierda) y horario (derecha).....	147
Figura 39. Manchado de frutos de pimiento morrón por exceso de radiación	148
Figura 40. Daños provocados por el golpe de sol en pimiento en invernadero.....	148
Figura 41. Materia fresca en los órganos de la planta de ambos tratamientos	150
Figura 42. Materia seca en los órganos de la planta en ambos tratamientos	151

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperaturas para diferentes etapas de cultivo del jitomate.....	12
Cuadro 2. Características físicas y químicas de algunos sustratos	23
Cuadro 3. Necesidades hídricas por estado de desarrollo (Medina <i>et al.</i> , 2009).....	25
Cuadro 4. Elementos necesarios para el desarrollo de un cultivo	27
Cuadro 5. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa y CE de 1.0 dS m ⁻¹	46
Cuadro 6. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.072 MPa y CE de 2.0 dS m ⁻¹	46
Cuadro 7. Balance de microelementos para agregar a la solución nutritiva en jitomate.....	47
Cuadro 8. Calendario de riego por día aplicado en el T1 (un tallo) por planta	48
Cuadro 9. Calendario de riego por día aplicado en el T2 (dos tallos) por planta.....	48
Cuadro 10. Contenido de acidez, °Brix, firmeza, vitamina C e índice de madurez del jitomate.....	56
Cuadro 11. Concentración de licopeno y pH, conductividad eléctrica en jitomate.....	57
Cuadro 12. Variación de color en tomate por efecto de número de tallos	64
Cuadro 13. Rendimiento de jitomate variedad Cid F1 cultivado en invernadero	65
Cuadro 14. Costos de producción de cultivo de jitomate en invernadero	76
Cuadro 15. Relación de beneficio costo para el tratamiento de un tallo (T1)	77
Cuadro 16. Relación de beneficio costo para el tratamiento de dos tallos	77
Cuadro 17. Clasificación taxonómica de pimiento morrón (Gerhardt, 1975).....	96
Cuadro 18. Intervalos de temperatura para la germinación.....	107
Cuadro 19. Composición nutrimental del pimiento morrón.....	117
Cuadro 20. Distribución de los tratamientos de cultivo de pimiento morrón.....	122
Cuadro 21. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa y CE 1.0 dS m ⁻¹ aplicado en pimiento morrón ..	123
Cuadro 22. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.072 MPa y CE de 2.0 dS m ⁻¹ aplicado en pimiento morrón.....	123
Cuadro 23. Balance de microelementos de la solución nutritiva aplicado en pimiento	124
Cuadro 24. Calendario de riego aplicado en pimiento morrón en invernadero.....	125

Cuadro 25. Clasificación de frutos de pimiento morrón	128
Cuadro 26. Contenido de acidez titulable, °Brix, vitamina C e índice de madurez en los tratamientos de pimiento morrón	133
Cuadro 27. Contenido de pH, CE y concentración de licopeno en los tratamientos de pimiento morrón.....	134
Cuadro 28. Caracteres físicos de frutos de pimiento en los tratamientos.....	137
Cuadro 29. Variación de color en pimiento por efecto de número de tallos	138
Cuadro 30. Número de frutos obtenidos por categoría en los tratamientos	140
Cuadro 31. Costos de producción de cultivo de pimiento en invernadero	152
Cuadro 32. Relación de beneficio costo para el tratamiento de un tallo	153

INTRODUCCIÓN GENERAL

México es líder en la industria de la producción de hortalizas bajo agricultura protegida en América del norte, con una superficie cercana a las 20,000 hectáreas (SIAP, 2014). Los prototipos de las estructuras para producción consisten en invernaderos de cristal, de plástico incluso mallas-sombra; algunas de ellas incluyen la utilización de acolchado plástico, riego por goteo, ventilación pasiva, sustratos hidropónicos e incluso ambientes climatizados (control de temperatura e inyección de CO₂). El cultivo de jitomate en invernadero es el más importante y cubre una superficie de más de 7,000 hectáreas producidas anualmente (González, 2009).

En años recientes, este tipo de tecnología ha revolucionado la producción y ha incrementado las expectativas de rendimiento de fruta; de tal forma que algunos productores alcanzan rendimientos promedio de 55 kg m⁻² de jitomate, considerando el nivel de tecnología empleada en los diversos tipos de invernaderos (Costa y Giacomelli, 2005).

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) posee una gran variabilidad genética y una amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos principalmente carotenos. Es originario de América del Sur, de la región de Bolivia y Perú, se incorpora a la amplia gama de productos saborizantes y hortalizas al continente europeo y pertenece a la familia botánica de las solanáceas (Figuroa *et al.*, 2015).

México es un gran productor de pimiento, donde la mayor parte de la producción se destina a la exportación, tanto la que se produce a campo abierto como la de invernadero. Aproximadamente se siembran 5,800 hectáreas en todo el país, con rendimientos en campo abierto que va desde 8-43 t ha⁻¹ y en invernadero de 80-150 t ha⁻¹ (Zuñiga *et al.*, 2004). La exportación hacia los Estados Unidos y Canadá ha venido en ascenso llegando a un máximo de 240,000 toneladas en 2006 (Castellanos y Borbón, 2009).

En esta tesis se presenta dos **CAPÍTULOS**: En el **CAPÍTULO 1** consistió en evaluar la respuesta de número de tallos en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas el cultivo de jitomate cultivado en invernadero.

En el **CAPÍTULO 2** consistió en evaluar la respuesta de número de tallos en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas en dos variedades de pimiento morrón cultivado en invernadero.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de número de tallos y su respuesta en la producción, calidad, rendimiento y su relación con las variables climáticas en los cultivos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Valorar y comparar el rendimiento del fruto en jitomate y pimiento morrón.
2. Constatar el tamaño de los frutos entre los tratamientos de acuerdo a su diámetro.
3. Determinar y comparar los parámetros de calidad: componentes bioquímicos (sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, concentración de licopeno, pH, conductividad eléctrica, índice de madurez), los caracteres físicos (firmeza, tamaño, número, color, índice de redondez) entre tratamientos.
4. Determinar y contrastar la productividad del agua en los tratamientos
5. Analizar la relación de las variables climáticas en el desarrollo, producción y calidad de los frutos en ambos cultivos.
6. Determinar el análisis económico relación (beneficio/costo) en los cultivos de jitomate y pimiento morrón en los tratamientos estudiados.

HIPÓTESIS GENERAL

En México existe información limitada sobre el crecimiento y producción de cultivos de jitomate y pimiento morrón cultivado en invernadero. El número de tallo puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad del rendimiento de jitomate y pimiento morrón. A mayor número de tallos por planta es mayor producción, sin embargo, las variables de respuesta como: los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas pueden afectarse.

CAPÍTULO 1. EFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE JITOMATE CULTIVADO EN INVERNADERO

1.1. RESUMEN

El jitomate es una de las hortalizas de mayor consumo en todo el mundo, su producción, calidad y tamaño es afectada por condiciones de clima, riego, nutrición y número de tallos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del número de tallos y su respuesta en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en invernadero. El trabajo se realizó en condiciones hidropónicas. Se utilizó tezontle como sustrato y un sistema de riego por goteo. El experimento consistió en dos tratamientos (T), a un tallo (T1) y a dos tallos (T2) por planta. Se realizaron muestreos en el 5^{to} racimo para determinar de los frutos los componentes (sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, concentración de licopeno), pH, conductividad eléctrica, índice de madurez), caracteres físicos (firmeza, tamaño, número, color,) y rendimiento. Los resultados indican que en los componentes bioquímicos, el T1 (un tallo) por planta presentó mayor concentración de vitamina C con 5.54 mg 100g⁻¹, 4.3 N de firmeza, 11.29 en índice de madurez y 3.17 en conductividad eléctrica. Con relación a los caracteres físicos, el T1 fue mejor con 76, 19, 4 y 1% frutos de tamaño grande, mediano, pequeño y muy pequeños. El rendimiento fue de 28.59 y 37.74 kg m⁻² para T1 y T2. Se encontró que los sólidos solubles totales y el pH aumentaron a medida que se incrementó el número de tallos, sin embargo, la firmeza disminuyó. Además, se observó que al aumentar el número de tallos se incrementó la cantidad de frutos de menor tamaño. El control de las variables climáticas en invernaderos es importante porque las plantas tienen poca capacidad de autorregular su temperatura interna, un control inapropiado puede afectar el desarrollo, producción y calidad de los frutos.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., componentes bioquímicos, caracteres físicos, número de tallos y variables climáticas.

1.2. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor consumo en todo el mundo y la principal hortaliza cultivada bajo invernadero. El sistema de producción intensiva de jitomate bajo invernadero, utiliza variedades de hábito indeterminado y bajas densidades de siembra que varían de dos a tres plantas por metro cuadrado, en los que los tallos de las plantas frecuentemente se podan y se deja un solo tallo que alcanza más de siete metros de longitud (aplicando la labor denominado bajado de plantas), para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año (Chapagain y Wiesman, 2004).

Este sistema de producción en México es relativamente nuevo y ha generado un impacto en el incremento de superficie cultivada, productividad, rentabilidad y calidad en los últimos años (Mendoza-Perez *et al.*, 2018a).

La producción del jitomate bajo invernadero tiene varias ventajas sobre la producción a campo abierto: incrementa la productividad del agua y fertilizantes, control de maduración, reducción de niveles de contaminación, mayor flexibilidad en la fecha de trasplante y cosecha, de acuerdo a la demanda del mercado. Además, permite tener un mejor control en las variables del tiempo atmosférico, riego y nutrición, plagas y enfermedades. Por lo tanto, se cosechan frutos de mejor calidad y sanidad que la producida a campo abierto (Mendoza *et al.*, 2018b). En su trabajo Mendoza-Perez *et al.* (2018a) reportaron que al aumentar el número de tallos por planta en jitomate cultivado en invernadero incrementa el número total de frutos; sin embargo, el tamaño y la firmeza de los frutos disminuye.

El jitomate es un producto básico saludable por su bajo contenido en kilocalorías y grasa y por su alto contenido en fibra, proteínas, vitaminas A, C, E y potasio. Se utiliza en todo el mundo en diferentes presentaciones, ya sea crudo formando parte de ensaladas, como ingrediente en salsas, caldos y guisos o procesado, en forma de salsas, purés, jugos o pasta (Vitale *et al.*, 2010).

Los jitomates son frutos climatéricos y su maduración es acompañada por cambios en el sabor, textura, color y aroma. Durante este proceso se degrada la clorofila y se sintetizan carotenoides, como el licopeno (antioxidante que da el color rojo) y el β -caroteno (precursor de la vitamina A), giberelinas, quinonas y esteroides (Fraser *et al.*, 1994).

El fruto pierde firmeza, debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas, por las enzimas pectinesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y pectatoliasa (PL) (Marín-Rodríguez *et al.*, 2002).

Cuando el fruto se destina a la agroindustria, sus principales variables de calidad son peso seco, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (equivalente de ácido cítrico), pH, viscosidad (flujo bostwick) y color. Puesto que los valores de la pasta del fruto pueden predecirse, a partir de las mismas mediciones realizadas en fruta fresca homogeneizada también llamada pulpa o puré, los análisis deben realizarse en los frutos al momento de la cosecha (Renquist y Reid, 1998).

La calidad del fruto se evalúa por la apariencia, el color, la textura, el valor nutricional, la composición en madurez de consumo, la sanidad, el sabor y el aroma. El sabor se mide por los sólidos solubles y ácidos orgánicos. La calidad de postcosecha y la vida de anaquel de los frutos se controla por el estado de madurez en la cosecha (Alam *et al.*, 2006). El sabor es el resultado de diversos componentes aromáticos volátiles y no volátiles, y de una compleja interacción entre éstos (Yilmaz, 2001).

Usualmente, el fruto se consume con su máxima calidad organoléptica, que se presenta cuando el fruto ha alcanzado por completo el color rojo, pero antes de un ablandamiento excesivo. Por lo tanto, el color es la característica externa más importante en la determinación del punto de maduración y de la vida postcosecha, y un factor determinante en la decisión de compra por parte de los consumidores. El color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de cromoplastos (Fraser *et al.*, 1994).

1.2.1. Objetivo general

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del número de tallos en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en invernadero.

1.2.2. Objetivos particulares

1. Valorar y comparar el rendimiento del fruto en jitomate a uno y a dos tallos por planta.
2. Constatar el tamaño de los frutos entre los tratamientos de acuerdo a su diámetro.
3. Determinar y comparar los parámetros de calidad de jitomate en los: componentes bioquímicos (sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, concentración de licopeno, pH, conductividad eléctrica, índice de madurez), caracteres físicos (firmeza, tamaño, número, color, índice de redondez) entre tratamientos.
4. Determinar y contrastar la productividad del agua en los tratamientos
5. Analizar la relación de las variables climáticas en el desarrollo, producción y calidad de los frutos de jitomate.
6. Determinar el análisis económico relación (beneficio/costo) del cultivo del jitomate en los tratamientos estudiados.

1.2.3. Hipótesis

El número de tallo puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad del rendimiento de jitomate. A mayor número de tallos por planta es mayor producción, sin embargo, las variables de respuesta como: los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas pueden afectarse. Por eso es necesario conocer el comportamiento agronómico del cultivo bajo diferentes condiciones de manejo con fines de calendarización de riego y nutrición.

1.3. REVISIÓN DE LITERATURA

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las Solanáceas. Es una planta herbácea anual, bianual, de origen centro y Sudamérica. Actualmente es cosmopolita, cultivada para consumo fresco e industrializado.

Dentro de la horticultura mundial, el cultivo de jitomate constituye uno de los rubros de mayor dinamismo. De la familia de las Solanáceas, es una planta herbácea cuyo habito de crecimiento puede ser determinado o indeterminado y, sobre esta base, puede ser cultivada de diversas formas y planificar su cosecha según su objetivo, pudiendo encontrar producciones destinadas a procesos industriales o para su consumo fresco, siendo esta última la de mayor diversificación productiva, debido a que el jitomate puede ser cultivado en una alta gama de condiciones durante todo el año. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las heladas y el calor excesivo pueden dificultar su buen desarrollo en ciertas épocas, especialmente en aquellos cultivos establecidos al aire libre.

1.3.1. Anatomía y fisiología del jitomate

Raíz: La planta originada de semilla presenta una raíz principal que crece hasta 2.5 cm diario y alcanza una profundidad de 60 cm. Cuando la planta se trasplanta, la raíz se ve parcialmente detenida en su crecimiento, en consecuencia, se favorece el crecimiento de raíces secundarias que se desenvuelven entre los 5 y 70 cm de la capa del suelo (**Figura 1**). El sistema radical puede abarcar una extensión de 1.5 m de diámetro alrededor de la planta (Garza y Molina, 2008).

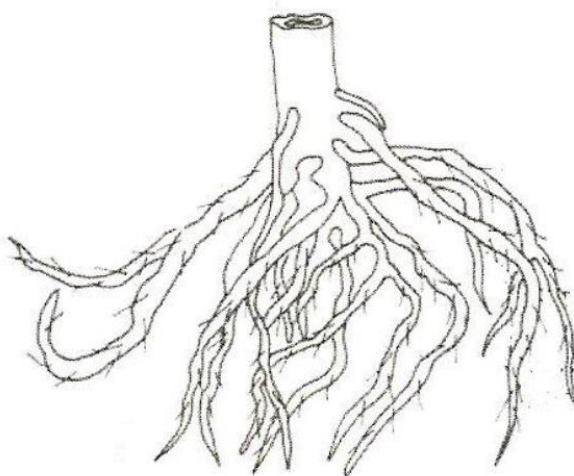


Figura 1. Sistema radical de cultivo de jitomate (Garza y Molina, 2008)

Tallo: Es epigeo, erguido con 0.4 a 4.0 o más metros de altura según se le conduzca, cilíndrico cuando es joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea o algo leñosa, con pubescencias y de duración anual. La ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos determinado e indeterminado; el primero, termina sus ramificaciones en inflorescencia limitándose en consecuencia el crecimiento vertical; el segundo, también se forma racimos en la última, sin embargo, surge una nueva rama y en consecuencia el crecimiento vertical no se limita desde un punto de vista de la morfología de la planta (Garza y Molina, 2008). El tallo, además, está provisto en su superficie de pelos y glándulas que corresponde un líquido de aroma muy característico (**Figura 2**).



Figura 2. Formación de los tallos de jitomate (Mendoza, 2015)

Hojas: Las hojas compuestas, suaves y carnosas, de tamaño variable según la variedad, la posición y las condiciones ambientales. Las dos primeras son de menor tamaño, con menos folíolos; las siguientes pueden alcanzar unos 50 cm de largo, con un folíolo terminal grande y hasta 8 folíolos laterales también grandes, los que a su vez pueden formar folíolos (**Figura 3**). Los folíolos grandes son generalmente peciolados, lobulados irregularmente y con bordes

dentados; de la misma manera que en el tallo, presenta tricomas glandulares con sustancias que le dan el olor característico de la planta (Garza y Molina, 2008).



Figura 3. Hoja completamente desarrollada de jitomate (Mendoza, 2015)

Flores: Las flores son hermafroditas, se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia en el caso de variedades cerasiformes. Normalmente el tipo simple se encuentra en la parte baja de la planta, predominando el tipo compuesto en la parte superior (Garza y Molina, 2008). El androceo presenta cinco o más estambres, adheridos a la corola, con anteras formando un tubo. El gineceo presenta de 2 a 30 carpelos los cuales originan los lóculos del fruto, está constituido por un pistilo de ovario súpero (**Figura 4**).



Figura 4. Flor de jitomate

Fruto: El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo, de forma deprimida, alargada y lobular, piriforme, redondeada, de tamaño variable; la coloración es roja, rosada o amarillenta según la manifestación de licopeno y/o caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene el 33% del peso fresco del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001) (**Figura 5**).

Botánicamente, el fruto de jitomate es una baya compuesta de varios lóculos, consistente de semillas dentro de un pericarpio carnoso desarrollado de un ovario. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada; están compuestos de carne (paredes del pericarpio carnoso desarrollado de un ovario). Una variedad comercial contiene alrededor de 150-300 semillas por fruto (Desai, *et al.*, 1997).



Figura 5. Fruto de jitomate de la variedad Cid F1 (Mendoza, 2015)

Semillas: Las semillas presentan diferentes tonalidades de color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-500 semillas (Rodríguez *et al.*, 2001; Huerres y Caraballo, 1988).

1.3.2. Requerimientos edafoclimáticos

1.3.3. Suelo

La rusticidad de la planta de jitomate permite que sea poco exigente a las condiciones del suelo. Sin embargo, debe tener un buen drenaje; de aquí la importancia de un suelo con alto contenido de materia orgánica. En suelos arcillosos y arenosos, se desarrolla con un mínimo de 40 cm de profundidad.

En cuando al pH del suelo, el óptimo debe oscilar entre 6.0 y 6.5 para que la planta se desarrolle y disponga de nutrientes adecuadamente. Los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos. Es posible encontrar cultivos de jitomate establecidos en suelos que presentan pH de 8, casos como en la Región de Arica y Parinacota, siendo un factor posible de manejar, ya que el jitomate que se cultiva en invernadero tolera mejor las condiciones de pH. En cuando a salinidad tanto del suelo como el agua de riego este cultivo puede tolerar conductividades superiores a 3 dS m⁻¹ (técnica que reduce la evapotranspiración al disminuir el movimiento del agua por capilaridad).

1.3.4. Clima

Aunque se produce en una amplia gama de condiciones de clima y suelo, el jitomate prospera mejor en climas secos con temperaturas moderadas. Su rusticidad asociada a nuevas variedades permite su cultivo en condiciones adversas. No obstante, el jitomate es una especie de estación cálida, su temperatura óptima de desarrollo varía entre 18 y 30 °C por ello, el cultivo al aire libre se realiza en climas templados.

Temperaturas extremas pueden ocasionar diversos trastornos, ya sea en la maduración, precocidad o color. Temperatura bajo 10 °C afectan la formación de flores y temperaturas mayores a 35 °C pueden afectar la fructificación.

Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante en la producción, ya que, cuando es inferior a 10 °C origina problemas en el desarrollo de la planta y tamaño de los frutos, provocando deformidades.

Se debe considerar que los valores de temperaturas por sí solos son referenciales, puesto que su interacción con otros factores altera el desarrollo de la planta. Por ejemplo, la combinación de altas temperaturas con humedad baja, puede generar aborto floral y baja viabilidad del polen.

Cuadro 1. Temperaturas para diferentes etapas de cultivo del jitomate

Características que se puede presentar en las plantas	Temperaturas (°C)
Se hiela la planta	-2°C
Detiene su desarrollo	10–12°C
Desarrollo normal de la planta	18-25°C
Mayor desarrollo de la planta	21–24°C
Germinación óptima	25–30°C
Temperaturas óptimas	
Desarrollo Diurna	Diurna 23–26°C
	Nocturna 13–16°C
Floración Diurna	Diurna 23–26°C
	Nocturna 15–18°C
Maduración	15–22°C

1.3.5. Humedad relativa

El jitomate requiere humedad relativa entre 60-80%, considerando que humedad muy elevada favorece el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas, además, dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta abortando parte de las flores. También está vinculado al agrietamiento del fruto o rajado, cuando se presenta un periodo de estrés hídrico y luego se produce un exceso de humedad en el suelo por riego excesivo.

1.3.6. Luminosidad

La luminosidad en el cultivo de jitomate tiene funciones muy importantes, más allá del crecimiento vegetativo de la planta, el jitomate requiere al menos 6 horas diarias de luz directa para florecer. Estos valores reducidos pueden incidir de forma negativa sobre este proceso y la fecundación. En zonas de alta concentración de polvo en suspensión, durante periodos de recambio de cultivo, se debe realizar lavados frecuentes de las cubiertas de los invernaderos con el objetivo de mejorar la entrada de la radiación. Sin embargo, estudios indican que el fotoperiodo no sería un factor crítico a diferencia de la intensidad de radiación, que si es muy alta se puede producir golpes de sol, partiduras, coloración irregular, entre otros.

1.4. ELECCIÓN DE VARIEDADES DE JITOMATE PARA INVERNADERO

1.4.1. Variedades para invernaderos

La elección de las variedades de jitomate para cultivar en invernaderos debe realizarse con mucho cuidado debido a que existen en el mercado cientos de variedades disponibles, pero no todas son apropiadas para la producción intensiva en invernadero. En México, no existe tradición en la producción intensiva de jitomate en estos sistemas y mucho menos, programas de fitomejoramiento que estén generando variedades apropiadas para ello, por lo que se tiene que hacer una continua evaluación de los materiales que comercializan las empresas semilleras más importantes del mundo, ya que esto permitirá contar con las ventajas que proporcionan las nuevas variedades o híbridos (Pérez y Castro, 1999).

1.4.2. Jitomate para consumo fresco

Cuando se consume en fresco el jitomate puede ser considerado como una fruta o como una hortaliza. Como fruta, se come entero, como una manzana o cortado a rodajas. Usando como hortaliza, se puede cortar a rodajas para bocadillos o gajos para ensalada. Para estos usos, se prefiere en general, los jitomates de tamaño grande y mediano con un buen sabor y color. En el estado de México, está teniendo gran auge la producción de jitomate hidropónico para consumo en fresco (Salazar- Salazar, 2008)

1.4.3. Características exigibles para consumo en fresco

La situación actual del mercado para el jitomate de consumo en fresco y en general de muchas hortalizas es que existe competencia muy fuerte entre las distintas casas productoras de híbridos, lo que trae como consecuencia una constante aparición de nuevas variedades, que tienen normalmente, una vida corta en el mercado y son desplazadas con rapidez por otras posteriores. En una situación de tal competitividad las exigencias para un producto como el jitomate para consumo fresco se requiere frutos de buen tamaño y que sea resistente a plagas y enfermedades (Nuez, 2000).

Principales características que deben presentar los materiales

- Porte abierto de la planta
- Alta productividad
- Precocidad

- Calidad externa del fruto: forma color y homogeneidad
- Calidad interna: cualidades gustativas, dulzura y jugosidad
- Adaptación al sistema de producción y ciclo de cultivo
- Adaptación a condiciones ambientales de lugar
- Resistencia al ataque de plagas y enfermedades

Dependiendo de estas características y la demanda en el mercado, se pueden producir en el invernadero plantas de crecimiento indeterminado tipo saladette y bola.

1.4.4. Labores agronómicas

El principal objetivo de la producción del jitomate en invernadero, consiste en obtener altos rendimientos por unidad de superficie, controlando la mayoría de los factores que inciden en ella, como es el medio ambiente (luz, temperatura, humedad relativa, ventilación, entre otros.), nutrición, sistema de riego, potencial genético de la planta, etc. Otro factor de gran importancia es la labor agronómica, que, manejando bien este aspecto, podemos colaborar en gran medida a un control adecuado de ventilación en el invernadero.

1.4.5. Poda

La poda de hojas es obligada en sistemas de producción intensiva. De no realizarse esta práctica, se genera un microambiente de alta humedad relativa en la parte inferior de las plantas que, por un lado, es propicio para el desarrollo de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y Botritis (*Botritis cinérea*) y, por otra parte, disminuye la penetración de luz, que retarda la maduración de los frutos (Pérez y Castro, 1999).

1.4.6. Brotes laterales

Las plantas de crecimiento indeterminado se caracterizan por su largo ciclo de vida y de cada uno de sus brotes origina una nueva planta de crecimiento indeterminado. El problema de dejar desarrollar todos los brotes es la gran competencia que se genera al interior de la planta por agua, luz y nutrientes. Para que esto no suceda las plantas se pueden podar a uno, dos o tres tallos, siendo estos los que van a desarrollar los frutos. Si dejamos a la planta a un solo tallo, los brotes laterales que van apareciendo se van eliminando, es recomendable la poda semanal o cuando los brotes tienen de 5 a 10 cm de longitud. Se deben de desinfectar las heridas causada por la poda con algún fungicida en solución concentrada o en forma de pasta o bien cuando

son superficies extensas es necesario hacer una aplicación de fungicida foliar después de terminar la poda (Gil y Miranda, 2000).

1.4.7. Brote apical

Los materiales de crecimiento indeterminados tienen una yema vegetativa en la parte apical del tallo principal que permite el crecimiento continuo de la planta, por lo que el sistema de tutores no permite la conducción de la planta a más de diez racimos, es necesario eliminar la yema apical dejando dos o tres hojas del último racimo floral (Pérez y Castro, 1999).

1.4.8. Entutorado

El entutorado se sustenta de un entramado de alambre, solidario con la estructura del invernadero o de forma independiente con postes. Para cada planta se emplea, normalmente un hilo de plástico (rafia de polipropileno, el cual se une la planta bien por anillos de sujeción o liándolo al tallo). Si bien este procedimiento es más propenso a producir rozaduras y heridas al tallo, vía de acceso de enfermedades. En la parte inferior, el hilo se ata a la planta, a un alambre horizontal o se clava al suelo. En la parte superior, el hilo se ata a los alambres de entutorado; para el tipo de entutorado (descolgado), es necesario unirlo a un gancho, que recoge enrollado el resto del hilo, que irá soltándose al crecer la planta y que es utilizado para ciclos más largos; en este sistema, debe evitarse que la parte horizontal de los tallos roce con el suelo, la disposición de los tallos puede no hacerse vertical sino ligeramente inclinada (alternando la inclinación en plantas adyacentes) con el fin de conseguir la máxima intercepción de radiación solar para el cultivo. El apoyo directamente sobre los alambres puede producir lesiones al tallo, por lo que es preferible atarlo con cinta de plástico sujetarlo con anillos o un procedimiento similar (Nuez, 2001).

1.4.9. Polinización

En las variedades comerciales de jitomate a cielo abierto, las plantas se autopolinizan y normalmente no necesitan abejas a menos que el aire este tranquilo y la temperatura sea fría. También se fundamenta que con fotoperiodo menor a 8 horas o baja radiación o ambos, las flores abortan.

La polinización ocurre cuando la temperatura nocturna es entre 13 y 24 °C y cuando la temperatura del día es de 15.5 a 32. °C. Temperaturas más altas o más bajas, particularmente en la noche, las flores caerán sin tener fruto.

En invernaderos la polinización se realiza con un vibrador manual y esto se hace varias veces al día, durante varios días, para asegurar la polinización. Se debe tener cuidado con el movimiento, ya que, si es muy brusco, puede haber rozaduras entre los racimos y producir cicatrizaciones que demeritan la calidad del fruto; así mismo si la polinización es manual con un bastón se deben tener los mismos cuidados (Jones, 1999).

1.4.10. Sustratos y sus propiedades

El suelo, es un medio en el que se tiene lugar funciones de tanta importancia para la vida de las plantas, es con frecuencia el lugar en el que se dan condiciones limitantes que, en diferentes grados, impiden buenos resultados agronómicos. Por este motivo, en la horticultura, es frecuente reemplazar el suelo natural, por sustrato de origen diverso, que en alguna o en todas las fases de un cultivo, permiten superar condiciones limitantes y acercar el sistema radicular y la planta completa a una situación más cercana a la óptima para su nutrición hídrica y mineral (Florian, 1997).

El sustrato adecuado para el cultivo es aquel capaz de retener un volumen suficiente de agua, aire y nutrientes en forma disponible para la planta, así mismo, debe ser bien drenado y permitir el rápido lavado de los excesos de sales que se acumulan en el sustrato, dañando las plantas (Avidan *et al.*, 2004).

La posibilidad de aprovechar como sustrato hortícola la gran diversidad de materiales disponibles en nuestro entorno, está supeditado a un buen conocimiento de sus propiedades, ya que a partir de estas es posible conocer el tipo de elaboración que requieren antes de su uso, sus aplicaciones y establecer las técnicas de manejo adecuado (Florian, 1997).

1.4.11. Sustrato hortícola

El termino sustrato se aplica en la horticultura a todo mineral solido distinto al suelo natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Abad, 1997).

1.4.12. Clasificación de sustratos

La primera etapa de la aplicación de un sustrato en hidroponía es la caracterización del mismo, para conocer sus propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y biológicas.

Los sustratos se pueden clasificar según sus propiedades y origen:

1.4.13. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos son de suma importancia, ya que una vez que el medio este en el contenedor y la planta esté creciendo en él no es posible modificar prácticamente las características físicas básicas de dicho medio. La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como sus variaciones en función del potencial mátrico.

1.4.14. Espacio poroso total

La porosidad de un material es el porcentaje del volumen de espacios libres que se forman entre las partículas o dentro de las mismas. Estos espacios se clasifican en porosidad externa e interna, respectivamente. Los espacios porosos que se forman entre las partículas originan la porosidad externa, esta es generada por la forma de empaquetamiento y grado de compactación a la que se someten los materiales, además, está influenciada por el tamaño del contenedor, la forma, tamaño, naturaleza y características de las partículas constituyentes de la fracción sólida (Bastida, 2002).

Su nivel óptimo se sitúa por encima de un 85% del volumen del sustrato. El total de poros existentes en un sustrato se reparte entre poros capilares de pequeño tamaño, que son los que retienen el agua, y poros no capilares o macroscópicos de mayor tamaño son los que se vacían después de que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Abad, 1997).

1.4.15. Agua fácilmente disponible

El agua fácilmente disponible es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de succión de 10 a 50 cm de columna de agua de potencial mátrico y se considera que en estas condiciones hídricas la planta tiene un crecimiento óptimo.

La cantidad de agua retenida por el sustrato a 10 cm de tensión, corresponde a la capacidad del contenedor, después del drenaje libre. En los buenos sustratos hortícolas, la mayor parte del

agua se retiene a bajo potencial entre 10 y 100 cm de columna de agua, lo que permite una buena disponibilidad de agua para la planta con un nivel de aireación suficiente para las raíces (Florian, 1997).

1.4.16. Capacidad de aireación

Se define como la porción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después que dicho medio ha sido saturado con agua y dejando drenar, usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre un 20 y 30% en volumen. Las raíces requieren oxígeno para mantener su actividad metabólica y su crecimiento. Si la textura o la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros permanezcan llenos de agua después del riego provocaran una inhibición del crecimiento y, a veces, el marchitamiento de la planta. La distribución del tamaño de los poros, es un factor clave del estado hídrico y aéreo de los sustratos.

1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUSTRATOS

El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas y que, junto con el tamaño de los poros, determina el balance entre el contenido en agua y aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retiene suficiente agua, fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire.

Los sustratos pueden estar constituidos por partículas de un solo tamaño o por una mezcla de diferente tamaño de partículas, pueden ser granulares o fibrosas. A esta distribución se conoce como granulometría y se determina mediante el tamizado de muestras de los materiales, para ello se utiliza una batería de tamices de diferentes tamaños de malla, ordenados de mayor a menor tamaño (Bures, 1997).

1.5.1. Densidad aparente

Se define como el cociente que resulta de dividir el peso del suelo seco entre el volumen total incluyendo los poros. Usualmente se expresa en g cm^{-3} (Aguilera, 1996). La densidad aparente juega un papel importante, ya que los sustratos se transportan durante su manejo y manipulación y su peso puede variar. En adición, el anclaje de las plantas debe ser también

considerado como un parámetro de importancia. La densidad aparente de los sustratos no debería superar los 0.4 g cm^{-3} bajo condiciones de invernadero (Abad, 1997).

1.5.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos se caracterizan por la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (fisicoquímica) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica).

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Nuez, 2001).

Los materiales a emplear en el cultivo hidropónico deben ser inertes desde el punto de vista de su actividad química, lo cual significa, que los intercambios de materia entre las fases sólida y líquida deben ser nulo o muy reducidos. La inactividad química del sustrato garantiza que la solución nutritiva no será alterada por el mismo en su equilibrio iónico.

1.5.3. pH

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución e indica la concentración de iones de hidrogeno presentes en una disolución. El pH del sustrato puede afectar la disposición de los iones para la planta, se considera el rango de 5 a 6.5 (en extracto de saturación como óptimo. Los materiales con altos contenidos de carbonato de calcio, son problemáticos y deben desecharse por elevar excesivamente el pH de la solución. En algunos materiales que inicialmente no tienen condiciones adecuadas de pH, se hacen tratamientos iniciales para corregir dichos niveles de partida, como es el caso de la lana de roca $\text{pH}= 7.5$ y la perlita $\text{pH}=7.0$ (Florián, 1997).

1.5.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se define como la suma de los cationes cambiables que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles para la planta (Abad, 1997).

La mayoría de los nutrientes están disponibles para ser tomados por las raíces de las plantas en forma de cationes. La capacidad de intercambio catiónico, es la característica de un sustrato para absorber o retener, por adherencia en sus partículas, los elementos nutritivos en forma de cationes o iones positivos e intercambiarlos con la solución acuosa como vía para penetrar en las raíces y de ahí a todo el sistema de la planta (Bastida, 2002).

1.5.5. Disponibilidad de los nutrientes

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen biológica ni químicamente y desde un punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes. En cualquier caso y para un crecimiento óptimo de las plantas, deberán añadirse siempre nutrientes adicionales como fertilizante durante el ciclo del cultivo.

1.5.6. Relación de Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N en sustratos de origen orgánico, informa sobre su estado de descomposición, en la que intervienen los microorganismos que, en el proceso de transformación del material, consumen principalmente nitrógeno y oxígeno. Estos datos son importantes debido a que el cultivo en sustrato orgánico puede verse limitado en la disponibilidad de estos elementos necesarios. Los materiales con relación C/N altas, son poco estables y han de sufrir una transformación a lo largo del tiempo, que hará variar, no solo sus propiedades químicas sino también las físicas, reducción del volumen, reducción de porosidad y capacidad de aireación. La relación C/N permite apreciar estado de degradación en el que se encuentra el material a emplear como sustrato y su estabilidad a lo largo del cultivo (Florián, 1997).

1.5.7. Otras propiedades

Además de las propiedades físicas y químicas, hasta aquí señaladas. Los materiales a utilizar como sustratos en hidroponía deberían reunir también las siguientes características:

1. Libres de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos
2. Reproducibilidad y disponibilidad
3. Bajo costo
4. Fáciles de mezclar
5. Fáciles de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección
6. Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

1.5.8. Características de algunos sustratos más utilizados

1.5.9. Tezontle

El tezontle o arena volcánica, es un material procedente de las erupciones volcánicas, constituidos por silicatos de aluminio, formando por fragmentos y partículas de lava porosa y poco pesada. Es un material económico que se encuentra de grandes depósitos presentes en todos aquellos lugares en donde existen volcanes. En México abundan principalmente en el eje Neovolcánico, su principal empleo es para balastres de caminos de terracería y en la construcción de casas y edificios. El tezontle puede ser color rojo, negro o amarillo, los tres son buenos para emplearse como sustratos en la hidroponía. Presenta partículas de varios tamaños, mismas que pueden separarse con un tamaño de malla apropiado, para obtener diferentes tamaños de arena y grava.

En general el tezontle en su estado natural presenta partículas de tamaño variable, tiene buena aireación, retención de humedad y está en función del tamaño de partícula; tezontles de partículas pequeñas presentan alta retención de humedad, partículas grandes baja retención. En general presentan buen drenaje, la densidad aparente va de media a alta; poco aporte de nutrientes, baja capacidad amortiguadora de cambios de pH contenido de sales variable, baja capacidad de intercambio catiónico, porosidad del 65 al 70%, con alta porosidad interna, pH de neutro a alcalino; de 7.5 a 8.6, aunque también existe con pH ácido, generalmente está libre de sustancias tóxicas (Bures, 1997).

1.5.10. Agrolita

La agrolita es un sustrato granular de color blanco con una densidad aparente promedio de 130 a 150 kg m⁻³. Su principal componente químico es el silicato de aluminio, que es estéril e inerte. Este material se obtiene de una roca volcánica vítrea llamada perlita, que es un mineral de silicio, cuyas partículas se expanden a temperaturas de 760 a 1000 °C, al evaporarse el agua que contiene en su interior, provocando que los guijarros exploten formando partículas más pequeñas con aspectos esponjoso, parecidas a las palomitas o rosetas de maíz. Para ello las rocas se trituran a un tamaño determinado de partículas, que se expanden de 4 a 20 veces su volumen inicial.

1.5.11. Vermiculita

La vermiculita es un mineral constituido por silicato de aluminio, que presenta una estructura en capas parecida a una mica. El producto comercial se obtiene calentando y expandiendo las partículas de silicato de aluminio, en hornos a temperaturas de 1000 °C. A esta temperatura el agua contenida en su interior se convierte en vapor, separando los estratos en partículas más pequeñas y porosas como esponjas. Este material presenta densidad aparente de 0.11 g cm⁻³, como un 95% de su volumen constituido por espacios porosos, características que permite buena retención de humedad, buena aireación y buen drenaje, facilitando la absorción de nutrientes.

1.5.12. Lana de roca

El material original se extrae de diabasas y caliza. El proceso de extracción se realiza por medios mecánicos. La mezcla homogénea de rocas se introduce en un horno, y se funde todo a unos 1600 °C, la masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale expandida en forma de fibras de 0.005 mm de grosor. Posteriormente se añade estabilizadores, se comprime la lana y adquiere su forma de cintas continuas. Seguidamente, estas cintas son cortadas en planchas o tablas, para ser embaladas (Cervantes, 1997).

1.5.13. Turba o Peat moss

La turba es un sustrato que se caracteriza por presentar una estructura mullida en la que el 95% del volumen está constituido por espacios porosos, con alto contenido de materia orgánica, particularmente de tamaño intermedio; excelente retención de humedad con efecto absorbente como esponja, que puede llegar a ser hasta el 70% del volumen total. Presenta una alta porosidad, pero por las características de sus partículas presenta drenaje relativamente deficiente, que dificulta la aireación, es decir de densidad y peso bajo, de 0.03 a 0.18 g cm⁻³. La densidad real es de 1.5 g cm⁻³, valor que se considera medio para los diferentes tipos de turbas. Contiene pocos nutrientes, pero ayuda a retener los fertilizantes dispersándolos gradualmente, su estabilidad es de media a alta. Presenta pH de 3.5 a 4.0 aunque puede llegar a presentarse hasta de 8.0. Tiene baja capacidad amortiguadora, elevada capacidad de intercambio catiónico y fácil de mezclar con otros productos (Bastida, 2002).

1.5.14. Fibra de coco

La fibra de coco es un sustrato que ha entrado de manera importante a nivel comercial en la última década y que actualmente se encuentra en auge. Se utiliza como componente de mezclar para sustratos de semilleros y plantas ornamentales en maceta como sustituto de turba Sphagnum. Se trata de un sustrato obtenido del mesocarpio del fruto del cocotero (*Coccoloba nucifera* L.). La semilla o endospermo se utiliza con fines alimentarios o para viveros, mientras que la cascara que lo recubre, el mesocarpio, es procesado, separado las fibras largas para su aprovechamiento en la industria textil, y generándose un residuo a base de fibras cortas y partículas más o menos finas (polvo de coco) que puede ser aprovechado como sustrato de cultivo.

El hecho de tratarse de un material que no se contrae ni apelmaza y, aunque quede totalmente seco, recupera la misma capacidad de retención hídrica, lo hacen un importante mejorador de las propiedades físico-químicas de suelos y mezclas de sustratos. Conviene resaltar que la capacidad de retención hídrica de la fibra de coco es enorme, puede retener hasta 8 veces su peso en agua. En el (Cuadro 2) se resumen las principales características físicas y químicas de algunos sustratos.

Cuadro 2. Características físicas y químicas de algunos sustratos

Parámetro (unidad de medida)	Tezontle	Agrolita	Vermiculita
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.77	0.12	0.13
Densidad real (g cm ⁻³)	2.65	2.65	2.65
Espacio poroso total (volumen en %)	70.94	95.47	95.09
Aire (volumen en %)	48.54	74.4	58.76
Agua fácilmente disponible (volumen en %)	6.55	5.13	12.6
Agua de reserva (volumen en %)	1.63	1.39	1.11
Agua difícilmente disponible (volumen en %)	14.31	14.55	33.96
pH	4.6	9.2	8.9
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.02	0.01	0.02
Contenido de elementos extractables (mg L ⁻¹):			
Nitrógeno	6	2	4
Fosforo	9	3	3
Potasio	52	4	31
Calcio	330	190	175
Magnesio	25	7	390

1.6. NUTRICIÓN DE CULTIVO DE JITOMATE CULTIVADO EN INVERNADERO

El jitomate tiene altos requerimientos de agua en cantidad, así como en la frecuencia de suministro. Las necesidades hídricas de jitomate son muy variables y dependen en gran parte de la variedad (crecimiento abierto o compacto), el estado de desarrollo del cultivo, el tipo de suelo o sustrato, la topografía y las condiciones climáticas. El suministro de riego comienza inmediatamente después del trasplante de plántulas en las bolsas.

Desde el trasplante hasta el inicio de la floración, los riegos deben ser cortos y frecuentes, de modo que puedan mantenerse la humedad en los primeros 15 cm de suelo, zona en donde se están desarrollando las raíces. Al principio del cultivo la masa vegetal es muy pequeña, por lo tanto, el consumo hídrico también es pequeña. Este se incrementa paulatinamente conforme la planta va creciendo, hasta que se inicia el cuajado del fruto. De ahí en adelante el consumo de agua se dispara, porque la planta sigue produciendo hojas y tallos nuevos a la vez que van creciendo los frutos. Este consumo se mantiene en las plantas de crecimiento indeterminado hasta que pasa la época de mayor carga de frutos, y luego disminuye hasta el momento de la renovación del cultivo. El periodo más crítico para el riego ocurre desde el inicio de la floración hasta el inicio de la maduración de los primeros frutos, es decir, la época en que la planta llega al máximo desarrollo y demanda hídrica (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018b)

Nunca se debe dejar que el suelo o el sustrato se sequen demasiado y luego repentinamente aplicar grandes cantidades de agua, pues esto ocasiona daños en las plantas, como por ejemplo el agrietamiento en los frutos.

Cuando se riega y se fertiliza el cultivo simultáneamente, es necesario estar controlando la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en el momento en que ésta sale por los goteros. La CE de la solución no debe pasar de 2.5 dS m^{-1} . Conductividades más altas pueden producir la quemazón de raíces y dificultar la toma de agua por parte de las plantas.

1.6.1. Sistema y frecuencia de riego

El invernadero debe contar con un sistema de riego con la suficiente capacidad para suministrar los requerimientos hídricos a las plantas. El riego se debe de aplicar cuando la planta haya consumido el 20% de la humedad aprovechable ya que esto eleva el rendimiento en un 25%.

