



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

NECESIDADES HÍDRICAS DEL JITOMATE A UNO Y DOS TALLOS EN TEZONTLE Y FIBRA DE COCO BAJO INVERNADERO

ERICK GABRIEL POPOCA HINOJOSA

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

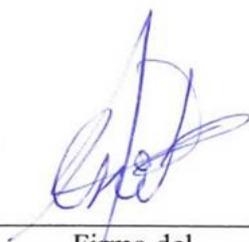
2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Erick Gabriel Popoca Hinojosa, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Carlos Ramírez Ayala, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis NECESIDADES HÍDRICAS DEL JITOMATE A UNO Y DOS TALLOS EN TEZONTLE Y FIBRA DE COCO BAJO INVERNADERO

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 9 de JULIO de 2018



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: "**Necesidades hídricas del jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco bajo invernadero**" realizada por el alumno: Erick Gabriel Popoca Hinojosa, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA

ASESOR



DR. ROBERTO ASCENCIO HERNÁNDEZ

ASESOR



DR. MARTÍN SOLÍS MARTÍNEZ

ASESOR



M.C. ENRIQUE MARTÍNEZ VILLEGAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2018

NECESIDADES HÍDRICAS DEL JITOMATE A UNO Y DOS TALLOS EN TEZONTLE Y FIBRA DE COCO BAJO INVERNADERO

ERICK GABRIEL POPOCA HINOJOSA, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2018

RESUMEN

Se evaluaron dos métodos para estimar las necesidades hídricas del jitomate utilizando un lisímetro de drenaje (2016) y la reflectometría de dominio de tiempo TDR (2017). Los experimentos se establecieron en el campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, México, en condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para el año 2016 y un diseño factorial completamente al azar para el 2017. Los sustratos utilizados fueron tezontle de granulometría gruesa para el primer año, y para el segundo, tezontle de granulometría media y fibra de coco. El sistema de riego fue por goteo para ambos experimentos, se programaron los riegos mediante un temporizador, además se determinaron las concentraciones iónicas para realizar la solución nutritiva. La variedad de jitomate fue Cid F1 el cual es de tipo saladette. Los tratamientos en estudio fueron T1: 1 Tallo y T2: 2 Tallos, y T1: Tezontle 2 Tallos, T2: Fibra 1 Tallo, T3: Tezontle 1 Tallo y T4: Fibra 2 Tallos, para los años 2016 y 2017, respectivamente. Las variables de respuesta fueron las necesidades hídricas del cultivo mediante el lisímetro y el TDR, rendimiento (kg/planta), eficiencia en el uso del agua (kg/m^3), diámetro ecuatorial (mm), peso de fruto (g), número de frutos por planta, calidad física del fruto clasificados mediante la norma mexicana NMX-FF-009 y con fines de exportación por la empresa PREMIER HORTICULTURA GROUP, S DE R.L DE C.V, además para el experimento del año 2017 se determinaron la calidad organoléptica: Firmeza (N) y sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) y análisis de extracto celular de pectinosa. Los resultados se analizaron mediante el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), con una significancia del 5%. Las necesidades hídricas fueron de 135.97 y 162.39 L/planta para un ciclo de 149 días para los tratamientos correspondientes del año 2016. Para el 2017 se tuvieron 208.59, 95.82, 153.23 y 118.69 L/planta para los tratamientos correspondientes al año 2017, para un ciclo de 147 días. En el rendimiento no existen diferencias significativas,

se obtuvieron 5.7 y 5.9 kg/planta para los tratamientos del 2016 mientras que para 2017 el rendimiento fue de 10.40, 5.19, 6.31 y 9 kg/planta para el T1, T2, T3 y T4, respectivamente. Para la clasificación de la fruta se utilizó el diámetro ecuatorial, mediante la norma mexicana la clasificación en su mayoría fue mediana y chica y para exportación fue grande y mediano (2016). Para el año 2017, la fruta se consideró mayormente en grande y mediana por la norma mexicana y para exportación se consideró extra grande y grande. No existe diferencia significativa en cuanto a la calidad organoléptica y los valores obtenidos del extracto celular de peciolo se consideran adecuados.