El sistema de riego ideal para un cultivo de jitomate es el riego por goteo, del cual existen dos sistemas. En el primero, una manguera de polietileno de 16 a 21 mm de diámetro es extendida a lo largo del surco y en la cual se insertan goteros autocompensados de 2 a 4 litros por hora con distancias de 40 a 50 cm (un gotero por planta), y por medio de mangueras delgadas (5 mm) se lleva el agua a la base de cada planta. Un segundo sistema consiste en el uso de cintas de riego con emisores cada 10 o 20 cm con un caudal promedio de 1 litro por hora⁻¹ por emisor. Se utiliza una cinta de riego por cada línea de plantas. La ventaja de este sistema es su funcionamiento a bajas presiones, por lo que puede utilizarse en riegos por gravedad y se alcanza también una alta uniformidad.

En el **Cuadro 3** se presentan los rangos mínimos y máximos de riego durante un ciclo de producción de jitomate bajo invernadero para diferentes semanas. La frecuencia y dosis de riego están relacionadas principalmente con el tipo de suelo y el sistema utilizado.

Cuadro 3. Necesidades hídricas por estado de desarrollo (Medina *et al.*, 2009)

Semanas de trasplante	Estado de desarrollo	Necesidad diaria de agua (L m ⁻² día ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo
1	Enraizamiento	0.6	1.25
2-5	1° al 4° racimo floral	1.5	3
6	5° racimo floral	3.5	3.8
7-9	6to racimo floral	3.5	4
10-11	7° y 8° racimo floral	4	4.5
12-15	Inicio de cosecha	4.5	5
16-17		5.5	6
18-20		5.5	6
21-23		5	5
24-25		5	5
26		5	5
27		5	5

Para hacer un cálculo aproximado del tiempo que debe durar un riego, es necesario conocer la cantidad diaria de agua expresada en litros por metro cuadrado (L m⁻²) que necesita la planta de acuerdo con su estado de crecimiento, las condiciones climáticas, el número de goteros por m⁻² y el caudal (litros por min⁻¹) de cada uno. El tiempo de riego será el resultado de dividir las necesidades de agua expresada en litros por metro cuadrado por el caudal emitido por metro cuadrado. Por ejemplo, en un sistema de producción de jitomate con camas con doble surco, se recomienda un sistema de cinta de riego con emisores cada 10 cm y con caudal de 12

mililitros por cada emisor, con lo cual se tienen aproximadamente 20 emisores o goteros por metro cuadrado. Tomando como ejemplo el cuadro anterior, encontramos que en el estado de producción los requerimientos hídricos son de aproximadamente 5 litros por m² por día. Para estimar el tiempo de riego primero calculamos el caudal por minuto y por m², multiplicando el número de emisores por el caudal por emisor. En este caso, 20 emisores por 12 mililitros que equivalen a 240 mililitros (0.24 L) por minuto. Posteriormente, se divide las necesidades diarias del cultivo (5 litros por m⁻² día⁻¹) por el caudal por metro cuadrado por minuto (5/0.241) que equivalen aproximadamente 21 minutos de riego por día.

Para alcanzar mayor precisión en el cálculo y distribución de agua para el cultivo, se recomienda aforar con frecuencia el sistema de riego midiendo en diferentes goteros el caudal por minuto y obtener un valor promedio. Una vez conocido el tiempo de riego diario, se podrá incrementar hasta en un 20% para compensar posibles pérdidas por infiltración de agua en el subsuelo. También según el tipo de suelo, se recomienda fraccionar el tiempo de riego en dos o tres riegos al día si es en el suelo y de ocho a nueve riegos si fuera en algún sustrato.

1.6.2. Fertilización

La fertilización de los cultivos es uno de los aspectos de la producción que genera más expectativa, debido a que tiene un impacto importante sobre el crecimiento y la calidad de los productos cosechados.

1.6.3. Principios generales de nutrición vegetal

Para un óptimo desarrollo, crecimiento y producción, las plantas de jitomate requieren de 17 elementos químicos o nutrientes, la mayoría de los cuales provienen del suelo o de los fertilizantes aplicados. En el (**Cuadro 4**) se presentan los que se consideran hasta el momento como elementos esenciales.

Estos elementos se denominan esenciales porque cumplen una o varias funciones necesarias para la vida de las plantas. De ellos, el carbono, el oxígeno y el hidrógeno provienen fundamentalmente del aire o del agua, y los 14 restantes son absorbidos directamente del suelo. De los elementos minerales, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) se denominan primarios porque son los que las plantas requieren en mayor cantidad, mientras que el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) se llaman elementos secundarios porque las plantas los toman en menor cantidad que los primarios. El hierro (Fe), el manganeso (Mn), el cobre (Cu),

el zinc (Zn), el boro (B) y el molibdeno (Mo) se conocen como elementos menores o microelementos, siendo bajas las cantidades que se requieren.

Aunque los elementos esenciales cumplen muchas y muy variadas funciones, estas se pueden agrupar en cuatro tipos.

1. Hacen parte de compuestos orgánicos esenciales como: proteínas, ácidos nucleicos, pared celular, clorofila, citocromos: N, P, Ca, Mg, S, B y Cu.
2. Intervienen en la regulación del potencial hídrico o ajuste osmótico de las células: y participación en su turgencia, por ejemplo, el K y Cl.
3. Forman parte de enzimas o en actividades enzimáticas, casi todos: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo y Cl.
4. Son necesarios para el balance electroquímico de las células: cationes (K, Ca, Mg, Na) y aniones (NO₃, SO₄, Cl).

Cuadro 4. Elementos necesarios para el desarrollo de un cultivo

Elemento	Formula química	Forma disponible
Símbolo		Óxidos
C	CO ₂	Dióxido de carbono
H	H ² O	Agua
O	CO ₂ , H ₂ O	Dióxido de carbono y agua
N	NO ₃ ⁻	Nitrato
S	SO ₄ ²⁻	Sulfato
P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Fosfato
Mo	MoO ₄ ²⁻	Molibdato
B	BO ₃ ⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻	Borato
Iones metálicos		
K	K ⁺	Potasio
Ca	Ca ²⁺	Calcio
Mg	Mg ²⁺	Magnesio
Fe	Fe ²⁺	Hierro Ferroso
Mn	Mn ²⁺	Magnesio
Cu	Cu ²⁺	Cobre
Zn	Zn ²⁺	Zinc
Ni	Ni ²⁺	Níquel
Haluro		
Cl	Cl ⁻	Cloruro
Hidruro		
N	NH ⁴⁺	Amonio

La necesidad de agregar vía fertilizaciones algunas de los 17 elementos minerales esenciales surgen cuando el balance entre los que la planta requiere y los que el suelo suministra es insuficiente. Este déficit nutricional se acentúa en casos en que el nutriente es poco móvil y no logra llegar al sitio estratégico de acción tales como hojas, flores o frutos cuajados. En uno u otro caso será necesario reponer la deficiencia vía fertilización al suelo o foliar.

Se recomienda hacer análisis químico del agua y del suelo para determinar el programa nutricional. Estos análisis determinan la capacidad de suministro de nutrientes desde el sistema productivo hacia la planta y, con base a una adecuada interpretación, se puede diagnosticar los aportes, las deficiencias y/o toxicidades de cada nutriente, por lo tanto, la realización de estos análisis es considerado un paso esencial para la formulación de recomendaciones de manejo. Cabe destacar que los periodos de mayor consumo nutricional y una mayor acumulación de biomasa en la planta se asocia con una extracción superior de nutrientes. En este sentido, con el inicio del cuajado y crecimiento de los frutos comienza a aumentar las necesidades de nutrientes de la planta y, en consecuencia, cualquier déficit de algún elemento repercutirá de manera negativa en el crecimiento y rendimiento del jitomate.

En las primeras etapas de crecimiento de la planta de jitomate, las hojas y el tallo son los órganos que más materia seca acumulan en la planta. En las etapas finales del cultivo, los mayores aportes corresponden a las hojas y al fruto.

Diversos autores han estudiado las extracciones de nutrientes en plantas injertadas. Entre los datos obtenidos, se indica que los cultivos incompatibles tienen menor rendimiento con respecto a una planta franca, produciendo un marchitamiento en las hojas. Debido al déficit hídrico producido por la baja conductividad hidráulica del xilema.

En caso contrario, cuando existe compatibilidad, las plantas injertadas presentan mayor vigor, lo cual se refleja en un incremento del 9% en la acumulación de materia seca y en una mayor acumulación de todos los macronutrientes, excepto para magnesio, siendo por lo tanto la práctica de injertar es una buena alternativa para aumentar la eficiencia de absorción de nutrientes.

El objetivo principal del injerto en jitomate es obtener tolerancia a patógenos del suelo, pero se ha ampliado esta práctica a la obtención de mayor absorción de nutrimentos y contenido mineral en la parte aérea, al incremento en el vigor de la planta y al aumento de la vida de postcosecha del fruto. Por esto, es necesario ser riguroso en la nutrición del cultivo, ya que la

planta no permite exceso de fertilizante al ser más eficiente en la extracción de nutrientes. También se debe destacar que el uso simultáneo de portainjertos y variedades vigorosas tiende a reducir el rendimiento comercial cuando el cultivo no se maneja en forma adecuada, aspecto importante el momento de la elección del portainjerto.

1.6.4. La solución nutritiva para el cultivo de jitomate

La solución Steiner (1961) se fundamenta en que mantiene una proporción entre los nutrimentos indispensables para las plantas. Generalmente, se prepara a pH de 5.5 y una presión osmótica de 0.72 atmósferas o su equivalente de 30 me L⁻¹ para que tenga una CE de 2 dS m⁻¹. Para ajustar el pH y conocer la conductividad eléctrica de la solución, y del agua que se tiene para la solución se recomienda la compra de un medidor de pH y de conductividad eléctrica.

1.7. MANEJO DE POSTCOSECHA DEL JITOMATE

1.7.1. Cosecha y postcosecha del jitomate

La cosecha y postcosecha del jitomate constituyen dos aspectos básicos a considerar para lograr alta calidad del producto a comercializar en los mercados y satisfacer las necesidades alimentarias del consumidor (Colombo y Obregón, 2008).

1.7.2. Manejo de la cosecha del jitomate

La cosecha se debe realizar en el momento más adecuado, según la variedad, el lugar de entrega a los comercializadores o consumidores finales. Como regla general, se puede considerar que esta hortaliza debe cosecharse en estado verde maduro o rayado para los mercados más lejanos, y en estado de color rojo para los mercados más cercanos (Sangiaco *et al.*, 2002; Jaramillo *et al.*, 2007). Jaramillo *et al.* (2007) señalan las normas y procedimientos que se deben considerar para la cosecha del jitomate, se mencionan a continuación:

- a) Proteger al producto de la desecación, sobre todo en épocas calurosas;
- b) No cosechar los frutos húmedos por el rocío o mientras se registren altas temperaturas.
- c) Cosechar los frutos con cuidado, evitando producir daños mecánicos.
- d) Efectuar una preclasificación y separar aquellos frutos que presenten daños causados por plagas, enfermedades y procesos fisiológicos.

1.7.3. Sistemas de cosecha

Los sistemas de cosecha para esta hortaliza pueden ser manuales o mecanizados. En general los frutos destinados a la industria se cosechan mecánicamente y los de consumo fresco preferentemente a mano, lo que implica mayor cantidad de mano de obra con mayores costos de producción (Jaramillo *et al.*, 2007). Para realizar la cosecha mecánica se requiere de variedades adaptados para ella y que presenten uniformidad en la producción y maduración (Casanova *et al.*, 2007). La cosecha manual es generalmente escalonada en la planta y se realiza en varias etapas, según el período de producción de las plantas. Al cosechar se debe considerar el estado de madurez y el destino que se le dará al producto; y en otros casos se determina por el tamaño y la coloración del fruto (Gómez *et al.*, 2010).

1.7.4. La cosecha y la maduración de los frutos

La maduración es un proceso químico-físico y fisiológico complejo, que va acompañado de diferentes cambios bioquímicos y fisiológicos del fruto, que conduce al logro de las características sensoriales óptimas de calidad para el consumo del producto (Toivonen, 2007). Se acepta generalmente que la maduración de los frutos es una fase programada del desarrollo de los tejidos vegetales, en la que se han producido cambios en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, al inicio del período climatérico, que se traduce en la coordinación de ciertas reacciones bioquímicas, que se acentúan, y en la aparición de otras nuevas (Wills *et al.*, 2007).

La maduración de los frutos obedece a un programa determinado genéticamente, en el que se coordinan los cambios en la expresión genética de las diferentes transformaciones, que tienen lugar durante el proceso y que determinan sus parámetros de calidad interna y externa (Klee y Giovannoni, 2011).

La maduración es un proceso fisiológico sumamente importante para determinar el momento de cosecha de los frutos de las hortalizas (Taiz y Zeiger, 2010). Se ha demostrado científicamente, que durante este proceso se producen cambios o alteraciones en la composición química de los frutos, que determinan sus propiedades organolépticas como: textura, aroma, sabor y color (Baldwin *et al.*, 2008; Klee y Tieman, 2013).

La maduración de los frutos de jitomate se caracteriza por una fase inicial, donde el crecimiento es lento, con una alta división celular, luego le sigue un período de marcado incremento en tamaño y peso, mayor expansión celular, y por último el ritmo de crecimiento decrece, es

prácticamente en esta etapa, donde se inicia la maduración organoléptica del fruto (Jaramillo *et al.*, 2007).

El uso de técnicas adecuadas de manejo, transporte y comercialización constituye un indicador potencial de la vida útil y calidad postcosecha del jitomate (Jaramillo *et al.*, 2007). De acuerdo a Casierra-Posada y Aguilar (2008) el estado de madurez al momento de la cosecha del jitomate está directamente relacionado con aspectos, tales como:

- ❖ La forma de consumo de las hortalizas (fresco o procesado).
- ❖ La composición química interna de los frutos.
- ❖ La frecuencia de cosecha de los frutos.

Los índices de madurez de los frutos del jitomate, están relacionados con los procesos fisiológicos y bioquímicos que estos experimentan, y con los cambios morfológicos y estructurales que sufre el producto (Contreras *et al.*, 2007). Taiz y Zeiger (2010) plantean que existen diferentes estados de madurez de los frutos y los más importantes son:

- ❖ *Madurez fisiológica*. Es el estado de desarrollo de los frutos que permite que continúe su desarrollo, aún después de cosechados.
- ❖ *Madurez comercial*. Es la etapa de desarrollo de los frutos que permite tener los requisitos para su consumo u otros fines específicos.
- ❖ *Madurez organoléptica*. Son los últimos estadios de crecimiento y desarrollo de los frutos y el inicio de la senescencia que resultan en la sumatoria de características estéticas y/o de calidad, nutritiva del producto, se visualizan cambios de composición, color y textura.
- ❖ *Senescencia*: Es el proceso que sigue a la madurez fisiológica o comercial de los frutos, y que lleva a la muerte de los tejidos vegetales.

1. *Cambios estructurales y de composición en la maduración organoléptica*. Los síntomas externos incluyen cambios de color, textura, sabor y aroma, los cuales representan el resultado de complejos cambios metabólicos que se producen durante la maduración de los frutos como: síntesis de pigmentos, degradación de plástidos y pérdida del contenido de clorofila. Todos estos procesos metabólicos van acompañados de cambios en la

estructura celular de los frutos (Bartz y Brecht, 2003; Wills *et al.*, 2007; Baldwin *et al.*, 2008).

2. *Cambios en la estructura celular.* Durante la maduración organoléptica se observan en los plástidos mayores cambios de su estructura. Por ejemplo, la transformación de los cloroplastos (ricos en clorofila) en cromoplastos (enriquecidos en licopeno), lo que propicia un estadio verde-maduro (Bruhn, 2007).
3. *Cambios en el color.* Se producen transformaciones en la coloración de la clorofila de color verde y hay síntesis y aumento del contenido de compuestos carotenoides (β -carotenos y licopeno), xantofilas, flavonoides y antocianidinas, que le proporcionan cambios de color a la piel y la pulpa de los frutos (coloraciones amarillo-rojizas) (Brandt *et al.*, 2006). Los cambios del color verde a amarillo o rojo se deben a la degradación de la clorofila como consecuencia de los cambios de pH en la célula (Taiz y Zeiger, 2010).
4. *Cambios en la textura.* Son modificaciones en la estructura y composición de las paredes celulares de los frutos, debido a la acción de ciertos complejos enzimáticos como las enzimas poligalaturonasas y pectinasas, que se incrementan durante la respiración celular y la maduración organoléptica, las cuales son las responsables del ablandamiento de los tejidos de los frutos y la disminución de la dureza (Bartz y Brecht, 2003).
5. *Cambios en el sabor y aroma.* Tanto el sabor como el aroma de los frutos del jitomate son el resultado de la combinación de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles. Durante la maduración hay una disminución considerable de los polisacáridos de reservas y estructurales del fruto (almidón, celulosa y pectinas), un aumento de azúcares simples (glucosa y fructosa), una disminución de acidez, producida por los ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y succínico), una reducción de la concentración de taninos y un aumento del contenido de aminoácidos esenciales y proteínas. Esto provoca una mejora del sabor, debido a un incremento del dulzor, una disminución de la acidez, una reducción de la astringencia y como resultado un aumento de la calidad nutritiva (Baldwin *et al.*, 2008). El aroma está determinado por una serie de sustancias volátiles como flavonoides, terpenos, hidrocarburos, aminas, amidas, ácidos orgánicos volátiles, alcoholes, fenoles, ésteres y aldehídos, que influyen en la calidad de los frutos

y que determinan su uso en el consumo fresco o en la industria (Thybo *et al.*, 2006; Baldwin *et al.*, 2008). Estos compuestos provienen preferentemente del metabolismo de los ácidos grasos, aminoácidos y compuestos carotenoides (Tieman *et al.*, 2007).

1.7.5. Manejo de la postcosecha del jitomate

La postcosecha se define como una forma de aumentar el tiempo de la vida útil de los frutos, permitiendo un equilibrio entre la producción y las necesidades de consumo del producto (Kader, 2008). Por otra parte, Zaccari (2009) confirma que los principales objetivos de la tecnología postcosecha a los productos hortícolas son:

- a) Mantener la calidad (apariencia, textura, sabor y valor nutritivo).
- b) Garantizar la seguridad alimentaria.
- c) Reducir las pérdidas entre la cosecha y el consumo del producto.

Toivonen (2007) plantea que existen tres indicadores relacionados con la postcosecha que tienen mayor influencia en la calidad interna y externa de los productos hortícolas:

- ❖ Daños mecánicos durante la cosecha, el envasado y el transporte.
- ❖ Condiciones nutricionales del suelo.
- ❖ Estado de madurez del fruto.

De acuerdo a Pila *et al.* (2010), las pérdidas postcosecha implican la desaparición del producto o parte de él, como alimento de los consumidores y pueden ser de tres tipos:

- a) Pérdidas cuantitativas. Estas involucran una reducción de peso por pérdida de agua y peso seco (pérdidas por desaparición).
- b) Pérdidas cualitativas. Se refieren a cantidades perdidas, según un estándar de calidad dado y son muy difíciles de cuantificar, porque se basan en evaluaciones subjetivas.
- c) Pérdidas nutricionales. Se refieren a la disminución de elementos nutritivos o vitaminas. A pesar de que las evaluaciones de pérdidas resultan complejas, son imprescindibles a los fines de hallar su significado real.

La pérdida de agua, asociada a la transpiración, es la mayor causa de deterioro en términos cuantitativos (pérdidas de peso) y cualitativos (arrugamiento de la piel, pérdidas de textura y calidad nutritiva) de la calidad de los frutos (Kader, 2008).

De acuerdo a Kader (2007), existen otros factores que afectan la calidad interna y externa de los frutos de los productos hortícolas y entre ellos pudieran mencionarse: la respiración, producción de etileno, cambios en la composición química, desarrollo y crecimiento, desórdenes fisiológicos, daños físicos, daños mecánicos, desordenes patológicos y factores ambientales (temperatura, humedad relativa, composición atmosférica y luz) y acción de productos químicos.

Investigaciones en el mundo han confirmado, que las pérdidas postcosecha en el cultivo del jitomate en países subdesarrollados son elevadas (30-50%), mientras que en los países desarrollados no sobrepasan el 25% (Abd-Allah *et al.*, 2011).

Prigojin *et al.* (2005), menciona que las pérdidas postcosecha del jitomate están relacionadas con manejo inadecuado durante la manipulación de la cosecha (daños mecánicos), la falta de sistemas adecuados para la conservación del producto, los trastornos nutricionales y los cambios fisiológicos que experimentan los frutos durante el envasado y el transporte. En los países desarrollados la recolección mecanizada determina en gran medida las pérdidas, tal y como se ha evaluado con tecnologías de frutos electrónicos (Arazuri *et al.*, 2004; Arazuri *et al.*, 2010).

1.7.6. Factores que afectan la postcosecha de los frutos de jitomate

Existen diferentes factores que afectan la postcosecha de los frutos del cultivo del jitomate, entre los cuales se pueden mencionar: la nutrición vegetal (la disponibilidad de nutrientes y de agua), las características del suelo, textura, drenaje, la intensidad y calidad de la luz, la temperatura, la incidencia del clima, factores genéticos (genoma y variabilidad genética de la planta), humedad relativa y otros (Thompson, 2003; Chapagain y Wiesman, 2004; Colombo y Obregón, 2008; Barone *et al.*, 2008; Beckles, 2012).

1.7.7. Factores nutricionales

Una nutrición vegetal adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo de la planta y consecuentemente sobre la calidad del fruto. Tanto el contenido de un nutriente, como el

equilibrio entre dos o más elementos químicos pueden afectar al crecimiento y estado fisiológico del fruto, pudiendo originar alteraciones tanto por deficiencia como por una dosis excesiva (Ruíz-Sánchez, 2008; Gómez *et al.*, 2010).

Aunque se ha estudiado la incidencia de numerosos macros y microelementos sobre la calidad de los frutos, los que han despertado un mayor interés han sido nitrógeno, potasio y calcio, los cuales participan de forma activa en numerosos procesos metabólicos de las plantas (Ruíz-Sánchez, 2008; El-Bassiony *et al.*, 2010).

El contenido de nitrógeno está directamente relacionado con la síntesis de proteínas y carotenoides, pudiendo afectar a la coloración del fruto, tanto a nivel de la piel como de la pulpa (Villareal-Romero *et al.*, 2002; Stefanelli *et al.*, 2010). Aplicaciones bajas de nitrógeno mejoran la calidad de los frutos de productos hortícolas en cuanto al contenido de vitamina C en lechuga (Chiesa *et al.*, 2009) y jitomate (Bernard *et al.*, 2009). Mientras que se ha reportado que cantidades excesivas de este elemento pueden disminuir la firmeza, el contenido de materia seca, azúcares totales, sólidos solubles totales, afectar el color e incrementar la acidez en frutos de manzana (Neilsen *et al.*, 2009) y melón (Cabello *et al.*, 2009).

En general se considera que un contenido excesivo o deficiente de nitrógeno afecta los parámetros nutricionales como: vitamina C, azúcares, pigmentos carotenoides, ácidos orgánicos, aminoácidos esenciales y compuestos fenólicos, así como, también a la textura en posrecolección, tamaño e incluso provoca retrasos en la maduración de los frutos (Ruíz-Sánchez, 2008; Bernard *et al.*, 2009).

El calcio es el elemento que con más frecuencia se ha relacionado con la calidad de los productos hortícolas y en especial con la textura, debido a que participa en numerosos procesos del desarrollo y en el mantenimiento de la estructura de la pared celular, por su capacidad para establecer enlaces iónicos con los grupos carboxilatos de las pectinas (Hao y Papadopoulos, 2003; Melero-Meraz y Rumayor-Rodríguez, 2007).

Este catión (Ca^{2+}) es responsable de un elevado número de alteraciones fisiológicas o fisiopatológicas que se pueden manifestar durante el crecimiento del fruto en la planta o posteriormente en la postcosecha (Hao y Papadopoulos, 2003). Todas ellas tienen una repercusión económica importante, ya que las producciones afectadas no son comercializables. Estas alteraciones pueden acentuarse si en los frutos los niveles de potasio o nitrógeno son altos y los del fósforo son bajos (Angeletti *et al.*, 2010).

1.7.8. Factores agronómicos

Existen numerosos factores agronómicos que afectan sobre todo al tamaño y las características externas del fruto entre los que se destacan: las características del suelo, textura, drenaje y disponibilidad de nutrientes (Giacconi y Escaff, 2004; Gómez *et al.*, 2010). Uno de los factores que condicionan la calidad en el momento de la recolección y durante el proceso de conservación de los frutos es el contenido y momento de aplicación del agua de riego (Gómez *et al.*, 2010). El sistema y momento del aporte hídrico también afectan a la calidad y la aparición de fisiopatologías y podredumbres durante la posrecolección (Colombo y Obregón, 2008). Cuando el riego se realiza en fechas próximas a la recolección se observa un aumento de tamaño y dilución de los componentes celulares, con la consiguiente pérdida de calidad sensorial, rajado y agrietado de los frutos (Jaramillo *et al.*, 2007; Colombo y Obregón, 2008).

1.7.9. Factores ambientales

La mayoría de los factores ambientales son difícilmente modulables para los cultivos en campo, y se ha comprobado que tienen una gran influencia en la calidad y valor nutricional del jitomate, la intensidad y calidad de la luz, las temperaturas, la humedad relativa y el contenido de CO₂ en el ambiente (Thompson, 2003; Gómez *et al.*, 2010).

La humedad relativa no solo influye sobre la pérdida de agua, sino también sobre la actividad de los patógenos en el producto almacenado, se plantea que el rango óptimo de humedad relativa en la conservación de los frutos de jitomate está alrededor de un 85-90% (Thompson, 2003).

Cuando la pérdida de humedad del fruto es mayor del 5%, el turgor celular puede verse afectado y en consecuencia la textura puede disminuir sensiblemente (Del Pino *et al.*, 2002; Colombo y Obregón, 2008).

Uno de los factores climáticos que más afectan a la calidad del fruto del jitomate son las altas temperaturas en el período pre y postcosecha, pudiendo originar un amplio rango de alteraciones. La magnitud del daño depende del rango de temperatura, tiempo de exposición y estado de desarrollo del fruto (Znidarcic y Pozrl, 2006; Jaramillo *et al.* (2007). Los efectos directos inducen daño en las membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos y los indirectos inhibición de la síntesis de pigmentos o degradación de los ya existentes, produciéndose una amplia gama de síntomas de quemaduras (Del Pino *et al.*, 2002; Colombo y Obregón, 2008).

Las bajas temperaturas afectan no solo el color de los frutos, sino también, sus propiedades organolépticas, debido a cambios en el contenido en sólidos solubles totales, azúcares y acidez titulable (Gautier *et al.*, 2008; Znidarcic *et al.*, 2010). Por otra parte, se ha demostrado que temperaturas en el rango de 10 y 20 °C favorecen el incremento de los sólidos solubles totales y una reducción de pérdidas de peso y de acidez titulable en frutos de jitomate (Znidarcic y Pozrl, 2006).

De acuerdo a Bartz *et al.* (2010), los frutos almacenados en postcosecha presentan distintos tipos de problemas por efecto de la temperatura y dentro de ellos, los más comunes son:

- a) Daño por enfriamiento. Los frutos de jitomate son muy susceptibles a las bajas temperaturas o enfriamiento, las que provocan daños irreversibles.
- b) Daños por congelamiento. Es el fenómeno físico por la exposición de los frutos a temperaturas que forman hielo en el interior de las membranas, lo que provoca la desintegración y muerte celular.
- c) Daño por altas temperaturas. Este tipo de daño es inexistente en condiciones normales de postcosecha, sólo se presenta por fallas de los equipos de enfriado o de mantenimiento y sus resultados suelen ser totalmente destructivos.

Los componentes gaseosos del medio abiótico que interactúan con el producto cosechado son varios y desde el punto de vista de la conservación de los frutos de las hortalizas, los gases de mayor relevancia son el oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) y la calidad de los frutos depende de la concentración de ambos gases y de la relación existente entre ambos (Kader, 2002; Colombo y Obregón, 2008).

De acuerdo a Sangiacomo *et al.* (2002) el uso de atmósferas controladas y modificadas de gases para la conservación postcosecha de los productos hortícolas constituye una alternativa viable para mejorar la calidad química de los frutos. Las atmósferas controladas retardan los cambios bioquímicos y fisiológicos de los frutos relacionados con: la senescencia, la respiración, la producción de etileno, los cambios en la composición química, el ablandamiento de los frutos y la disminución de la severidad del ataque de patógenos (Sangiacomo *et al.*, 2002; Colombo y Obregón, 2008).

1.7.10. Factores genéticos

Se considera que el genoma es el responsable del funcionamiento de la planta en relación con las condiciones medioambientales y que la cosecha de frutos de calidad depende del comportamiento de una variedad en un medio externo determinado (Barone *et al.*, 2008).

La variabilidad genética de una variedad de jitomate, dentro de una misma especie, es relativamente amplia, por lo que la selección de la más apropiada es de vital importancia para la calidad interna y externa del producto final. Es importante considerar que inicialmente el genoma va a determinar cuantitativa y cualitativamente no solo los parámetros responsables de la calidad organoléptica y nutricional del jitomate, sino también otros que repercuten sobre la aptitud del fruto a evolucionar tras la recolección y su capacidad de conservación (Moya *et al.*, 2009; Klee y Tieman, 2013).

Recientemente, las técnicas de Biología Molecular se han convertido en una alternativa, complementaria a la Genética Clásica, para mejorar los atributos de calidad y prolongar la vida comercial útil en postcosecha del jitomate y otros cultivos hortícolas de interés (Klee y Giovannoi, 2011; Klee y Tieman, 2013).

1.7.11. Parámetro de calidad del jitomate

La calidad es un concepto muy ambiguo y se define como el grado de excelencia o superioridad de un producto (Bartell *et al.*, 2010). Los parámetros de calidad de las hortalizas, frutas y vegetales varían con las preferencias de los consumidores y dependen de diferentes características y atributos del producto (Wills *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2011). Sin embargo, no existe un solo tipo de calidad, actualmente se habla de calidad de mercado, calidad nutritiva y calidad comestible (Zaccari, 2009; Bartell *et al.*, 2010).

En un producto hortícola, la calidad se debe a las siguientes características como: buena apariencia, altos rendimientos y resistencia a enfermedades, transporte, manipulación y conservación (Bartell *et al.*, 2010). Por otra parte, se plantea que, desde el punto de vista del consumidor, la calidad puede ser objetiva o una apreciación subjetiva (Zaccari, 2009). Kader (2008) señala, que para obtener frutos con una calidad diferenciada deberían tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Selección de cultivos de elevada calidad organoléptica.
2. Identificación de prácticas de cultivo óptimas para maximizar la calidad.
3. Cosechar los frutos en etapas de maduración adecuadas, protegiéndolos a su vez de daños mecánicos.
4. Identificación de las condiciones óptimas de manejo en postcosecha (temperatura, tiempo de conservación y humedad relativa).
5. Desarrollo de productos con buen sabor y vida útil adecuada.
6. Optimización de los métodos de procesamiento para conservar la calidad y el sabor de los productos procesados.

1.7.12. Componentes de calidad de las hortalizas

Los principales componentes que determinan la calidad de las hortalizas, se basan en los siguientes aspectos: apariencia, textura, sabor, acidez, aroma, tamaño, dulzor, forma, color, brillo, firmeza, dureza, astringencia, defectos (externos, internos, patológicos, entomológicos, físicos y mecánicos), valor nutritivo (contenido de carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales), seguridad alimentaria (contenido de toxinas naturales, residuos de agroquímicos, metales pesados, micotoxinas y contaminación microbiana) (Zaccari, 2009; Sánchez *et al.*, 2011).

1.7.13. Calidad del jitomate

La composición química es una de las características más importantes de los frutos del jitomate, ya que determina su atracción y valor nutritivo como alimento, su metabolismo y ciertos requerimientos y prácticas de manejo en postcosecha (Thybo *et al.*, 2006).

En los frutos del jitomate, los porcentajes relativos de carbohidratos, lípidos, proteínas, fibras y vitaminas son medios, debido a la gran cantidad de agua que contiene esta especie (Sortino *et al.*, 2013). La fibra está compuesta principalmente por carbohidratos, con valores de fibra dietética que ascienden hasta el 80% del total de fibra, siendo la parte insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) el componente principal, relegando a la fibra soluble (pectinas) a un segundo plano (Navarro-González *et al.*, 2011).

En el caso del jitomate y considerando las apreciaciones del consumidor y las necesidades del mercado, el estudio de la calidad se ha centrado en los aspectos organolépticos, los cuales dependen principalmente de una mezcla compleja formada por azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y compuestos volátiles (Baldwin *et al.*, 2008). Varios estudios han relacionado estos compuestos químicos con las propiedades organolépticas del jitomate (Causse *et al.*, 2007), donde se ha obtenido una alta relación entre el dulzor, el contenido de azúcares y sólidos solubles totales (Tandon *et al.*, 2003).

Actualmente, la calidad interna del jitomate es estimada tanto a partir de estudios sensoriales como mediante mediciones de indicadores como: sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (Anjanappa *et al.*, 2013). La calidad sensorial del jitomate fresco y su aceptabilidad por los consumidores es un problema muy complejo y está determinada no solamente por la apariencia, firmeza, textura y el sabor de los frutos, sino también por otros factores, incluyendo el color, la textura, el aroma, la composición química de metabolitos primarios (azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos) y secundarios como los compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides y otros (Thybo *et al.*, 2006; Davila-Aviña *et al.*, 2011). El licopeno como sustancia antioxidante ha sido objeto de evaluación con la tecnología de Espectroscopia NIR (Arazuri *et al.*, 2010).

El sabor y la textura de los frutos son factores cruciales, que determinan las características organolépticas del jitomate, ya que son componentes críticos de la percepción de los consumidores a la hora de seleccionar el producto (Chaib *et al.*, 2007).

Algunos investigadores han sugerido que el análisis y medición de algunos indicadores de calidad como: la relación sólidos solubles totales /acidez titulable, es un importante factor para definir las diferencias en el sabor entre variedades de jitomate, otros indican que el sabor de los frutos puede ser mejorado, incrementando el contenido total de azúcares y ácidos orgánicos (Baldwin *et al.*, 2008). Generalmente, un incremento en estos compuestos resulta en un correspondiente aumento en la intensidad del sabor, lo que implica una mejora en la calidad postcosecha de esta hortaliza (Thybo *et al.*, 2006).

1.7.14. Calidad industrial del jitomate

La producción del jitomate de uso industrial en 2010 se estimó en alrededor de 145.8 millones de toneladas, siendo el segundo vegetal de mayor consumo después de la papa (FAOSTAT, 2010). La facilidad y rapidez con la que se procesan actualmente los jitomates, dando lugar a

varios productos, hace que sea una de las hortalizas más populares para las industrias de conserveras y de proceso (Serna y Castro, 2003).

El rápido desarrollo de la industria para procesado del jitomate en los países desarrollados, en las recientes décadas, puede ser atribuido a la introducción de variedades mejoradas, técnicas de producción más eficientes y mejores métodos de procesado (Jaramillo *et al.*, 2007), así como a su recolección totalmente mecanizada (Arazuri *et al.*, 2004; Arazuri *et al.*, 2010).

La conserva del jitomate ha sido tradicional a nivel familiar desde principios de siglo XX, pero en la década de los años 70 experimentó un gran auge, que se ha mantenido hasta la actualidad. Son numerosas las formas de presentación del jitomate en conserva: jitomate natural pelado y triturado, jitomate frito, jitomate concentrado, zumo de jitomate y salsas de jitomate (Jaramillo *et al.*, 2007).

Las características que han de reunir las diferentes variedades de jitomate para ser utilizadas con fines industriales se refieren a la forma, el color y el tamaño, pero son más importantes los caracteres relativos a la calidad interna de los frutos como: acidez, contenido en azúcares, sólidos solubles totales (°Brix) y el porcentaje de materia seca (Hemaprabha y Balasaraswathi, 2008).

La calidad del jitomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial (Angarita, 2004; Jaramillo *et al.*, 2007).

Existen otras características que determinan la calidad industrial del jitomate como: el color, la apariencia y la firmeza (Baldwin *et al.*, 2008). Aunque la calidad depende también del sabor y la consistencia de los frutos. Angarita (2004) y Baldwin *et al.* (2008), señalan que los mejores jitomates son los que poseen proporciones adecuadas de azúcares y de ácidos orgánicos.

1.7.15. Parámetros de la calidad industrial del jitomate

Bartell *et al.* (2010), señalan que existen diferentes parámetros o indicadores, que determinan la calidad interna de frutos de jitomate para la industria y dentro de ellos, los de mayor importancia son los siguientes:

1.7.16. Contenido de sólidos solubles totales

Ambos índices están correlacionados entre sí, pero normalmente se utiliza el contenido en sólidos solubles totales (expresado en °Brix) por ser más fácil de determinar. En la mayor parte de las variedades, este indicador se sitúa entre 4.5 y 7.5 °Brix y puede estar influenciado por otros factores como, el clima, el riego, el estado de madurez de los frutos y otros. Para el caso del puré, las pastas y concentrados de jitomate este parámetro oscila entre 5 y 18 °Brix.

1.7.17. El índice de acidez (pH)

Para la producción industrial de puré de jitomate, el pH del zumo se sitúa normalmente entre 4.2 y 4.4, siendo muy raro que se superen estos valores.

1.7.18. Contenido de materia seca

El contenido de materia seca es sobre todo importante en las variedades destinadas a la fabricación de concentrado, debido a que este indicador determina el rendimiento de fabricación.

1.7.19. Acidez titulable total y azúcares reductores

Ambos caracteres influyen sobre el sabor del fruto. La acidez total suele oscilar entre 3.5 y 4.0 g L⁻¹ de zumo y los azúcares reductores entre 25 y 30 g L⁻¹.

1.7.20. Rendimiento en zumo

Es el porcentaje de zumo que se obtiene de un peso determinado de los frutos, lo cual depende en gran medida de la variedad empleada.

1.8. MATERIALES Y MÉTODOS

1.8.1. Descripción del experimento

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, (19.46° de latitud Norte y 98.90° longitud Oeste a 2244 m de altitud). El invernadero utilizado fue una nave con tres túneles con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con 75% de transmisividad, equipado con un sistema de ventilación pasiva, (ventilas laterales y cenitales de apertura manual) y provisto con una malla anti-insecto en las paredes laterales. La temperatura media registrada durante todo el ciclo de cultivo adentro del invernadero fue de 18.87 °C, de 24.95 °C para el mes más caliente (mayo) y 10.89 °C para el mes el más frío (noviembre).

1.8.2. Semillero

Se usaron semillas de jitomate tipo saladette variedad Cid F1 de crecimiento indeterminado. Los cuales fueron sembrados en charolas germinadoras el 14 de marzo, se trasplantó el 15 de mayo y se finalizó la cosecha el 30 de noviembre de 2017. Las plantas se mantuvieron a 1 y 2 ejes a través de poda de brotes laterales, y se despuntaron el 30 de agosto de 2017, sobre el décimo racimo floral.



Figura 6. Germinación de semillas de jitomate

1.8.3. Trasplante

El trasplante se realizó 62 días después de la siembra, las plántulas se extrajeron de la charola con cepellón y se colocaron en bolsas maceteras con tezontle rojo (roca volcánica) con dos orificios en la parte inferior para drenar excedentes de fertirriego (**Figura 7**). Inmediatamente después del trasplante se aplicó el riego con solución nutritiva diluida de Steiner (1984) bajo un sistema de riego por goteo.



Figura 7. Trasplante de plántulas de jitomate en invernadero

Cinco días antes de trasplante se aplicó un riego pesado al sustrato hasta punto de saturación, después se hicieron dos orificios en la parte inferior de las macetas para drenar los excedentes del agua y posteriormente se esperó hasta que sustrato llegara a capacidad de campo para realizar el trasplante. Las características de las plántulas trasplantadas fueron de 15 cm de altura con tres a cuatro hojas verdaderas, con cepellón y apariencia sana. Esta labor se efectuó cuidando que la raíz quedara vertical y el cuello de la plántula al nivel del sustrato. Una vez realizado el trasplante la planta se desarrolló bajo un sistema hidropónico bajo condiciones protegidas. Al momento del trasplante, las raíces de las plántulas se sumergieron en una solución de fungicida Previcur con una dosis de 1 mL L⁻¹ de agua como medida preventiva para el ataque de patógenos.

1.8.4. Solución nutritiva

La formulación química de la solución nutritiva utilizada, se originó a partir de la solución descrita por Steiner (1984), que consisten en restar los aniones y cationes detectados con base al análisis de agua previamente determinado. La solución nutritiva Steiner (1984) ha sido usada en varios estudios ya que sus relaciones nutrimentales entre aniones y cationes, así como de su concentración permiten satisfacer los requerimientos nutrimentales de diversos cultivos; cuando en la solución nutritiva se tiene un potencial osmótico de -0.072 MPa se pueden obtener frutos de jitomate de mejor calidad y plantas de mayor crecimiento. Por otra parte, Lara (1999), indica que los nutrimentos presentes en las soluciones nutritivas deben tener un balance adecuado y que su aplicación debe considerar las condiciones ambientales y fenología del cultivo ya que de ello depende un buen desarrollo del cultivo.

La calidad de agua utilizada en este experimento tuvo un pH de 6.69; una conductividad eléctrica de 0.34 dS m^{-1} ; 0.8 , 0.1 , 1.2 , 0 , 0 , 0.1 y 3.2 meq L^{-1} de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , HCO_3^- . Lo cual indica que se trata de un agua neutro en la cual se puede generar fácil absorción de nutrimentos por las plantas, en todo caso, la cantidad de bicarbonatos presentes se neutralizo adicionando ácido sulfúrico (2.2 meq L^{-1}) lo cual permite que el pH tenga un valor más cercano a 6.5. La cantidad de iones presente tampoco sobrepasa valores establecidos para aguas de riego, en este caso, para la preparación de la solución nutritiva fue necesario adicionar más iones en forma de fertilizante para complementar las necesidades del cultivo de jitomate.

Para obtener los valores de cationes y aniones recomendados por Steiner (1984), se realizó el balance para dos soluciones nutritivas, una fue elaborada con una CE= 1.0 dS m^{-1} equivalente a un potencial osmótico de -0.036 MPa (**Cuadro 5**) que se aplicó desde el momento de trasplante en las bolsas maceteras hasta la fructificación de 2^{do} racimo. La otra solución nutritiva se preparó con una conductividad de CE= 2.0 dS m^{-1} equivalente a un potencial osmótico de -0.072 MPa (**Cuadro 6**), que se aplicó de la etapa de fructificación del 2^{do} racimo hasta final del cultivo.

Las características de los ácidos fueron los siguientes: para H_2SO_4 con pureza del 98% y densidad de 1.84 g mL^{-1} y para H_3PO_4 con pureza de 85% y densidad de 1.7 g mL^{-1} .

Cuadro 5. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa y CE de 1.0 dS m⁻¹.

	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻			
	meq L ⁻¹								
	Cationes			Aniones					
Steiner	4.5	3.5	2	6	0.5	3.5			
Análisis de agua	0.8	0.1	1.2	0	0	0.1			
Ajuste	3.7	3.4	0.8	6	0.5	3.4			
Fertilizantes							PM	PE	g 5m ⁻³
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	3.7			3.7			236.2	0.118	2183.0
KNO ₃		2.3		2.3			101.11	0.101	1161.5
MgSO ₄ · 7H ₂ O			0.8			0.8	246.51	0.123	492.0
K ₂ SO ₄		1.1				1.1	174.26	0.087	478.5
H ₂ SO ₄						2	98.08	0.049	271.96 mL
H ₃ PO ₄					0.5		98	0.098	168.56 mL
Suministro	4.5	3.5	2	6	0.5	4			

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

Cuadro 6. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.072 MPa y CE de 2.0 dS m⁻¹.