Palabras clave:

Rendimiento, tratamiento, hídrica, calidad, clasificación, fruto, jitomate.

HYDRAULIC NEEDS OF JITOMATE TO ONE AND TWO STEMS IN TEZONTLE AND FIBER OF COCO IN GREENHOUSE

ERICK GABRIEL POPOCA HINOJOSA, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2018

ABSTRACT

Two methods were evaluated to estimate the tomato water needs using a drainage lysimeter (2016) and TDR time domain reflectometry (2017). The experiments were established in the Montecillo campus of the Colegio de Postgraduados, Mexico, under greenhouse conditions. A completely randomized experimental design was used for the year 2016 and a completely randomized factorial design for 2017. The substrates used were coarse-grained tezontle for the first year, and for the second, tezontle of medium granulometry and coconut fiber. The irrigation system was drip for both experiments, the risks were programmed by means of a timer, in addition the ionic concentrations were determined to make the nutritive solution. The variety of tomato was Cid F1 which is of the saladette type. The treatments under study were T1: 1 Stem and T2: 2 Stems, and T1: Tezontle 2 Stems, T2: Fiber 1 Stem, T3: Tezontle 1 Stem and T4: Fiber 2 Stems, for the years 2016 and 2017, respectively. The response variables were the water needs of the culture using lysimeter and TDR, yield (kg / plant), efficiency in water use (kg / m³), equatorial diameter (mm), fruit weight (g), number of fruits per plant, physical quality of the fruit classified by the Mexican standard NMX-FF-009 and for export purposes by the company PREMIER HORTICULTURA GROUP, S DE RL DE CV, also for the experiment of the year 2017 the organoleptic quality was determined: Firmness (N) and soluble solids (° Brix) and analysis of petiole cell extract. The results were analyzed by the statistical program SAS (Statistical Analysis System), with a significance of 5%. The water needs were of 135.97 and 162.39 L / plant for a cycle of 149 days for the corresponding treatments of the year 2016. For 2017 there were 208.59, 95.82, 153.23 and 118.69 L / plant for the treatments corresponding to the year 2017, for a 147 days cycle. In the yield there are no significant differences, 5.7 and 5.9 kg / plant were obtained for the treatments

of 2016 while for 2017 the yield was 10.40, 5.19, 6.31 and 9 kg / plant for T1, T2, T3 and T4, respectively. For the classification of the fruit the equatorial diameter was used, by means of the Mexican norm the classification was mostly medium and small and for export it was large and medium (2016). For the year 2017, the fruit was considered mostly in large and medium by the Mexican norm and for export it was considered extra large and large. There is no significant difference in terms of organoleptic quality and the values obtained from the petiole cell extract are considered adequate.

Keywords:

yield, treatment, water, quality, classification, fruit, tomato.

DEDICATORIAS

A Dios, por darme el privilegio y la oportunidad de vivir e iluminar mi mente, por darme las soluciones en momentos complicados y por la hermosa familia que ha puesto en mi camino que sin duda alguna han sido y serán parte fundamental en mi vida, es por ello que con toda humildad dedico mi trabajo de investigación primeramente a Dios.

A mis padres, Susano y Cecilia, por el enorme apoyo que me brindan día con día, no hay forma de pagarles de verdad estoy más que agradecido por todas las cosas que han hecho por mí, ustedes son mi soporte, lo merecen todo, son un gran ejemplo de vida, de armonía y amor en pareja, sin lugar a dudas son los mejores padres y es un privilegio ser su hijo, muchas gracias papás.

A mi esposa Ade, por el gran amor, cariño y comprensión que me das, cada día me demuestras lo valiosa e importante que eres para mí, estoy más que feliz por vivir a tu lado, eres mi compañera para toda la vida y este trabajo de investigación te lo dedico, con el mismo afecto que te tengo, eres la mejor mujer, soy muy afortunado al contar contigo en todo momento, te amo.