	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻			
	meq L ⁻¹								
	Cationes			Aniones					
Steiner	9	7	4	12	1	7			
Análisis de agua	0.8	0.1	1.2	0	0	0.1			
Ajuste	8.2	6.9	2.8	12	1	6.9			
Fertilizantes							PM	PE	g 5m ⁻³
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	8.2			8.2			236.2	0.118	4838.0
KNO ₃		3.8		3.8			101.11	0.101	1919.0
MgSO ₄ · 7H ₂ O			2.8			2.8	246.51	0.123	1722.0
K ₂ SO ₄		3.1				3.1	174.26	0.087	1348.5
H ₂ SO ₄						1.5	98.08	0.049	258.1 mL
H ₃ PO ₄					1		98	0.098	337.1 mL
Suministro	9	7	4	12	1	7.5			

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

Para complementar las necesidades de micronutrientes se realizó el balance de fertilizantes según las necesidades de elementos en (ppm) parte por millón (**Cuadro 7**). Estas cantidades de elementos se agregaron cada vez se preparó la solución nutritiva.

Cuadro 7. Balance de microelementos para agregar a la solución nutritiva en jitomate

		Mn ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Cu ²⁺	B			
Requerimiento		2.3	0.6	2	0.06	0.6			
		ppm							
		Pesos moleculares.							
Fertilizantes		54.94	65.37	55.85	63.57	10.81	PM	g m ⁻³	5 4m ⁻³
Sulfato de Manganeseo	Mn SO ₄ · H ₂ O	2.3					169.02	7.08	35.4
Sulfato de Zinc	Zn SO ₄ · 7H ₂ O		0.6				287.57	2.64	13.2
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ · 7H ₂ O			2			278.05	9.96	49.8
Sulfato de cobre	Cu SO ₄ · 5H ₂ O				0.06		249.73	0.24	1.2
Ácido bórico	H ₃ BO ₃					0.6	61.84	3.43	17.15
	suministro	2.3	0.6	2	0.06	0.6			

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

1.8.5. Sistema de riego

El sistema de riego fue goteo, con línea regante superficial de 16 mm en diámetro, con goteros autocompensados separados a 40 cm y un gasto de 4 L h⁻¹ por gotero, con una presión de operación de 68.64 KPa. En la etapa de trasplante hasta inicio de fructificación de 2^{do} racimo se aplicó la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa, en donde se aplicaron 6 riegos al día de (0.18 L). Después del 2^{do} racimo hasta el final del cultivo se aplicó la solución nutritiva de -0.072 MPa, donde los riegos aplicados en cada una de las etapas se presentan en el **(Cuadro 8)**. La programación de los riegos fue aplicada de acuerdo a las recomendaciones hechas por Flores *et al.* (2007) y por Mendoza-Pérez *et al.* (2018b) en sus trabajos de estimación de requerimiento hídrico mediante lisímetros de drenaje en jitomate cultivado en invernadero. La fertilización se reforzó vía foliar con (Nutriplus) con una dosis de 1 (mL L⁻¹).

1.8.6. Calendario de riego para el cultivo de jitomate variedad Cid F1 cultivado en invernadero

En el **(Cuadro 8)** se puede observar el calendario de riego aplicado en cada una de las etapas fenológicas en el cultivo de jitomate cultivado en invernadero durante todo el ciclo en el T1 (un tallo) por planta donde se aplicó un total de 196.05 litros por planta. En el **(Cuadro 9)** se puede observar el calendario de riego aplicado en el T2 (dos tallos) por planta, aplicando un total de 222.81 litros por planta.

Cuadro 8. Calendario de riego por día aplicado en el T1 (un tallo) por planta

Etapas fenológicas	Tiempo de riego (min)	Volumen de riego por minuto (mL)	Volumen (L plt ⁻¹ por día)	Volumen (L m ⁻²)	Duración de la etapa	Volumen por etapa (L plt ⁻¹)
Trasplante-Fructificación 2 ^{do} racimo	6	30	0.180	0.540	56	10.08
Inicio de fruto de 2 ^{do} racimo- Fructificación 5 ^{to} racimo	16	30	0.480	1.440	19	9.12
Inicio de fruto 5 ^{to} racimo- Fructificación 6 ^{to} racimo	30	30	0.900	2.700	10	9.00
Inicio de fruto de 6 ^{to} racimo- Cosecha de 6 ^{to} racimo	55	30	1.650	4.950	72	118.8
Cosecha de 6 ^{to} racimo- Cosecha de 10 ^{mo} racimo	45	30	1.350	4.050	27	36.45
Cosecha de 10 ^{mo} racimo- Cosecha de 12 ^{vo} racimo	28	30	0.840	2.520	15	12.60
Total						196.05

Cuadro 9. Calendario de riego por día aplicado en el T2 (dos tallos) por planta

Etapas fenológicas	Tiempo de riego (min)	Volumen de riego por minuto (mL)	Volumen (L plt ⁻¹)	Volumen (L m ⁻²)	Duración de la etapa	Volumen por etapa (L plt ⁻¹)
Trasplante-Fructificación 2 ^{do} racimo	6	30	0.18	0.54	56	10.08
Inicio de fruto de 2 ^{do} racimo- Fructificación 5 ^{to} racimo	16	30	0.48	1.44	19	9.12
Inicio de fruto 5 ^{to} racimo- Fructificación 6 ^{to} racimo	40	30	1.2	3.6	10	12.00
Inicio de fruto de 6 ^{to} racimo- Cosecha de 6 ^{to} racimo	66	30	1.98	5.94	72	142.56
Cosecha de 6 ^{to} racimo- Cosecha de 10 ^{mo} racimo	45	30	1.35	4.05	27	36.45
Cosecha de 10 ^{mo} racimo- Cosecha de 12 ^{vo} racimo	28	30	0.84	2.52		
Total						222.81

1.8.7. Entutorado de las plantas

Las plantas se condujeron a 1 y 2 tallos, para esto se eliminaron los brotes axilares de los tallos principales durante todo el ciclo de cultivo, esta práctica se hizo manualmente y se inició a los 20 días después del trasplante (la eliminación de los brotes fue conforme iban apareciendo). Para guiar a la planta y mantener el tallo en una posición erguida y lograr un mejor manejo sanitario se realizó el entutorado, que consistió en colocar en la parte superior de la nave, dos hileras de alambres reforzadas sujetadas sobre la base de un marco metálico existente, mismo que sirvieron de soporte para afianzar los cordones de rafia atada con anillo de plástico sobre la base del tallo de la planta (debajo de la primera hoja), dándole dos a tres vueltas en espiral hacia arriba para fijarlo al alambre señalado a una altura aproximada de 3 m (**Figura 8**).



Figura 8. Entutorado de las plantas de jitomate

1.8.8. Polinización

La polinización se realizó mediante el golpeo ligero en las líneas de entutorado. Para mantener la humedad y temperatura adecuada se mantuvieron abiertas las ventilas cenitales y laterales del invernadero durante todo el experimento. Se llevó a cabo la continua limpieza del tinaco de la solución nutritiva y de la tubería principal en el cabezal y las mangueras secundarias para evitar problemas de taponamiento de los goteros, así como la limpieza en los pasillos de los tratamientos. Durante el crecimiento de las plantas se mantuvieron hasta 10 cortes (10 racimos), se eliminaron las yemas axilares y se podó 5 veces las hojas en estado de senescencia.

1.8.9. Plagas y enfermedades

Se hicieron aplicaciones preventivas contra enfermedades fungosas con Previcur, Ridomil Bravo para tizón tardío y Amistar para control de cenicilla de la hoja con una dosis de 1 mL L^{-1} . Para control preventivo de plagas como mosquita blanca se realizaron aplicación de mezcla de Actara 25, WG Biodie y Lanate en una dosis de 1 mL L^{-1} , con esta última mezcla de productos se pudo eliminar la presencia de la mosquita blanca en el cultivo.

1.8.10. Descripción del marco de plantación

El marco de plantación fue “tresbolillo”, con separación de 40 cm entre plantas y de 45 cm entre líneas, trasplantadas en bolsas maceteras negro de 35 x 35 cm llenados con tezontle en camas cuyas dimensiones fueron de 1.35 m de ancho por 20 m de largo. La densidad de plantas en promedio fue de 3 plt m^{-2} . El piso fue cubierto con “Ground Cover” para evitar el crecimiento de malezas.

1.8.11. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos (T) consistieron en dos condiciones de manejo, en función de número de tallos por planta: a un tallo (T1) y a dos (T2) por planta tallos. El área de cada tratamiento fue de 20 m^2 , donde en cada unidad experimental fue de 5 m^2 con 15 plantas, con 4 repeticiones por tratamientos, con una superficie total de 40 m^2 para ambos tratamientos, se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

1.8.12. Materia seca

Para el peso de la materia seca, se separaron las partes de tallo, raíz, hojas y frutos, se pesaron en fresco y posteriormente se llevaron a la estufa y se mantuvo a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h hasta alcanzar el peso constante y finalmente se pesaron (**Figura 9**).



Figura 9. Muestreo destructivo de material vegetal de jitomate

1.9.13. Variables de tiempo atmosférico

La temperatura (°C), la humedad relativa (HR) y la Radiación Fotosintéticamente Activa (en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se registró con un sistema adquisición de datos (Data Logger WatchDog) que se instaló dentro del invernadero en la parte central, a 2 m del suelo. Con estas variables se calculó el Déficit de Presión de Vapor (DPV) y potencial hídrico atmosférico (Ψ_w) desde la siembra hasta la cosecha del décimo racimo.

1.8.14. Grados día desarrollo

El desarrollo de muchos organismos es controlado principalmente por la temperatura del ambiente. Los grados-día desarrollo (GDD) son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos. Estos representan la integración de la temperatura ambiental entre dos temperaturas limitantes; las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Fuera de este intervalo, el organismo no presenta desarrollo apreciable o puede morir.

El concepto de GDD resultó de observaciones que indicaban: 1) las plantas no se desarrollan cuando la temperatura ambiental es menor que la basal (Neild y Smith, 1997), 2) la tasa de desarrollo aumentaba cuando la temperatura ambiental era mayor que la basal, 3) las variedades de jitomate requieren diferentes valores de días acumulados (DA) de los grados día (GD). Los valores acumulados para n días transcurridos se expresan con la **Ecuación 4**.

$$GDA = \sum_{i=1}^n GD_i \dots\dots\dots(1)$$

Donde i es el número de días transcurridos a partir de un día inicial de interés, usualmente la fecha de siembra o el día de inicio de una etapa fenológica del cultivo.

Para estimar diariamente los GDD con este método se requiere de la temperatura media ambiental (**Ecuación 5**; Ojeda-Bustamante, *et al.*, 2004).

$$\begin{aligned} \text{GDD} &= T_a - T_{c-\text{min}}, \text{ si } T_a < T_{c-\text{max}} \\ \text{GDD} &= T_{c-\text{max}} - T_{c-\text{min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c-\text{max}} \\ \text{GDD} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c-\text{min}} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Dónde T_a es la temperatura media del aire diario, $T_{c-\text{max}}$ y $T_{c-\text{min}}$ son las temperaturas umbrales mínima y máxima del ambiente en que se desarrolla el jitomate (29 y 11 °C; Roose, 1994).

1.8.15. Clasificación de tamaño de fruto

Para la clasificación del tamaño de los frutos se emplearon cuatro categorías: extragrande (>71 mm), grande (60-71 mm), mediano (51-60 mm), chico (37-51 mm) y muy pequeños (26-37 mm) de acuerdo a la norma mexicana (NMX-FF-031-1997).

1.8.16. Evaluación de rendimiento y número de frutos por planta

Después del trasplante, se seleccionaron seis plantas de cada tratamiento, para evaluar rendimiento y número de frutos por planta, hasta el décimo racimo. Una vez cosechada los frutos, se contabilizaron y se pesaron en una báscula, para calcular el rendimiento (kg pl⁻¹) y número de frutos por planta.

1.8.17. Evaluación de los componentes bioquímicos del fruto

Para determinar las variables de respuesta de calidad de fruto, se realizaron muestreos en el quinto racimo floral. Se seleccionaron cuatro frutos por tratamiento y se determinaron firmeza, contenido de sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, pH, CE, vitamina C y relación de sólidos solubles totales-acidez titulable.

Sólidos solubles totales: se determinaron en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital, marca Atago con escala de 0 hasta 32 % y se expresaron en °Brix.

El pH y la CE: se determinaron directamente en el jugo de los frutos de jitomate.

Acidez titulable: se evaluó de acuerdo con la metodología de AOAC (1990), para lo cual se homogeneizaron 10 g de pulpa en 50 mL de agua desionizada. Se tomó una alícuota de 10 mL, la cual fue neutralizada con (NaOH) al 0.1 N y fenolftaleína con indicador. Los resultados se reportaron como porcentaje de ácido cítrico, utilizando la ecuación.

$$\% \text{ Ác. cítrico} = \frac{(\text{mL NaOH gastado}) \times (\text{N NaOH}) \times (\text{meq. ácido}) \times (\text{VT}) \times (100)}{(\text{Peso muestra}) \times (\text{Alicuota})} \dots\dots\dots(3)$$

Donde: N = normalidad, VT = volumen total (mL de agua desionizada más el peso del fruto)
 Meq = Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido cítrico = 0.064).

Vitamina C (ácido ascórbico): se determinó de acuerdo con la metodología de AOAC (1990). Se homogeneizaron 20 g de tejido fresco en 30 mL de solución de ácido oxálico (0.5%); se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución tilma (0.01%) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1 minuto. La concentración se expresó en mg/100g utilizando como estándar el ácido ascórbico.

El licopeno: se determinó por colorimetría, se empleó un colorímetro (Hunterlab) el cual se calibró al inicio para determinar mediciones de color L, a* y b* reportadas en el sistema internacional de color (CIELB). A cada fruto cosechado para determinaciones de calidad se le determinaron estos parámetros y mediante la (Ecuación 3) descrita por Arias et al. (2000) se determinó el licopeno.

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1}\text{)} = 11.848 \times (a^*/b^*) + 1.547 \dots\dots\dots(4)$$

Relación de sólidos solubles totales-acidez titulable (IM): Se obtuvo un indicador, que es el cociente entre sólidos solubles totales (SST o °Brix) y acidez titulable (AT). Se calculó con la siguiente ecuación:

$$IM = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{acidez titulable}} \dots\dots\dots(5)$$

Donde: SST/AT = relación sólidos solubles totales/acidez titulable, °Brix = grado Brix del jugo de jitomate, Acidez titulable = expresada en ácido cítrico

1.9.18. Evaluación de los caracteres físicos

Firmeza: se midió en la zona ecuatorial de los frutos, utilizando un texturómetro digital (Universal Fuerza Five), con escala de 0.1 hasta 0.32 % de fuerza y un puntal cónico de 0.8 mm registrándose la lectura en Newton (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Numero de frutos por racimo: en cada tratamiento se seleccionaron 8 plantas por tratamiento y se contabilizaron el número de frutos en cada uno de los racimos y el número total de frutos por planta.

Color del fruto: la medición se realizó sobre la epidermis de fruto en la parte ecuatorial, que se realizó mediante un colorímetro por reflexión Hunter “L”, “a”, “b”, que opera con base en el empleo de funciones trigonométricas. Donde la rueda de color dividida en 360°; con el rojo púrpura que está en el extremo derecho en el ángulo cero; el amarillo en 90°; el verde-azul en 180° y el azul en 270°. El colorímetro, indica el cambio de coloración y brillantez en el fruto en tres direcciones: L* (mide de la oscuridad a luminosidad), a* (representa el rojo si es positivo y verde si es negativo) y b* (corresponde al amarillo si es positivo y azul en caso de ser negativo).

1.9.19. Productividad del agua

Se estimó la productividad bruta del agua (PA) y el rendimiento (R) de los tratamientos; la primera indica la relación de la producción total obtenida (RC, kg) con respecto del volumen de agua aplicada (VA, m³) (Bessembinder *et al.*, 2005) y la segunda la producción obtenida en kg m⁻². Se cuantifico el volumen aplicado y el volumen drenado por medio de lisímetro de drenaje.

Para determinar la diferencia significativa de las variables evaluadas, se realizó análisis de varianza, para el diseño de bloques al azar, y comparación de medias, por la prueba de Tukey (P=95%), con el paquete estadístico MINITAB.

1.9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.9.1. Componentes bioquímicos

Para la **acidez titulable** el valor más alto se presentó en frutos provenientes de plantas con dos tallos el (T2) en tallo secundario con 0.46% y el más bajo se presentó en el T1 con 0.38% (**Cuadro 10**). Resultados similares a los reportados por Mendoza-Pérez *et al.* (2018a) para el mismo cultivo cultivado en invernadero con valores de 0.5% para un tallo medido en el décimo racimo y 0.42% para dos tallos medido en el quinto racimo. Pérez *et al.* (2006) reportaron valores de 0.8 y 1.0 % para uno y dos tallos por planta en tomate de la variedad comercial 7705.

Para la variable **firmeza**, el T1 presentó el valor más alto con 4.42 N. Mendoza-Pérez *et al.* (2018a) reportaron que la conducción de un solo tallos por planta alcanza mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa que la conducción de dos tallos por planta. Por lo tanto, los frutos desarrollan una cutícula más gruesa y resistente para proteger los daños directos del sol, además, de incrementar la vida de anaquel (**Cuadro 10**). Los mismos autores reportaron valores de firmeza de 4.43 para un tallo, 4.10 y 4.19 N en dos tallos (tallo principal y secundario). Navarro-López *et al.* (2012) reportaron valores de 4.21 y 4.52 N de firmeza para frutos de tomate de la variedad reserva Cid F1 cultivado en hidroponía regados con agua residual y de pozo.

En los **sólidos solubles totales** (°Brix), se observó que en el tallo secundario del T2 presentó el valor más alto con 4.40 de °Brix (**Cuadro 10**). Mendoza-Pérez *et al.* (2018a) reportaron valores similares en jitomate tipo saladette de la variedad Cid F1 cultivado bajo invernadero con 4.65 de °Brix para un tallo y para dos tallos de 4.50 y 4.53 °Brix para el tallo principal y secundario. Navarro-López *et al.* (2012; Plana *et al.* (2011) reportaron valores de 4.7 y 4.4 °Brix respectivamente. Por otro lado, Pérez *et al.* (2006) reportaron también valores de 5.1 y 5.0 °Brix para uno y dos tallos por planta respectivamente.

Con respecto a la **vitamina C** se encontraron valores de 5.54, 4.49 y 4.81 mg 100g⁻¹ para T1 (tallo principal) y T2 (tallo principal y secundario), respectivamente. Estos valores son menores al rango encontrado en 30 variedades de tomate tipo cereza que oscila de 29-73 mg 100g⁻¹ (Ceballos-Aguirre *et al.*, 2012) y a intervalos de 6.1 y 16.1 mg 100g⁻¹ reportada por Crisanto-Juárez, *et al.* (2010), para diferentes variedades silvestres de tomate.

Cuadro 10. Contenido de acidez, °Brix, firmeza, vitamina C e índice de madurez del jitomate

Tratamientos	Tallos	Acidez (% de ac.)	Grado (°Brix)	Firmeza (N)	Vitamina C (mg 100g ⁻¹)	Índice de madurez
T1 (Un tallo)	Tallo principal	0.38 a	4.30 a	4.42 a	5.54 a	11.29 a
	Tallo principal	0.45 a	4.30 a	4.13 a	4.49 a	9.91 a
T2 (Dos tallos)	Tallo secundario	0.46 a	4.40 a	4.11 a	4.81 a	9.88 a
SD		0.04	0.06	0.17	0.54	0.81
CV (%)		10.14	1.33	4.11	10.88	7.78

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Para el **índice de madurez** de los frutos el valor más alto se presentó en el T1 de 11.29. Este indicador de la calidad interna de los frutos que está directamente relacionado con el sabor, firmeza y tiempo de postcosecha (**Cuadro 10**), similares resultados fueron encontrados por Mendoza-Pérez *et al.* (2018a). Se resalta que, en el contenido de acidez, °Brix, firmeza, vitamina C e índice de madurez del tomate. No se encontraron diferencia significativa de las variables.

El valor más alto del **pH** presentó en los frutos provenientes de tallos secundario del tratamiento de dos tallos por planta de 4.4 (**Cuadro 11**). Mendoza-Pérez *et al.* (2018a) y Pérez *et al.* (2006) reportaron valores similares para los frutos provenientes a un tallo por planta de 4.47 y pH de 4.3 de los frutos de dos tallos. Para la conductividad eléctrica el valor más alto se obtuvo en los frutos del T1 de 3.17 dS m⁻¹, seguido el T2 con 3.14 dS m⁻¹ en los frutos del tallo principal y 2.93 dS m⁻¹ en los frutos del tallo secundario. Barrera-Puga *et al.* (2011) reportaron valores de 0.68 a 3.05 dS m⁻¹ en frutos de jitomate cultivado en invernadero.

La concentración de **licopeno** se relaciona con la maduración del fruto; debido al aumento de dicho carotenoide y disminución de la clorofila al pasar de color verde a rojo. Se encontró mayor concentración en el T2 (tallo principal) de 16.40 mg 100g⁻¹ (**Cuadro 11**), que fue estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) con respecto al tratamiento de un tallo. Esto se debe que a mayor número de racimos por planta los frutos absorben mayor calor, por lo tanto, favorecen mayor acumulación de licopeno. Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, (2014) mencionaron que las condiciones ambientales como la temperatura, e intensidad de luz, influyen directamente sobre la desnaturalización o acumulación de licopeno. Específicamente, los precursores del licopeno son inhibidos a temperaturas por debajo de 12 °C y por encima de

32 °C; el intervalo más favorable para la producción de licopeno se encuentra entre 22 y 25 °C. Adicionalmente, las condiciones extremas de temperatura y humedad relativa influyen reducción de la concentración de licopeno en los frutos. Perez *et al.* (2017) reportaron de 18.5 mg 100g-1 de tomate de la variedad Cid F1.

Cuadro 11. Concentración de licopeno y pH, conductividad eléctrica en jitomate

Tratamientos	Frutos de tallos	Licopeno (mg 100g-1)	pH	CE (dS m-1)
T1 (un tallo)	Tallo principal	14.61 b	4.40 a	3.17 a
T2 (Dos tallos)	Tallo principal	16.40 a	4.35 a	3.14 a
	Tallo secundario	16.10 ab	4.43 a	2.93 a
SD		0.96	0.04	0.13
CV (%)		6.10	0.92	4.25

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

1.9.2. Variación de firmeza y solidos solubles totales en diferentes etapas de maduración

En la (**Figura 10**) se observa la variación de la firmeza en diferentes etapas de maduración del fruto. El valor más alto se presentó en la etapa verde-oscuro en ambos tratamientos de 6.75 N, comparando con los frutos cosechados en la etapa de maduración rojo-maduro donde se presentó el valor más bajo de 1.64 N. Amaya *et al.* (2009) obtuvieron valores de 5.17 N en jitomate en etapa de madurez de consumo (naranja). Estos frutos, a pesar de tener un comportamiento climatérico, se deben cosechar con un grado de madurez que permita un almacenamiento prolongado sin que se vea alterada los componentes bioquímicos y caracteres físicos de los frutos. Durante la postcosecha de los frutos, también se debe considerar la fuerte influencia de la variedad sobre el comportamiento de los frutos, en relación con el tiempo comprendido en el tiempo de corte y su maduración.

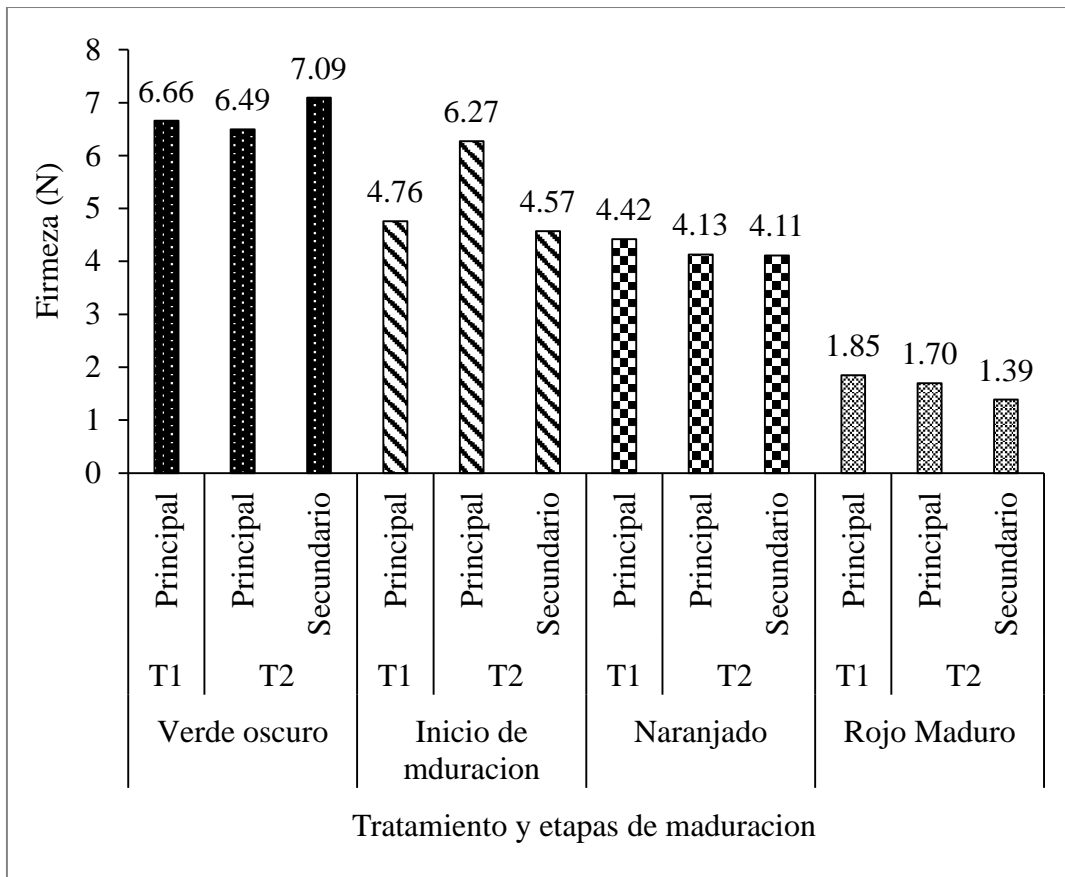


Figura 10. Comparación de firmeza en diferentes etapas de maduración



Figura 11. Etapas de maduración de jitomate (verde, inicio de maduración, naranjado, rojo maduro)

En la **(Figura 12)** se observar la variación de los sólidos solubles totales medido en las diferentes etapas de maduración del fruto. El valor más alto se presentó en la etapa inicio de maduración que también se le conoce como (madurez de cosecha) con valor de 4.20 °Brix para T1 (tallo principal), 4.22 y 4.27 °Brix para T2 (tallo principal y secundario respectivamente). Esta etapa se puede considerar como óptimo para el inicio de cosecha del fruto con fines de exportación para el mercado internacional ya que cumple con los requisitos de firmeza y °Brix que establece la norma mexicana.

Por lo tanto, al cosechar los frutos de tomate en etapas tempranas de maduración, afecta el contenido de solidos solubles; que cuando los frutos alcanzan el grado de madurez de consumo. Por eso, la cosecha de frutos en estados de desarrollo muy tempranos daría lugar a una reducción en su calidad organoléptica

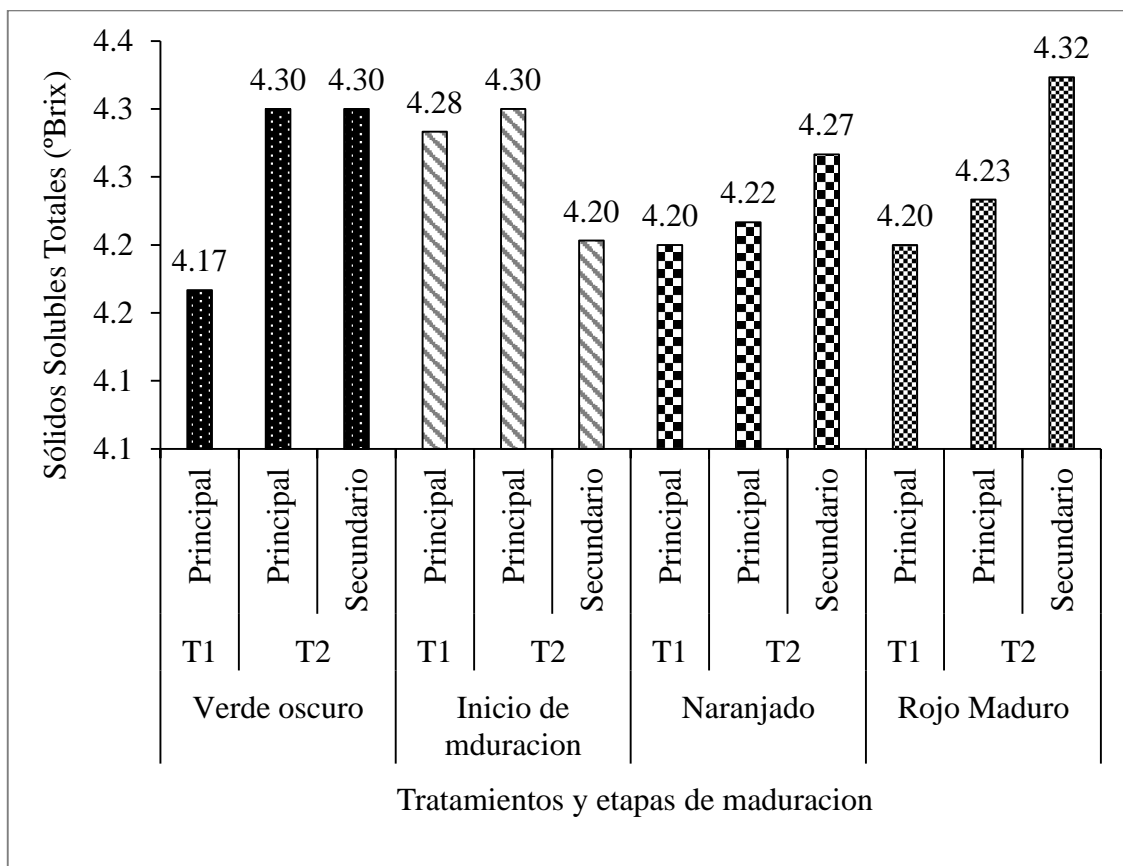


Figura 12. Variación de solidos solubles totales en diferentes etapas de maduración

1.9.3. Caracteres físicos de los frutos

Con respecto a la distribución del tamaño de los frutos para cada tratamiento. El T1 (un tallo) fue mejor con 75, 19, 4 y 1 % frutos de tamaño grande, mediano, pequeño y muy pequeños, respectivamente **(Figura 13)**. Los frutos obtenidos en este tratamiento cumplen con los

requisitos de tamaño que establece la NMX-FF-031-1997 para fines de exportación. Los resultados de este trabajo son similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2008), en tomate donde encontraron de 60 % de calidad extra; 20 % de primera, 10 % de segunda y 10 % a pérdida o rezaga. Además, Mendoza-Pérez *et al.* (2018b) obtuvieron 68, 23, 8 y 1 % frutos de categoría grande, mediana, chico y frutos pequeños, respectivamente en jitomate cultivado un solo tallo de la misma variedad y densidad de siembra.

Para el T2 (tallo principal) la planta produjo 68 % para tamaño grande, 26 % tamaño mediano, 5 tamaño pequeños y 1 % muy pequeños. En el tallo secundario del mismo tratamiento y la misma planta se obtuvo 35, 50, 11 y 4 % frutos de tamaño grande, mediano, pequeño y muy pequeños, respectivamente. Esta disminución de tamaño de frutos se le atribuye al tallo que al tener un menor diámetro disminuye la capacidad de las células transportadores de aguas y nutrimentos hacia los frutos, además, de una baja penetración de la radiación solar hacia las hojas.

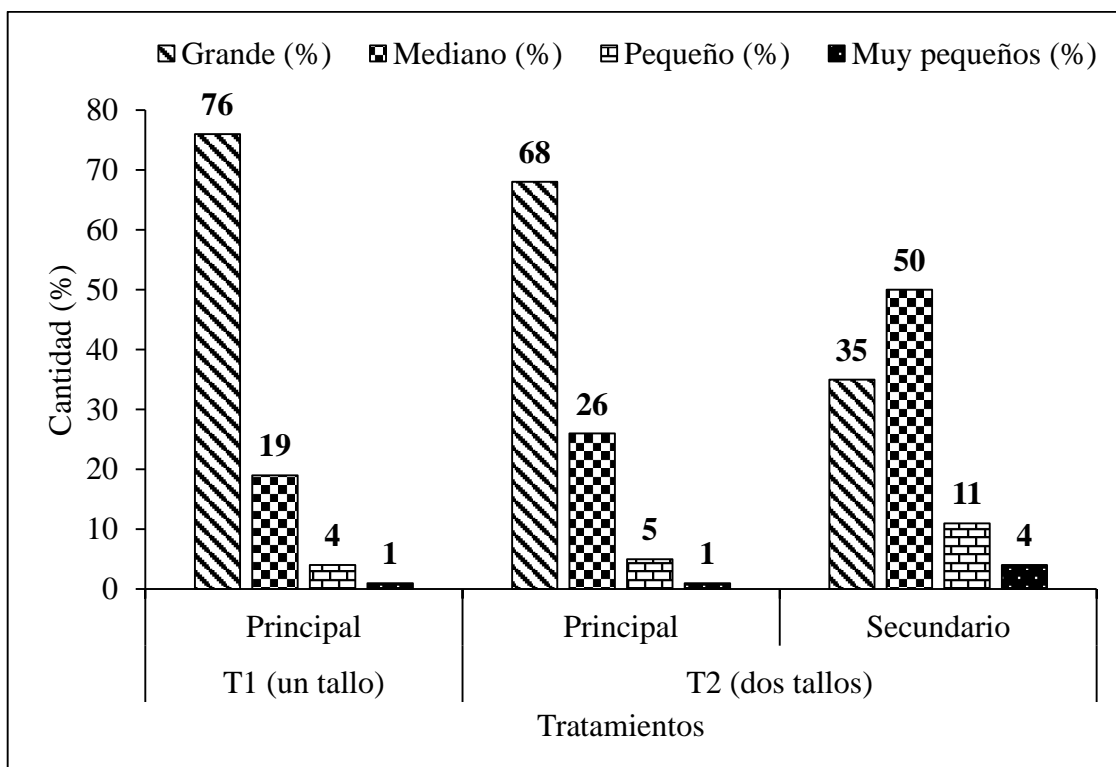


Figura 13. Clasificación de tamaño de frutos en los tratamientos

Los frutos obtenidos en el tallo principal del T2 se pueden considerar para fines de exportación y los del tallo secundario para el mercado nacional por su baja calidad en tamaño, donde su principal destino sería en tiendas de supermercados y central de abastos para su posterior

distribución a los consumidores finales. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Quintana-Baquero *et al.* (2010), en tomate bajo invernadero reportaron que 9 % corresponde de calidad extra, 52 % de primera, 27 % de segunda, 11 % de tercera y el 1 % de cuarta y Mendoza-Pérez, *et al.* (2018b) quienes obtuvieron 49, 33, 17 y 1 % frutos de categoría grande, mediano, chico y frutos pequeños, respectivamente en cultivo de jitomate cultivado a dos tallos.

Villamán (2015) mencionó que al dejar un segundo tallo por planta este compite por radiación solar, agua y nutrimentos, afectando el desarrollo del primero, lo que causa un retraso en la maduración y cosecha. La poda de dos tallos por planta permite cosechar mayor cantidad de frutos de tamaño mediano y menor calidad en comparación de las plantas que no se les realiza poda (Vera *et al.*, 2015). Este efecto es por la alta demanda de nutrientes que la planta requiere para poder sustentar dos tallos y producir frutos. Por lo que se recomienda establecer y aplicar esta técnica a nivel productor siempre y cuando las condiciones ambientales, la variedad y tipo de crecimiento permitan un periodo más largo de crecimiento para obtener el máximo potencial productivo de la planta.

1.9.4. Número de frutos por racimo

Para el T1 (un tallo) se encontró que en los dos primeros racimos la planta produjo mayor cantidad de frutos de tamaño mediano, sin embargo, a partir del tercer racimo hasta el sexto racimo obtuvieron mayor cantidad de frutos de primera calidad (grande), después la planta vuelve a producir frutos de tamaño mediano. En total la planta produjo 37, 37, 10 y 2 frutos de tamaño grande, mediano, pequeños y muy pequeños respectivamente, llegando a producir un total de 86 frutos por planta (**Figura 14**).

Este resultado es superior a lo reportado por Mendoza-Pérez *et al.* (2018a) de la misma variedad y densidad de siembra donde obtuvieron 62 frutos por planta. Adicionalmente se observó que el máximo potencial de producción de la planta fue en el séptimo y octavo racimo con 11 y 12 frutos por racimo, esta respuesta se le atribuye al incremento de la concentración de la solución nutritiva y a la eliminación de las hojas en estado de senescencia al realizar este manejo, el agua y los nutrimentos son traslocados en las hojas en pleno desarrollo y en el llenado de frutos.

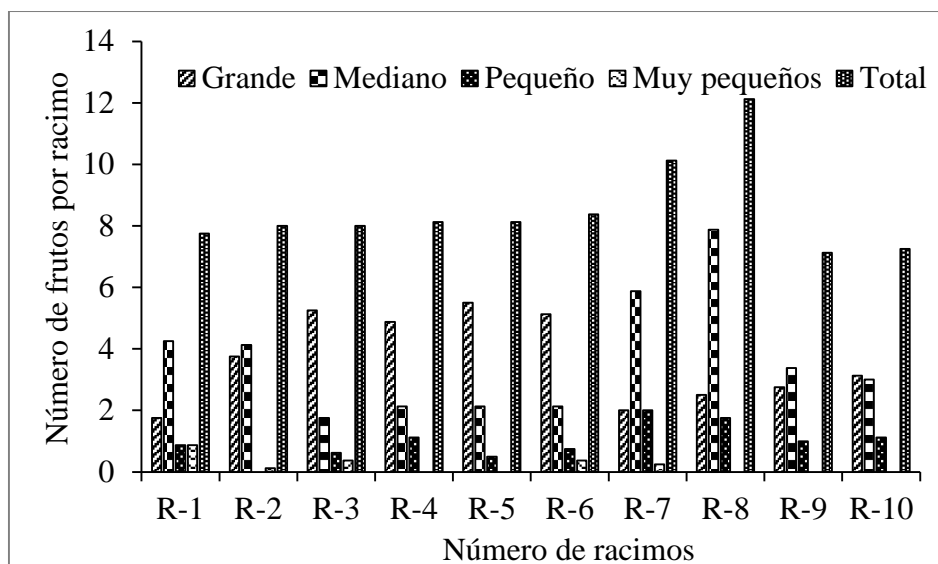


Figura 14. Número de frutos en los racimos para el T1 (un tallo) por planta

Para el T2 (dos tallos) únicamente en los dos primeros racimos se cosecharon mayor cantidad de frutos de tamaño mediano en el tallo principal. Del tercer al sexto racimo se cosecharon mayor cantidad frutos de tamaño grande, después, la planta vuelve a producir frutos de tamaño mediano. Se obtuvo un total de 26, 37, 11 y 1 frutos de tamaño grande, mediano, pequeños y muy pequeños con un total de 75 frutos cosechado a diez racimos (**Figura 15**). Mendoza *et al.* (2018a) reportaron resultados similares en jitomate de la misma variedad y densidad de siembra con 78 frutos cosechados a diez racimos.

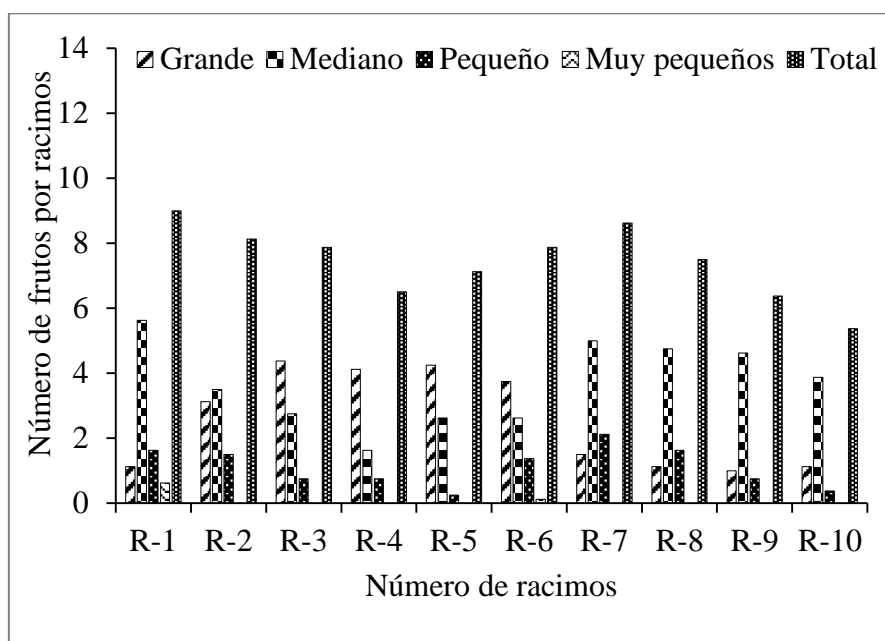


Figura 15. Número de frutos en los racimos para el T2 (tallo principal)

En el T2 (tallo secundario) se observa que en todos los racimos la planta produjo mayor cantidad frutos de tamaño mediano. La máxima producción se registró en el primer y cuarto racimo. En total la planta produjo 10, 27, 10 y 1 frutos de tamaño grande, mediano, pequeños y muy pequeños con total de 47 frutos cosechado a ocho racimos (**Figura 16**). En ambos tratamientos se encontró que al incrementar la concentración de la solución nutritiva a una conductividad eléctrica de 2.0 a 2.7 dS m⁻¹ en el sexto racimo (desarrollo de fruto-inicio de cosecha) se generó una respuesta positiva incrementando el número, tamaño y rendimiento de fruto por racimo.

Arébalo-Madrigal *et al.* (2018), mencionan que las plantas conducidos a un solo tallo producen frutos con mejores indicadores de calidad como son peso y tamaño del fruto, mientras que los conducidos a dos tallos y sin poda producen una mayor cantidad de frutos. Sin embargo, estos no alcanzan un tamaño adecuado ni calidad deseable por la alta competencia por la luz, agua y nutrimentos, por lo tanto, no cumplen las condiciones que establece la norma para fines de exportación.

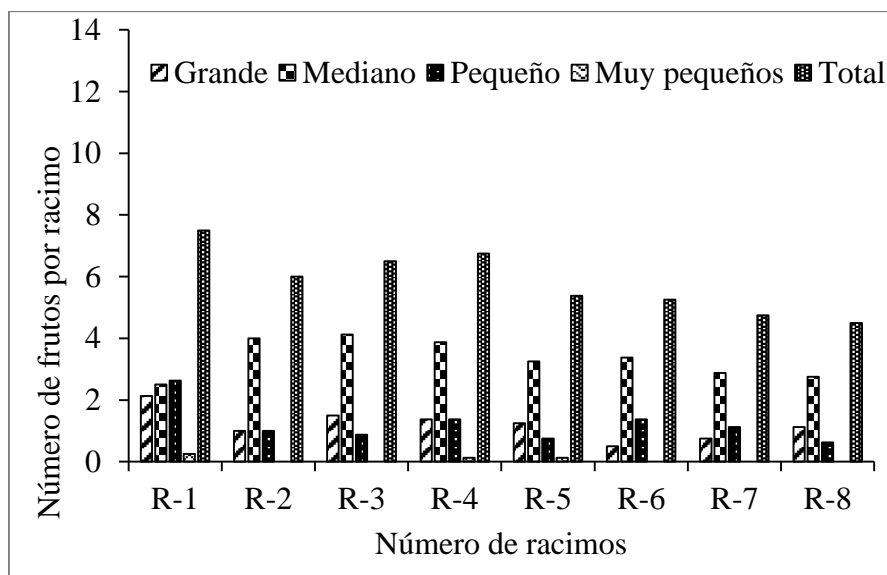


Figura 16. Número de frutos en los racimos para el T2 (tallo secundario)

1.9.5. Color de frutos de jitomate

Con relación en la coloración de los frutos de tomate es un parámetro previo que indica que un producto es de buena o mala calidad y que está directamente con la vida de postcosecha del fruto. En este trabajo no se evaluó la evolución del color del fruto durante su desarrollo, sino que se midió solamente en la cosecha. No se encontró variación de color en los frutos de tomate

por efecto de número de tallos (**Cuadro 12**), que no correspondió con el contenido de licopeno. El licopeno es susceptible a la oxidación por su exposición a la luz y pH extremos por lo tanto presenta mayor estabilidad en el matiz del tomate.

El color es uno de los atributos más importante de calidad de los alimentos que afectan la aceptación del consumidor, el sabor y la percepción del sabor (Costa *et al.*, 2011; Nisha *et al.*, 2011). Es un factor importante de clasificación para los productos alimenticios, ya que puede proporcionar información de calidad básica para la percepción humana y está directamente relacionada con factores de calidad como la frescura, la madurez, la deseabilidad y la seguridad alimentaria (**Cuadro 12**). No se encontró diferencia estadística significativa en la coloración de los frutos.

Cuadro 12. Variación de color en tomate por efecto de número de tallos

Tratamientos	Tallos	Luminosidad (L)	Pureza de color (croma)	Angulo de tono (Hue)
T1 (Un tallo)	Tallo principal	30.81 a	24.19 a	61.83 a
	Tallo principal	30.53 a	25.68 a	61.99 a
T2 (Dos tallos)	Tallo secundario	30.53 a	24.07 a	63.13 a
SD		0.16	0.90	0.71
CV (%)		0.53	3.64	1.14

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En tomate el color del fruto puede ser un indicador de la calidad y la vida útil. Antes y después de la cosecha muchos factores climáticos como: como la luz, los nutrimentos, estrés hídrico pueden afectar el color del fruto independientemente de otras características de madurez.

1.9.6. Evaluación de rendimiento

Para el T1 se obtuvo rendimiento de 28.59 kg m⁻² (**Cuadro 13**). Corella *et al.* (2013) reportaron resultados similares de 23.82 kg m⁻² de la variedad Moctezuma cosechado a seis racimos y Mendoza- Pérez *et al.* (2018b) reportaron 20 kg m⁻² de un tallo cosechado a diez racimos.

Para el T2, el rendimiento total fue de 37.74 kg m⁻², de los cuales 23.76 kg m⁻² se produjo en el tallo principal cosechado a diez racimos y 13.98 kg m⁻² en el tallo secundario cosechando a

ocho racimos (**Cuadro 13**). Este resultado fue superior a lo reportado por Mendoza *et al.* (2018b) en jitomate a dos tallos de 18 kg m⁻² cosechado a diez racimos para tallo principal y seis racimos para el tallo secundario. Corella *et al.* (2013) obtuvo resultados similares en tomate a dos tallos la variedad Malinche de 21.39 kg m⁻² cosechados a seis racimos.

Cuadro 13. Rendimiento de jitomate variedad Cid F1 cultivado en invernadero

Tratamiento	Número de tallos	Rendimiento (kg pl⁻¹)	Número de plantas (m²)	Rendimiento (kg m⁻²)
T1 (un tallo)	Principal	9.53	3	28.59 a
T2 (dos tallos)	Principal	7.92	3	23.76 b
	Secundario	4.66		13.98 c

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

1.9.7. Productividad del agua

El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo agrícola fue de 196 y 222 litros por planta para T1 y T2 respectivamente con una productividad de agua de 49 y 56 kg m⁻³. Flores *et al.* (2007) y Mendoza-Pérez *et al.* (2018b) reportaron productividades similares en este cultivo.

1.9.8. Relación de las variables atmosféricas con la calidad de frutos de jitomate

Las variables climáticas se midieron únicamente para correlacionar sus efectos en el crecimiento y desarrollo de planta dentro del invernadero. También para determinar sus efectos en el desarrollo y en la calidad de los frutos.

En términos generales, la principal variable climática que se pretende modificar al establecer un invernadero es la temperatura del aire (°C). La temperatura dentro de un invernadero depende de: 1) factores ambientales externos como la radiación solar, la temperatura, la velocidad y dirección del viento; 2) factores internos relacionados con el tipo de cultivo establecido y su cantidad de área foliar, así como los niveles de transpiración; y 3) factores relativos al diseño del invernadero tales como el material de cubierta, las alturas y la ubicación y tamaño de las ventilaciones.

1.9.9. Temperatura y humedad relativa

Es importante tener en cuenta que la temperatura promedio óptimo para el cultivo de jitomate varía según la luminosidad, siendo mayor la temperatura cuanto más elevados sean los niveles de radiación (Castilla, 1995; Beekmans, 1986). En términos generales, la temperatura promedio óptima reportadas es de 18 a 22 °C, siendo el promedio más elevado apropiado para buenas condiciones de luminosidad.

La velocidad de desarrollo de un cultivo en condiciones normales de crecimiento, casi es proporcional con la temperatura. La tasa de aparición de nudos es la variable que puede ser utilizada para determinar la velocidad de desarrollo de la planta de jitomate. En este caso, se entiende nudo cualquier desviación del tallo principal ya sea para la formación de una hoja o de un racimo. Cooman (2002) evaluó la tasa de aparición de nudos en tres invernaderos con diferentes grados de control de clima en la Sabana de Bogotá, estimó una tasa de aparición de nudos de 0.0204 nudos día⁻¹. Lo anterior quiere decir que una planta creciendo a una temperatura promedio diaria de 25 °C exhibirá una tasa de aparición de 0.5 nudos día⁻¹.

En la fase inicial de desarrollo (trasplante) se registró temperatura promedio de 23 °C y se mantuvo relativamente constante hasta los 885 grados día acumulados que corresponde la etapa de desarrollo vegetativo, la cual coincidió con los meses más calurosos de la zona. En la etapa de maduración (1626 GDA) se observó un descenso en la temperatura promedio hasta alcanzar los 19 °C y se mantuvo constante hasta el inicio de madurez comercial (1826 GDA), que coincidió con la época de lluvias. Finalmente, se registró otro descenso en la temperatura hasta llegar los 10 °C en la etapa final de cultivo, donde inició la época de frío en la zona de estudio (**Figura 17**).

Mendoza-Pérez, *et al.* (2018b), reportó comportamiento similar de temperatura y humedad relativa en cultivo de jitomate cultivo en invernadero. Cuellar-Murcia y Suarez-Salazar (2018) reportaron temperaturas de 34 °C a los 94 días después de trasplante y 20 °C a los 102 días después de trasplante. Además, Jaimez *et al.* (2005) obtuvo una tendencia similar de estas dos variables en la producción de cultivo de pimiento morrón cultivado en condiciones protegidas en Caracas, Venezuela.

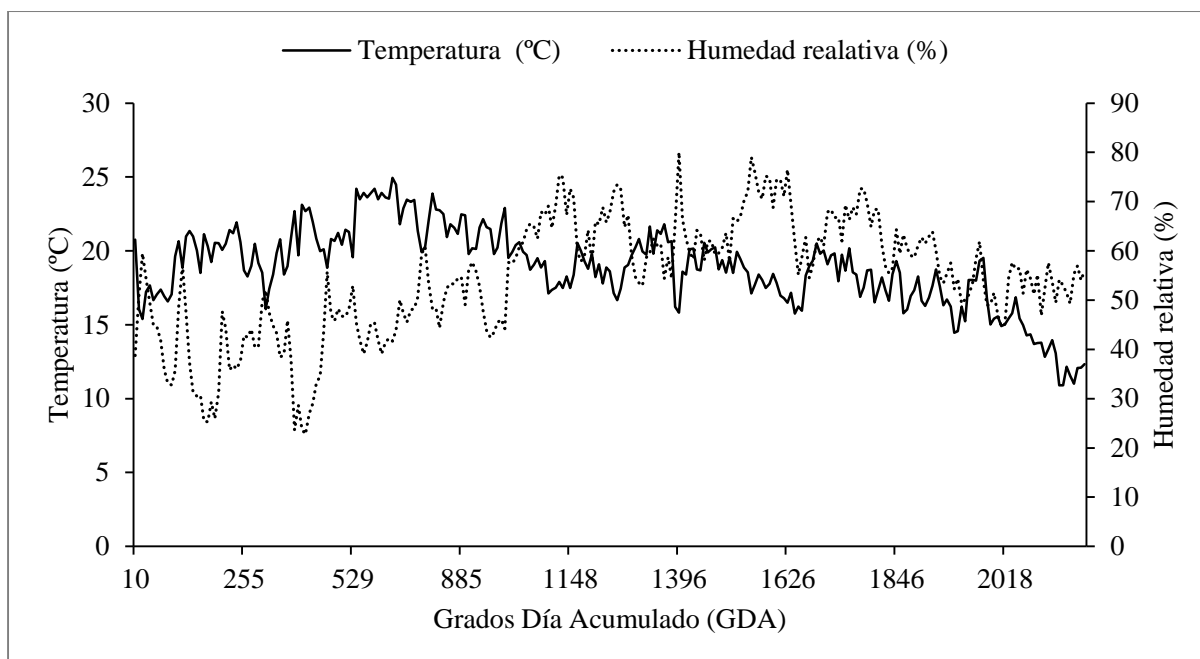


Figura 17. Temperatura y humedad relativa adentro del invernadero durante ciclo de cultivo

1.9.10. Humedad relativa

En etapa inicial se observa humedad relativa alrededor de 60% y a medida que empieza a disminuir la temperatura empieza incrementar la humedad relativa hasta llegar 80% en la etapa donde se inició de madurez comercial y al final de cultivo se registró humedad de 90% que puede ser dañina para el desarrollo óptimo de las plantas (**Figura 17**). Huertas (2008) menciona que, si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta puede dificultar la polinización puesto que el polen húmedo puede quedar pegado en los órganos masculinos, además, puede favorecer el desarrollo de enfermedades (Huertas, 2008).

La humedad relativa es una proporción entre la presión parcial de vapor y la presión parcial a saturación (e/e_s). Es importante tener en cuenta que la humedad relativa del aire es dependiente de la temperatura, supongamos una humedad relativa del 70% con una temperatura del aire de 20 °C, esta condición del aire equivaldría un $e=1636 \text{ pa}$. Ahora, si se considera una humedad relativa similar, pero a una temperatura de 30 °C, e será igual a 2970 pa . A pesar de que ambas situaciones presentan el mismo nivel de humedad relativa, mayor temperatura permite que el aire incremente su capacidad de sostener agua en forma de vapor. El contenido de humedad

del aire dentro de un invernadero se encuentra determinado por diversos procesos tales como la transpiración del cultivo, la condensación sobre la cubierta y la ventilación entre otros.

La presencia de plantas dentro de un invernadero afecta el microclima generado dentro de la estructura. El proceso de transpiración, que les permite a las plantas liberar agua al ambiente por evaporación a través de los estomas, contribuye a modificar tanto el contenido de humedad del aire como la temperatura dentro de un invernadero.

La tasa de transpiración de un cultivo se encuentra directamente relacionada con el grado de apertura estomática y la demanda evaporativa del ambiente alrededor del follaje. Esta demanda evaporativa está en función de condiciones ambientales tales como el nivel de radiación, la temperatura, el contenido de humedad del aire y la velocidad del viento.

El manejo de la humedad dentro del invernadero es un factor crítico para un óptimo crecimiento de las plantas. En términos generales, se recomiendan humedades relativas de entre el 65 y el 75% durante el día y entre el 80 y el 90% durante la noche. Valores extremos de humedad relativa contribuyen a una reducción del área foliar, así como al incremento en el aborto de flores y frutos. Un adecuado manejo de las ventilaciones del invernadero contribuirá a eliminar los excesos de humedad, normalmente producidos durante la noche.

El efecto más visible de altos niveles de humedad en el ambiente es la condensación que se forma sobre el plástico, sobre las superficies estructurales dentro de invernadero, sobre el follaje o los frutos. En consecuencia, es recomendable ventilar bien temprano en mañanas el invernadero con el fin de evitar las condiciones propicias para el desarrollo de problemas fitosanitarios. Aun cuando las temperaturas sean más bajas que las del interior del invernadero, es recomendable la apertura temprano de las cortinas ya que, por lo general, el aire que se encuentra dentro del invernadero presenta una humedad relativa mayor a la del medio externo.

La humedad del aire también tiene una influencia directa en la fecundación. Valores elevados, especialmente con poca iluminación, pueden reducir la viabilidad del polen. Buitelaar y Eindhoven (1986) definen el rango óptimo de humedad relativa para la polinización entre 60 y 85%. Debajo de este rango se reducen las características pegajosas del estambre, lo que puede disminuir la adhesión y germinación del polen. A su vez, humedades muy bajas ocasionan la desecación del polen, haciéndola perder su efectividad, por encima del rango mencionado se reduce el desprendimiento del polen del estilo.

1.9.11. Déficit de Presión de Vapor (DPV)

El Déficit de Presión de Vapor (DPV) es un parámetro importante en la producción de plantas en condiciones protegidas y a nivel de campo abierto. Indica que cuando el aire se satura, el agua se condensará para formar nubes, rocío o películas de agua sobre las hojas. Esta es la última instancia que hace que el DPV sea importante para la regulación de la demanda hídrica.

Si una película de agua se forma en una hoja de la planta se vuelve mucho más susceptible a la putrefacción. El DPV en el interior del invernadero en el día de la siembra fue de 1.5 Kpa hasta alcanzar 2.2 Kpa al momento de trasplante de plántulas. El DPV en la etapa de desarrollo vegetativo fue de 2.2 a 2.4 KPa, después empieza a disminuir. Su valor podría ser debido a que las plantas en esta fase inicial de crecimiento su área foliar es pequeña, por lo que el número de estomas es escaso, sin embargo, a pesar de que la velocidad de transpiración es alta, así como la pérdida de vapor de agua dentro del invernadero, ésta no alcanza satisfacer la demanda atmosférica. Este proceso implica mayor liberación de vapor de agua a través de las estomas de las hojas tratando de cubrir la demanda hídrica atmosférica (**Figura 18**).

Un DPV alta, aumenta la demanda transpirativa, incrementa la absorción de agua y nutrientes, mayor actividad de fotosíntesis, además, influye directamente en la cantidad de agua en los tejidos de la planta que se transfiere al aire del invernadero. Sin embargo, en la fase final de cultivo se observa el DPV cercano a 1.4 KPa, dado que las plantas disminuyen la transpiración, debido a que la atmósfera se encuentra casi saturado de vapor de agua, es decir menor difusión del vapor de agua de los estomas al entorno, por lo que se reduce la fotosíntesis, lo que repercutió en el rendimiento y calidad de los frutos (**Figura 18**). Además, un DPV muy bajo indica una mayor proximidad al punto de rocío, lo que significa que la condensación dañina puede comenzar a desarrollarse. Este resultado es similar al resultado reportado por Jaimez *et al.* (2005) en el cultivo de pimiento morrón en condiciones protegidas en Caracas, Venezuela de 0.4 KPa como mínimo y 2.5 KPa máximo de DPV.

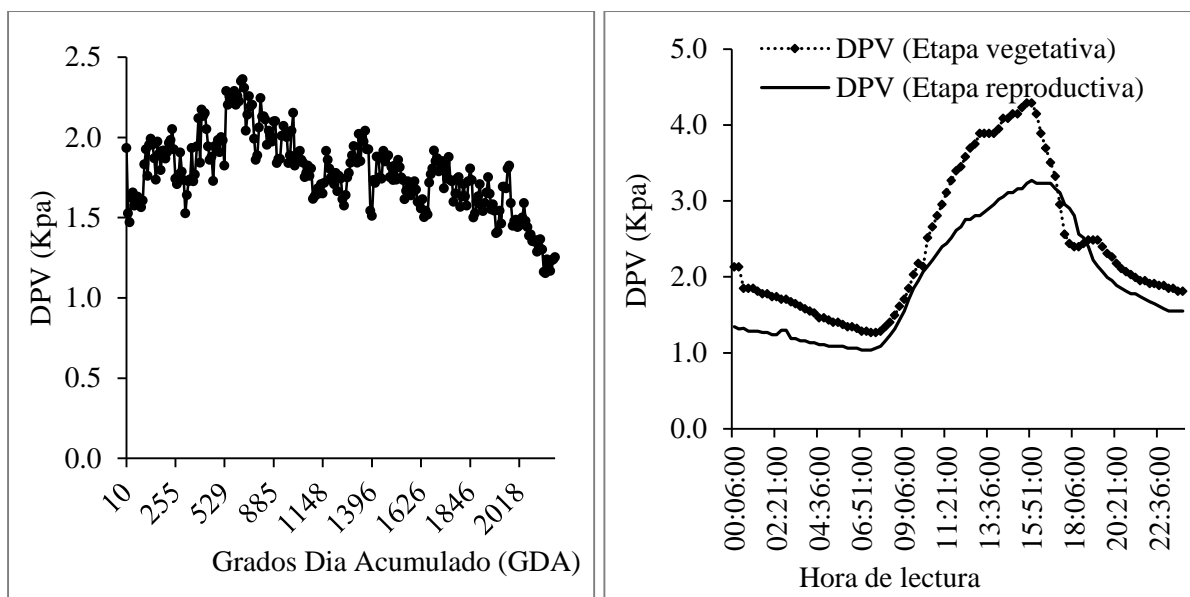


Figura 18. Déficit de presión de vapor a nivel diario (izquierda) y a nivel horario (derecha)

El comportamiento de DPV durante un día (24 horas) en intervalos de cada 15 minutos es completamente diferente al DPV diaria. En la etapa vegetativa el valor más bajo de DPV se presentó a las 7:21 a.m. de (1.27 KPa) y durante el día de insolación solar a las 15:36 p.m. se presentó el valor más alto de (4.29 KPa) que corresponde 6 días después de trasplante (6 hojas verdaderas). Comparado el DPV obtenido en la etapa reproductiva el valor más bajo se presentó a las 6:06 a.m. de (1.06 KPa) y durante el día de insolación solar exactamente a las 15:51 p.m. se presentó el valor más alto de (3.27 KPa) que corresponde a los 74 días después de trasplante (Inicio de fructificación de 5^o racimo). Se observa que los picos altos no se presentaron a la misma hora esto fue debido a la variación de las estaciones del año. A pesar de que los valores estuvieron fuera del rango óptimo, el cultivo se desarrolló de manera normal y no presentó problemas de plagas ni de enfermedades, esto se le atribuye a un manejo adecuado y aplicación preventiva de fungicidas e insecticidas durante el ciclo del cultivo (**Figura 18**).

A medida que aumenta el DPV, la planta necesita extraer más agua del sustrato a través de sus raíces para satisfacer la demanda hídrica y nutricional. Por esta razón, los valores adecuados para el DPV en invernadero son de 0.45 KPa a 1.25 KPa, el óptimo es alrededor de 0.85 KPa. Como regla general, la mayoría de las plantas tienen un DPV óptimo entre 0.8 y 0.95 KPa (Prenger y Ling, 2001). Con el cálculo de DPV actual se puede conocer la susceptibilidad del cultivo para desarrollar enfermedades por condiciones ambientales o de ser susceptible de desarrollo de una plaga. (Prenger y Ling, 2001) muestran que los patógenos fúngicos sobreviven mejor por debajo de DPV (<0.43 KPa). Además, la infección de la enfermedad es

más detrimental por debajo de 0.20 KPa. Por lo tanto, el clima del invernadero debe mantenerse por encima de 0.20 KPa, para prevenir enfermedades y daños a los cultivos.

1.9.12. Potencial hídrico atmosférico (Ψ_w)

La demanda atmosférica es sin duda un factor de gran importancia para determinar la cantidad de agua que requiere un cultivo para su crecimiento y desarrollo. Esta demanda dependerá de la radiación incidente, temperatura, humedad relativa, aire y el viento. En la (**Figura 19**) se presenta el potencial hídrico atmosférico (Ψ_w) se observa que a mayor temperatura en la etapa vegetativa menor es el potencial hídrico atmosférico, lo que significa que la atmósfera requiere mayor cantidad de agua para saturar el ambiente, lo cual se puede evidenciar con la caída de Ψ_w del aire cada vez más seco. Al final de ciclo se observa incremento del Ψ_w debido, a la disminución de la temperatura y alta humedad relativa en el ambiente, que coincide con el inicio de los meses lluviosos, días nublados e inicio de temporada de frío en la zona de estudio, es por eso que una humedad relativa del 100% a cualquier temperatura el potencial hídrico del aire es igual a cero (**Figura 19**). Al aumentar la demanda atmosférica, las plantas evapotranspiran una mayor cantidad de agua y nutrientes hasta un cierto límite, fijado por el potencial de agua de sus hojas.

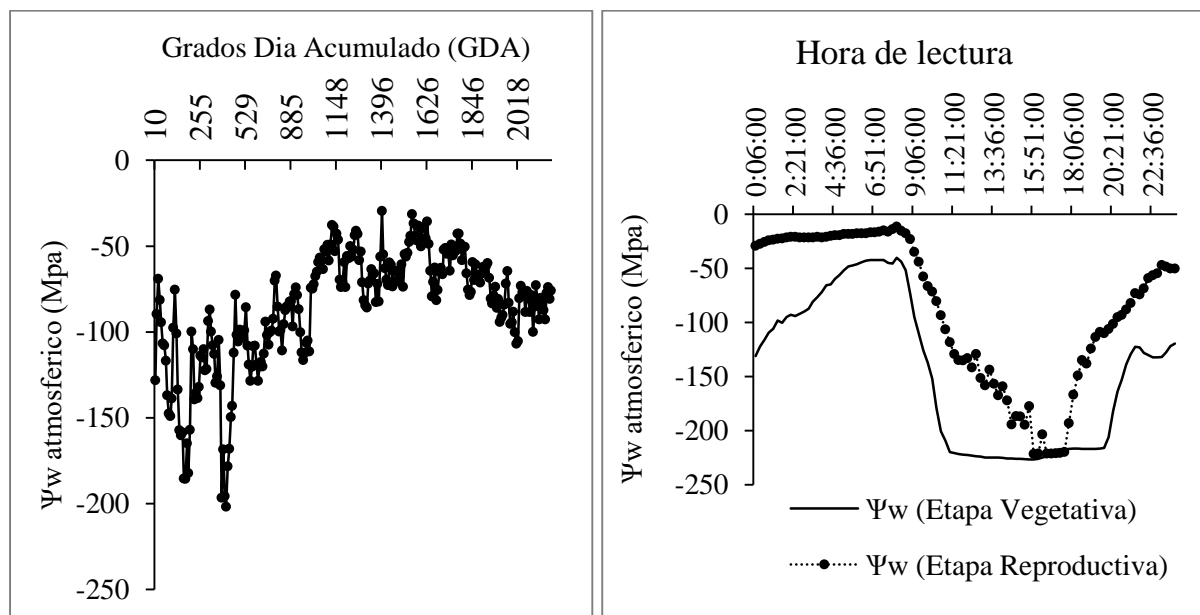


Figura 19. Potencial hídrico atmosférico a nivel diario (izquierda) y a nivel horario (derecha)

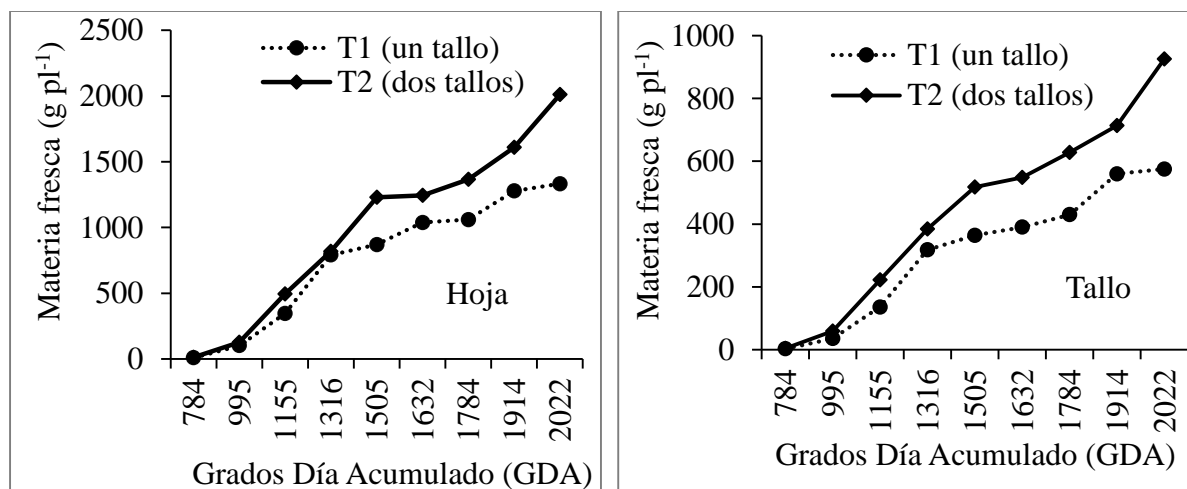
López (2000) reportó que cuando la humedad relativa (HR) del aire es de 98% a 20 °C, el potencial hídrico del aire disminuye hasta -2.72 MPa, que son suficientes para elevar una

columna de agua hasta una altura de 277 m. A 90% de HR, el $\Psi_w = -14.2$ MPa; a 50% de HR del aire, $\Psi_w = -93.5$ MPa y a 10% de HR, el $\Psi_w = -311$ MPa. Como el potencial hídrico del agua del suelo disponible para las plantas rara vez se encuentra por debajo de -1.5 MPa, entonces no se necesita que el aire este muy seco para generar un gradiente de potencial hídrico pronunciado desde el suelo pasando por la planta hasta la atmosfera. Aun con el suelo muy húmedo y la HR del aire es alrededor de 99% se puede establecer un gradiente de potencial hídrico cuando. Además, Gil-Pelegrín, *et al.* (2005) encontraron comportamiento similar de potencial hídrico atmosférico a través de un modelo integrador continuo suelo-planta-atmósfera (SPAC) que analiza el flujo de agua en los vegetales terrestres como un proceso dinámico a lo largo de una serie de compartimentos, desde la fuente (suelo) hasta la demanda final (atmósfera).

1.9.13. Materia fresca y seca en el cultivo de jitomate

1.9.14. Biomasa de materia fresca

Se generaron curvas de crecimiento de los diferentes órganos de las plantas de jitomate. En la (Figura 20) se puede observar las tendencias de crecimiento, tanto en peso fresco como seco son muy similares. Estas curvas muestran el comportamiento del cultivo con respecto al tiempo, por lo que se puede utilizar como herramienta en la planeación de las labores culturales y en la programación de riego y nutrición de este cultivo bajo condiciones de invernadero. Juárez-Maldonado *et al.* (2015) reportaron 4000 g en peso fresco del fruto, 1000 g en peso fresco de la hoja y 500 g en el tallo de cultivo a 10 racimos cosechando únicamente 5 frutos por racimo aplicando el sistema de raleo. Estos valores son bajos con respecto a los reportados en este trabajo de investigación.



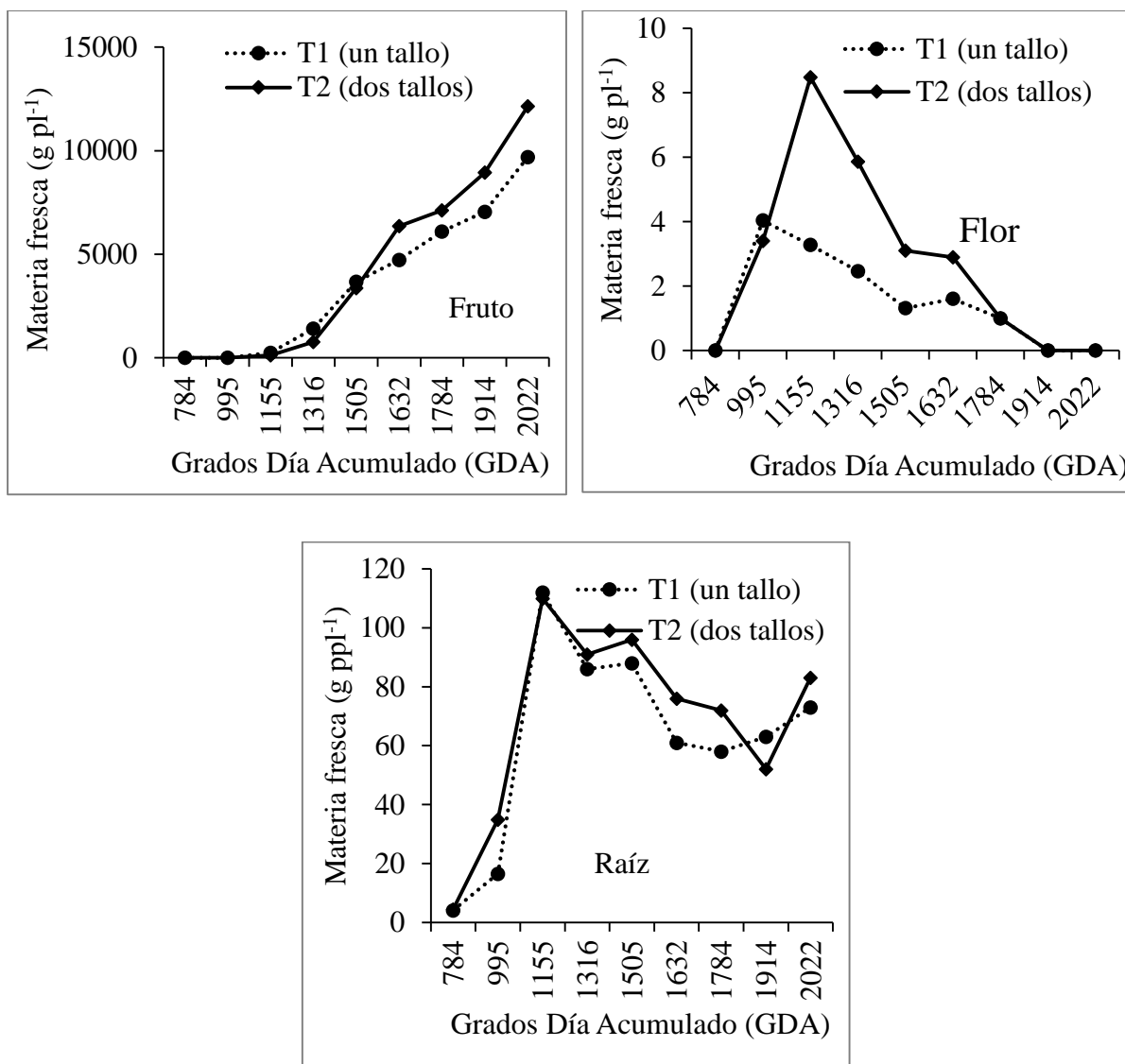
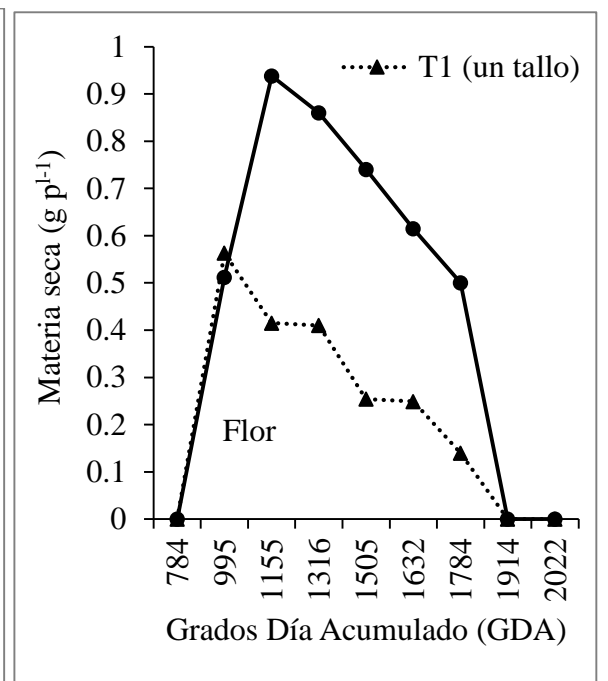
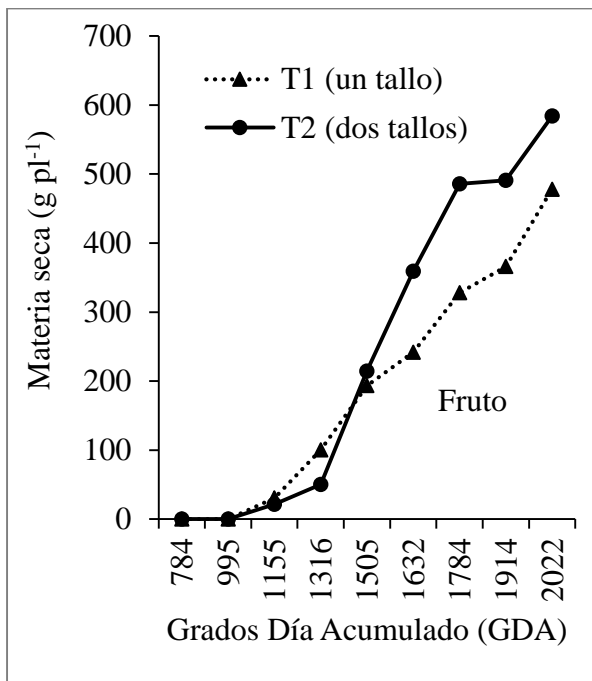
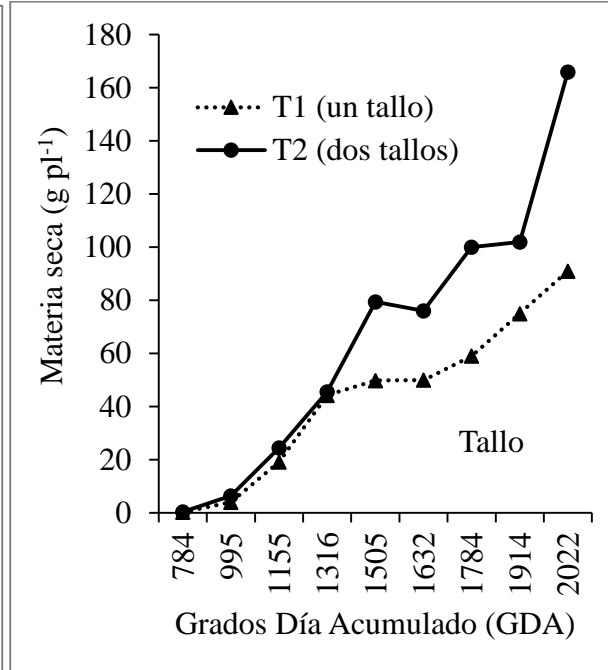
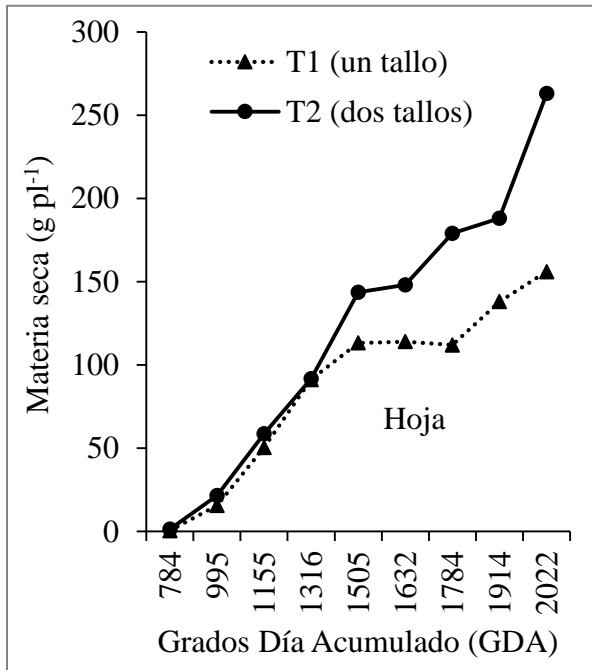


Figura 20. Materia fresca en la hoja, tallo, fruto, flor y raíz en los tratamientos

1.9.15. Biomasa de materia seca

La distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo, ya que el crecimiento de éste viene dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que destina a la cosecha (Peil y Galvez, 2005). En la (**Figura 21**) se observa que a partir de 1316 GDA se empieza a diferenciar la partición de la materia seca en los diferentes órganos de la planta (hoja, tallo, fruto, raíz y flor) y se observa que en las primeras etapas de crecimiento hubo una producción de biomasa en los órganos en el orden de hoja, tallo, fruto, raíz y flor similar a lo reportado por (Betancourt y Pierre, 2013; Hernández *et al.* 2009; Gandicia y Peña, 2015). Luego se produjo una continua acumulación de materia seca en la parte aérea en donde los frutos aportaron gran parte de este

contenido en la fase de plena producción de la planta, este comportamiento es similar a reportado por Gandicia y Peña (2015). Además, Villegas *et al.* (2004) obtuvo tendencia similar en tomate cultivado en invernadero.



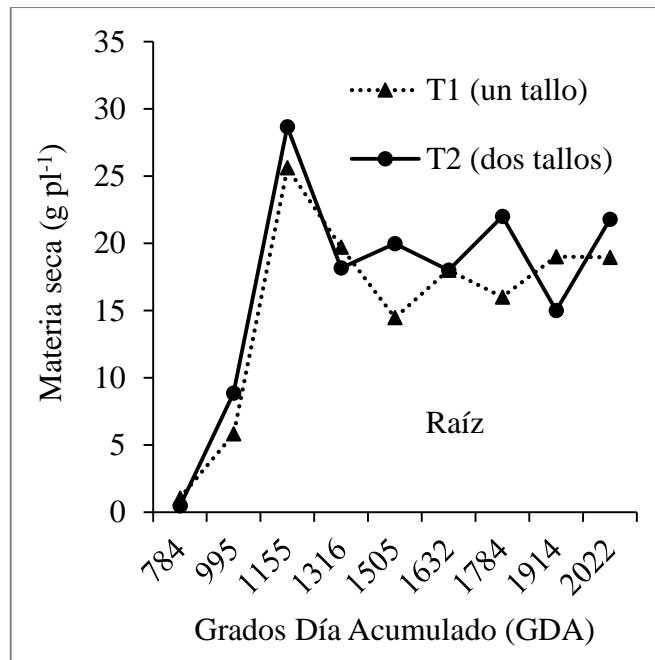


Figura 21. Materia seca en la hoja, tallo, fruto, flor y raíz para los tres tratamientos

Esta variable tiene relación directa con el índice de área foliar, a mayor biomasa, mayor es el índice de área foliar. Sin embargo, el rendimiento y calidad de fruto es afectado ya que la planta primero invierte parte su energía en el crecimiento y desarrollo, después de cierta altura disminuye su velocidad de crecimiento y empieza a invertir el resto de su energía en la producción de fruto (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018b).

1.9.16. Análisis de costos de producción para jitomate

1.9.17. Costos de producción para el tratamiento de un tallo por planta (T1)

En el (**Cuadro 14**) se puede observar los costos de producción de cada uno de los rubros como: fertilizantes, insecticidas y fungicidas, semillas sustratos y sistemas de riego donde producir una hectárea implica un costo de producción total de \$ **1,049, 352.50 (un millón cuarenta y nueve mil trescientos cincuenta y dos pesos)**. En este análisis no incluye el costo de instalación del invernadero, pero según la empresa Agrocentro Comercial de Ags SA de CV en 2016 el costo de instalación del tipo de invernadero usado en este trabajo, el precio oscila alrededor de 190.20 pesos por m². Para 1 hectárea (10,000 m²) el costo de un invernadero sería de \$= 1, 902,000.000. La renta de un invernadero en buenas condiciones oscila alrededor de 60,000.00 hasta 100,000.00 por hectárea por año. El costo de la renta varía por diversos factores ubicación, condiciones de acceso, condiciones de infraestructura y el tipo invernadero.

Cuadro 14. Costos de producción de cultivo de jitomate en invernadero

Fertilizantes	Total de productos (ha)	\$ Costos de producción por (ha)
Ácidos	10,000	
Ácido Sulfúrico	664.3	7639.30
Ácido Fosfórico	514.3	26884.30
Macro elementos		
Sulfato de Magnesio	2521.4	13968.70
Sulfato de potasio	1824.1	31082.80
Nitrato de Potasio	3794.6	79991.10
Nitrato de Calcio	8179.6	89158.10
Micro elementos		
Sulfato de Manganeso	49.1	2209.80
Sulfato de Zinc	21.4	1071.40
Sulfato de cobre	8.9	973.20
Ácido Bórico	17.9	696.40
Segaquel	48.2	4483.90
Foliar	44.2	5789.70
Tradecorp	39.7	11721.00
Subtotal		275,669.80
Insecticidas y fungicidas		
Ridomil Bravo	20.1	17,678.60
Previcur	8.9	8,366.10
Actara	8.9	7,223.20
Lanate	4.5	334.80
Biodie	80.4	30,535.70
Proplat	6.3	2,500.00
Amistar	4.5	2,232.10
Subtotal		68,870.5
Semillas, sustratos y sistema de riego		
Semillas (1000 sem)	30000	84,780.00
Tezontle (m ³)	535.71	117,857.10
Charolas para germinar	150.0	6,750.00
Sistema de riego por goteo	1	300,000.00
Energía eléctrica	1	4,000.00
Peat moss turba	2	1,400.00
Rafia (rollos)	100	20,000.00
Bolsas	30000	35,625.00
Mano de obra	4800	134,400.00
Subtotal		704,812.10
Total		1,049,352.50

En el (**Cuadro 15**) se presenta el análisis económico de la relación costo-beneficio (B/C), conocida también como índice neto de rentabilidad. En primer lugar, la relación $B/C > 1$ el cual indica que los beneficios superan los costos de producción, por lo tanto, el proyecto es viable para llevar a implementar. En segundo término, también nos indica que por cada 1 peso o dólar invertido se obtiene una ganancia de 3.27 pesos o dólares.

Cuadro 15. Relación de beneficio costo para el tratamiento de un tallo (T1)

Evaluación de beneficio costo	
Toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$)	285.90
Precio medio rural tonelada \$ (PMR)	12,000.00
Venta de producción	3,430,800.00
Costo de producción total	1,049,352.50
Utilidad neta	2,381,447.50
Relación de B/C	3.27

1.9.18. Costos de producción para el tratamiento de dos tallos por planta (T2)

Los costos de producción son prácticamente las misma lo único que duplica es el costo de las rafias en lugar de 100 rollos, para el tratamiento de dos se ocupa 200 rollos con valor de 40,000.00 pesos.

En el (**Cuadro 16**) se presenta el análisis de la **relación costo-beneficio** (B/C), conocida también como índice neto de rentabilidad. En primer lugar, la relación $B/C > 1$ el cual indica que los beneficios superan los costos, por lo tanto, el proyecto es viable a implementar. En segundo término, también nos indica que por cada 1 peso invertido se obtiene una ganancia de 4.25 pesos.

Cuadro 16. Relación de beneficio costo para el tratamiento de dos tallos

Evaluación de beneficio costo	
Toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$)	377.40
Precio medio rural tonelada \$ (PMR)	12000.00
Venta de producción	4,528,800.00
Costo de producción total	1,069,352.50
Utilidad neta	3,459,447.50
Relación de B/C	4.24

1.10. CONCLUSIONES

Con relación a los componentes bioquímicos la Vitamina C no presentó variación en los tratamientos. El T1 presentó el valor más alto de conductividad eléctrica, en el tallo principal del T2 se registró el valor más alto acidez titulable y en el tallo secundario mayor concentración de sólidos solubles totales, firmeza, pH e índice de madurez. En los caracteres físicos, el T1 fue mejor con 75, 19, 4 y 1% frutos de tamaño grande, mediano, pequeños y muy pequeños. El rendimiento presentó una respuesta positiva al incrementar el número de tallos por planta de 28.59 kg m⁻² para un tallo a 37.74 kg m⁻² para dos tallos (23.76 y 13.98 kg m⁻² para el tallo principal y secundario). Al incrementar el número de tallos por planta, aumenta el número total de frutos, sin embargo, la firmeza y el tamaño disminuye por eso se recomienda a los productores utilizar el T1 para producir frutos de tamaño grande para fines de exportación. Para mercado nacional y local, se recomienda al productor utilizar el T2 (dos tallos) siempre y cuando las condiciones ambientales, la variedad y el tipo de desarrollo permitan un periodo más largo de crecimiento para obtener el máximo potencial productivo de la planta.

Con respecto a las variables climáticas, cuando la temperatura es alta aumenta el déficit de presión de vapor, por lo tanto, incrementa la demanda transpirativa, la absorción de agua y nutrimentos, mayor actividad fotosintética. Por eso se considera que la transpiración es el principal mecanismo, por el cual, plantas utilizan para liberar calor a través de los estomas y regular su temperatura interna. La temperatura y humedad del aire se pueden modificar poco por medio de ventilación a través de ventilas laterales y cenitales para liberar el exceso de calor y humedad relativa acumulado en el interior del invernadero.