A mi hija Ali, estas muy pequeña pero eres el motor que me impulsa cada día a ser mejor persona y a cumplir las metas y objetivos que me planteo, llegaste en el mejor momento a nuestras vidas, tu madre y yo estamos muy felices por los momentos que compartimos juntos, te amo hija.

A mis hermanos, Karen, Christian y Diego, que sin duda alguna son y serán mis mejores amigos para toda la vida, muchas gracias por el apoyo que me brindan son parte importante de todos mis logros, y los momentos que hemos compartido son inolvidables, es por ello que les dedico este trabajo, los quiero mucho y siempre estarán presentes a lo largo de mi trayectoria.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados (COLPOS), por ser parte importante y darme la oportunidad de continuar con mi formación académica, siendo la parte medular en el crecimiento e innovación de las ciencias agrícolas.

Al programa de Hidrociencias, por las facilidades otorgadas durante mi permanencia en la institución.

Al Dr. Carlos Ramírez Ayala, por su apoyo y confianza en todo momento en la presente investigación, las facilidades otorgadas para su ejecución, su flexibilidad y conocimientos compartidos para guiarme y lograr el objetivo planteado. Por el tiempo dedicado en cada instante y los consejos brindados durante mi permanencia. Agradezco el gesto tan amable de aceptarme como su asesorado.

Al Dr. Roberto Ascencio Hernández, por sus conocimientos y apoyo brindado en cuanto a la instalación del sistema de riego y ejecución del proyecto, por su enorme comprensión y tiempo dedicado y por compartir su experiencia de la cual me llevo un gran aprendizaje.

Al Dr. Martín Solís Martínez, por su apoyo en todo momento siendo parte medular en mi trabajo de investigación a nivel licenciatura y ahora en mi postgrado, brindando los consejos necesarios para el presente proyecto.

Al M.C. Enrique Martínez Villegas, por su enorme y atenta disposición y su gran apoyo en los consejos considerados para la investigación, así como el tiempo brindado y las facilidades otorgadas durante la ejecución de la misma.

A mis amigos, Adrián Lagunas, Horacio Pérez, David Preza y José Manuel Gutiérrez, por el gran apoyo no solo en cuestiones académicas, han influido en momentos importantes y se les tiene un gran aprecio y admiración por las metas que han logrado. Compartir experiencias con gente trabajadora, capaz y con buena actitud, aumenta el esfuerzo y las ganas de salir adelante, pese a las circunstancias de la vida.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 El recurso hídrico a nivel global.....	4
3.1.1 Huella hídrica.....	4
3.1.2 Uso consuntivo.....	5
3.2 El agua en la agricultura.....	6
3.3 Evapotranspiración.....	6
3.4 Métodos para medir y estimar la humedad del suelo.....	7
3.5 El riego y las necesidades hídricas del jitomate.....	9
3.6 Calendario de riego.....	11
3.7 Eficiencia del uso de agua en sistemas de producción de jitomate.....	11
3.8 Importancia económica del jitomate.....	12
3.8.1 Producción mundial.....	12
3.8.2 Consumo per cápita.....	13
3.8.3 Producción nacional.....	13
3.8.4 Exportación nacional de jitomate.....	13
3.9 Sistemas de producción de jitomate.....	14
3.9.1 Campo.....	14
3.9.2 Invernadero (suelo).....	15
3.9.3 Malla sombra.....	15
3.9.4 Hidroponía.....	16
3.9.5 Invernadero holandés.....	17
3.10 Conceptos básicos de nutrición.....	17
3.10.1 Elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	17
3.10.2 Criterios de esencialidad.....	18
3.10.3 Diagnóstico nutrimental.....	18
3.10.3.1 Síntoma visual.....	19