1.11. LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. 1997. Sustratos: propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos inertes y activos. España.
- Abd-Allah, E. F.; Hashem, A.; Al-huqail, A. 2011. Biological based strategies to reduce postharvest losses of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(32):6040-6044.
- Amaya, P., Peña, L., Mosquera, A., Villada, H., and Villada, D. 2009. Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). España. *Dyna*. 162:67-73.
- Arévalo-Madrigal, M., Mérida-Reyes, J.L., Escalante-González, J.L., Yáñez-Coutiño, J.B., and Osorio-Hernández, E. 2018. Efecto de podas tempranas en tomate (*solanum lycopersicum*) var. ramses para la formación de plantas con dos tallos. *Revista Agroproductividad* 11 (10): 57-61.
- Avidan, A.; Ziadan, O.; Zachs, Y. 2004. La producción de tomates en suelos y en sustratos artificiales. Recomendaciones. X Curso internacional de sistemas de riego, departamento de irrigación, Chapingo, México.
- Anjanappa, M.; Jayaramana-Gowda, G. S.; Suresh-Kumara, B. 2013. Shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by 1-methylcyclopropene (MCP) under cold storage conditions. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 47(1):58-65.
- Angarita, C. 2004. Capacitación en el manejo poscosecha, logística, calidad y desarrollo de productos hortofrutícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia. 30pp.
- Arazuri, S.; Jarén, C.; Arana, J. I.; Arias, N.; Macua, J. I.; Lahoz, I. 2010. Development of a calibration model for lycopene analysis based on NIR Spectroscopy. International Conference on Agricultural Engineering "AgEng-2010". Environmental Technology, Clermont-Ferrand, France. 6-8 September, 2010. p 208.
- Arazuri, S.; Jarén, C.; Arana, J. I.; Arnal, P.; Armendariz, R.; Gervaz, C. 2004. Evaluation of damage produced by tomato harverters using the IS-100. *ISHS Acta Horticulturae* 724. International Symposium on the processing tomato.

- Angeletti, P.; Castagnasso, H.; Miceli, E.; Terminiello, L.; Concellón, A.; Chaves, A.; Vicente, A. 2010. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology*, 58 (2):98–103.
- Baldwin, E. A.; Goodner, K.; Plotto, A. 2008. Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. *Journal of Food Science*, 73:S294–307.
- Bautista, M. N.; Chavarin, P. C.; Valenzuela, E. F. 2008. Jitomate tecnología para su producción en invernadero. 2da edición. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Estado de México. 213 p.
- Bastida, T. A. 2002. Sustratos hidropónicos. Serie de publicaciones Agribot. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Bartell, D. M.; Beaulieu, J. C.; Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit. Rev. Food Sci.*, 50: 369-389.
- Bartz, J. A.; Brecht, J. K. 2003. *Postharvest Physiology and Pathology of vegetables*. Dekker Press, Boca Raton, FL, USA.
- Bartz, J. A.; Ritenour, M. A.; Elkahky, M. 2010. Chilling injury in tomato exposed to low temperature in the fields. *Phytopathology*, 100 (6):S12.
- Barone, A.; Chiusano, M. L.; Escolano, M. R.; Giuliano, G.; Grandillo, S.; Frusciante, L. 2008. Structural and functional genomics of tomato. *Int. Journal of Plant Genomics*, 2008:820274.
- Barrera-Puga, P.; Vázquez-Peña, M. A.; Arteaga-Ramírez, R.; López-Cruz, I. L. 2011. Calidad y rendimiento de jitomate variando el calcio un sistema NFT en invernadero. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 3(2):49-55.
- Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1):129-140.

- Bernard, C.; Gautier, H.; Bourgaud, F.; Grasselly, D.; Navez, B.; Caris-Veytat, C. 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10):4112-4123.
- Beekmans, G. 1986. Kasklimaat. En Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk (Ed.) *Teelt van Stooktomaten*. No. 56: 56-67.
- Bures, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Aerotecnicas. Madrid, España.
- Buitelaar, K.; Eindhoven, W. 1986. «TeeltenTeeltmaatregelen». En Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk (Ed.) *Teelt van Stooktomaten*. No. 56: 38-55.
- Brandt, M. S.; Pek, Z.; Barna, E.; Lugasi, A.; Helyes, L. 2006. Lycopene content and color of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of Sci. Food Agric.*, 86(4):568-572.
- Bruhn, C. M. 2007. Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. En: *Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. Third edición. Kader, A. (Editor), 37-44. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, USA.
- Castilla, N. 1995. «Manejo del cultivo intensivo con suelo». En Nuez, F. (Ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-prensa
- Causse, M.; Damidaux, R.; Rousselle, P. 2007. Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. In: Razden, M.K., Matto, A.K. (Eds). *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*. Vol. 2. Tomato Science Publisher. Pp 153-192.
- Causse, M.; Friguet, C.; Coiret, C.; Lépicier, M.; Navez, B.; Lee, M.; Holthuysen, N.; Sinesio, F.; Moneta, E.; Grandillo, S. 2010. Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *J. Food Sci.*, 75(9):S531–S541.
- Ceballos-Aguirre, N., Vallejo-Cabrera, A., and Arango-Arango, N. 2012. Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* ssp). *Acta Agronómica* 61 (3):230-238.

- Cervantes, F. M. 1997. Conferencia internacional en hidroponía comercial. Universidad Nacional agraria, la Molina. Lima, Perú.
- Colombo, M. H.; Obregón, R. 2008. Horticultura General. Consideraciones del cultivo del tomate y manejo. INTA–Estación Experimental Agropecuaria "Bella Vista". Centro Regional Corrientes. Publicación Técnica N° 24. ISSN 1515-9299.
- Corella, B.R.A., Soto, O. R., Escoboza, G.F., Grimaldo, J.O., Huez, L. M. A., and Ortega, N.M.M. 2013. Comparación de dos tipos de poda en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., sobre el rendimiento en invernadero. XVI Congreso Internacional de Ciencias Agrícola. Mexicali Baja California. México. 688-692.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sun, D. W., and Menesatti, P., 2011. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. Food and Bioprocess Technology 4: 673-692.
- Contreras, J.; Gamba, H.; Fischer, G. 2007. Características fisicoquímicas y organolépticas de frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) a dos tipos de almacenamiento y tipos de cera. Ciencia y Agricultura, 5(2):39-49.
- Chapagain, B. P.; Wiesman, Z. 2004. Effects of potassium-magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Scientia Horticulturae, 99 (3):279-288.
- Casanova, A. S.; Gómez, O.; Pupo, F.; Hernández, M.; Chailloux, M.; Depestre, T.; Hernández, J. C.; Moreno, V.; León, M.; Igarza, A.; Duarte, C.; Jiménez, I.; Santos, R.; Navarro, A.; Marrero, A.; Cardoza, O.; Piñeiro, F.; Arozarena, N.; Villarino, L.; Hernández, M. T.; Salgado, J. M.; Socorro, A.; Cañet, F.; Rodríguez, A.; Osuna, A. 2007. Producción protegida de plántulas de tomate. Manual para la producción protegida de hortalizas. Ministerio de la Agricultura. IIH "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba. 138 pp.
- Cabello, M. J.; Castellanos, M. T.; Romojaro, E.; Martínez-Madrid, C.; Ribas, F. 2009. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. Agricultural Water Management, 96 (5):866-874.

- Costa, P.; Giacomelli, G. 2005. Protected horticulture for tomato production in Mexico productivity based on technology alternative. VII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, B. C. México. p. 89-93.
- Chaib, J.; Devaux, M. F. Grotte, M. G.; Robini, K.; Causse, M.; Lahaye, M.; Marty, I. 2007. Physiological relationships among physical, sensory and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*, 581:1915-1925.
- Chiesa, A., Mayorga, I., León, A. 2009. Quality of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa* L.) as affected by lettuce genotype, nitrogen fertilization and crop season. *Advances in Horticultural Science*, 23(3):143-149.
- Davila-Aviña, J. E.; González-Aguilar, G. A.; Ayala-Zavala, J. F.; Sepúlveda, D.R.; Olivas, G. I. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2):133-143.
- Desai, B.; Kotecho, M.; Salunkhe, D. 1997. *Seeds handbook. Biology, production, processing and storage.* Ed Marcel Dekker. New York, U.S.A. the composition of nutrient solutions for hydroponic cropping: practical use. *Acta Hort.* 627 p.
- Del Pino, M.; Garbi, M.; Martínez, C.; Oyhanto, F.; Puerta, A.; Sangiacomo, M. A. 2002. *Manual de Producción de Hortalizas.* Universidad Nacional de Luján. Argentina. p 137. Disponible en: <http://www.unlu.edu.ar/~hort/1-5.htm>. [Consultado el 13 de enero del 2012].
- FAOSTAT. 2010. *Agricultural Production Database.* Disponible en: <http://faostat.fao.org/>. [Consultado: 18 de julio del 2013].
- FAOSTAT. 2013. *Statistical Yearbook. Datos estadísticos sobre el cultivo del tomate.* Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/pt/visualize/#reports>. [Consultado: 4 de julio del 2013].
- Florian, M. P. 1997. *Sustratos: propiedades, ventajas y des ventajas.* Conferencia internacional en hidroponía comercial. Universidad Nacional agraria, la Molina. Lima, Perú.
- Garza, A. M.; Molina, V. M. 2008. *Manual de producción de jitomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León.* México.

- Gil, V.I.; Miranda, V. I. 2000. Producción de jitomate rojo en hidroponía bajo invernadero. Serie de publicaciones Agribot. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Hao, X.; Papadopoulos, A. P. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science*, 83:903-912.
- Hao, Z.; Fallolle, L.; Vantuinen, D.; Chatagnier, O.; Li, X.; Gianinazzi, S.; GianinazziPearson, V. 2012. Local and systemic mycorrhiza-induced protection against the ectoparasitic nematode *Xiphinema index* involves priming of defense gene responses in grapevine. *J. Exp. Bot.*
- Huerres, P.; Caraballo, N. 1988. Horticultura. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 4- 16 pp.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Revista horticultura*. 205:52-54.
- Hemaprabha, E.; Balasaraswathi, R. 2008. Internal quality characterization and isolation of lycopene specific genes from tomato. *Journal of Applied Horticulture*, 10(1):21-24.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Guzmán, M.; Zapata, M.; Rengifo, T. 2007. Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico. Tampillo, México. 122 pp.
- Juárez-Maldonado, A.; Romenus, K. de Alba.; Zermeño, G. A.; Ramírez, H.; Benavides, M. A. 2015. Analisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6 (5): 943-954.
- Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidropónia. *Terra* 17 (3): 221-229.
- Luna- Guevara, M. L., and Delgado-Alvarado, A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(1): 51-66.

- El-Bassiony, A. M.; Fawzy, Z. F.; Abd El-Samad, E. H.; Riad, G. S. 2010. Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium humate fertilization. *Journal of American Science*, 6(12):722-729.
- Gautier, H.; Diakou-Verdiri, V.; Benard, C.; Reich, M.; Buret, M.; Bourgaud, F.; Poessel, J.L.; Caris-Veyrat, C.; Genard, M. 2008. How does tomato quality (sugar, acid and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature and irradiance?. *Journal of Agric. Food. Chem.*, 56: 1241-1250
- Gómez, O.; Casanova, A.; Cardoza, H.; Piñeiro, F.; Hernández, J. C.; Murguido, C.; León, M.; Hernández, A. 2010. Guía Técnica para la producción del cultivo del tomate. Editora Agroecología. Biblioteca ACTAF. IIIH "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba.
- González, N. J. F. 2009. La Agricultura Protegida. Horticultivos. Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. p. 6.
- Giaconi, V.; Escaff, M. 2004. Cultivo de hortalizas. 15ta Edición. Universitaria. Santiago de Chile, Chile. 335 p.
- Jaimez, E.R., Da-Silva, R., Aubeterre, A.D., Allende J., Rada F., Figueiral, R. 2005. Variaciones micro climático en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annuum*). *Agrociencias* 39: 41-50.
- Kader, A. A. 2007. Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Universidad de California, Davis, California, EE.UU.
- Kader, A. A. 2008. Perspective. Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal Sci. Food Agric.*, 88:1863-1868.
- Kader, A. A. 2002. Modified atmospheres during transport and storage. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (A.A. Kader ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources. Oakland, California, USA.
- Klee, H. J.; Giovannoni, J. J. 2011. Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes. *Annual Reviews of Genetics*, 45:41-59.
- Klee, H. J.; Tieman, D. M. 2013. Genetic Challenges of flavor improvement in tomato. *Trends in Genetics*, 29 (4):257-262.

- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C. y Vargas-Orosco, A. G. 2018a. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:355-366.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C.; Ojeda-Bustamante, W.; Trejo, C.; López-Ordaz, A.; Quevedo-Nolasco, A., and Martínez-Ruiz, A. 2018b. Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to wáter consumption, leaf area and yield with respect to the number of stems in the greenhouse. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO)* 50 (2): 87-104.
- Melero-Meraz, V.; Rumayor-Rodríguez, A. F. 2007. Aplicaciones de calcio en durazno variedad “Victoria” para mejorar la vida poscosecha del fruto. En: XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Zacatecas, México. p 32.
- Medina, A., Cooman, A., Escobar, H., Salamanca, C. and Monsalve, O. 2009. Riego y Fertilización. In: H. Escobar and R. Lee, ed., *Manual de producción de tomate bajo invernadero*, 2nd ed. Bogotá: Fundación de universidad de Bogotá Jorge de Tadeo Lozano, pp.37-54.
- Navarro-González, I.; García-Valverde, V.; García-Alonso, J.; Periago, J. M. 2011. Chemical profite, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Res. Int.*, 44(5):1528-1535.
- Navarro-López, E.R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García-Mateos, M.R., and Ramírez-Arias, A. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Rev. Chapingo Ser.Hortic* 18 (3):263-277.
- Neilsen, G. H.; Neilsen, D.; Herbert, L. 2009. Nitrogen fertigation concentration and timing of application affect nitrogen nutrition, yield, firmness and color of apples grown at high density. *HortScience*, 44 (5):1425-1431.
- Neilsen, G. H.; Hogue, E. J.; Neilsen, D.; Bowen, P. 2005. Postbloom humic and fulvic based zinc sprays can improve apple zinc nutrition. *HortScience*, 40:205-208.
- Nisha, P., Singhal, R.S., and Pandit, A.B., 2011. Kinetic modelling of colour degradation in tomato puree (*Lycopersicon esculentum* L.). *Food and Bioprocess Technology* 4:781–787.

- Nuez, F. 2000. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi- Prensa, Barcelona, España.
- Perez, G. M.; Castro, B. R. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de divulgación No 3. Departamento de fitotecnia, universidad autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Perez, G.A.C., Santos, E. L., and Gómez, C.O. 2006. Evaluación de la calidad interna en frutos de jitomate nativo de la región de Ajalpan y un híbrido comercial. Revista Ingeniantes 1 (1):24-27.
- Perez, E.H.A., Chávez, M.J., Carrillo, F.G., Rodríguez, M. María de las Nieves., and Ascencio, H.R. 2017. Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(2):333-343.
- Pila, N.; Gol, N. B.; Rao, T. V. R. 2010. Effect of postharvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during storage. Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci., 9:470-479.
- Plana, D., Álvarez, M., Dueñas, F., Lara, R.M., Moya, C., Florido, M., Álvarez, I., Sam, O., and Rodríguez, J.L. 2011. Characterization of the sunspot in tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Cuba. Tropical Crops 32 (3): 36-41.
- Prigojin, I.; Fallik, E.; Qat, Y.; Ajalin, I.; Allam, H.; Ezzat, M.; Al-Masri, M.; Bader, M. 2005. Middle East regional agricultural program: Survey on postharvest losses of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) and table grape (*Vitis vinifera*). Proceedings of the 5th International Postharvest Symposium, June 6-11 in Verona, Italy. Acta Horticulturae (ISHS), 682:1049-1056.
- Quintana-Baquero, R. A., Balaguera-López, H. E., Álvarez-Herrera, J. G., Cárdenas-Hernández, J. F and Hernando-Pinzón, E. 2010. Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 4(2):199-208.
- Rodríguez, R.; Tavares, R.; Medina, 2001. Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.

- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Palomo, G.P., Favela, C.E., Álvarez, R.V., Márquez, H. C. and Moreno, R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3):265-272.
- Renquist, R. A.; Reid, J. B. 1998. Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 26, 161-168
- Ruíz-Sánchez, M.; Aroca, R.; Muñoz, Y.; Polón, R.; Ruíz-Lozano, J. M. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 167:862-869. Russo, V.M., Perkins-Veazie, P.
- Sangiaco, M.; Garbi, M.; Del Pino, M. 2002. *Manual de Producción de Hortalizas*. U.N. Luján, Argentina.
- Sánchez, M. T.; De la Haba, M. J.; Guerrero, J. E.; Garrido-Varo, A.; Perez-Marin, D. 2011. Testing of a local approach for the prediction of quality parameters in intact nectarines using a portable NIRS instrument. *Postharvest Biol. Technol.*, 60:130-135.
- Serna, B. R.; Castro, R. P. 2003. Aseguramiento de la calidad en la producción de hortalizas. *Revista Universidad Católica del Oriente, Colombia*. Pp 109-119.
- Sortino, O.; Dipasquale, M.; Montoreni, E.; Tomasso, L.; Perrone, D. G.; Vindrona, D.; Negre, M.; Piccone, G. 2013. Refuse derived soluble bio-organics enhancing tomato growth and productivity. *Waste Management*, 32:1792-1801.
- Stefanelli, D.; Goodwin, I.; Jones, R. 2010. Minimal nitrogen and water use in Horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Research International*.
- Tandon, K. S.; Baldwin, E. A.; Scott, J. W.; Shewfelt, R. L. 2003. Linking sensory descriptors to volatile and non-volatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science*, 69:2366-2371.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. 5th Edition. Sinauer, Sunderland, MA, USA. 782 pp.

- Tieman, D. M.; Loucas, H. M.; Kim, J. Y.; Clark, D. G.; Klee, H. J. 2007. Tomato phenylacetaldehyde reductase catalyze the last step in the synthesis of the aroma volatile 2-phenylethanol. *Phytochemistry*, 68:2660-2669.
- Toivonen, P. M. A. 2007. Fruit maturation and ripening and their relationship to quality. *Stewart Postharvest Reviews*, 3:1-5.
- Thompson, A. K. 2003. Preharvest factors and postharvest life. In: *Fruits and Vegetables*. Ames Iowa, Blackwell Publising LTD. p 1-8.
- Thybo, A. K.; Adelenbos, M.; Christensen, L. P.; Serensen, J. N.; Thorup-Kristensen, K. 2006. Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT*, 39:835-843.
- Villareal-Romero, M.; García-Estrada, R. S.; Osuna-Enciso, T.; Armenta-Bojórquez, A. D. 2002. Efecto de dosis y fuentes de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra*, 20 (3):311-320.
- Villegas, C. J. R.; González, H. V. A.; Carrillo, S. J. A.; Livera, M. M.; Sánchez del Castillo, F.; Osuna, E. T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidad de población en dos sistemas de producción. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(4):333-338.
- Villamán, M.A. 2011. Efecto de tres tipos de poda sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicum esculentum*) para producción en la provincia de Cautin. Chile. Tesis de licenciatura. Universidad de la Frontera Facultad de Ciencia Agropecuaria y Forestal. 42 pp.
- Vera, D.H.E., Vera, B.C.G., and Bello, I. P. 2015. Efecto de poda de tallo en el rendimiento del híbrido de tomate Miramar F1. *Revista Espamciencia* 6: 71-75.
- Wills, R. B.; Ku, V. V. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26:85-90.
- Wills, R.B.; McGlasson, W. B.; Graham, D.; Joyce, D. C. 2007. *Postharvest: An introduction to the Physiology and handling of fruit, vegetable sand ornamentals*. Fifth Edition. Cabi, Oxfordshire.

Zaccari, F. 2009. Cosecha y postcosecha de frutas y hortalizas. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy>. [Consultado el 18 de julio del 2013].

Znidarcic, D.; Pozrl, T. 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. Malike (*Solanum lycopersicum* L.) whilst stored at different temperatures. Acta Agriculturae Slovenica, 87:235-243.

Znidarcic, D.; Ban, D.; Oplanic, M.; Karic, L.; Pozrl, T. 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment, 8 (1):21-25.

CAPÍTULO 2. EFECTO DE NÚMERO DE TALLOS Y SU RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN CULTIVADO EN INVERNADERO

2.1. RESUMEN

El número de tallo puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad del rendimiento del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del número de tallos y su respuesta en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento y su relación con las variables climáticas en dos variedades de pimiento morrón cultivado en invernadero. El trabajo se realizó en un invernadero en condiciones de hidroponía. Se utilizó arena roja de roca volcánica (tezontle) como sustrato y se aplicó el riego con un sistema de riego por goteo. El experimento consistió en cuatro tratamientos (T) de la variedad Cannon y a dos tallos (T1) y a tres tallos (T2) por planta de la Bragi. Se realizaron muestreos en los frutos para determinar los parámetros de los componentes bioquímicos (sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, concentración de licopeno, pH, conductividad eléctrica, índice de madurez), caracteres físicos (firmeza, tamaño, forma, color) y rendimiento. Los resultados indican que en los componentes bioquímicos, los frutos de ambas variedades son ricos en vitamina C por su alta concentración de ácido ascórbico del orden de 120 mg 100g⁻¹ de materia fresca. El T1 y T2 de la variedad Cannon presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales, licopeno y firmeza. Con relación en los caracteres físicos, el T1 (Cannon) fue mejor, con 63, 35, 2 y 0 % de frutos de tamaño grande, mediano, chico y rezaga, respectivamente. El mejor rendimiento se obtuvo con el T2 (tres tallos) de 6.50 kg m⁻² de la variedad Bragi. Adicionalmente se observó que, al incrementar el número de tallos por planta, aumenta el número total de frutos; sin embargo, el tamaño disminuye. Se encontró que las variables atmosféricas como: la radiación fotosintéticamente activa, temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor, potencial hídrico atmosférico son indispensables el crecimiento y desarrollo de las plantas. El manejo adecuado y control de estas variables en invernaderos son de vital importancia porque las plantas tienen poca capacidad de autorregular su temperatura interna, por lo tanto, un manejo inapropiado puede afectar el desarrollo y el máximo potencial productivo.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., componentes bioquímicos, caracteres físicos, variables climáticas, hidroponía.

2.2. INTRODUCCIÓN

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) posee una gran variabilidad genética y una amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos principalmente carotenos. Es originario de América del Sur, de la región de Bolivia y Perú, se incorpora a la amplia gama de productos saborizantes y hortalizas al continente europeo y pertenece a la familia botánica de las solanáceas (Figuerola *et al.*, 2015).

México es un gran productor de pimiento, donde la mayor parte de la producción se destina a la exportación, tanto la que se produce a campo abierto como la de invernadero. Aproximadamente se siembran 5,800 hectáreas en todo el país, con rendimientos en campo abierto que va desde 8-43 t ha⁻¹ y en invernadero de 80-150 t ha⁻¹ (Zuñiga *et al.*, 2004). La exportación hacia los Estados Unidos y Canadá ha venido en ascenso llegando a un máximo de 240,000 toneladas en 2006 (Castellanos y Borbón, 2009).

El pimiento se consume en fresco o cocido, ya sea verde o en estado de madurez más avanzado, cuando los frutos cambian de color, desde amarillo hasta púrpura. También se utiliza frutos deshidratado para la preparación de pimentón en polvo, que se obtiene de la molienda de la cascara, además de la elaboración de conservas, tanto de variedades dulces como picantes; otro uso es como materia prima para la obtención de oleoresina que utiliza la industria alimentaria (Namesny, 1996).

El consumo del pimiento proporciona al ser humano, minerales, fibras, agua y antioxidantes. Estos elementos contribuyen a conservar una buena salud y calidad de vida en las personas (Nuez *et al.*, 1996). Su fruto se caracteriza por la producción de fenoles como producto de su metabolismo secundario, algunos de los cuales son indispensables para su funcionamiento y otros son útiles en los mecanismos de defensa bajo situaciones de tensión y contra el ataque de organismo patógenos. También se vincula el consumo de estos fitoquímicos con beneficios a la salud, debido a sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Cabrera-Soto *et al.*, 2009).

El pimiento cultivado en invernadero, puede alcanzar un precio hasta cinco veces mayor que la proveniente de campo abierto, por su calidad y sanidad, sobre todo si se comercializa hasta que el fruto empiece a cambiar de coloración (rojo, naranja, amarillo, crema, chocolate, morado) (Jovicich *et al.*, 2004b).

La producción de pimiento en México se cultiva mediante el sistema de producción tipo holandés, que consiste en conducir a la planta con dos tallos en forma de “V,” por lo que se tiene que podar una de las ramas de cada bifurcación, dejando la flor formada en la horqueta. De esta manera, en cada nudo de los dos tallos crece un fruto (dos frutos por cada “nivel”). Al limitar el número de frutos que crecen simultáneamente, este sistema puede modificar las relaciones fuente demanda, de tal forma que es posible lograr un crecimiento con producción continua que permite mantener el cultivo durante casi todo el año a una densidad de dos a tres plantas m^{-2} (cuatro a seis tallos m^{-2}) con crecimiento de más de 2 m de altura (Jovicich *et al.*, 2004a). Este sistema de producción requiere un buen manejo agronómico y de invernaderos con control ambiental, los rendimientos anuales pueden superar las 150 t ha^{-1} , sin embargo, su costo de producción es elevado (Paschold y Zengerle, 2000).

El licopeno es un carotenoide que se encuentra principalmente en el tomate, conserva sus propiedades funcionales después de ser procesado, no presenta toxicidad y posee efectos antioxidantes, antiinflamatorios y quimioterapéuticos sobre las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y algunos tipos de cáncer. Sin embargo, parece que su consumo a través de la dieta es insuficiente (Cruz *et al.*, 2013). Bramley, (2000) menciona al pimiento como fuente de licopeno, al igual que el tomate (*Solanum lycopersicon* Mill) y la sandía (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*), entre otras especies. Los pimientos sufren un gran cambio de color durante la maduración debido a la variación en la concentración de pigmentos, lo que determina que en los frutos verdes existan principalmente clorofilas, mientras que, en los frutos amarillos y rojos, se encuentran en mayor concentración de carotenoides. El consumo de alimentos ricos en licopeno y su aumento en la sangre se asocia con la disminución en el riesgo de padecer cáncer prostático (Giovannucun, *et al.*, 1995; Gann *et al.*, 1999).

El número de tallos puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad del rendimiento del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). A mayor número de tallos por planta es mayor el número de frutos, sin embargo, el contenido de los componentes bioquímicos, caracteres físicos y rendimiento puede afectarse. Los consumidores también están interesados en la inocuidad y contenido nutricional de los productos agrícolas que consumen.

Por lo tanto, es necesario conocer el desarrollo de los frutos y sus características físicas y químicas bajo diferentes condiciones de manejo con fines de manejo en la calendarización de riego y nutrición.

2.2.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de número de tallos y su respuesta en los componentes bioquímicos, caracteres físicos, rendimiento de frutos y su relación con las variables climáticas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero.

2.2.2. Objetivos particulares

1. Evaluar y comparar el rendimiento del fruto en pimiento morrón bajo dos variantes de manejo: a dos y a tres tallos por planta.
2. Clasificar y comparar el tamaño de los frutos entre los tratamientos de acuerdo a su diámetro.
3. Determinar y contrastar los parámetros de calidad en los: componentes bioquímicos (sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, concentración de licopeno, pH, conductividad eléctrica, índice de madurez), caracteres físicos (firmeza, tamaño, forma, color) entre tratamientos.
4. Determinar y comparar la productividad del agua entre los tratamientos
5. Determinar y comparar el efecto de las variables climáticas en el desarrollo, producción y calidad de frutos en pimiento morrón.
6. Determinar el análisis económico relación (beneficio/costo) del cultivo del jitomate en los tratamientos estudiados.

2.2.3. Hipótesis

En México existe información limitada sobre el crecimiento y producción de cultivo de chile pimiento morrón cultivado en invernadero. Una de las variables de manejo agronómico asociadas a su productividad es el número de tallos. A mayor número de tallos por planta es mayor producción, sin embargo, las variables de respuesta que determinan su calidad interna, tamaño y número de frutos puede afectarse. Por eso es necesario conocer el comportamiento agronómico de la planta bajo diferentes condiciones de manejo con fines de calendarización de riego y nutrición.

2.3. REVISIÓN DE LITERATURA

En México el pimiento morrón tiene una importancia económica en los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California Sur. Su producción se va directamente al mercado internacional principalmente a los Estados Unidos Americanos. El consumo del pimiento en el mercado nacional lo abastecen, Sinaloa, Morelos, Durango y Coahuila que incluye la Comarca Lagunera (Vásquez-Vásquez *et al.*, 2011).

El consumo del pimiento proporciona al ser humano, minerales, fibras, agua y antioxidantes. Estos elementos contribuyen a conservar una buena salud y calidad de vida en las personas (Nuez *et al.*, 1996). Su fruto se caracteriza por la producción de fenoles como producto de su metabolismo secundario, algunos de los cuales son indispensables para su funcionamiento y otros son útiles en los mecanismos de defensa bajo situaciones de tensión y contra el ataque de organismo patógenos. También se vincula el consumo de estos fitoquímicos con beneficios a la salud, debido a sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Cabrera-Soto *et al.*, 2009).

2.3.1. Origen del pimiento morrón

El pimiento morrón es cultivado en Centro y Sudamérica especialmente en la zona de Bolivia y Perú, donde se cultivan al menos otros cuatro especies. Hace 6000 años, los pimientos fueron utilizados en Sudamérica como especie para condimentar los alimentos suaves. En el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España desde donde se distribuyó al resto del continente europeo (Abu-Zahra, 2012).

México es el centro de origen, diversidad y domesticación del cultivo de chile, con una gran variedad genética. Se ha registrado su domesticación en los estados de Tamaulipas, Puebla y Oaxaca (Pickersgill, 1988).

2.3.2. Ubicación de pimiento en el mercado

El pimiento es la tercera solanácea más importante a nivel mundial después del jitomate y la papa, las necesidades de producción y del mercado han contribuido al crecimiento e importancia de esta hortaliza. La Unión Europea representa un mercado atractivo para el pimiento fresco mexicano debido a la demanda creciente del consumo de productos frescos libres de residuos químicos. Los principales productores de pimiento entre el periodo 2005-2009 fueron: China, México, Turquía, Indonesia y España, los cuales produjeron

aproximadamente 1, 000,000 toneladas. Según SAGARPA, en 2003 la producción de pimiento a nivel mundial fue de 27, 500,000 toneladas. México 2010 exportó 99.4% de la producción principalmente a Estados Unidos y 0.6% a Canadá (FAO, 2013).

La mayor parte de la producción de pimiento en México se destina a la exportación, tanto lo que se produce en campo abierto como de invernadero. El cultivo de pimiento morrón se encuentra entre las hortalizas de mayor producción, lo que representa un negocio con oportunidades y posibilidades de alta rentabilidad, ya que se siembran aproximadamente 5,800 ha con rendimientos aproximados de 50 t ha⁻¹ (Reséndiz-Melgar *et al.*, 2010).

Los grandes productores de pimiento en México que siembra a campo abierto y se localizan principalmente en zonas desérticas en el norte (Sonora y Sinaloa) y centro del país, han tenido que detener su expansión debido a la escasez de agua lo que ha dado paso a la producción en invernadero. Para el año 2009 se habían detectado al menos 85 hectáreas con invernaderos donde se producen cerca de 51, 000 toneladas de pimiento de exportación en estados como Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Puebla (De Santiago, 2009).

2.3.3. Taxonomía del pimiento morrón

El pimiento pertenece al género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas. Las variedades cultivadas de la especie de *Capsicum annuum* L. pertenecen a varias subespecies o variedades botánicas, algunas de ellas con sabor picante. Algunos autores solo reconocen a una especie la *capsicum annuum* L. que engloba toda la variedad genética existente (Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989).

Cuadro 17. Clasificación taxonómica de pimiento morrón (Gerhardt, 1975)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanaceas
Familia	Capsicum
Genero	Annuum
Especie	

2.3.4. Morfología del pimiento morrón

Las plantas de chile pimiento morrón tienen crecimiento simpódico y en cada bifurcación se producen flores, generalmente solitarias. Si las plantas se dejan crecer libremente, las primeras seis a doce flores amarran fruto, pero la alta demanda de asimilados para su rápido crecimiento ocasiona aborto de un alto porcentaje de flores generadas subsecuentemente. Una vez que estos frutos finalizan su crecimiento y son cosechados, la disponibilidad de asimilados aumenta y permite continuar el crecimiento vegetativo y eventualmente, el amarre y crecimiento de cuatro a ocho frutos más, que su vez, ocasionarían el aborto de flores que se forman posteriormente. Entre la cosecha del primer y segundo flujo de frutos, puede haber un intervalo de dos meses (Marcelis *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2009) lo que causa que en un ciclo de cultivo completo transcurran entre 8 y 10 meses después del trasplante, con rendimiento que oscilan entre 50 y 80 t ha⁻¹ (Jurado y Nieto, 2003).

La planta del pimiento es un pequeño arbusto de crecimiento indeterminado, que tiene un tallo frágil, erecto y herbáceo, con ramas que se subdividen en dos partes, sus hojas son grandes y de color verde intenso brillante, con forma oblonga (más largas que anchas), lanceada o globosa. El sistema radical inicia con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 0.50 y 1.0 m.

La planta se cultiva como anual, aunque en condiciones adecuadas y previa poda puede rebrotar y dar cosecha en el siguiente año alargándose el ciclo dos años; aunque la nueva planta formada presenta, con frecuencia, brotaciones poco vigorosas y frutos de menor tamaño y calidad. Está constituida por un tallo principal de consistencia herbácea que después se lignifica y que, a partir de dicho tallo principal, cuando alcanza la altura de unos 40 cm se bifurca en 2 a 3 ramas que su vez se ramifican en forma dicotómica. La producción en invernadero debido al peso de los tallos, hojas y frutos necesita entutorado para sujetarse y evitar que se tiendan al suelo o se quiebren. Su altura puede llegar en cultivos al aire a un metro de altura y en invernadero fácilmente a 2 m. Todo depende de la variedad, época y condiciones climáticas.

2.3.5. Raíz

La raíz es el órgano subterráneo de la planta, crece en dirección opuesta al tallo, introduciéndose en la tierra o sustrato de donde extrae nutrientes. En este órgano se distinguen el ápice o cono vegetativo envuelto por la cofia o piloriza, capucha muy resistente que protege al meristemo terminal del roce contra la tierra; la zona pilífera provista de pelos

radicales o absorbentes, finas terminaciones situadas inmediatamente por encima de la cofia; la zona de crecimiento, comprendida entre la cofia y los pelos absorbentes, constituida por un meristemo en crecimiento activo; la zona ramificada o cuerpo principal que se encuentra entre la zona pilífera y el comienzo de la raíz a nivel del suelo en donde se producen las diversas ramificaciones y bifurcaciones de la raíz principal y por último, el cuello de la raíz situada al nivel de la superficie del suelo.

Como en otras dicotiledóneas al seccionar transversalmente la raíz se distingue la epidermis en la que se sitúa los pelos absorbentes encargados de la absorción del agua y de la asimilación de los nutrientes y el cilindro central formado por el floema y el xilema.

El sistema radicular del pimiento está formado, en un principio, a los 20 días de germinación, por una raíz principal, pivotante, delgada con abundantes raicillas, rodeadas de una gran cabellera de raíces secundarias y adventicias. La raíz adulta puede llegar a más de un metro de profundidad, según la textura del suelo, predominando una fuerte y vigorosa raíz principal pivotante. En terrenos enarenados y riego localizado la profundidad de las raíces es menor. Dependiendo de la textura del suelo puede alcanzar 50-60 cm, aunque el 75% o más del volumen de raíces se localizan a menor profundidad, entre los 25-30 cm con una gran densidad horizontal de raíces que alcanzan una anchura de 50-75 cm.

Como ocurre con el jitomate, si se realiza aporcado la base del tallo puede emitir nuevas raíces; aunque de menor desarrollo que en jitomate. Hay que procurar, en las primeras fases del cultivo, facilitar la formación de un buen sistema radicular mediante el manejo adecuado de los riegos.

2.3.6. Tallos

El tallo sostiene todos los órganos del vegetal: hojas, flores, brotes y frutos y es el responsable de conducir la savia de la raíz a las hojas. En él se encuentran los nudos en donde se insertan las hojas, los frutos y las ramificaciones.

Es de crecimiento determinado o indeterminado, erecto, frágil, de epidermis brillante, con estrías, a veces, muy pronunciadas longitudinalmente y en otras variedades ligeramente estriadas, como ramificaciones de 1.5 cm de grosor. De consistencia tierna al principio, lignificaciones más tarde según se desarrolla, pero no lo suficiente para mantenerse erguido como planta adulta y con muchos frutos, por lo que necesita entutorado. Todas las

ramificaciones parten del tallo principal que al llegar a una altura que coincide con la cruz, tras aparecer entre 10 y 12 hojas verdaderas y a los 25-30 días de trasplante se dividen en 2-3 brazos y estos a su vez de forma dicotómica tienden a bifurcarse, todo ello dependiendo de tipo de crecimiento y de la variedad cultivada. En otras variedades el crecimiento es diferente, los brotes laterales aparecen muy rápido, antes de la formación de la cruz, al mes de la plantación conformándose una planta con un tallo principal y ramificaciones laterales de igual grosor y longitud.

En su extremo se encuentra el meristemo apical formado por un conjunto de células que se dividen activamente. De las yemas de las axilas de las hojas del tallo principal nacen nuevas brotaciones secundarias que a su vez pueden emitir otros tallos, hojas y así sucesivamente.



Figura 22. Tallos de planta de pimiento morrón

2.3.7. Hojas

Nacen de forma alterna en el tallo, con peciolo largo, lobulares, enteras, lisas y con un ápice muy pronunciado o acuminado, insertas en los nudos del tallo, de color verde claro a verde oscuro y un limbo más o menos alargado que proporciona a la planta una gran superficie.

El haz es glabro, liso y suave al tacto. El nervio principal simula a una prolongación del peciolo y llega hasta el final del limbo. Las nerviaciones secundarias y paralelinervias entre sí forma ángulo de unos 40° con el nervio central que llega al borde de la hoja. Dependiendo de la variedad las hojas pueden ser más o menos lanceoladas, elípticas u ovales y de mayor o menos tamaño.

El limbo de una hoja adulta mide unos 20 cm de largo, 11 de ancho con un peciolo que alcanza 8-10 cm de longitud. Las hojas sirven a la planta para llevar a cabo las funciones de la respiración, transpiración y función clorofílica.



Figura 23. Hojas de pimiento morrón en etapa vegetativa

2.3.8. Flores

Las flores del pimiento son completas por tener pedúnculo, pétalos, sépalos, estambres y pistilo; pendulares al curvarse hacia abajo el pedúnculo durante la anthesis o apertura de la flor, no obstante, dependiendo de su situación en la planta, a menudo se sustenta sobre un peciolo o se sujeta entre dos brotes y permanece vertical o inclinada. Las flores se desarrollan a partir de botones florales o ápices terminales y normalmente aparece una flor en la cruz del tallo que origina frutos gruesos. También se sitúan en el ápice de las ramificaciones, en la base de las axilas de las hojas, principalmente en las del tallo principal y en las bifurcaciones de las dicotomías, incluso en el mismo peciolo de la hoja, cerca de la unión con el tallo.

Las flores de esta planta son actinomorfas porque sus elementos están colocados alrededor de un eje y son iguales entre si pudiéndose dividir en dos mitades simétricas según distintos planos de simetría. Corola de seis o más pétalos en variedades cultivadas, normalmente 6-7, flor anisostémona cuando tiene distinto número de estambres que, de pétalos, flor gamopétala por unirse en su base los pétalos y flor fanerostémona por estar visibles los estambres desde el exterior. Las flores del pimiento, como otras solanáceas, son hermafroditas al tener androceo y gineceo. El androceo con seis o más estambres en un solo verticilo y tecas con dehiscencia por hendiduras longitudinales laterales. Los estambres no están unidos por la base sino sueltos con una longitud de 5 mm, filamentos entre 1.5-3 mm, anteras de 1.5-2 mm de ancho y de 2-3 mm de largas, con líneas azuladas que contornean la teca desde la base del estambre hasta rodearlo longitudinalmente.



Figura 24. Floración de pimiento morrón

En algunas variedades de pimiento dulce, dependiendo de la temperatura ambiental, el estigma es visible desde el exterior y sobresale de las anteras y al ser flores péndulas la polinización es autógena. En la mayoría de las variedades cultivadas en invernadero los estambres rodean completamente al estigma. En variedades de pimiento picante, por lo general, los estambres sobresalen del estigma por lo que la fecundación es, esencialmente, alógama, por insectos o por el viento.

La floración se inicia, dependiendo de las condiciones de clima y del desarrollo de la planta, cuando esta tiene formadas entre 10 a 15 hojas verdaderas, pudiendo transcurrir entre 25 a 30 días desde la plantación hasta inicio de la floración. Las flores permanecen receptivas 1-3 días desde su apertura o antesis, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura. El número de flores está influenciado por las condiciones ambientales. Por ejemplo: con altas temperaturas y escasa luminosidad puede reducirse el número de flores.

2.3.9. Frutos

Se desarrolla a partir del ovulo fecundado. El fruto del pimiento es una baya hueca no jugosa en forma de cápsula, en posición abatida, péndula o caída al estar el pedúnculo curvado, lo cual es una ventaja al protegerlos del sol, de piel lisa, normalmente asurcada y de coloración verde al principio y amarillos o rojos al madurar. A veces, con depresiones y de variadas formas, tamaño y color. Tiene normalmente entre 2, 3 y 4 lóculos, de peso variable dependiendo de la variedad cultivada y de diferentes colores, de verde al rojo, pasando por el amarillo, con un ápice en punta, redondeando o hendido. Su base está formada por el cáliz soldado a la piel con o sin hombros.

Una particularidad de los frutos del pimiento es que el pedúnculo parece prolongarse y penetrar en el interior del fruto formando el conjunto de la placenta y las numerosas semillas que las rodean y son la fuente principal, junto con los tabiques incompletos o seudotabiques que lo dividen internamente, de la mayor o menor concentración de capsicina, alcaloide responsable del picor de los frutos en las variedades picantes.

Esta particularidad obliga durante la recolección a utilizar tijeras o cuchillo para cortar los frutos y evitar desgarros. El grosor de la carne es mayor en los pimientos dulces que en los picantes para facilitar en estos últimos el secado o la deshidratación y la molienda.

El pedúnculo del fruto mide entre 4.5 cm de largo y cerca de 1-1.5 cm de grosor.



Figura 25. Fructificación de pimiento

Un fruto grande y grueso puede alcanzar un peso de 300 g y 10 cm de diámetro. Dependiendo de los tipos de frutos dulces cultivados en invernadero pueden alcanzar estos pesos medidas.

Tipo dulce italiano

Peso medio: 75-125 g

- Longitud: 15-25 cm
- Diámetros o anchura: 4-6 cm
- Espesor carne: 0.4 cm
- Numero de lóculos: 2-3 y a veces en la misma variedad e incluso en la misma planta puede darse frutos con 2, 3 y 4 lóculos.

Tipo california: normalmente en las primeras recolecciones su peso suele ser mayor, disminuyendo según avanza y que depende de las variedades cultivadas.

- Peso medio: 150-200 g
- Longitud: 7-13 cm
- Diámetros o anchura: 6 y 10 cm
- Espesor carne: 4-5 mm
- Numero de lóculos: 2, 3 y 4.

Tipo lamuyo

- Peso medio: 200-300 g
- Longitud: 15-20 cm
- Diámetro o anchura: 5.5-7 cm
- Espesor de la carne 0.5-0.75 cm
- Numero de lóculos: 3-4

Si los comparamos con otros tipos de pimientos dedicados al procesado industrial.

Por ejemplo

Tipo Morrón o de bola. Son pimientos de carne gruesa con destino principal la industria de conserva.

- Peso medio: 115-230 g
- Longitud: 7-8 cm
- Anchura: 7-8.8 cm
- Espesor de la carne: 4 mm

La fecundación de los frutos se produce a partir de los 45-50 después de trasplante. El fruto recién cuajado simula a una pequeña bellota de unos 12 mm de largo y 8 mm de ancho, apreciándose claramente el futuro cáliz y, a veces, los pétalos adheridos al pequeño fruto. Desde la fecundación entre 20-30 días, dependiendo del clima y variedad y otros tantos para el color amarillo y rojo.

2.3.10. Semillas

El número de semillas depende de la polinización y así mismo del tamaño del fruto. Un gramo contiene entre 150 y 200 semillas. En condiciones normales las semillas de pimiento deben reunir estas características: poder germinativo de 70%, pureza específica de 98% y facultad germinativa de 3-4 años.

2.4. EXIGENCIAS DE CLIMA DEL PIMIENTO MORRON CULTIVADO EN INVERNADERO

2.4.1. Importancia del clima y repercusión sobre la planta

Las hortalizas cultivadas en invernadero están influenciadas por el ambiente que las rodea. Es importante conocer dicho ambiente con el fin de proporcionar las condiciones climáticas adecuadas que favorezcan el crecimiento y desarrollo de las plantas. La luminosidad y la temperatura son los factores que más afectan al pimiento, sin olvidar la repercusión que tienen la calidad del agua y la fertilidad del suelo en la productividad.

La planta de pimiento, durante su ciclo vegetativo, requiere, un contenido de humedad ambiental óptimo, del que dependen directamente procesos tales como la transpiración, fecundación, floración y propagación o enfermedades. El suelo también necesita un determinado contenido de humedad para que las plantas asimilen a través de las raíces los elementos nutritivos. Igualmente, el suelo ha de poseer una cierta temperatura, que es variable en cada fase de desarrollo de la planta; el calor del suelo permite que se lleven a cabo funciones vitales para la planta y faciliten el desarrollo de la vida microbiana.

Otro factor a tener en cuenta es la intensidad lumínica, imprescindible para la función clorofílica, así como para los procesos de floración, fecundación y de maduración del fruto.

Los vientos pueden ocasionar daños al material de cubierta y, a veces, si son de gran intensidad, a la estructura del invernadero. Por el contrario, los vientos suaves que penetran en el interior del invernadero, acompañados de temperaturas moderadas, son beneficiosos porque favorecen la transpiración de las plantas, reducen el efecto de las heladas, disminuyen la humedad interior y permiten la entrada de anhídrido carbónico y el desprendimiento de los granos de polen.

Dependiendo del ciclo de cultivo, la planta está sometida a variaciones sensibles de temperatura. Por ejemplo: cuando la plantación es tardía, las heladas pueden afectar a la germinación y al crecimiento de la planta. También los excesos de temperatura, cuando la plantación se realiza en los meses de julio y agosto en climas cálidos van a incidir seriamente en la floración y fecundación de las flores, de ahí la importancia que tienen las cubiertas en el invernadero.

2.4.2. Exigencias climáticas en el cultivo del pimiento

Tanto la temperatura del suelo, como la del ambiente tienen gran incidencia en los procesos de germinación, floración, fecundación y maduración del fruto. Aunque el pimiento no es muy exigente en cuanto al fotoperiodo no cabe duda que los días largos de gran luminosidad favorecen la fructificación, pero es importante monitorear las altas temperaturas y los excesos de humedad.

Cuatro son las variables a tener en cuenta: temperatura, humedad relativa, concentración de anhídrido carbónico y luminosidad.

2.4.3. Temperatura

Para el estudio de la temperatura diferenciamos la del suelo y del ambiente interior del invernadero. La primera tiene influencia, principalmente, durante el enraizamiento. La segunda ejerce su acción sobre la planta, una vez arraigada, sobre el proceso respiratorio y la transpiración. La temperatura ambiente tiene influencia en la fotosíntesis y la transpiración de las plantas, además, de influir en la floración, fecundación, crecimiento y maduración de los frutos. La del suelo interviene no solo en el arraigo de las plantas, sino que incide fundamentalmente en la descomposición de la materia orgánica. La cobertura del suelo con arena u otro material, ya sea inerte o vegetal, va a tener gran influencia en la captación y acumulación del calor en el suelo. Es preciso recordar que, en épocas calurosas, en lugares de clima cálidos y en los meses de julio y agosto pueden registrarse a medio día temperaturas cercanas a 55-60 °C en el interior del invernadero no climatizado y sin encalar. En las mismas fechas en invernaderos encalados la temperatura alcanza alrededor de los 32-35 °C. Hay que tener en cuenta que además de la influencia de las plantas a las altas temperaturas afecta a los trabajadores que en horas de máximo calor el ambiente se hace a veces insostenible.

Aunque el pimiento es una planta que, en principio, soporta altas temperaturas cuando estas se elevan a más de 35 °C que ocurre normalmente en los meses de julio y agosto. Se ha observado en parcelas de pimientos y melones que mientras los primeros presentaban claros síntomas de estrés hídrico, en las plantas de melones no se apreciaban ningún síntoma. Hay que recordar que las cucurbitáceas son plantas de verano, el pimiento no tanto. Por ello en pleno verano, cuando la temperatura ronda los 35 °C o superior es imprescindible dar riegos unas horas antes para que la planta disponga de humedad suficiente en el suelo. El estrés hídrico causado a la

planta por temperaturas superiores a los 35 °C puede ocasionar cuando comienza la floración caída de botones florales o frutos recién cuajados.

Durante los meses de máximo calor se produce fácilmente el estrés hídrico al no ser capaces las raíces de suministrar agua a las hojas necesario para la transpiración, temperatura superior a 40 °C tiende a cerrar los estomas y la fotosíntesis disminuye. También las exigencias de temperatura van a depender de ciertos tipos de pimientos y variedades. Por ejemplo, las variedades tipo Lamuyo son menos exigentes.

Las plantas de pimiento tienen exigencias de temperatura diferentes dependiendo de su fase vegetativa. Temperaturas por debajo de 0 °C, se le conoce como mínima letal porque hiela sus tejidos, diferenciándose de la mínima biológica, menor de 10 °C que es la temperatura que reduce sus funciones fisiológicas. El pimiento se considera un grupo de hortalizas de estación cálida muy sensible a las heladas, a temperaturas inferiores a 10 °C y a las altas temperaturas por encima de 35 °C.

Para que se lleve a cabo el proceso de germinación y la mayoría de las semillas germinen, de acuerdo con su facultad germinativa, es necesario que en el suelo del semillero y en el ambiente exista una temperatura óptima que favorezca el desarrollo de las plantas. La temperatura del suelo debe mantenerse alrededor de 22-26 °C durante el día y no bajar de los 16-18 °C por la noche. La temperatura ambiental no debe ser inferior de 14-15 °C ni superior a los 40 °C, siendo el óptimo entre 25 y 30 °C.

Se han realizado numerosos ensayos para comprobar la velocidad de germinación y número de plantas emergidas de pimiento tras un periodo de tiempo según la temperatura del suelo. En el (Cuadro 18) se muestran algunos ensayos (J. Rico, 1983).

Cuadro 18. Intervalos de temperatura para la germinación

Temperatura ° C	5	10	15	20	25	30	35	40
% plantas germinadas	0	1	70	96	98	95	70	0
Número de días necesarios para la germinación	25	12	9	8	9

Según este ensayo la semilla de pimiento no germina por debajo de 12-14 °C de temperatura del suelo, ni por encima de 38-40 °C. El máximo porcentaje de germinación se consigue cuando el suelo mantiene una temperatura entre 20 y 30 °C.

Tras la plantación, es aconsejable que la temperatura en el interior del invernadero no baje de los 16-18 °C durante la noche, ni sobrepase los 35 °C durante el día. Si la temperatura desciende por debajo de 15 °C la planta ralentiza su crecimiento y se paraliza cuando es menor de 10 °C. La temperatura óptima para el crecimiento oscila entre 20 y 25 °C. Con trasplantes muy tempranos en suelo enarenados el calor del ambiente se traslada a la capa de arena que alcanza temperaturas superiores a los 40° C produciendo en el tallo aun tierno de la planta, al ras del suelo, un estrangulamiento que le impide absorber agua del suelo provocándole marchitez por estrés hídrico.

En cuanto a la floración y polinización, la temperatura óptima del ambiente debe de estar comprendida entre los 26 y 28 °C durante el día y 18 a 20 °C por la noche. Con temperaturas diurnas mayores de 30-35 °C se produce reducción de la polinización debido al exceso de transpiración, principalmente y, por consiguiente, el cuajado. En estas condiciones la planta, a veces, puede soportarlo siempre que haya suficiente humedad en el suelo. Por, otra parte se ha comprobado que las bajas temperaturas nocturnas pueden inducir, y en determinadas variedades, la diferenciación floral y la formación de gran cantidad de flores.

Para una eficaz fecundación se necesitan temperaturas diurnas entre 24 y 26 °C y de 18 a 20 °C por la noche. Si dichas temperaturas nocturnas son inferiores disminuye la viabilidad del polen y se producen frutos de menor tamaño y sin semillas. Cuando los pimientos se plantan temprano, hacia los meses de mayo y junio, y coincide el cuajado con temperaturas superiores a los 35-38 °C puede presentar problemas en la fecundación. A temperaturas superiores a las mencionadas el cuajado se reduce por disminuir los niveles de producción de auxinas por los meristemas terminales, incrementándose, al mismo tiempo, la caída de flores y de numerosos frutos en los que se observa el pedúnculo amarillento. Si dichas temperaturas no se prolongan durante varios días y no se ha caído la flor y se ha iniciado el cuajado, es probable que el ovario comienza a engrosar y se forme el fruto (Reche, 2010).

2.4.4. Invernaderos para producción de hortalizas

El invernadero es un recinto cerrado de metal u otro material, con una cubierta de materiales transparentes, cristal, plástico o malla que proporciona a las plantas condiciones ambientales

idóneas que no dispone al aire libre. Su objetivo es conseguir producciones precoces aprovechando al máximo la radiación solar y las condiciones climáticas del invernadero.

El ambiente interior del invernadero proporciona a las plantas:

- ❖ Protección contra las condiciones climáticas adversas
- ❖ La obtención de productos fuera de época
- ❖ Precocidad en la formación de los frutos
- ❖ Incremento de la calidad y de las producciones con respecto al aire libre, por las mejoras técnicas empleadas, variedades híbridas de mejor calidad y más productiva.
- ❖ Aplicación simultánea de agua y fertilizantes, y, en ocasiones agroquímicos
- ❖ Realización de prácticas culturales durante todo el ciclo vegetativo

Para ello el invernadero debe reunir entre, otras características

- ❖ Que el plástico de cubierta no impida la luminosidad
- ❖ Que tenga suficiente altura para el crecimiento de las plantas
- ❖ Que este alejados de caminos polvorientos y zonas industriales

Y además:

- ❖ Tener un suelo nivelado, fértil y con buen drenaje, sin riesgo de encharcamiento
- ❖ Disponibilidad de agua con la calidad suficiente y durante todo el proceso productivo
- ❖ Sistema de riego que permita una fertirrigación eficiente

Por otra parte, no hay que olvidar la influencia de las cubiertas de plástico de los invernaderos contra el calentamiento del suelo y, como consecuencia, en la disminución de su temperatura media y, por lo tanto, en el cambio climático.

2.4.5. Características constructivas

Hoy en día existe gran diversidad de tipo, forma y tamaño de invernaderos, con estructuras más funcionales que faciliten mejor control del ambiente y dotados con equipos informáticos para el control del ambiente y de fertirrigación. La ingeniería de la construcción aplicada a los invernaderos está consiguiendo niveles de optimización que hace años era imposible. Los nuevos materiales incorporados junto a las mejoras incorporadas, como son la mayor captación

de radiación, más resistencia y mejor estanqueidad, están proporcionando a las plantas un ambiente apropiado para su crecimiento y desarrollo.

El incremento de la altura del invernadero ha mejorado su ambiente y por lo tanto el control de la humedad y temperatura. También se ha disminuido la superficie de los módulos, habiendo pasado de naves de 5000 m² a módulos cuya superficie oscila entre 2500 m² y 3000 m², pegados unos con otros, con ventilación cenital controlada manual o automáticamente.

No hay que olvidar sin, embargo, que en países y regiones con inviernos suaves predominan las estructuras más sencillas ya que dispone de buena transmisión de luz y su economía en la construcción. Por otra parte, los invernaderos dotados de climatización pueden hacer frente a las condiciones desfavorables de temperatura, humedad y ventilación en cualquier época del ciclo vegetativo, con la posibilidad de cultivar a lo largo de todo el año y resarcir con sus producciones los mayores costes de inversión realizados.

Estructura: soporta los materiales que la recubre y las sobrecargas originadas por vientos, nieve y peso de las plantas entutoradas. La estructura debe dejar transmitir la luz, no entorpecer las labores de cultivo y ser duradera, rígida y resistente. En la actualidad la estructura plana de palos y alambre ha sido reemplazada por otros materiales que permiten mayor altura, tendiéndose a invernaderos asimétricos con aperturas de ventilación cenital y laterales de forma automática.

Los tipos de estructura más comunes son:

–**Tubo de fierro galvanizado.** - Es una estructura totalmente metálica de fácil montaje, rigidez, resistencia a la corrosión y dota al invernadero de grandes luces. Los tubos tienen una longitud de 6 m que se cortan después a la medida adecuada, y de 2.5 cm de diámetro.

–**Perfiles angulares de fierro.** - Son muy resistentes, ligeros, y al igual que los de tubo, proporcionan al invernadero gran iluminación y reducido sombreado. En la actualidad apenas se construyen.

–**Asimétrico.** - Sabemos que la iluminación en el interior del invernadero depende de la incidencia de la radiación solar. El invernadero asimétrico de una o más capillas, con ventilación cenital, bandas de hasta tres metros de altura y ejes de cumbrera orientados en dirección este-oeste. Este tipo de invernadero ha demostrado en lugares de climas cálidos

similares, un mejor manejo del ambiente interior, una mayor iluminación y ventilación que repercute en un mejor manejo del cultivo.

–**Otros.** - Se estaban utilizando, también, estructuras a base de vigas de hormigón combinado con bandas metálicas. Su empleo no está muy extendido por el alto precio que alcanza y por su excesivo peso en el manejo.

Cualesquiera que sean los materiales de su estructura debe de reunir éstas condiciones:

- –Ser ligeros, resistentes y económicos
- –No entorpezcan las labores culturales
- –Que puedan formar un entramado solidario con el material de cubierta
- –Fácilmente sustituible y ampliable

Cubierta. - Es el material de cerramiento que recubre a la estructura y que condiciona el ambiente interior del invernadero. A excepción de las zonas climáticas con inviernos rigurosos, en donde el material de cubierta normalmente es de cristal o plástico rígido, en el área mediterránea el 90 % del material empleado es de plástico flexible. La mayoría de dichos invernaderos no poseen sistemas de calefacción.

2.4.6. Factores que influyen en la duración de los plásticos

La duración de un material plástico está influida por la mayor o menor intensidad luminosa, a mayor intensidad más degradación, la temperatura del ambiente, altura y estructura del invernadero, grosor y material de la lámina, cultivo, fitosanitarios que se utilizan y número de tratamientos, y régimen de vientos de la zona. Recientemente se ha descubierto que el azufre empleado en las plantas también influye en la degradación del plástico.

Para reducir el efecto de los factores es aconsejable llevar a la práctica las siguientes recomendaciones:

- ❖ Procurar no arrastrar las bobinas de plástico al suelo o arena para no causarles roturas.
- ❖ Retrasar la colocación del plástico para que no coincida con altas temperaturas.
- ❖ Colocar el plástico al atardecer o por la mañana, evitando las horas de más calor con el objeto de evitar su dilatación.
- ❖ En invernaderos con estructura metálica proteger la zona de contacto con listones de madera o pintura blanca.

- ❖ No forzar su extendido en el momento de colocar el plástico, sujetándolo bien para que no lo mueva el viento.
- ❖ Colocar el plástico después de la desinfección del suelo, si se lleva a cabo tal tratamiento.
- ❖ Durante la limpieza de los encalados utilizar agua a presión.

2.4.7. Tipos de invernadero

Plano: era uno de los más empleados a pesar del inconveniente de su mala ventilación, goteo sobre las plantas, formación de bolsas de agua. El menor coste, su buena luminosidad y la facilidad de colocación y el cambio del plástico, así como su mayor resistencia a los vientos fue la causa por que tuvo buena aceptación, aunque en épocas de lluvia podía formar bolsas en la misma con posibilidad de rotura y encharcamientos del suelo con arrastre de los productos fitosanitarios y fertilizantes. El microclima que genera no es el más adecuado ya que los niveles altos de temperatura y humedad son poco beneficiosos para el pimiento y el resto de las hortalizas. En la actualidad no hay razones que aporten ventajas del invernadero plano con respecto a los otros tipos que se construyen hoy en día.

De raspa y amagado: son invernaderos desarrollados a partir de tipo parral, generalmente de tubo galvanizado, a los que se les ha elevado la altura de la cubierta en uno o varios puntos hasta 4.5 a 5 m a la que se le llama **raspa** mientras que la parte más baja **amagado** cuya altura oscila entre 2.5 y 3 m.

En comparación con otros concentra un gran volumen de aire, es más económico, permite abrir ventilaciones cenitales en la cumbrera y con mayor estanqueidad a la lluvia y al aire. También permite mantener varias naves formando batería e incorporar entre ellos canalones para evacuar el agua de la lluvia. Si se quiere transformar el invernadero plano existente y, dependiendo del ancho total del invernadero, se situarán cada 8 m los tubos de cumbrera de 4.5-5 m de altura, y, cada 4 m del tubo de cumbrera a uno y a otro lado se sitúa el amagado. Dando un corte perpendicular a la estructura se observa un perfil de pequeñas naves adosadas a dos aguas.

Capilla: también llamado “a dos aguas”. La techumbre esta forzada por dos vertientes cuyo ángulo varía según el régimen pluviómetro de la zona, permitiendo la unión de varias naves en batería. En este caso la ventilación no tiene problemas, ya que se dejan en la cumbrera escalones cubiertos con tela mosquitera. Su anchura es variable y la altura de la cubierta suele estar

comprendida entre 3 y 4 m es de fácil construcción, comodidad en la colocación del plástico y facilidad para evacuar el agua de lluvia.

De sierra: está formado por la unión en batería de invernaderos a una sola vertiente. Son de gran iluminación y con buena ventilación, al poder disponer en la cumbrera de la fachada que pega al invernadero siguiente de grandes ventanales.

De túnel: proporciona a las plantas una gran luminosidad. Es exigente en estructuras formando un multitúnel con pies derechos de tubo galvanizado, malla en cubierta y en laterales. Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire y buena automatización en el control climático. Las estructuras que se están imponiendo, por su mayor capacidad del control climático, son totalmente metálicas de tubo galvanizado con una altura en cumbrera de 3.5 y 5 m, alturas de las bandas laterales que varían entre 2.5 y 4 m y naves de hasta 9-10 m de ancho. Por otra parte, el agua condensada en la parte superior escurre hacia las bandas laterales no cayendo sobre las plantas.

Otros: en la actualidad, y a partir de las estructuras conocidas, se están utilizando con excelentes resultados invernaderos asimétrico solo o en baterías con el objetivo de buscar el mayor aprovechamiento de la luz solar tanto en cantidad como en homogeneidad, sobre todo en los meses de octubre a febrero y una mejor ventilación con apertura y cierre automatizado de laterales complementados con ventilación cenital. La altura de la cumbrera oscila entre 4 y 5 m, mientras que las bandas de 2.5 a 3 m.

2.5. VARIABLES DE LA CALIDAD DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN

Hoy en día, los consumidores comienzan a demandar hortalizas de mayor calidad y a precios razonables. Dentro del concepto de calidad, se incluye la presentación del producto, la calidad gustativa, la forma, el color, la ausencia de residuos de pesticidas y la producción no agresiva con el medio ambiente (Abo-Aiia *et al.*, 1985).

Los múltiples usos del pimiento, permiten considerar un gran número de atributos como indicadores de su calidad. No obstante, en las normativas más utilizadas destacan el calibre, el color, la firmeza como indicadores de la madurez y las formas de transporte. Con los análisis de los parámetros de calidad de firmeza, grosor de la pared y contenido de sólidos solubles se pueden relacionar con el grado de aceptación por los consumidores (Sethu *et al.*, 1996).

2.5.1. Textura del fruto

La textura es un atributo de calidad importante para los consumidores (Sethu *et al.*, 1996). Por Se puede definir a las propiedades texturales de un alimento como: al grupo de características físicas que son detectados por la sensación del tacto. Este atributo está relacionado con la deformación, la desintegración y el flujo de alimento bajo la aplicación de una fuerza, el tiempo y la distancia. Sams (1999) ha establecido que la textura se compone de varias propiedades, que implican una serie de parámetros, estas propiedades pueden ser mecánicas (dureza, masticabilidad y viscosidad), geométricas (tamaño de partícula y la forma) o química (contenido de humedad y grasa).

2.5.2. Firmeza

La firmeza es un indicador de calidad que está directamente relacionada con el tiempo de conservación de los alimentos, principalmente en frutas y hortalizas. Por esta razón, los valores elevados de firmeza son deseables para productos que tiene que viajar largas distancias antes de llegar a los consumidores (Urrestarazu *et al.*, 2002). La pared externa de un pimiento cubre grandes espacios locales y con el apoyo de tres o cuatro paredes carpelares de todo el eje ecuatorial, el tejido placentario y las semillas se encuentran en el centro de la fruta y contribuyen poco al soporte de la pared (Showalter, 1973). Castro *et al.* (2011) determinaron datos de firmeza en pimientos, medidos sobre el epicarpio con valores de 0.86 y 0.339 kf F respectivamente y que son menores a los que registraron Guerra *et al.* (2011) cuyos valores oscilaron entre 3.5 a 3.9 kg F, que representa mayor grosor en la pared del fruto y por consecuencia una mayor resistencia a la deformación.

2.5.3. Sólidos solubles totales

Una característica importante que refleja la calidad del pimiento son los sólidos solubles totales (SST) o °Brix ya que presentan gran variación en función de la variedad, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, entre otros (Urrestarazu *et al.*, 2002). Castro *et al.*, (2011) reportaron valor de 4.8 °Brix, mientras que Rao *et al.* (2011) reportaron valores entre 2.9 y 5.8 de °Brix, y que se encuentran relacionados principalmente con los carbohidratos contenidos en el jugo obtenido del fruto, así como de los minerales disueltos.

2.5.4. Color de cosecha

El color es la base para la clasificación de muchos productos en niveles de calidad comercial, pero la concentración de pigmentos u otros componentes específicos podrían significar un índice de mejor calidad. El color del pimiento se relaciona directamente con la percepción del consumidor mientras que la concentración del pigmento se atribuye a la madurez y la concentración de algunos otros componentes que se relaciona con el sabor. Cuando la fruta o verdura se expone a la luz, alrededor de 4% de la luz incidente es reflejada en la superficie exterior causando reflectancia especular o brillo y el restante 96% de la energía incidente se transmite a través de la superficie de la estructura celular del producto en el que se dispersa por las interfaces pequeñas en el tejido o es absorbida por los componentes celulares (Lancaster *et al.*, 1997).

2.5.5. Grosor de la pared del fruto (pericarpio)

Una de las características que también provee la calidad del pimiento es el grosor de la pared del fruto (pericarpio), ya que el pimiento de carne gruesa responde a los incrementos de radiación, mejorando su tamaño y peso del fruto en consecuencia al grosor de la pared de la hortaliza. Esta variable se encuentra determinada por la concentración del calcio, que es el elemento nutritivo de las plantas, frecuentemente asociado con el desarrollo del fruto en general, y la firmeza en particular. La influencia de calcio en una amplia gama de trastornos relacionados con la calidad de frutas y hortalizas está bien establecida (Shear, 1975). Benítez *et al.*, (2000) en su trabajo sobre el rendimiento y calidad del pimiento encontraron una correlación entre la firmeza del fruto y los niveles de concentración de calcio ya que este elemento, como es ampliamente conocido, forma parte de la pared celular.

Para que los pimientos se consideren de calidad deben ser, enteros y sanos, lo que significa que no presenten enfermedades, daños físicos, mecánicos, fisiológicos y fitopatológicos (Showalter, 1973).

2.5.6. Antioxidantes del fruto de pimiento

Las plantas son una fuente natural de compuestos bioactivos, entre estos se pueden encontrar los que poseen actividad como antioxidantes, los cuales tienen aplicación en la industria alimentaria, la cosmética (Howard *et al.*, 2000) y la medicinal (Jiménez *et al.*, 2011; Estrada-Zúñiga *et al.*, 2012; García-Márquez *et al.*, 2012). Los antioxidantes tienen la capacidad de

tener o retardar los procesos oxidativos, estos procesos pueden causar daños en las células o afectar la preservación de productos (Lachance *et al.*, 2001). Estas características hacen que algunos frutos vegetales se reconocen por ser agentes protectores de la salud debido a estas propiedades funcionales, las cuales están relacionadas con la prevención de enfermedades crónico-degenerativas, como las cardiovasculares, distintos tipos de cáncer y problemas neurológicos (Serrano-Maldonado *et al.*, 2001).

Los alimentos vegetales proporcionan una mezcla óptima de antioxidantes naturales. Entre estos se destacan los compuestos fenólicos tocoferoles y carotenoides, entre otros compuestos bioactivos (Sun *et al.*, 2007). Dentro de las especies vegetales, los chiles del género *Capsicum* y especie *annuum* son una fuente excelente de sustancias promotoras de la salud, particularmente antioxidantes, tanto de la fase hidrofílica como hidrofóbica. Tales como la vitamina C y E pro-vitamina A, carotenoides, así como fenoles y flavonoides (Aza-González *et al.*, 2011).

2.5.7. Valor nutricional del pimiento

El pimiento es uno de los vegetales más completos en sustancias nutritivas, destacándose la presencia de vitamina A; complejo vitamínico B, vitamina C y Vitamina E, así como de los minerales como calcio, hierro y fosforo y proteínas, fibra dietética, kilocalorías y una elevada cantidad de antioxidantes (Llanos, 1999; Carrillo *et al.*, 2002). Las sustancias nutritivas presentes en los frutos del pimiento contribuyen especialmente en la digestión, intervención en la regulación del sistema nervioso y favorecen la resistencia del organismo a diferentes enfermedades (**Cuadro 19**). Los colores amarillo, naranja o rojo de los pimientos proceden de pigmentos carotenoides producidos durante la maduración del fruto. La ingesta de estos compuestos en los alimentos es un factor importante de protección de la salud al proporcionar una actividad antioxidante. Esta hortaliza, además, es importante para la industria de conservas, pues de ella se hacen purés o pastas y en particular el Bouquet-50, como pimentón deshidrato, contribuyen a colorear purés y pastas de tomate, embutidos, etc., (Fonseca *et al.*, 2002). En cuando a los flavonoides, la mayoría de los estudios sobre pimientos se han concentrado en agliconas de quercetina y luteolina (Howard *et al.*, 2000).

Cuadro 19. Composición nutrimental del pimiento morrón

Nutriente	Cantidad reportada	
	Variedad picante	Variedad dulce
Agua (g)	87.74	92.19
Contenido energético (Kcal)	40.00	27.00
Carbohidratos (g)	9.46	6.43
Grasa (g)	0.20	0.19
Proteínas (g)	2.00	0.89
Fibra (g)	1.50	2.00
Cenizas (g)	0.60	0.30
Calcio (mg)	18.00	9.00
Potasio (mg)	340	177
Fosforo (mg)	46.00	19.00
Hierro (mg)	1.20	0.46
Vitamina A (U.I)	10750	5700
Tiamina (mg)	0.09	0.066
Riboflavina (mg)	0.09	0.03
Niacina (mg)	0.95	0.51
Ácido Ascórbico (mg)	242.5	190

Nota: (composición por 100 g de porción comestible de fruto de pimiento morrón).

2.6. LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA LA PRODUCCIÓN DEL PIMIENTO MORRÓN

Los diversos sistemas hidropónicos tienen encomún requerir para su operación la aplicación de la denominada solución nutritiva. La preparación y manejo adecuado de esta, constituye la base del éxito de los mismos. La solución consiste en agua de buena calidad agronómica, en el cual están disueltos: oxígeno, bióxido de carbono y todos los nutrimentos requeridos por la planta para su crecimiento y desarrollo óptimo. Los nutrimentos en general, son suministrados a partir de fuentes inorgánicas, sin embargo, en ocasiones pueden ser de origen orgánico, como por ejemplo el quelato de hierro.

2.6.1. Concepto de solución nutritiva verdadera

Una solución nutritiva verdadera es aquella cuya fórmula química indica las especies o formas químicas que se encuentran presentes en la misma y en la concentración indicada. Los resultados del análisis químico de esta deben coincidir con su fórmula química, además, por el tipo de especies químicas seleccionadas, los nutrimentos se hallan en formas aprovechables para las plantas (Steiner, 1961).

Al comparar los cultivos hidropónicos con los tradicionales en suelo, en este pueden estar presentes formas químicas que no son aprovechables en forma directa por las plantas.

Con base en su fórmula química algunas, “soluciones nutritivas” anotadas en la literatura podrían desecharse por no ser soluciones nutritivas verdaderas, sin tener que verificar de manera física.

2.6.2. Importancia de la solución nutritiva

En la definición misma de solución nutritiva verdadera destaca la importancia del empleo de una solución libre de precipitados o de moléculas en suspensión. Cuando esto ocurre no son aprovechables los nutrimentos en su totalidad (es decir, no pueden ser absorbidos) por las plantas, tienen un costo no redituable un beneficio económico, incluso pueden constituir con una fuente de contaminación del suelo o de los mantos acuíferos.

Al realizar investigaciones debe prestarse atención a este aspecto de las soluciones nutritivas, para que la interpretación de los resultados sea correcta.

2.6.3. Composición química de la solución nutritiva

Los nutrimentos que constituyen la solución nutritiva son: Nitrógeno (N) Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Hierro (Fe) Boro (Bo), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu). Otros nutrimentos como el molibdeno (Mo) y el cobalto (Co) también son requeridos por las plantas, pero en cantidades muy pequeñas.

El Molibdeno y el Cobalto pueden ser proporcionados, inclusive, por las impurezas contenidas en las sales grado reactivo. Estas sales se usan en general para preparar soluciones madre, que a su vez son utilizadas para elaborar la solución nutritiva en trabajos de investigación.

En la solución nutritiva los nutrimentos pueden estar presentes en diferentes especies o formas químicas. Las especies químicas en forma de molécula, con respecto a los iones (cationes o aniones) son más móviles en la denominada solución del suelo o en este caso, para los cultivos hidropónicos en la solución nutritiva. Esto es debido a que no están sometidas a atracciones electrostáticas; sin embargo, de este tipo de moléculas hay pocos ejemplos, solo el ácido bórico (H_3BO_3). También dentro de las plantas estas moléculas son más móviles por las mismas razones (Marschner, 1995).

2.7. MATERIALES Y MÉTODOS

2.7.1 Descripción del experimento

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, (19.46° de latitud Norte y 98.90° longitud Oeste a 2244 m de altitud). El invernadero utilizado fue una nave con tres túneles con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con 75% de transmisividad, equipado con un sistema de ventilación pasiva, (ventilas laterales y cenitales de apertura manual) y provisto con una malla anti-insecto en las paredes laterales. La temperatura media registrada durante todo el ciclo de cultivo adentro del invernadero fue de 18.87 °C, de 24.95 °C para el mes más caliente (mayo) y 10.89 °C para el mes el más frío (noviembre).

2.7.2. Semillero

Se usaron semillas de Pimiento Morrón, variedad Cid F1 de crecimiento indeterminado. Se sembró en charolas germinadoras el 14 de marzo, se trasplantó el 15 de mayo y se finalizó la cosecha el 30 de noviembre de 2017. Las plantas se mantuvieron a 2 y 3 ejes a través de poda de brotes laterales.

2.7.3. Trasplante

El trasplante se realizó 62 días después de la siembra, las plántulas se extrajeron de la charola con cepellón y se colocaron en bolsas maceteras con tezontle rojo (roca volcánica) con dos orificios en la parte inferior para drenar excedentes de fertirriego (**Figura 26**). Inmediatamente después del trasplante se aplicó el riego con solución nutritiva diluida de Steiner (1984) bajo un sistema de riego por goteo.

Tres días antes de esta práctica se aplicó un riego hasta saturación al sustrato y después se esperó hasta que la humedad bajara a capacidad de campo para realizar el trasplante. Las plántulas trasplantadas presentaron una altura de 15 cm en promedio de tres a cuatro hojas verdaderas, con cepellón y apariencia sana. Esta labor se efectuó cuidando que la raíz quedara vertical y el cuello de la plántula al nivel del sustrato. Al momento del trasplante, las raíces de las plántulas se sumergieron en una solución de fungicida Previcur con una dosis de 1 mL L⁻¹ de agua como medida preventiva para el ataque de hongos y bacterias. Una vez realizado el trasplante la planta se desarrolló bajo un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.



Figura 26. Trasplante de plántulas de pimiento morrón en bolsas maceteras

2.7.4. Descripción del marco de plantación y los tratamientos

El marco de plantación fue tresbolillo, con separación de 40 cm entre plantas y de 45 cm entre líneas, trasplantadas en bolsas maceteras negro de 35 x 35 cm llenados con tezontle por 20 m de largo. La densidad de plantación fue de 3 (plt m⁻²). El piso fue cubierto con Ground Cover para evitar el crecimiento de malezas.

Los tratamientos (T) consistieron en dos condiciones de manejo, en función de número de tallos por planta: a dos tallos (T1) y a tres (T2) tallos por planta de la variedad Cannon (color rojo), a dos tallos (T1) y a tres tallos (T2) por planta para variedad Bragi (color amarillo). El área de cada tratamiento fue de 20 m², donde en cada unidad experimental fue de 5m² con 15 plantas, con 3 repeticiones por tratamientos, con una superficie total de 80 m² para los cuatro tratamientos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones cuyas dimensiones fueron 5 m² cada uno.

Cuadro 20. Distribución de los tratamientos de cultivo de pimiento morrón

Distribución de Tratamientos de las variedades de pimiento morrón							
Variedad: Cannon	Repeticiones			Variedad: Bragi	Repeticiones		
T1 (dos tallos)	R1	R3	R2	T1 (dos tallos)	R1	R3	R2
T2 (tres tallos)	R3	R2	R1	T2 (tres tallos)	R3	R2	R1

2.7.5. Solución nutritiva

La formulación química de la solución nutritiva utilizada, se originó a partir de la solución descrita por Steiner (1984), que consisten en restar los aniones y cationes detectados con base al análisis de agua previamente determinado. La solución nutritiva Steiner (1984) ha sido usada en varios estudios ya que sus relaciones nutrimentales entre aniones y cationes, así como de su concentración permiten satisfacer los requerimientos nutrimentales de diversos cultivos.

La calidad de agua utilizada en este experimento tuvo un pH de 6.69; una conductividad eléctrica de 0.34 dS m^{-1} ; $0.8, 0.1, 1.2, 0, 0, 0.1$ y 3.2 meq L^{-1} de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Lo cual indica que se trata de un agua neutro en la cual se puede generar fácil absorción de nutrientes por las plantas, en todo caso, la cantidad de bicarbonatos presentes se neutralizo adicionando ácido sulfúrico (2.2 meq L^{-1}) lo cual permite que el pH tenga un valor más cercano a 6.5. La cantidad de iones presente tampoco sobrepasa valores establecidos para aguas de riego, en este caso, para la preparación de la solución nutritiva fue necesario adicionar más iones en forma de fertilizante para complementar las necesidades del cultivo de pimiento morrón.

Para obtener los valores de cationes y aniones recomendados por Steiner (1984), se realizó el balance para dos soluciones nutritivas, la primera se preparó con $\text{CE} = 1.0 \text{ dS m}^{-1}$ equivalente a un potencial osmótico de -0.036 MPa (**Cuadro 21**) que se aplicó de trasplante hasta el 2^{do} bifurcación y la segunda solución nutritiva se preparó con conductividad de $\text{CE} = 2.0 \text{ dS m}^{-1}$ equivalente a un potencial osmótico de -0.072 MPa (**Cuadro 22**), que se aplicó en la etapa de

2^{do} bifurcación hasta final del cultivo. Las características de los ácidos son las siguientes: para H₂SO₄ con pureza del 98% y densidad de 1.84 g mL⁻¹ y para H₃PO₄ con pureza de 85% y densidad de 1.7 g mL⁻¹.

Cuadro 21. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa y CE 1.0 dS m⁻¹ aplicado en pimiento morrón

	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻			
	Cationes			Aniones					
	meq L ⁻¹								
Steiner	4.5	3.5	2	6	0.5	3.5			
Análisis de agua	0.8	0.1	1.2	0	0	0.1			
Ajuste	3.7	3.4	0.8	6	0.5	3.4			
Fertilizantes							PM	PE	g 5m ⁻³
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	3.7			3.7			236.2	0.118	2183.0
KNO ₃		2.3		2.3			101.11	0.101	1161.5
MgSO ₄ · 7H ₂ O			0.8			0.8	246.51	0.123	492.0
K ₂ SO ₄		1.1				1.1	174.26	0.087	478.5
H ₂ SO ₄						2	98.08	0.049	271.96 mL
H ₃ PO ₄					0.5		98	0.098	168.56 mL
Suministro	4.5	3.5	2	6	0.5	4			

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

Cuadro 22. Balance de fertilizantes para preparar la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.072 MPa y CE de 2.0 dS m⁻¹ aplicado en pimiento morrón

	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻			
	Cationes			Aniones					
	meq L ⁻¹								
Steiner	9	7	4	12	1	7			
Análisis de agua	0.8	0.1	1.2	0	0	0.1			
Ajuste	8.2	6.9	2.8	12	1	6.9			
Fertilizantes							PM	PE	g 5m ⁻³
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	8.2			8.2			236.2	0.118	4838.0
KNO ₃		3.8		3.8			101.11	0.101	1919.0
MgSO ₄ · 7H ₂ O			2.8			2.8	246.51	0.123	1722.0
K ₂ SO ₄		3.1				3.1	174.26	0.087	1348.5
H ₂ SO ₄						1.5	98.08	0.049	258.1 mL
H ₃ PO ₄					1		98	0.098	337.1 mL
Suministro	9	7	4	12	1	7.5			

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

Para complementar las necesidades de micronutrientes se realizó el balance de fertilizantes según las necesidades de elementos en parte por millón (**Cuadro 23**). Estas cantidades de elementos se agregaron cada vez se preparó la solución nutritiva.

Cuadro 23. Balance de microelementos de la solución nutritiva aplicado en pimiento

		Mn ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Cu ²⁺	B				
		ppm								
	Requerimiento	2.3	0.6	2	0.06	0.6				
		Pesos moleculares.								
Fertilizantes		54.94	65.37	55.85	63.57	10.81	PM	g m ⁻³	5 4m ⁻³	
Sulfato de Manganeseo	Mn SO ₄ · H ₂ O	2.3					169.02	7.08	35.4	
Sulfato de Zinc	Zn SO ₄ · 7H ₂ O		0.6				287.57	2.64	13.2	
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ · 7H ₂ O			2			278.05	9.96	49.8	
Sulfato de cobre	Cu SO ₄ · 5H ₂ O				0.06		249.73	0.24	1.2	
Ácido bórico	H ₃ BO ₃					0.6	61.84	3.43	17.15	
	suministro	2.3	0.6	2	0.06	0.6				

PM=Peso molecular, PE=Peso equivalente (miliequivalentes)

2.7.6. Sistema de riego

El sistema de riego fue goteo, con línea regante superficial de 16 mm en diámetro, con goteros autocompensados separados a 40 cm y un gasto de 4 L h⁻¹ por gotero, con una presión de operación de 68.64 KPa. En la etapa de trasplante hasta 2^{do} bifurcación se aplicó la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.036 MPa, en donde se aplicaron 4 riegos al día de (0.18 L).

Después de esta etapa de 2^{do} bifurcación hasta el final del cultivo se aplicó la solución nutritiva de -0.072 MPa, donde los riegos fueron aplicados en las etapas que se presentan en el (**Cuadro 24**). La programación de los riegos fue aplicada de acuerdo a las recomendaciones hechas por Chamú-Baranda *et al.* (2011) en su trabajo estimación de consumo de agua en el cultivo de pimiento morrón y por Casilimas *et al.* (2012) en trabajo producción de pimiento en invernadero. En el (**Cuadro 24**) se puede observar el calendario de riego aplicado en el cultivo de pimiento durante todo el ciclo de cultivo, donde se aplicó 102.96 litros por planta en todos los tratamientos.

Cuadro 24. Calendario de riego aplicado en pimiento morrón en invernadero

Etapas fenológicas	Tiempo de riego (min)	Volumen de riego por minuto (mL)	Volumen (L plt ⁻¹)	Duración de riego por etapa (días)	Volumen por etapa (L plt ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)
Trasplante-Fructificación del 2 ^{do} bifurcación	6	30	0.18	56	10.08	302.4
Fructificación del 2 ^{do} bifurcación	-	16	30	19	9.12	273.6
Fructificación del 5 ^{to} bifurcación						
Fructificación del 5 ^{to} bifurcación-Inicio de maduración del 1 ^{er} fruto	20	30	0.60	10	6	180
Inicio de maduración de 2 ^{do} fruto- Fructificación del 12 ^{vo} bifurcación	27	30	0.810	72	58.32	1749.6
Fructificación del 12 ^{vo} bifurcación - Cosecha de fruto 12	24	30	0.72	27	19.44	583.2
Total			2.79	184	102.96	3088.8



Figura 27. Instalación y aplicación de riego por goteo en cultivo de pimiento morrón

2.7.7. Entutorado de las plantas

Las plantas se condujeron a 2 y 3 tallos por planta, para esto se eliminaron los brotes axilares de los tallos principales durante todo el ciclo de cultivo, esta práctica se hizo manualmente y se inició a los 20 días después del trasplante (la eliminación de los brotes fue conforme iban apareciendo). Para guiar a las plantas y mantener el tallo en una posición erguida y lograr un mejor manejo sanitario se realizó el entutorado, que consistió en colocar en la parte superior de la nave, dos hileras de alambres reforzados sujetadas sobre la base de un marco metálico existente, mismo que sirvieron de soporte para afianzar los cordones de rafia atada con anillo de plástico sobre base del tallo de la planta (debajo de la primera hoja), dándole dos a tres vueltas en espiral hacia arriba para fijarlo al alambre señalado a un altura aproximada de 3 m.



Figura 28. Sistema de entutorado de plantas de pimiento Morrón

2.7.8. Polinización

La polinización se efectuó mediante el golpeo ligero en las líneas de alambre del entutorado. Para conservar la humedad y temperatura adecuada se mantuvieron abiertas las ventilas cenitales y laterales del invernadero durante todo el experimento. Se llevó a cabo la continua limpieza del tinaco de la solución nutritiva y de la tubería principal en el cabezal y las mangueras secundarias para evitar problemas de taponamiento de los goteros. Se cosecharon hasta 15 frutos por planta y se podaron tres veces las hojas en estado de senescencia.

2.7.9. Plagas y enfermedades

Se hicieron aplicaciones preventivas contra enfermedades fungosas como Previcur, Ridomil Bravo para tizón tardío y Amistar para control de cenicilla de la hoja con una dosis de 1 mL L^{-1} . Para control preventivo de plagas de mosquita blanca se realizaron aplicación de mezcla de (Actara 25, WG Biodie y Lanate) con una dosis de 1 mL L^{-1} , con esta última mezcla de productos se pudo eliminar la presencia de la mosquita blanca en el cultivo.

2.7.10. Materia seca

Para el peso seco, se separaron las partes de tallo, raíz, hojas y frutos, se pesaron en fresco y posteriormente se llevaron a una estufa a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h hasta peso constante y finalmente se pesaron.

2.7.11. Variables climáticas

La temperatura ($^\circ\text{C}$), la humedad relativa (HR) y la Radiación Fotosintéticamente Activa (en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se registró con un sistema adquisición de datos (Data Logger WatchDog) que se instaló dentro del invernadero en la parte central, a 2 m del suelo. Con estas variables se calculó el Déficit de Presión de Vapor (DPV) y potencial hídrico atmosférico (Ψ_w) desde la siembra hasta la cosecha del décimo racimo.

2.7.12. Grados día desarrollo

El desarrollo de muchos organismos es controlado principalmente por la temperatura del ambiente. Los grados-día desarrollo (GDD) son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos. Estos representan la integración de la temperatura ambiental entre dos temperaturas limitantes; las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Fuera de este intervalo, el organismo no presenta desarrollo apreciable o puede morir.