3.10.3.2 Análisis químico.....	19
3.10.3.3 Análisis químico de extracto celular de peciolo.....	19
3.11 Conceptos básicos de cultivos hidropónicos.....	20
3.11.1 La solución nutritiva en cultivos hidropónicos.....	20
3.11.2 Solución nutritiva universal Steiner.....	20
3.11.3 Preparación de una solución nutritiva verdadera.....	20
3.11.4 Definición de osmosis y presión osmótica.....	21
3.11.5 Potencial osmótico y presión osmótica en la SN.....	22
3.12 Sustratos: usos en la agricultura.....	23
3.12.1 Definición de sustrato.....	23
3.12.2 Sustratos Orgánicos.....	23
3.12.3 Sustratos inorgánicos.....	23
a ₁) De origen natural.....	23
a ₂) De origen natural con procesos de manufacturación.....	24
a ₃) Sintéticos.....	24
3.13 Características de los sustratos.....	24
3.13.1 Características físicas.....	24
a) Granulometría.....	24
b) Densidad real.....	24
c) Densidad aparente.....	24
d) Espacio poroso total (EPT).....	24
e) Capacidad de absorción de agua.....	24
f) Curva de retención de agua a bajas tensiones.....	25
f ₁) Porcentaje de volumen material solido.....	25
f ₂) Capacidad de aireación (%A).....	25
f ₃) Porcentaje volumen de agua fácilmente disponible (%AFD).....	25
f ₄) Porcentaje de agua de reserva (%AR).....	25
f ₅) Porcentaje de volumen agua difícilmente disponible (%ADD).....	25
3.13.2 Características químicas.....	26
3.13.3 Principales sustratos utilizados en hidroponía.....	26
3.13.4 Importancia del tezontle como sustrato para hidroponía.....	27
3.13.4.1 Absorción del oxígeno en cultivo en tezontle.....	28
3.13.5 Relaciones hídricas sustrato – planta.....	28

a) Disponibilidad del agua.....	28
b) Movimiento del agua dentro del sustrato.....	29
b ₁) Conductividad hidráulica.....	30
b ₂) Capilaridad.....	30
3.14 Principio de la reflectometría dominio del tiempo (TDR).....	30
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1 Localización del área de estudio.....	32
4.2 Descripción del área de estudio.....	32
4.3 Desarrollo experimental.....	32
4.3.1 Diseño experimental.....	33
4.4 Caracterización física de los sustratos.....	36
4.5 Caracterización del agua de riego.....	37
4.6 Material vegetal.....	38
4.7 Obtención de plántulas.....	38
4.8 Manejo de los experimentos.....	39
4.8.1 Llenado de macetas y distribución.....	39
4.9 Trasplante.....	41
4.10 El Riego.....	42
4.10.1 Instalación.....	42
4.10.2 Prueba de uniformidad de riego.....	43
4.10.3 Determinación de las necesidades hídricas del cultivo.....	44
a) Calibración.....	44
b) Determinación con TDR.....	47
4.10.4 Aplicación de riego.....	48
4.11 Nutrición.....	48
a) Monitoreo de la nutrición.....	50
a ₁) Control del pH y la conductividad eléctrica.....	50
a ₂) Análisis de extracto celular de peciolo.....	50
4.12 Labores agronómicas.....	51
4.12.1 Tutorío.....	51
4.12.2 Podas.....	52
a) Eliminación de yemas axilares (Deschuponado).....	52
b) Flores.....	54