El concepto de GDD resultó de observaciones que indicaban: 1) las plantas no se desarrollan cuando la temperatura ambiental es menor que la basal (Neild y Smith, 1997), 2) la tasa de desarrollo aumentaba cuando la temperatura ambiental era mayor que la basal, 3) las variedades de pimiento morrón requieren diferentes valores de días acumulados (DA) de los grados día (GD). Los valores acumulados para n días transcurridos se expresan con la **Ecuación 1**.

$$GDA = \sum_{i=1}^n GDi \dots\dots\dots(6)$$

Donde *i* es el número de días transcurridos a partir de un día inicial de interés, usualmente la fecha de siembra o el día de inicio de una etapa fenológica del cultivo.

Para estimar diariamente los GDD con este método se requiere de la temperatura media ambiental (**Ecuación 2**; Ojeda-Bustamante, *et al.*, 2004).

$$GDD= T_a - T_{c-min}, \text{ si } T_a < T_{c-max}$$

$$GDD= T_{c-max} - T_{c-min}, \text{ si } T_a \geq T_{c-max}$$

$$GDD= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c-min} \dots\dots\dots(7)$$

Dónde T_a es la temperatura media del aire diario, T_{c-max} y T_{c-min} son las temperaturas umbrales mínima y máxima del pimiento morrón (29 y 11 °C; Roose, 1994).

2.7.13. Clasificación de tamaño de fruto

En cada corte se realizó clasificación de calidad en tamaño de frutos dividido en cinco categorías (Extragrande, grande, mediano y chico) con base en la Norma Mexicana NMX-FF-006-1982 (**Cuadro 25**).

Cuadro 25. Clasificación de frutos de pimiento morrón

Tamaño	Diámetro	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Extragrande	> 100	
Grande	85	100
Mediano	70	85
Chico	50	70
Rezaga	< 50	

2.7.14. Evaluación de rendimiento y número de frutos por planta

Después del trasplante, se seleccionaron ocho plantas de cada tratamiento, para evaluar rendimiento y número de frutos por planta. Una vez cosechada los frutos, se contabilizaron y se pesaron en una báscula, para calcular el rendimiento (kg pl^{-1}) y número de frutos por planta.

2.7.15. Evaluación de los componentes bioquímicos del fruto

Para determinar las variables de la calidad de fruto, se seleccionaron cuatro frutos por tratamiento.

Sólidos solubles totales: se determinaron en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital, marca Atago con escala de 0 hasta 32 % y se expresaron en °Brix.

El **pH:** se trituraron 10 g de pulpa con 50 mL de agua desionizada, se filtró para eliminar los restos de tejido vegetal y en una alícuota de 5 mL, se determinó el pH, con un potenciómetro (AOAC, 1990).

Acidez titulable: se homogeneizaron 10 g de pulpa en 50 mL de agua desionizada. Se tomó una alícuota de 10 mL, la cual fue neutralizada con (NaOH) al 0.1 N y fenolftaleína con indicador (AOAC, 1990). Los resultados se reportaron como porcentaje de ácido cítrico, utilizando la (**Ecuación 1**).

$$\% \text{ Ác. cítrico} = \frac{(\text{mL NaOH gastado}) \times (\text{N NaOH}) \times (\text{Meq. ácido}) \times (\text{VT}) \times (100)}{(\text{Peso muestra}) \times (\text{Alícuota})} \dots\dots\dots (8)$$

Dónde: N = normalidad, VT = volumen total (mL de agua desionizada más el peso del fruto), meq = Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido cítrico = 0.064).

Vitamina C (ácido ascórbico): Se homogeneizaron 20 g de tejido fresco en 30 mL de solución de ácido oxálico (0.5%); se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución tilma (0.01%) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1 minuto. La concentración se expresó en ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) utilizando como estándar el ácido ascórbico (AOAC, 1990).

Índice de madurez: Se obtuvo un indicador, que es el cociente entre sólidos solubles totales (SST o °Brix) y acidez titulable (AT). Se calculó con la (**Ecuación 2**):

$$IM = \frac{SST}{AT} \dots\dots\dots (9)$$

Donde: IM = Índice de madurez, SST = sólidos solubles totales, AT= Acidez titulable

El licopeno: se determinó por colorimetría, se empleó un colorímetro (Hunterlab) el cual se calibró al inicio para determinar mediciones de color L, a* y b* reportadas en el sistema internacional de color (CIELB). A cada fruto cosechado para determinaciones de calidad se le determinaron estos parámetros y mediante la (**Ecuación 3**) descrita por Arias *et al.* (2000) se determinó el licopeno.

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1}\text{)} = 11.848 \cdot (a^*/b^*) + 1.5471 \dots \dots \dots (10)$$

2.7.16. Evaluación de caracteres físicos

Firmeza: se midió en la de zona ecuatorial de los frutos, utilizando un texturómetro digital (Universal Fuerza Five), con escala de 0.1 hasta 0.32 % de fuerza y un puntal cónico de 0.8 mm registrándose la lectura en Newton (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Color del fruto: esta determinación se realizó mediante un colorímetro Hunterlab “L”, “a”, “b”, el cual se basa en el empleo de funciones trigonométricas. Una rueda de color dividida en 360°; con rojo purpura situado en el extremo derecho en el ángulo cero; el amarillo en 90°; el verde-azul en 180° y el azul en 270°. El colorímetro, indico el cambio de coloración en el fruto en tres direcciones: L*a*b*, las cuales marcan los cambios de brillantez: L* mide la oscuridad a luminosidad, a* representa el rojo si es positivo y verde si es negativo; b* corresponde al amarillo si es positivo y azul en caso de ser negativo. La medición se realizó sobre la epidermis de fruto en la parte ecuatorial.

Índice de redondez: Con vernier digital se realizó la medición del diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto y se calculó con la (**Ecuación 4**).

$$IR = \frac{dp}{de} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde: IR= Índice de Redondez, dp= diámetro polar, de= diámetro ecuatorial

2.7.17. Evaluación de productividad del agua

Se estimó la productividad neta del agua (PA) y el rendimiento (R) de los tratamientos; la primera indica la relación de la producción total obtenida (RC, kg) con respecto del volumen de agua aplicada (VA, m³) (Bessembinder *et al.*, 2005) y la segunda la producción obtenida en

kg m⁻². Se cuantifico el volumen de agua aplicada y el volumen de agua drenaje mediante lisímetro de drenaje en la misma maceta donde se desarrolló la planta. Para determinar la diferencia significativa de las variables evaluadas, se realizó análisis de varianza, para el diseño completamente al azar, y comparación de medias, por la prueba de Tukey (P=95%), con el paquete estadístico MINITAB.

2.8. RESULTADOS Y DISCUSION

2.8.1. Componentes bioquímicos

Los resultados indican que la variedad Cannon del tratamiento T1 (dos tallos) presentó el valor más alto de 8.85 de contenido sólidos solubles totales, expresado en °Brix, comparando con la variedad Bragi donde se obtuvo 7.89 Brix para ambos tratamientos (**Cuadro 26**). Esta variable está relacionada principalmente con los carbohidratos contenidos en el jugo del fruto, así como los minerales disueltos. Figueroa *et al.* (2015) reportaron resultados similares en pimiento en variedades Viper (rojo) de 9.5 y 8.1 °Brix variedad California (amarillo). Estos valores son superiores a los reportados en otras especies cultivables como jitomate (*Solanum lycopersicum* L), donde reportaron entre 3.5 y 5.9 °Brix (Rousseaux *et al.*, 2005; Barrett *et al.*, 2007; Casierra y Aguilar, 2008; Mendoza-Pérez *et al.*, 2018).

En cuando al contenido de acidez, en ambos tratamientos de la variedad Cannon presentaron mayor contenido de ácido cítrico de 0.67 % con relación a la variedad Bragi (**Cuadro 26**). Estos valores son superiores a lo encontrado por Serrano-Maldonado *et al.* (2011) en el pimiento color rojo cv. Herminio de 0.25%. Ruiz-Altisent y Valero-Ubierna, (2000) reportaron que la acidez es otro factor fundamental que afecta al sabor, valores altos se consideran de mejor sabor y aceptación al mercado. La fruta contiene diferentes ácidos orgánicos libres o en forma de nutrientes, siendo el ácido málico el más abundante en pimiento morrón. Además, Figueroa *et al.* (2015) obtuvieron resultados iguales en pimiento de la variedad Triple 4 de 0.67% cultivado bajo condiciones de invernadero.

Con respecto a la vitamina C, no hubo diferencia entre variedades ni tratamientos, presentando contenidos de ácido ascórbico de 120 mg 100 g⁻¹ (**Cuadro 26**). Los niveles encontrados en este estudio son menores a las concentraciones reportadas por Figueroa *et al.* (2015) de 274.3 y 355.5 mg 100 g⁻¹ en pimiento cultivado en invernadero de la variedad Viper y Triple Star, respectivamente. Sin embargo, Perucka y Materska, (2007) reportaron que dos cultivares rojos producidos en Polonia, alcanzaron entre 101.5 y 167.5 mg 100 g⁻¹; además, superan a las variedades amarillas y rojas cultivada en India las cuales presentaron entre 60 y 210 mg 100 g⁻¹ (Deepa *et al.*, 2007). Los mismos autores afirman que los pimientos dulces son ricos en vitamina C, lo cual se confirma al comparar los resultados con los contenidos encontrados en la naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en donde Franke *et al.* (2004) reportaron entre 42.1 y 62.4 mg 100 g⁻¹, kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.), entre 30 y 50 mg 100 g⁻¹ (Tavarini *et al.*,

2008), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y limón (*Citrus limon* (L.) Burm.), donde Sun *et al.* (2002) encontraron entre 37 y 46 mg 100 g⁻¹.

Cuadro 26. Contenido de acidez titulable, °Brix, vitamina C e índice de madurez en los tratamientos de pimiento morrón

Tratamientos	Variedad	Acidez titulable (%)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Vitamina C Ac. Asc.(mg 100 g ⁻¹)	Índice de madurez (IM)
Dos tallos (T1)		0.67 a	8.85 a	119.92 a	14.27 a
Tres tallos (T2)	Cannon	0.67 a	8.03 a	120.23 a	12.39 a
Dos tallos (T1)	Bragi	0.47 a	7.63 a	120.42 a	16.26 a
Tres tallos (T2)		0.51 a	8.15 a	120.15 a	16.06 a
SD		0.11	0.51	0.21	1.81
CV (%)		18.33	6.25	0.17	12.27

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Para el índice de madurez se obtuvo valor en promedio de 13.33 para la variedad Cannon en ambos tratamientos y 16.16 para la variedad Bragi en ambos tratamientos. Este índice representa la calidad de los frutos en sabor y tiempo de postcosecha, además, está directamente relacionada con la firmeza del fruto (**Cuadro 27**).

Para la conductividad eléctrica el valor más alto se presentó en la variedad Cannon de T2 (tres tallos) con valor en promedio de 1.54 dS m⁻¹ y en el T1 de la misma variedad se obtuvo el valor más bajo de 1.38 dS m⁻¹ (**Cuadro 27**). Trejo-Téllez *et al.* (2003) encontraron CE de 2.6 dS m⁻¹ en chile jalapeño y 1.0 dS m⁻¹ en pimiento cultivado en invernadero. Con respecto al pH el valor más alto se obtuvo en el T1 de la variedad Cannon (rojo) de 5.04 y el valor más bajo se obtuvo en el T2 (tres tallos) de la variedad Bragi (amarillo) de 4.99, se puede decir que los valores fueron similares en los tratamientos y variedades. Trejo-Téllez *et al.* (2003) reportaron resultados similares de 5.7 en pimiento cultivado en suelo bajo condiciones de invernadero. La disminución ó aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor ó mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal.

La concentración de licopeno está directamente relacionada con la maduración del fruto; debido al aumento de dicho carotenoide y disminución de la clorofila al pasar el fruto de verde a rojo (Bramley, 2002). En este trabajo de investigación se encontró mayor concentración de licopeno en los tratamientos de la variedad Cannon de 20.77 y 22.61 mg 100g⁻¹ para T1 y T2, esto se le atribuye por ser frutos de color rojo (**Cuadro 27**). Perez *et al.* (2017) reportaron resultados similares en cultivo de tomate cultivado en hidroponía valores de 18.5 mg 100g⁻¹ de la variedad Cid. Además, Figueroa *et al.* (2015) reportaron valores desde 92 hasta 660 µg100g⁻¹ en diferentes variedades de pimiento morrón cultivado en invernadero. La función del licopeno se ha vinculado principalmente a su potente efecto antioxidante; sin embargo, se conoce que el licopeno también inhibe la proliferación celular al interferir con la señalización de factor de crecimiento insulínico (Liu *et al.*, 2008).

Cuadro 27. Contenido de pH, CE y concentración de licopeno en los tratamientos de pimiento morrón

Tratamientos	Variedad	pH	CE (dS m⁻¹)	Licopeno (mg 100⁻¹)
Dos tallos (T1)	Cannon	5.04 a	1.38 a	20.77 ab
Tres tallos (T2)		5.03 a	1.54 a	22.61 a
Dos tallos (T1)	Bragi	5.00 a	1.45 a	11.58 c
Tres tallos (T2)		4.99 a	1.53 a	13.32 bc
SD		0.02	0.08	5.43
CV (%)		0.47	5.09	31.83

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

2.8.2. Variación de firmeza y sólidos solubles totales en diferentes etapas de maduración

En la (**Figura 29**) se puede observar la variación de la variable firmeza en los frutos de pimiento en diferentes etapas de maduración. El valor máximo se presentó en la etapa verde-oscuro para ambos tratamientos con valor promedio de 5.25 N, comparando con los frutos en etapa de maduración rojo-maduro de 3.69 N. Se registró variación de grado de resistencia de la pulpa de los frutos cosechados en diferentes estados de madurez.

La firmeza representa la consistencia de los frutos, atributo textural importante en las hortalizas, que se utiliza para establecer el momento óptimo para la cosecha, para evaluación de la calidad durante el almacenamiento, para la comercialización en fresco o al procesado de los productos.

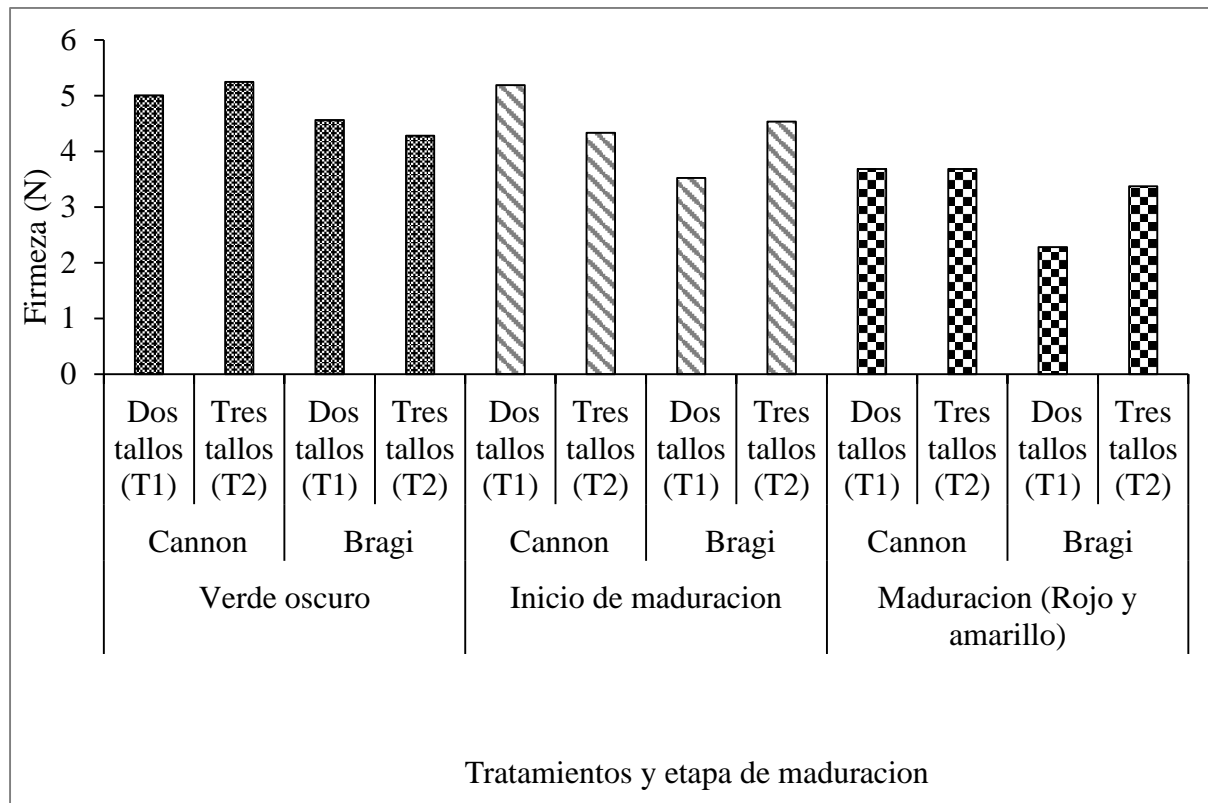


Figura 29. Variación de firmeza en diferentes etapas de maduración en pimiento

Sólidos solubles totales: El valor máximo de °Brix se presentó en la etapa de maduración (rojo-maduro) que comúnmente se le conoce como madurez de consumo con valor de 8.85 °Brix para T1 (dos tallos) en la variedad Cannon. A medida que se retrocede en la etapa de verde-oscuro se observa menor acumulación de azúcares. La etapa de inicio de maduración que también se le conoce como madurez de cosecha se puede considerar como el óptimo para iniciar la recolección o cosecha de los frutos con fines de comercialización ya que cumple con los requisitos de firmeza y °Brix que son variables que están directamente relacionadas con la vida de anaquel de los frutos (**Figura 30**).

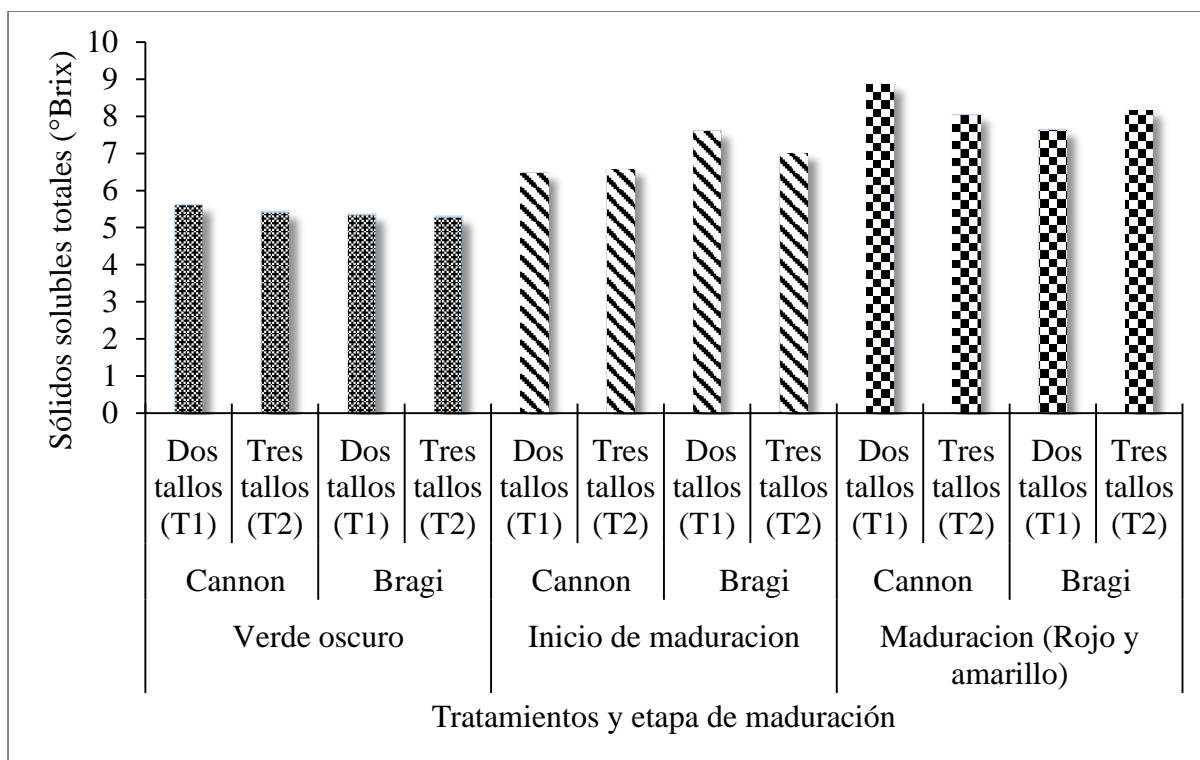


Figura 30. Variación de °Brix en diferentes etapas de maduración de pimiento

2.8.3. Caracteres físicos

En el (**Cuadro 28**) se presentan las características físicas del fruto como el peso de materia fresca, índice de redondez y firmeza, el peso fresco está directamente relacionado con el tamaño y rendimiento del fruto. Se puede observar que los frutos más pequeños, de menor peso, correspondieron a los tratamientos de tres tallos por plantas en ambas variedades, mientras que los frutos de mayor peso correspondieron a los tratamientos de dos tallos en ambas variedades. Navarro *et al.* (2006) señalan que el peso y tamaño del fruto varía en relación a su estado de madurez, debido a que el fruto una vez formado inicia su crecimiento, por lo que sí es recolectado en un estado inmaduro (verde), tendrá un menor peso y tamaño que si se deja en la planta hasta que alcance un grado mayor de madurez. En el (**Cuadro 28**) se puede observar que ambas variedades producen frutos que se denominan tipo ‘blocky’ que se caracterizan por ser cuadrados, con una relación entre el largo y ancho menor a uno (Milla, 1996).

Con respecto a la firmeza, el valor más alto se obtuvo en la variedad Cannon de 4.09 y 3.92 N para T1 y T2. Esta variable es un indicador que está directamente relacionada con el tiempo de conservación de los alimentos, principalmente en frutas y hortalizas. Este valor es menor a lo reportado por Figueroa *et al.* (2015) con valores de 12.64 y 21.60 N, los valores encontrados

en este trabajo de investigación son bajos porque las mediciones se realizaron en frutos en etapa madurez de consumo. Además, Palacio y Sánchez, (2017) reportaron resultados similares de firmeza en pimiento morrón con valores de 6.39 y 7.0 N para la variedad Fascinato (rojo) y Jeanette (amarillo) cultivado bajo un sistema de casa sombra. Muy-Rangel y Cantwell, (2005) mencionan que la firmeza es un parámetro muy importante en la calidad que se puede ver afectado por muchos factores (ambientales, variedades cultivadas, almacenamiento, etc.).

Esta característica depende principalmente del estado de madurez en que se cosecha el fruto, y a que a medida que esta se retrasa más allá del momento en que el fruto alcanza el color final característico de la variedad, la consistencia del fruto disminuye, afectando así el manejo y transporte, lo que podría disminuir la vida de anaquel. Por esta razón, los valores elevados de firmeza son deseables para productos que tienen que viajar largas distancias antes de llegar a los consumidores. Además, una vez cosechado el fruto pierde rápidamente agua lo que limita aún más su vida postcosecha.

Cuadro 28. Caracteres físicos de frutos de pimiento en los tratamientos

Tratamientos	Variedad	Peso del fruto (g)	Índice de redondez	Firmeza (N)
Dos tallos (T1)	Cannon	214 a	0.88 a	4.09 a
Tres tallos (T2)		198 a	0.72 a	3.92 a
Dos tallos (T1)	Bragi	240 a	0.80 a	2.43 ab
Tres tallos (T2)		198 a	0.81 a	3.58 b
SD		19.91	0.07	0.75
CV (%)		9.34	8.31	21.32

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

2.8.4. Color de fruto

En relación a la coloración de los frutos, los pimientos pueden ser consumidos a diferentes estados de madurez, ya sea en verde, rojo, amarillo o anaranjado. En este trabajo no se evaluó la evolución del color del fruto durante su desarrollo, sino que se midió solamente a la cosecha, debido a que como es considerado no climatérico, debe alcanzar el color deseado en la planta (López, 2003). En el (**Cuadro 29**) se puede observar que la variedad Cannon de ambos tratamientos, los frutos rojos presentaron menos brillo que los amarillos, además, de menor pureza de color (croma) en ambos parámetros con diferencias estadísticas significativas. Sin

embargo, los frutos de la variedad Bragi presentaron valores de Hue de 58.87 y 58.41 para dos y tres tallos, mientras que los frutos de los tratamientos de la variedad Cannon este valor se acerca a 90°. Palacio y Sánchez (2017), reportaron resultados similares en pimiento morrón al evaluar las variedades Fascinado y Jeanette de color rojo y amarillo respectivamente. Davis *et al.* (2008) menciona que el color del fruto quizá juega el papel más importante para los consumidores a la hora de hacer la compra.

Cuadro 29. Variación de color en pimiento por efecto de número de tallos

Tratamientos	Variedad	Luminosidad (L)	Pureza color (Croma)	de Angulo de tono (Hue)
Dos tallos (T1)	Cannon	24.33 a	22.46 a	63.75 a
Tres tallos (T2)		26.14 a	26.41 ab	63.46 a
Dos tallos (T1)	Bragi	38.18 b	30.19 ab	58.87 a
Tres tallos (T2)		39.26 b	34.40 b	58.41 a
SD		7.83	5.11	2.88
CV (%)		24.50	18.03	4.70

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

2.8.5. Rendimiento de pimiento

En este estudio se encontró que el T2 (tres tallos) que la variedad Bragi (amarillo) obtuvo el mejor rendimiento, de 6.50 kg m⁻² cosechando un total de 15 frutos por planta (**Figura 31**). En general se observa que los tratamientos de tres tallos por planta se obtuvieron mejores rendimientos que los de dos tallos por planta, pero sin diferencias estadísticas significativas. Álvarez, (2012) reporto resultados similares en pimiento de la variedad Cannon de 6.38 kg m⁻² cosechado un total de doce frutos por planta. Además, Moreno, *et al.* (2011) reportaron rendimiento de 5.7 kg m⁻² en pimiento cultivado en hidroponía de variedad Magno con dos tallos por planta. Se observó que al aumentar el número de tallos por planta se incrementa el número de frutos, sin embargo, su calidad en tamaño disminuye.

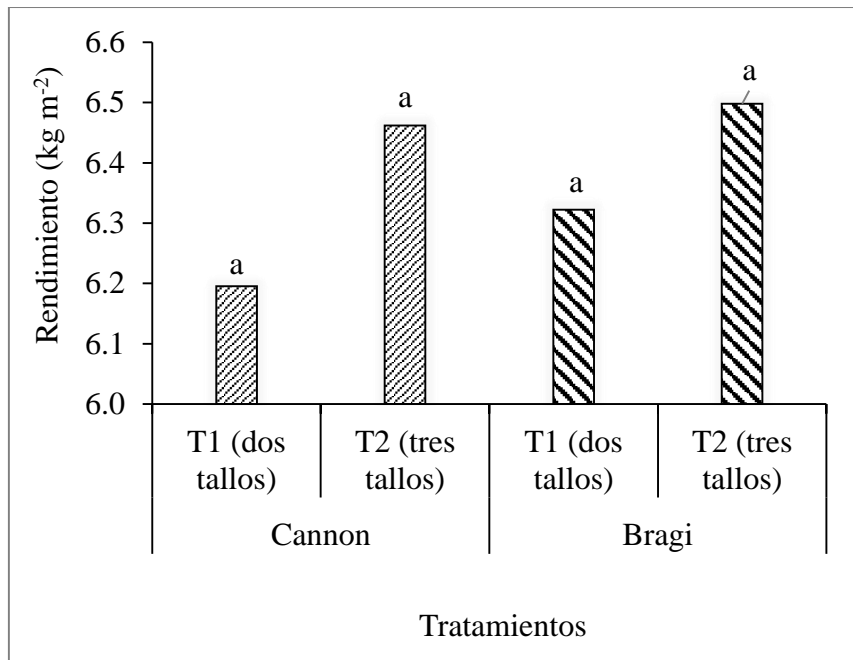


Figura 31. Rendimiento de pimiento morrón

2.8.6. Productividad del agua

El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo agrícola fue de 102.96 litros por planta para en los cuatro tratamientos con una productividad del agua de 20 y 21 kg m⁻³ para T1, T2 de la variedad Cannon y 20 y 21 kg m⁻³ para la variedad Bragi.

2.8.7. Clasificación de tamaño de frutos de pimiento morrón

En lo referente al tamaño de los frutos de pimiento el T1 (dos tallos) por planta de la variedad Cannon fue mejor con 63 % de frutos para el mercado internacional (exportación), 35 % para el mercado nacional (supermercados, restaurantes etc.), 2 % frutos de tamaño chico para el mercado local (tianguis) y 0 % frutos rezaga. (**Figura 32**). Ayala-Tofaya *et al.* (2015) en su trabajo en el uso de mallas sombra de colores en la producción de pimiento morrón encontraron 89 % frutos de tamaño para (exportación), 4.3 % para mercado nacional y 5.53% frutos de rezaga.

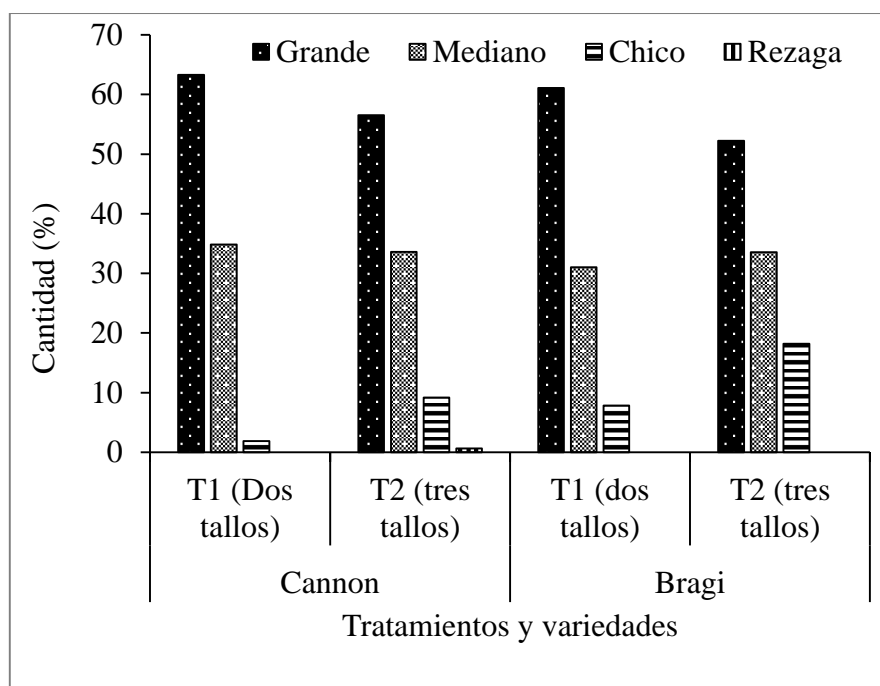


Figura 32. Clasificación de cantidad (%) de frutos de pimienta en todos los tratamientos

2.8.8. Número de frutos por planta

Con respecto al número de frutos obtenidos por planta se observa que el T2 (tres tallos) por planta obtuvo 15 frutos por planta de la variedad Bragi por encima del T2 (tres tallos) de la variedad Cannon que obtuvo 14 frutos. Ayala-Tofaya *et al.* (2015) en su trabajo en el uso de mallas sombra de colores en la producción de pimienta morrón encontraron 14, 13.5, 14.9, 13.8, 11.9 y 14 frutos por planta para mallas de color verde, roja, beige, azul, negra y sin malla, respectivamente.

Cuadro 30. Número de frutos obtenidos por categoría en los tratamientos

Variedad	Tratamientos	Grande	Mediano	Chico	Rezaga	Total
Cannon	T1 (dos tallos)	7	5	1	0	11
	T2 (tres tallos)	6	5	3	0	14
Bragi	T1 (dos tallos)	7	4	1	0	12
	T2 (tres tallos)	6	6	3	0	15

2.8.9. Efecto de las variables climáticas en la producción de pimiento

Las variables climáticas se midieron únicamente para correlacionar sus efectos en el crecimiento y desarrollo de planta dentro del invernadero. También para determinar sus efectos en el desarrollo y en la calidad de los frutos de pimiento morrón.

2.8.10. Temperatura

El pimiento morrón se desarrolla bien a temperaturas altas (25°C); sin embargo, temperaturas extremas (>30 °C) afectan de manera significativa el número de flores, la fecundación y el cuajado de frutos (Mundarain *et al.*, 2005; Rubio *et al.*, 2009). Durante el trasplante las temperaturas óptimas adentro del invernadero deben ser de 20 °C durante la noche, 22 °C en el día y por debajo de 10-12 °C se detiene el crecimiento provocando alteraciones que dan como resultado plantas compactas y entrenudos cortos formando rosetas. Durante la época de crecimiento y desarrollo, la temperatura óptima para este cultivo es de 15-19 °C durante la noche y de 22 -25°C durante el día (Jovicich *et al.*, 2004). Las plantas son sensibles a la cantidad, calidad y dirección de la luz, la cual es utilizada como una señal para optimizar su crecimiento y desarrollo en un ambiente determinado. Además de jugar un papel muy importante en la fotosíntesis, la luz está involucrada en la regulación natural de cómo y donde los productos fotosintéticos son usados dentro del desarrollo de la planta y en las respuestas fotomorfogénicas, fotoperiódicas y fototrópicas.

En la fase inicial (trasplante) se registró 22 °C de temperatura y en la etapa de desarrollo vegetativo se registró 25 °C que comprende los meses más calientes (mayo-junio) después empieza a disminuir. En la etapa de fructificación y maduración del fruto se registraron temperaturas entre 19 y 20 °C, esta etapa coincide con la temporada de lluvias en la zona de estudio. Al final del ciclo de cultivo se registraron temperatura por debajo de los 11 °C (**Figura 33**).

Cuando las plantas se desarrollan fuera de los rangos óptimos de temperaturas, las plantas pueden llegar a presentar desórdenes fisiológicos como la pudrición apical, susceptibilidad al ataque plagas y enfermedades, desbalance de nutrimentos, frutos pequeños (Rubio *et al.*, 2009).

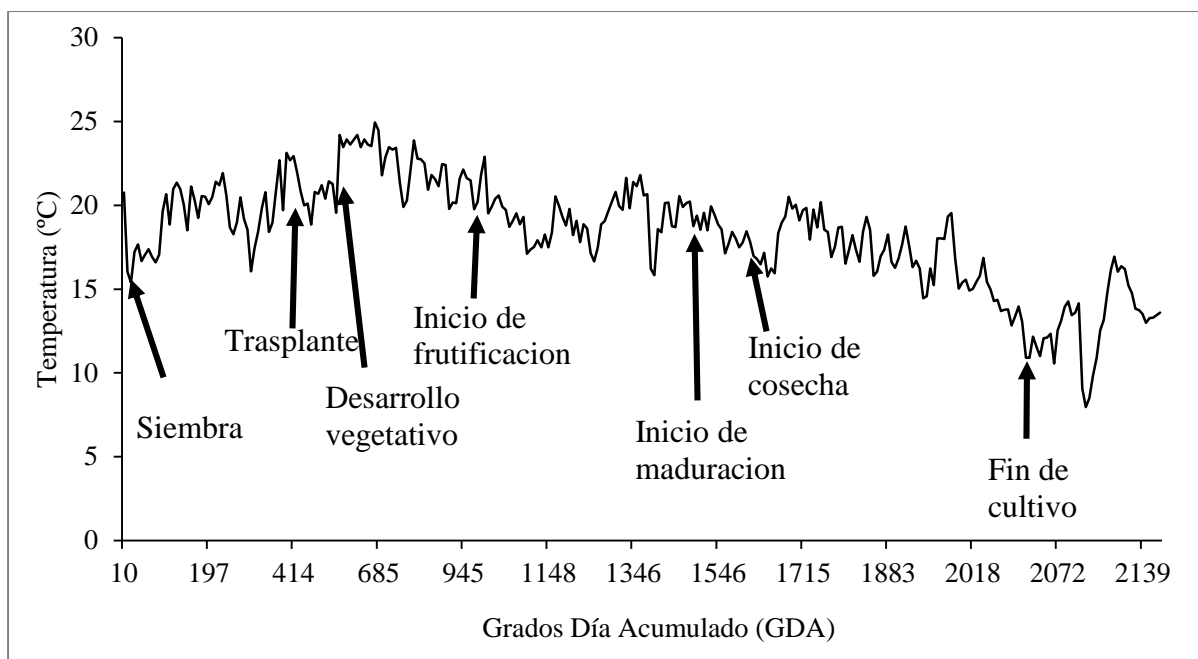


Figura 33. Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero

2.8.11. Efecto de la temperatura en los frutos de pimiento

Pudrición apical: este desorden está asociado al suministro deficiente de calcio, dado que este elemento es responsable de la estabilidad de la pared celular y de la integridad de la célula. El suministro adecuado de calcio es importante cuando la planta presenta su máxima tasa de crecimiento ya que la planta además de seguir creciendo empieza a producir frutos, por lo tanto, la demanda de calcio es mayor (**Figura 34**).

Otra condición que favorece la aparición de este síntoma es el rápido crecimiento de las plantas como consecuencia de altas temperaturas en los invernaderos. Los frutos presentan una polinización deficiente y como consecuencia de esto disminuye la formación y acumulación de número de semillas. Donde menor número de semillas en los frutos, implica menor concentración de auxinas (hormonas), las cuales son los responsables de mover el calcio hacia los frutos (Rubio *et al.*, 2009).



Figura 34. Pudrición apical por deficiencia de calcio en pimiento

Frutos deformes: están asociada a bajas temperaturas durante las horas de la noche. La temperatura promedio nocturnas ideal se encuentra alrededor de 17 °C, la cual asegura una correcta formación de semillas y formación regular de los frutos. Cuando las temperaturas nocturnas son menores de 15 °C las plantas presentan problemas de polinización efectiva.



Figura 35. Frutos deformes de pimiento en invernadero por bajas temperaturas

2.8.12. Humedad relativa

Es otra variable climática que está relacionada con el estrés de los cultivos. El aire seco tiene mayor capacidad para absorber y transportar vapor de agua que un aire húmedo a la misma temperatura; en consecuencia, un aire seco promueve la transpiración de los cultivos. Bajo condiciones de humedad relativa muy alta o muy baja, se reduce la transpiración al promoverse el cierre de estomas y en consecuencia la reducción de la absorción de CO₂ y movimiento de nutrimentos.

En la etapa inicial se observa variaciones muy drásticas de humedad relativa. En la etapa de trasplante se registró una humedad de 50 % y se mantiene hasta el inicio de la etapa de fructificación. Después incrementa hasta el 70 % y se mantiene hasta los 145 ddt antes de la etapa de maduración, posteriormente disminuye hasta 55 %. Posteriormente vuelve a subir hasta el 80 % en la etapa de inicio de cosecha y después empieza a disminuir hasta el 50 % en la etapa final del cultivo (**Figura 36**).

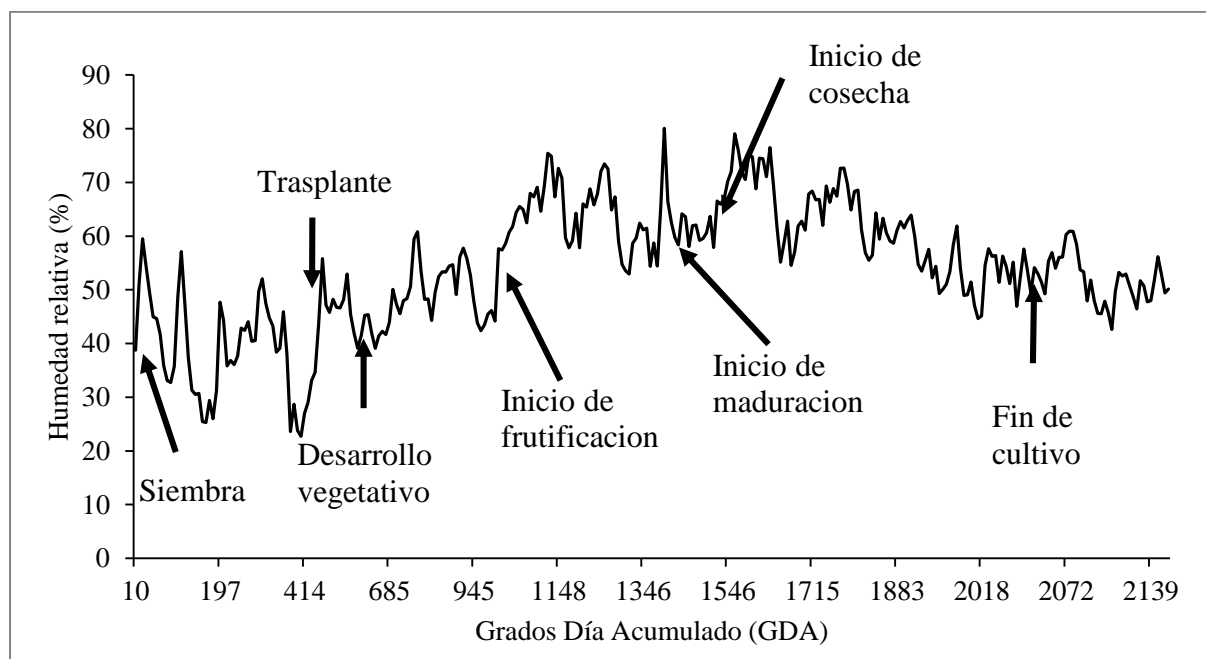


Figura 36. Comportamiento de la humedad relativa en el interior del invernadero

El crecimiento y desarrollo normal del pimiento oscila alrededor de 60-70 % de humedad relativa, por tal motivo, es necesario contar con un buen sistema de ventilación del invernadero. En la etapa de floración y cuajado de frutos la humedad relativa óptima oscila entre el 50-70 %. Los valores elevados de humedad, acompañados de abundante follaje favorecen los ataques

de *Botrytis* spp, *Sclerotinia* spp. y otras enfermedades, además, dificulta la fecundación del polen. Humedad baja provoca la deformación y tamaño de los frutos, que junto a temperaturas elevadas originan la caída de flores e incluso frutos que inician su crecimiento (Serrano, 1996).

2.8.13. Déficit de presión de vapor

El Déficit de Presión de Vapor (DPV) es una manera útil de medir el clima de un invernadero. Se puede utilizar para evaluar la amenaza de enfermedades, el potencial de condensación y las necesidades hídricas de un cultivo bajo invernadero. Un manejo adecuado de las condiciones de clima en el invernadero ayuda a la prevención de enfermedades y plagas.

La prevención de condensación es un factor importante, ya que los patógenos normalmente requieren una lámina de agua en la planta para desarrollarse y dañar a las plantas. El DPV puede ayudar a identificar las condiciones en las cuales la condensación tiene posibilidad de ocurrir. Un DPV más alto significa que el aire tiene mayor capacidad de retener agua, estimulando así la transferencia del vapor de agua (transpiración) al aire en esta condición de baja humedad. DPV más bajo, conlleva un nivel de saturación del aire completa o casi completa, de manera que el aire no puede aceptar humedad de la hoja en esta condición de alta humedad.

El comportamiento de DPV durante un día (24 horas) en intervalos de cada minuto es completamente diferente al DPV diaria. En la etapa vegetativa el valor más bajo de DPV se presentó a las 7:06 a.m. de (1.27 KPa) y durante el día de insolación solar a las 14:36 p.m. se presentó el valor más alto de (3.58 KPa) que corresponde 32 días después de trasplante (12 hojas verdaderas-inicio de división de tallos). Comparado el DPV obtenido en la etapa reproductiva el valor más bajo se presentó a las 06:51 a.m. de (1.04 KPa) y durante el día de insolación solar exactamente a las 15:51 p.m. se presentó el valor más alto de (3.27 KPa) que corresponde a los 74 días después de trasplante (inicio de fructificación número 4 e inicio de floración número 5). Se observa que los picos altos no se presentaron a la misma hora esto fue debido a la variación de las estaciones del año. A pesar de que los valores estuvieron fuera del rango óptimo, el cultivo se desarrolló de manera normal y no presentó problemas de plagas ni de enfermedades, esto se le atribuye a un manejo adecuado y aplicación preventiva de fungicidas e insecticidas durante el ciclo del cultivo (**Figura 37**).

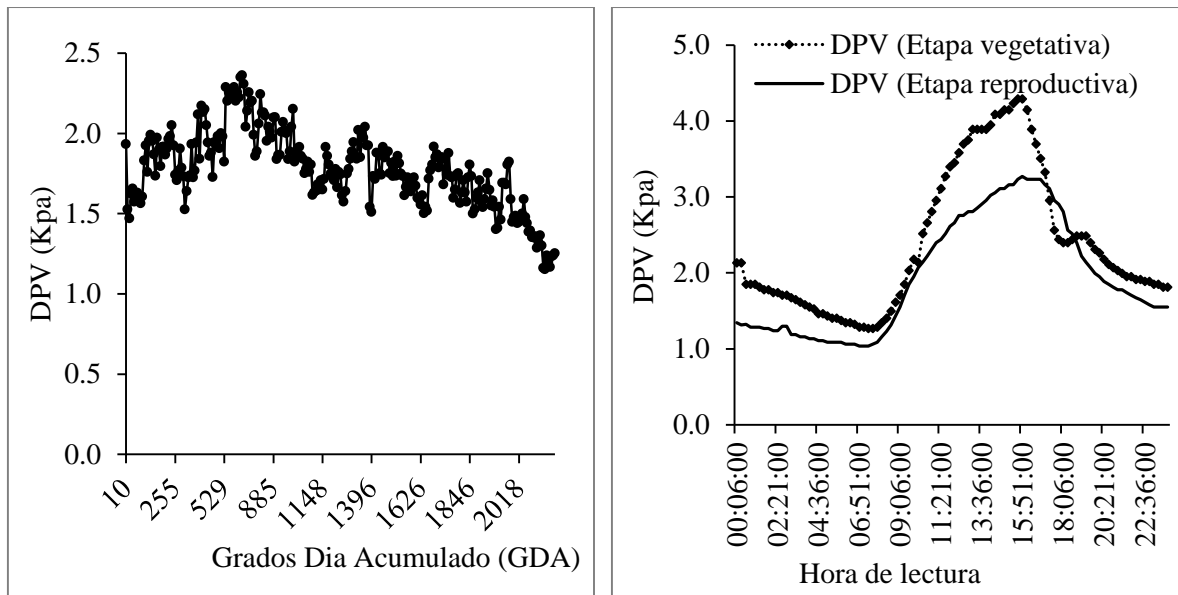


Figura 37. Déficit de presión de vapor diario (izquierda) y horario (derecha)

Los estudios muestran que los patógenos fúngicos sobreviven por debajo de 0.063 psi DPV (<0.43 kPa). Además, la infección de enfermedades en una planta resulta en mayor daño por debajo de 0.030 psi (0.20 kPa). Entonces, el clima de un invernadero debe mantenerse más alto que 0.030 psi (0.20 kPa), para prevenir enfermedades y daño del cultivo.

Cabe notar que la situación del control de clima debe reevaluarse cuando se están utilizando agentes de control biológico en el invernadero, ya que estos organismos requieren condiciones del DPV específicas para distribución y crecimiento.

2.8.14. Potencial hídrico atmosférico

La demanda atmosférica es sin duda un factor de gran importancia para determinar la cantidad de agua que requiere un cultivo para su crecimiento y desarrollo. Esta demanda dependerá de la radiación incidente, temperatura, humedad relativa, aire y el viento. En la (**Figura 38**) se presenta el potencial hídrico atmosférico (Ψ_w) se observa que a mayor temperatura en la etapa vegetativa menor es el potencial hídrico atmosférico, lo que significa que la atmósfera requiere mayor cantidad de agua para saturar el ambiente, lo cual se puede evidenciar con la caída de Ψ_w del aire cada vez más seco. Al final de ciclo se observa incremento del Ψ_w debido, a la disminución de la temperatura y alta humedad relativa en el ambiente, que coincide con el inicio de los meses lluviosos, días nublados e inicio de temporada de frío en la zona de estudio, es por eso que una humedad relativa del 100% a cualquier temperatura el potencial hídrico del aire es igual a cero (**Figura 38**). Al aumentar la demanda atmosférica, las plantas

evapotranspiran una mayor cantidad de agua y nutrientes hasta un cierto límite, fijado por el potencial de agua de sus hojas.

López (2000) reportó que cuando la humedad relativa (HR) del aire es de 98% a 20 °C, el potencial hídrico del aire disminuye hasta -2.72 MPa, que son suficientes para elevar una columna de agua hasta una altura de 277 m. A 90% de HR, el $\Psi_w = -14.2$ MPa; a 50% de HR del aire, $\Psi_w = -93.5$ MPa y a 10% de HR, el $\Psi_w = -311$ MPa. Como el potencial hídrico del agua del suelo disponible para las plantas rara vez se encuentra por debajo de -1.5 MPa, entonces no se necesita que el aire este muy seco para generar un gradiente de potencial hídrico pronunciado desde el suelo pasando por la planta hasta la atmósfera. Aun con el suelo muy húmedo y la HR del aire es 99% se puede establecer un gradiente de potencial hídrico cuando. Además, Gil-Pelegrín, *et al.* (2005) encontraron comportamiento similar de potencial hídrico atmosférico a través de un modelo integrador continuo suelo-planta-atmósfera (SPAC) que analiza el flujo de agua en los vegetales terrestres como un proceso dinámico a lo largo de una serie de compartimentos, desde la fuente (suelo) hasta la demanda final (atmósfera).

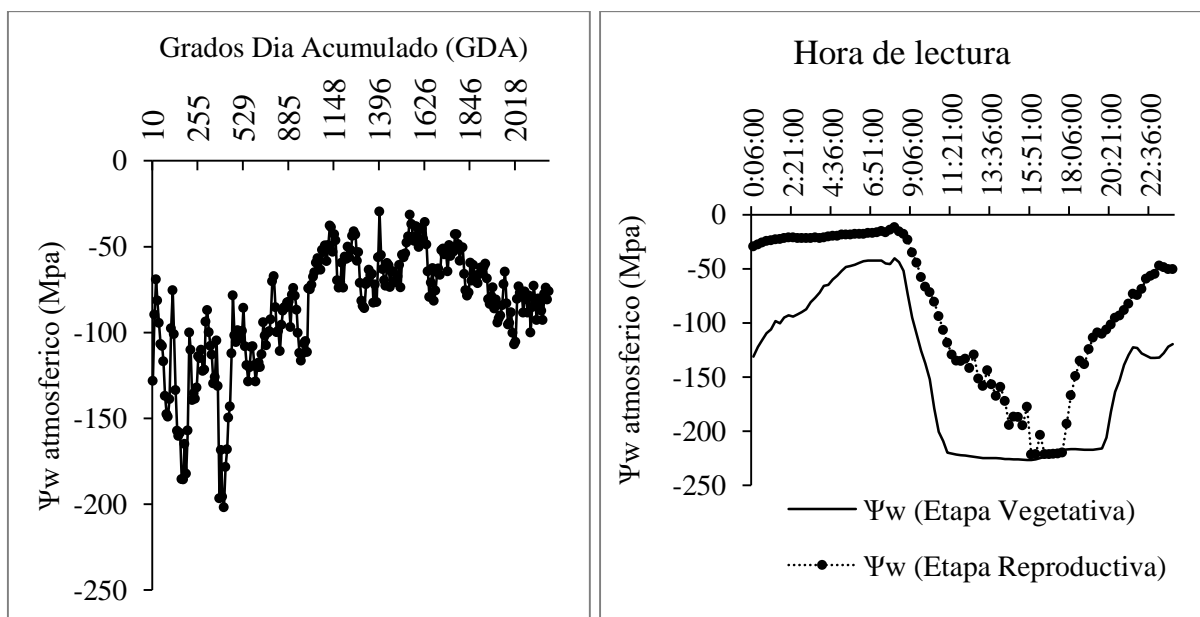


Figura 38. Potencial hídrico atmosférico (izquierda) y horario (derecha)

2.8.15. Efecto de la radiación en los frutos de pimiento morrón

Manchado de frutos: se trata de manchas amarillas en la superficie externa de los frutos. Este síntoma se puede presentar en frutos en etapa de desarrollo, este daño reduce su calidad visual y ocasiona rechazo por parte de los compradores. La presencia de esta anomalía se ha

relacionado con altos niveles de radiación asociados y escaso follaje que sirva de protección de la radiación a los frutos (Rubio *et al.*, 2009).



Figura 39. Manchado de frutos de pimiento morrón por exceso de radiación

Golpe de sol: este daño es ocasionado por la exposición de los frutos a la radiación directa del sol en conjunto con la presencia de temperaturas superiores a los 38 °C adentro del invernadero (Rabinowitch *et al.*, 1986).

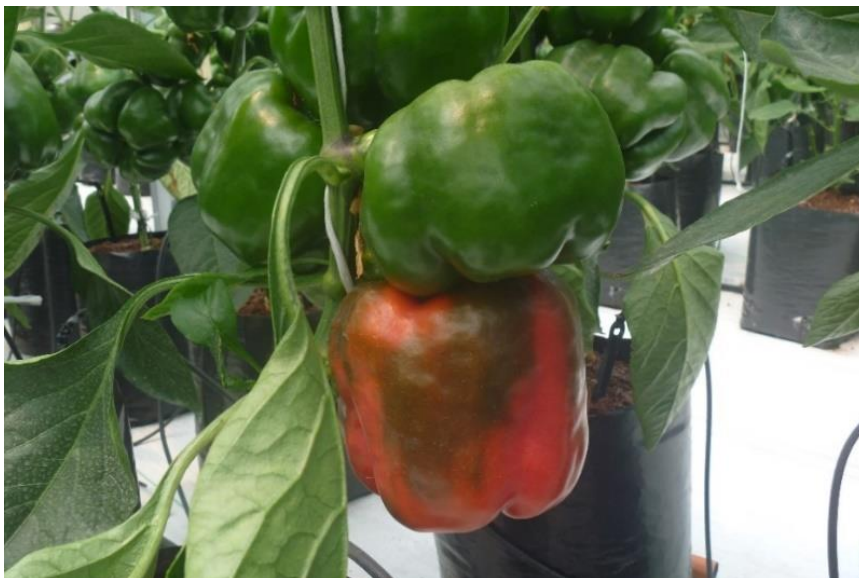
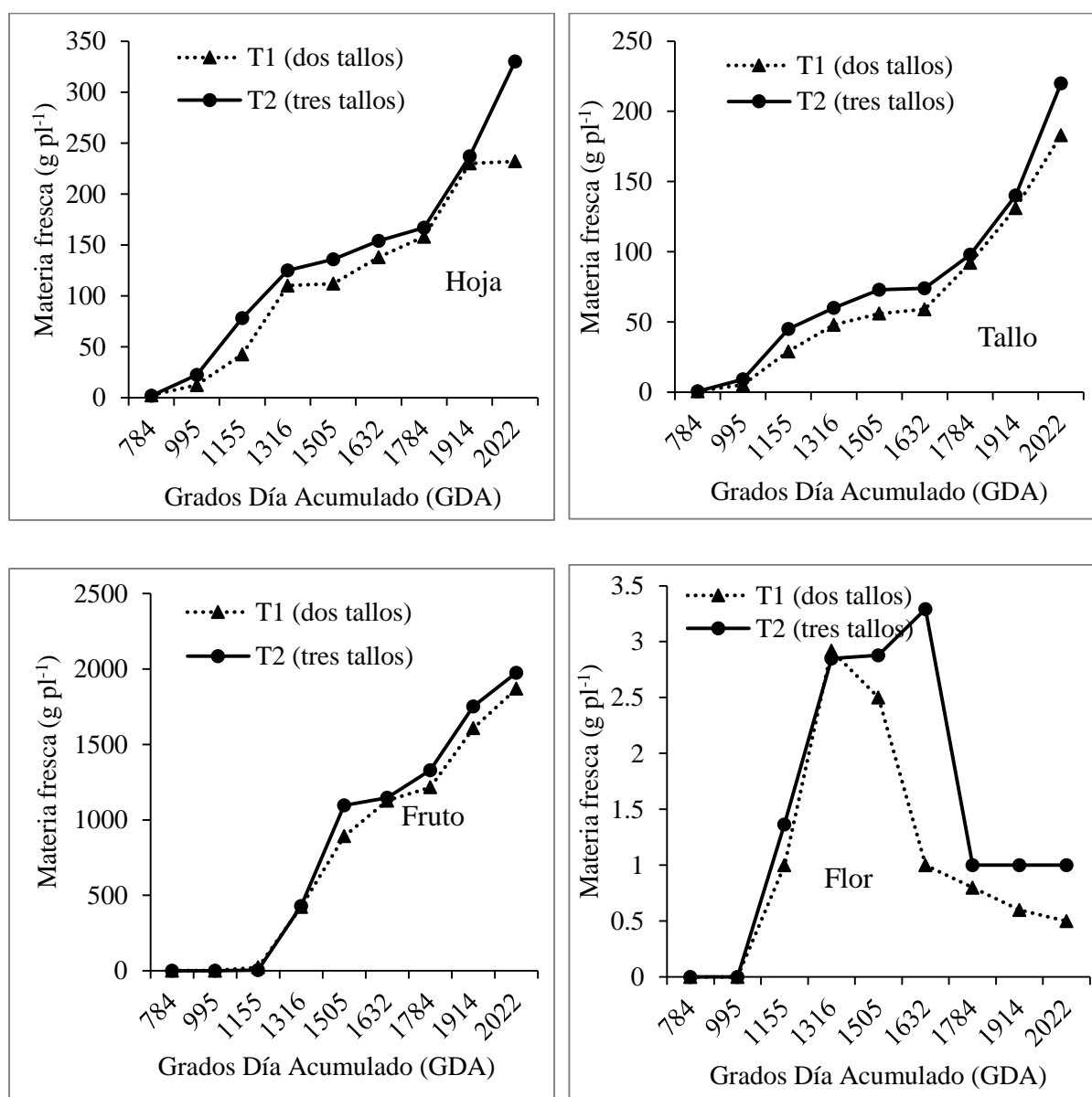


Figura 40. Daños provocados por el golpe de sol en pimiento en invernadero

2.8.16. Biomasa de cultivo de pimiento morrón

2.8.17. Materia fresca

La distribución de la materia fresca y seca entre la raíz, tallo, hoja y fruto fue similar entre los tratamientos (**Figura 41**). Estos datos son similares a los reportados por Chamú-Baranda *et al.* (2011) en cultivo de pimiento morrón cultivado en invernadero con valores de materia fresca de 146, 227, 173 y 1788 g por planta en la raíz, tallo, hoja y fruto, respectivamente.



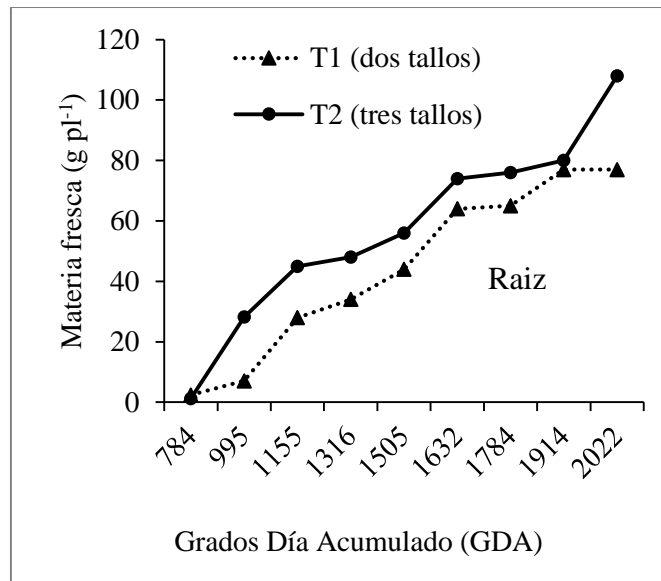
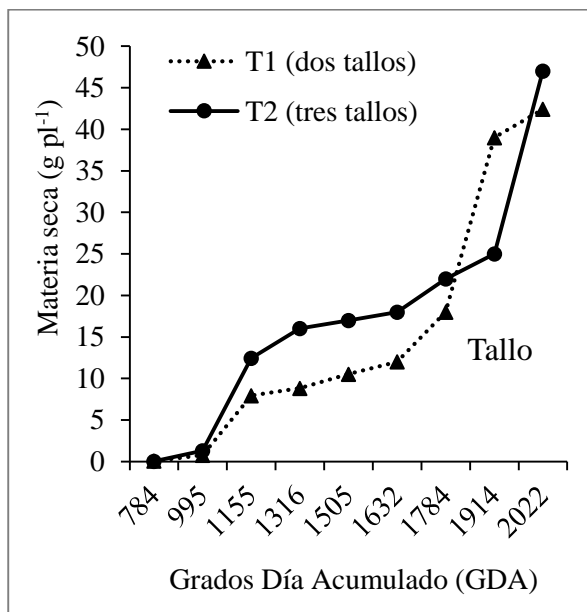
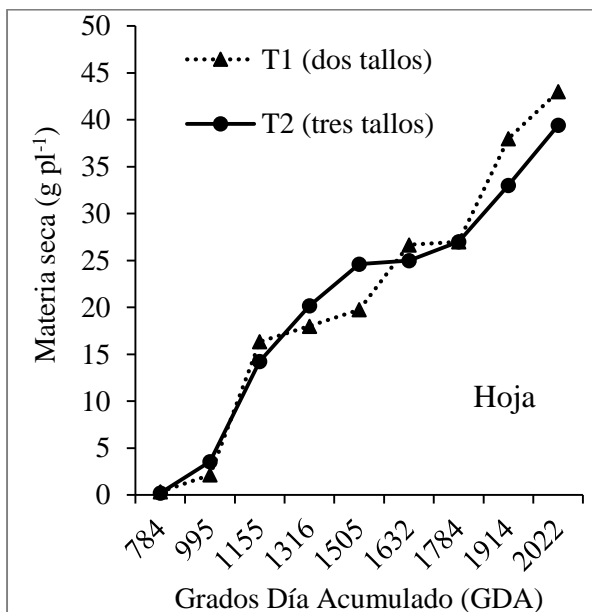


Figura 41. Materia fresca en los órganos de la planta de ambos tratamientos

2.8.18. Materia seca

En este trabajo se encontraron en materia seca de 43, 43, 190, 0.9 y 27 g por planta en la hoja, tallo, fruto, flor y raíz, respectivamente. El comportamiento fue similar en la acumulación de materia seca en ambos tratamientos (**Figura 42**). Estos datos son similares a los reportados por Chamú-Baranda *et al.* (2011) en cultivo de pimiento morrón cultivado en invernadero con valores de materia seca de 22, 52, 29 y 109 g por planta en la raíz, tallo, hoja y fruto, respectivamente.



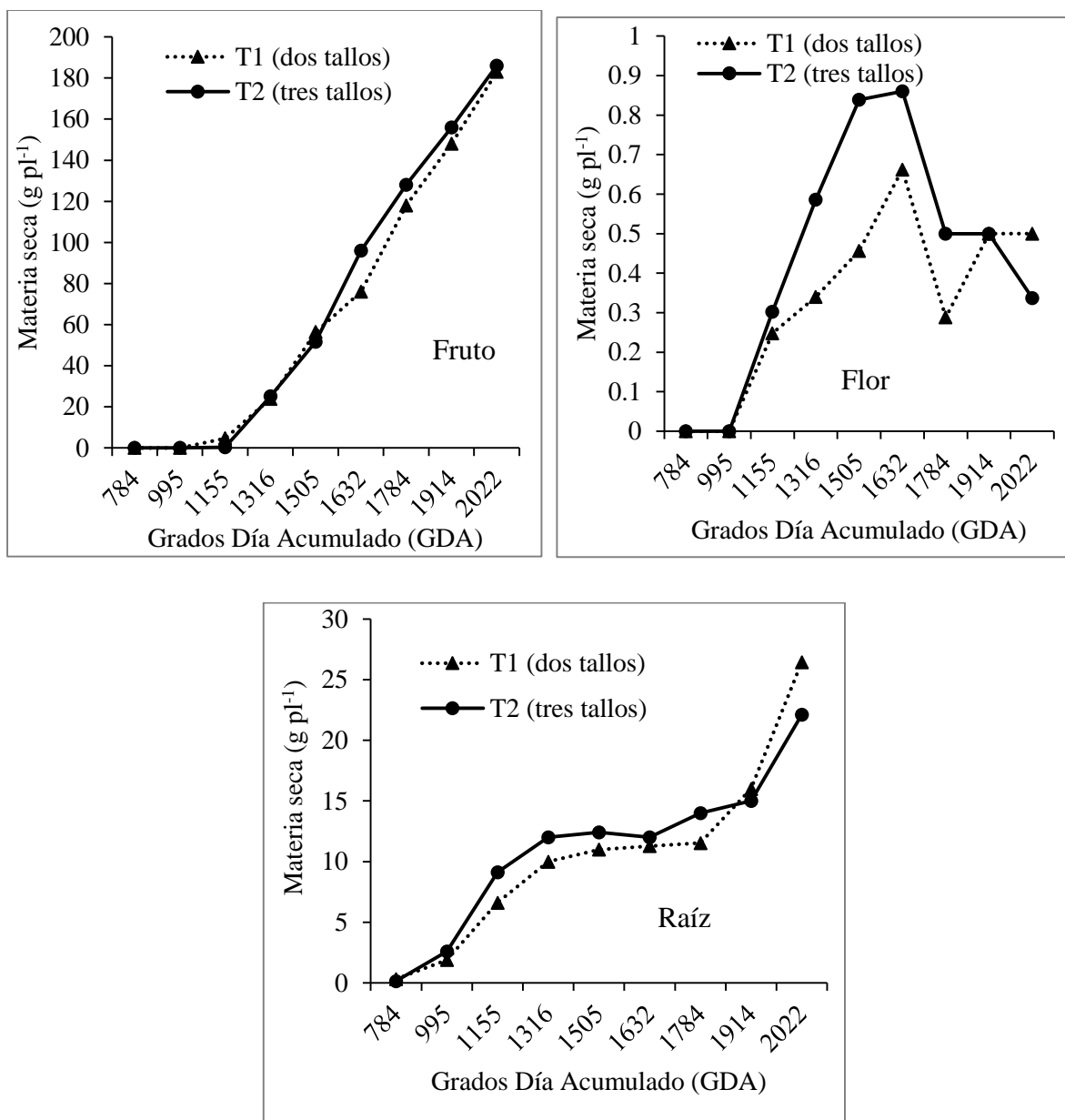


Figura 42. Materia seca en los órganos de la planta en ambos tratamientos

2.8.19. Costos de producción de pimiento morrón

En el (**Cuadro 31**) se pueden observar los costos de producción de cada uno de los rubros como: fertilizantes, insecticidas y fungicidas, semillas sustratos y sistemas de riego con un costo de producción total de \$ **767,188.00** (setecientos sesenta y siete mil ciento ochenta y ocho pesos).

Cuadro 31. Costos de producción de cultivo de pimienta en invernadero

Fertilizantes	Total de productos (ha)	\$ Costo de producción (ha)
Ácidos		
Ácido Sulfúrico	258.6	2973.60
Ácido Fosfórico	211.4	11052.40
Macro elementos		
Sulfato de Magnesio	1014.3	5619.10
Sulfato de potasio	702.9	11976.70
Nitrato de Potasio	1346.4	28382.70
Nitrato de Calcio	2948.9	32142.50
Micro elementos		
Sulfato de Manganeso	8.6	385.70
Sulfato de Zinc	8.6	428.60
Sulfato de cobre	0.4	46.70
Ácido Bórico	0.9	33.40
Segaquel	63.6	5912.10
Foliar	7.9	1029.30
Tradecorp	3.6	1053.60
Subtotal		101036.50
Insecticidas y fungicidas		
Ridomil Bravo	12.1	10685.70
Previcur	7.1	6692.90
Actara	3.6	2889.30
Lanate	3.6	267.90
Biodie	64.3	24428.60
Proplat	5.0	2000.00
Amistar	3.6	1785.70
Subtotal		48750.00
Semillas y sustrato		
Semillas (1lb=52950 sem)	1	941.00
Tezontle (m3)	428.571429	94285.70
Charolas para germinar	150.0	6750.00
Sistema de riego por goteo		300000.00
Energía eléctrica		4000.00
Peat moss turba	2	1400.00
Rafia (rollos)	200	40000.00
Bolsas		35625.00
Mano de obra	4800	134400.00
Subtotal		617,401.70
Total		767,188.20

En el (**Cuadro 32**) se presenta el análisis de la **relación costo-beneficio** (B/C), conocida también como índice neto de rentabilidad. En primer lugar, la relación $B/C > 1$ el cual indica que los beneficios superan los costos de producción, por lo tanto, el proyecto debe ser considerado para llevarse a cabo. En segundo término, también nos indica que por cada 1 peso invertido se obtiene una ganancia alrededor de 2.45 pesos en ambos tratamientos.

Cuadro 32. Relación de beneficio costo para el tratamiento de un tallo

Var.	TT	Rendimiento (t ha⁻¹)	PMR (ton)	Ingreso por venta (\$)	CP (\$)	Utilidad neta (\$)	Relación B/C
Cannon	T1 (dos tallos)	186.00	10,000.00	1,860,000.00	767,188.00	1,092,811.00	2.42
	T2 (tres tallos)	193.80	10,000.00	1,938,000.00	787,188.00	1,150,811.00	2.46
Bragi	T1 (dos tallos)	189.60	10,000.00	1,895,000.00	767,188.00	1,127,811.00	2.47
	T2 (tres tallos)	195.50	10,000.00	1,955,000.00	787,188.00	1,167,811.00	2.48

Var: variedades, TT: tratamientos, PMR= precio medio rural, CP: Costos de producción, B/C: beneficio/costo

En este análisis no incluye el costo de instalación del invernadero, pero según la empresa Agrocentro Comercial de Ags SA de CV en 2016 el costo de instalación del tipo de invernadero usado en este trabajo el precio oscila alrededor de 190.20 pesos por m². Para 1 hectárea (10,000 m²) el costo de un invernadero ya instalado sería de \$= 1, 902,000.00.

La renta de un invernadero en buenas condiciones oscila alrededor de 60,000.00 hasta 100,000.00 por hectárea por año. El costo de la renta de un invernadero varía por diversos factores ubicación, condiciones de acceso, condiciones invernadero, tipo de invernadero entre otras.

2.9. CONCLUSIONES

Las dos variedades estudiadas se pueden considerar ricas en vitamina C, por su alta concentración de ácido ascórbico. En el T1 y T2 de la variedad Cannon se encontró mayor contenido de sólidos solubles totales y firmeza. Se encontró valor de 13.33 en índice de madurez que indican que los frutos son de buena calidad, sabor y de mayor resistencia para desprenderse de la planta. La mayor concentración de licopeno se encontró en la variedad Cannon de ambos tratamientos. El mejor rendimiento se obtuvo en el T2 (tres tallos) de 6.50 kg m⁻² de la variedad Bragi. Con relación a los parámetros de calidad en tamaño, el T1 fue mejor, con 63, 35, 2 y 0 % de frutos de categoría grande, mediano, chico y rezaga, respectivamente. Adicionalmente se observó que, al incrementar el número de tallos por planta, aumenta el número total de frutos; sin embargo, el tamaño disminuye por eso se recomienda a los productores de pimiento utilizar dos tallos (T1) para producir frutos de tamaño grande para fines de exportación y (tres tallos (T2) cuando se requiera mayor producción sin importar el tamaño de los frutos.

El crecimiento vegetal está estrechamente relacionado con las variables climáticas donde se desarrollan los cultivos. Las hojas captan la radiación solar y los transforman en energía química mediante el proceso de fotosíntesis. El déficit de presión de vapor aumenta cuando la temperatura es alta por lo tanto hay mayor demanda transpirativa, incrementa la absorción de agua y nutrimentos, mayor actividad de fotosíntesis. La transpiración es el principal mecanismo que las plantas utilizan para liberar calor a través de los estomas y regular su temperatura interna. La temperatura y humedad del aire en el interior del invernadero se pueden modificar por medio de ventilación a través de ventilas laterales y cenitales para liberar el exceso de calor acumulado. La interacción de las variables climáticas en el interior del invernadero requiere de nuevas tecnologías para el control de las variables climáticas para el manejo más preciso de riego y nutrición, plagas y enfermedades y en general del manejo agronómico del cultivo de pimiento morrón. Se recomienda no establecer el cultivo de pimiento morrón en los meses de diciembre-febrero ya que la temperatura y humedad relativa no son propicios para su desarrollo, debido a que corresponde la temporada de frío de la zona de estudio.

2.10. LITERATURA CITADA

- Abo-Aiia, I.; Modernidad, M.; Zaki, S. 1985. Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Growth of Pepper (*Capsicum annum* L.). L. Hort. Science. 20 (modelo): 353.
- Abu-Zahra, T. 2012. Vegetative, flowering and yield of sweet pepper as influenced by agricultural practices. Journal of Scientific Research. 11:1220-1225.
- Álvarez, A.V. 2012. Evaluación de rendimiento en tres variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. 49 p.
- Ayala-Tafoya, F.; Sánchez-Madrid, R.; Partida-Ruvalcaba, L.; Yáñez-Juárez, M. G.; Ruiz-Espinosa, F. H.; Velázquez-Alcaraz, Teresa de Jesús.; Valenzuela-López, M.; Parra-Delgado, J. M. 2015. Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. Revista Fitotecnia Mexicana 38 (1): 93-99.
- Aza-González, C.; Nuñez-Palenius, H. G.; Ochoa-Alejo, N. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). Plantcell Report 30:695-706.
- Ballinger, W.; Maness, E. 1970a. Anthocyanins in ripe fruit of the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95(3):283-285.
- Ballinger, W.; Kushman. 1970. Relationship of stage of ripeness to composition and keeping quality of highbush blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95(2):239-242
- Barrett, D. M; Weakley, C.; Diaz, J. V.; Watnik, M. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. J. Food Sci. 72: 441-451.
- Bramley, P. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. U.S.A. Journal of Experimental Botany. 53 (377):2107-2113.
- Cabrera-Soto, M.; Salinas-Moreno, Y.; Velázquez-Cardelas, G. A.; Espinoza, T. D. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. Colegio de posgraduados, México. Agrociencia. Vol. 43, núm. 8. pp 827-839.

- Castellanos, J. Z. 2004. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Manejo del Cultivo del Pimiento en Invernadero 2a Edición. Intagri. México Pp.262-263.
- Castro, S. M.; Saraiva, J. A.; Domínguez, F. M.; Delgadillo, I. 2011. Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.) LWT- Food Science and Technology. 44:363-369.
- Casierra, P. F.; Aguilar, A. O. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. Agron. Col. 26: 300-307.
- Carrillo, O. V.; Claudina E. Zaldivar.; Maria I. Lantero. 2002. Universidad Para Todos. Los Vegetales en la Nutrición Humana. Editora Política, La Habana, 64 pp.
- Cantliffe, D. J.; Vansickle, J. J. 2001. Competitiveness of the Spanish and Dutch greenhouse industries with the Florida fresh vegetable industry. Proc. Fla. State Hort. Soc. 114: 283-287.
- CEDEPAS-INCAGRO. 2003. Cultivo de pimientos y ajies. Manual del productor. Guía didáctica Volumen: 1-004.
- Challinor, P. F. 1996. Producción de pimiento en climas fríos. *In*: Pimientos. Namesny, V. (ed). Ed. de Horticultura. Reus, España. p. 41-44.
- Chamú-Baranda, J. A., López-Ordaz, A., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., Martínez-Villegas, E. 2011. Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2 (1):97-110.
- Cruz, H. N.; Sánchez, C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. M. C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. Agricultura Técnica en México 35: 70-77.
- Cruz, B. R.M.; González, G. J.; Sánchez, C.P. 2013. Propiedades funcionales y beneficios para la salud licopeno. Nutrición Hospitalaria 28(1):6-15.
- Davis, A.R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., Levi, A., King, S. R., Zhang, X. 2008. Grafting effects on vegetable quality. HortScience 43 (6): 1670-1672.

- De Santiago, J. 2009. Dinámico crecimiento. Desarrollo y rentabilidad de proyectos de pimiento en invernadero. Revista Productores de Hortaliza, México y Centro América.
- Deepa, N.; Kaur, K.C.; George, B.; Singh, B.; Kapoor, H.C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. LWT 40: 121-129.
- Doorenbos, J. M.; Pruitt, W. O. 1976. Las necesidades del agua en los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma Italia.
- Estrada-Zúñiga, M. E.; Arano-Varela, H.; Buendía-González, L.; Orozco-Villafuerte, J. 2012. Fatty acids, phenoles content, and antioxidant activity in *Ibervillea sonoreae* callus cultures. Revista Mexicana de Ingeniería Química II, p 89-96.
- FAO; 2013. Estadística de países productores y comercializadores de productos Agrícola. FAOSTAT. Informe Estadístico.
- Figuroa, C. I. E.; Martínez, D. M. T.; Rodríguez, P. J. E.; Cruz, A.; Beryl, C. L. M. T.; Valle, G.S.; Ramírez, R.S.P. 2015. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L). Interciencia 40 (10): 696-703.
- Fonseca, R.; Chailloux, M.; Tamayo V. 2002: El humus de lombriz como alternativa de fertilización en pimiento “Medalla de Oro”. En Memorias II Taller Internacional de Agricultura Sostenible en Condiciones de Montaña.
- Franke, A. A.; Custer, L.J.; Arakaki, C.; Murphy, S. P. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. J. Food Compos. Anal. 17: 1-35.
- Guerra, M.; Magdaleno, R.; Casquero, P. A. 2011. Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. Scientia Horticulturae. 130:141-145.
- García-Márquez, E.; Román-Guerrero, A.; Pérez-Alonso, C.; Cruz-Sosa, F.; Jiménez Alvarado, R.; Vernon-Carter, E. J. 2012. Effect of solvent-temperature extraction conditions on the Initial antioxidant activity and total phenolic content of Muiltle extracts and their decay upon storage at different ph. Revista Mexicana de Ingeniería Química 11, 1-10.

- Gann, P. H.; Ma, J.; Giovannucci, E.; Willett, W.; Sacks, F.M.; Hennekens, C.H.; Stampfer, M.J. 1999. Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels: results of a prospective analysis. *Cancer Res* 59: 1225-1230.
- Giovannucci, E.; Ascherio, A.; Rimm, E.B.; Stampfer, M.J.; Colditz, G.A.; Willett, W.C. 1995. Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J Natl Cancer I* 87: 1767-1776.
- Gil-Pelegrin, E., Aranda, I., Peguero-Pina, J.J. and Vilagrosa, A. (2005). El continuo suelo-planta-atmosfera como un modelo integrador de la ecofisiología forestal. *Sistema de Recursos Forestales*, 14(3): 358-370.
- Heuvelink, E.; Marcelis, L. F. M.; Körner, O. 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. *Acta Horticulturae* 633: 349-355.
- Howard, L. R.; Talcott, S. T.; Brenes, C. H.; Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, pp1713-1720.
- Jiménez, M.; Castillo, I.; Azuara, E.; Beristaín, C. I. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity of capulin (*Prunus serotina* subsp. *capuli*) extracts. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 29-37.
- Jovicich, E.; Cantliffe, D. J.; Stoffella, P. J. 2004. Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology* 14: 507-513.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., and P. J. Stoffella. (2004). Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology*, 14: 507-513.
- Jurado, R.; Nieto, N. M. 2003. El Cultivo de Pimiento bajo Invernadero, pp. 541-568. In: *Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos*. CAMACHO, F. (ed.). Cajamar. Almería, España.
- Kushman, L.; Ballinger, W. 1967. Acid and Sugar Changes During ripening in Wolcott Blueberries. *Plant Physiol.* 92(1):290-295

- Lancaster J. E.; Liater C. E.; Reay, P. F.; Trigga, C. M. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. *Journal of the American Society Horticultural Science*.122:594.598.
- Lachance, P. A.; Nakat, Z.; Jeong, W. S. 2001. Antioxidants: an integrative approach. *Nutrition* 17, 835-838.
- Loaiza-Figueroa, F.; Ritland, K.; Laborde, J.; Tanksley, S. 1989. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in México. *Plant Systematics and Evolution*.165: 159-188.
- López, C. A. F. 2003. Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. Boletín de Servicios Agrícolas N° 151. FAO. Roma, Italia. 47 pp.
- López, F. Y. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Palmira, Colombia Editorial. División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 88 p.
- Llanos, J. M. 1999. El cultivo del pimiento. *Vida Rural* 83, Edit. Eumedia S. A., Madrid, Agroalimentación, España (En Internet).
- Liu, X.; Allen, J.D.; Arnold, J.T.; Blackman, M.R. 2008. Lycopene inhibits IGF-I signal transduction and rowth in normal prostate epithelial cells by decreasing DHT-modulated IGF-I production in co-cultured reactive stromal cells. *Carcinogenesis* 29:816-823.
- Marcelis, L. F. M.; Heuvelink, E.; Hofman-Eijer, L. R. B.; Bakker, J. D.; Xue, L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268.
- Marschner, H. 1995. "Mineral nutrition of higher plants". Second edition. Ed. Academic Press San Diego, Ca., U.S.A. 889 P.
- Mendoza-Pérez, C.; Ramírez-Ayala, C.; Martínez- Ruiz, A.; Rubiños-Panta, J.E.; Trejo, C. y Vargas-Orozco, A.G. 2018. Efecto de número de tallo en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (2): 355-366.

- Milla, A. 1996. Capsicum de capsia, cápsula: el pimiento. En Namesny VA (Ed.) *Pimientos: Compendios de Horticultura*. Ediciones de Horticultura. Reus, España. pp. 21-31.
- Moreno, P.E del C.; Mora, A.R.; Sánchez del Castillo, F.; García-Pérez. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5 (2): 5-18.
- Muy-Rangel, M.D., Cantwell, M. 2005. Sun Exposures Impact the Postharvest Quality and Firmness of Harvested Bell Peppers. *HortScience* 40 (4): 1029-1029.
- Mundarain, S., Coa, M. and Cañizares, A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista UDO Agrícola*, 5(1): 62-67.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C.; Martínez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.* 96: 66-73.
- Nuez, V. F.; Gil, R. O.; Costa, J. G. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Paschold, P. J.; Zengerle, K. H. 2000. Sweet pepper production in a closed system in mound culture with special consideration to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 554: 329-333.
- Palacio, M. A., Sánchez, C. E. 2017. Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimiento morrón. *Nova Scientia*, 9(19): 1-23.
- Perez, E. H. A.; Chávez, M. J.; Carrillo, F. G.; Rodríguez, M. María de las Nieves.; Ascencio, H. R. 2017. Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2):333-343.
- Perucka, I.; Materska, M. 2007. Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* extracts as affected by processing and varietal factors. *Acta Sci. Pol. Technol. Alim.* 6: 67-74.
- Pickersgill, B. 1988. The genus *Capsicum*: a multidisciplinary approach of the taxonomic of cultivated and wild plants. *Biologisches Zentralblatt* 107:381-389.

- Posadas, S. F. 1993. El cultivo del pimiento en sistemas hidropónicos. In: Cultivos sin suelo. Martínez, J. C. F. Diaz, A. (eds). FIAPA. Almería, España. p. 313-317.
- Rabinowitch, H.D., Ben-David, B. and Friedmann M. (1986). Light is essential for sunscald induction in cucumber and pepper fruits, whereas heat conditioning provides protection. *Scientia Horticulturae*, 29(1-2): 21-29.
- Rajput, J. C.; Parulekar, Y.R. 1998 Capsicum. En Salunkhe DK, Kadam SS (Eds.) Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 171-201.
- Rao, R. T. V.; Gol, B. N.; Shah, K. K. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperatures and the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*. 132: 18-26.
- Reséndiz-Melgar, R. C.; Moreno-Pérez, E.; Peña-Lomelí, A. 2010. Variedades de pimiento morrón manejadas con despuntes temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16:223-229.
- Rousseaux, M. C.; Jones, C. M.; Adams, D.; Chetelat, R.; Bennett, A.; Powell, A. 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor. Appl. Genet.* 111: 1396-1408.
- Ruiz-Altisent, M., Valero-Ubierna, C. (2000). La calidad de la fruta. *Vida Rural* 107 (8): 66-68.
- Rubio, J.S., García-Sánchez, F., Rubio, F. and Martínez, V. (2009). Yield, blossomend rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. *Scientia Horticulturae*, 119: 79–87.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).2013. Fomenta SAGARPA producción y consumo de alimentos orgánicos en México y el mundo. Disponible en: www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2013B214.aspx. Fecha de recuperación: 3 de noviembre 2014.

- Sams, C. E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*.15: 249-254.
- Sethu, K. M. P.; Prabha T. N.; Tharanathan R. N. 1996. Postharvest biochemical changes associated with the softening phenomenon *Capsicum annuum* fruits. *Phytochemistry*. 42: 961-966.
- Serrano-Maldonado, M. J. Guerrero-Legarreta, I. De la Paz.; Perez-Olvera, C.; Soriano-Santos, J. 2011. Actividad antioxidante y efecto citotoxico de Cladocolealoniceroides (van Tieghem) Kuijt (Loranthaceae). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 161-170.
- Serrano, C. Z. 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Ed. Rali. Sevilla. 638 p.
- Sun, T.; Xu, Z.; Wu, C.T.; James, M.; Prinyawiwatkui, W.; No, H. K. 2007. Antioxidant activities of different colored sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science* 72, S98-S102.
- Sun, J.; Chu, Y.F.; Wu, X.; Liu, R. H.; 2002 Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7449-7454.
- Shear, C. B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience*. 10:361-365
- Showalter, R. K. 1973. Factors affecting pepper firmness. Florida etate horticultural society. Hnabling and processing section. 1:309-382.
- Steiner, A. A., 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil* 15:134-154.
- Tavarini, S.; Degl'Innocenti, E.; Remorini, D.; Massai, R.; Guidi, L. 2008 Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chem.* 107: 282-288.
- Trejo-Téllez, L. I.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Alcantar-González, G.; Vázquez-Alarcón, A. 2003. Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales entres tipos de suelo. *Terra latinoamericna* 21 (3): 365-372.

- Urrestarazu, M. L.; Castillo J. E.; Salas M. C. 2002. Técnicas culturales y calidad del pimiento. Departamento de producción vegetal-universidad de Almería. Horticultura, S.L.
- Vázquez-Vázquez, C.; García-Hernández, J. L.; Salazar-Sosa, E.; López-Martínez, J. D.; Valdez-Cepeda, R. D.; Orona-Castillo, I.; Gallegos-Robles, M. A.; Preciado-Rangel, P. 2011. Aplicación de estiércol al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) Revista Chapingo. Serie Horticultura. 17(SPE1):69-74.
- Zúñiga, L.; Martínez, J.; Baca, G.; Martínez, A.; Tirado J.; Kohashi, J. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrociencia, vol. 38, pp. 201-218.

CONCLUSIÓN GENERAL

En el cultivo de jitomate el rendimiento presentó una respuesta positiva al incrementar el número de tallos por planta de 28.59 kg m⁻² para un tallo a 37.74 kg m⁻² para dos tallos (23.76 y 13.98 kg m⁻² para el tallo principal y secundario). También se incrementó el número de tallos por planta, aumenta el número total de frutos, sin embargo, la firmeza y el tamaño disminuye.

En el cultivo de pimiento morrón en los caracteres físicos se encontró mayor número de frutos por planta en ambas variedades al incrementar el número de tallos por planta, sin embargo, el tamaño de los frutos con fines de exportación disminuyó. En los componentes bioquímicos se encontró alta concentración de vitamina C en ambas variedades. Sin embargo, en la variedad Cannon se encontró mayor concentración de sólidos solubles y licopeno. El mejor rendimiento se obtuvo en el tratamiento de tres tallos por planta de 6.50 kg m⁻² de la variedad Bragi. Con relación a los parámetros de calidad en tamaño, el T1 fue mejor, con 63, 35, 2 y 0 % de frutos de categoría grande, mediano, chico y rezaga, respectivamente.

Con respecto a las variables climáticas, cuando la temperatura es alta aumenta el déficit de presión de vapor, por lo tanto, incrementa la demanda transpirativa, la absorción de agua y nutrientes, mayor actividad fotosintética. Por eso se considera que la transpiración es el principal mecanismo, por el cual, plantas utilizan para liberar calor a través de los estomas y regular su temperatura interna. La temperatura y humedad del aire se pueden modificar poco por medio de ventilación a través de ventilas laterales y cenitales para liberar el exceso de calor y humedad relativa acumulado en el interior del invernadero.