c) Hojas.....	54
4.12.3 Polinización.....	55
4.12.4 Control de plagas y enfermedades.....	55
4.13 Determinación de variables de respuesta.....	58
a) Necesidades hídricas mediante el lisímetro volumétrico.....	58
b) Rendimiento.....	58
c) Calidad física.....	58
d) Eficiencia en el uso del agua.....	59
e) Numero de frutos por planta.....	59
a1) Necesidades hídricas mediante reflectometría de dominio tiempo (TDR).....	59
b2) Rendimiento.....	59
c3) Calidad física.....	59
d4) Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	60
e5) Calidad organoléptica.....	60
f6) Número de frutos por planta.....	61
g7) Análisis de extracto celular de peciolo.....	61
4.14 Análisis estadístico de las observaciones experimentales.....	61
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	62
5.1 Necesidades hídricas del cultivo.....	62
5.2 Rendimiento.....	68
5.3 Calidad física.....	70
5.4 Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	75
5.5 Calidad organoléptica.....	78
5.6 Numero de frutos.....	80
5.7 Valores de pH y Conductividad eléctrica en drenaje de los sustratos..	81
5.8 Análisis de extracto celular de peciolo.....	82
VI. CONCLUSIONES.....	84
6.1 Necesidades hídricas.....	84
6.2 Rendimiento.....	84
6.3 Calidad.....	84
6.4 Eficiencia en el uso del agua.....	85
VII. LITERATURA CITADA.....	86
VIII. APÉNDICE.....	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Métodos para estimar la humedad del suelo.....	8
2	Necesidades hídricas del cultivo de jitomate en invernadero...	10
3	Comparación de sistemas de producción de jitomate, rendimiento potencial y eficiencia de uso de agua.....	11
4	Elementos esenciales para la mayoría plantas superiores de especies cultivadas, símbolo, peso atómico, forma disponible y concentración en tejido seco (Salisbury y Ross, 1994).....	18
5	Niveles de referencia recomendados en extracto celular de peciolo en el cultivo de tomate en invernadero (Castellanos, 2004).	20
6	Principales sustratos utilizados en hidroponía.....	26
7	Caracterización física de tezontle grueso.....	36
8	Características físicas de Tezontle medio y Fibra de coco.....	36
9	Análisis químico del agua de riego.	37
10	Observaciones obtenidas en la prueba de uniformidad de riego (mL/min.)	43
11	Fertilizantes y cantidad requerida para la preparación de 5 m ³ de solución nutritiva a una CE= 2.0 dSm ⁻¹	49
12	Balance de la solución nutritiva Steiner (1984) en mg kg ⁻¹	49
13	Plagas y enfermedades y control para ambos experimentos...	57
14	Calificación de jitomate alargado NMX-FF-009.....	60
15	Calificación de jitomate saladette para exportación.....	60
16	Necesidades hídricas de jitomate en tezontle a uno y dos tallos.	62
17	Consumo hídrico por etapa fenológica (Exp 1.)	63
18	Necesidades hídricas en jitomate (L Planta-1).....	65
19	Consumo hídrico por etapa fenológica (Exp 2).....	66
20	Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos.....	68

21	Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.....	69
22	Diámetro ecuatorial promedio de la fruta (mm) Exp 1.....	71
23	Peso promedio de la fruta (g) Exp 2.	71
24	Clasificación de jitomate mediante la norma mexicana Exp 1...	71
25	Clasificación de jitomate para exportación Exp 1.....	72
26	Diámetro ecuatorial promedio de la fruta (mm) Exp 1.....	73
27	Peso promedio de la fruta (g) Exp 2.....	73
28	Clasificación de jitomate por la norma mexicana (Exp2).....	74
29	Clasificación del jitomate para exportación (Exp 2).....	75
30	Eficiencia en el uso del agua en jitomate (Exp 1).....	76
31	Eficiencia en el uso del agua (Exp 2).	77
32	Sólidos solubles totales en jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.....	79
33	Firmeza en jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.....	79
34	Número de frutos por planta (Exp 1)	80
35	Número de frutos por planta (Exp 2).....	81
36	Valores de pH en el drenaje de los sustratos.....	81
37	Valores de Conductividad eléctrica (dSm^{-1}) en el drenaje de los sustratos.	82
38	Análisis de extracto celular de peciolo en jitomate, en mg L^{-1} ...	83

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Volumen de agua utilizada para producir ciertas cantidades de productos.....	5
2	Uso consuntivo de agua en México y diferentes países (FAO-Aquastat, 2012).	5
3	Volumen de agua excesivo en riego por gravedad.....	6
4	Producción de jitomate en hidroponía usando tezontle como sustrato.....	12
5	Principales países productores de jitomate a nivel mundial en millones de toneladas (FAO, 2015).	12
6	Exportaciones de jitomate entre México y Holanda.....	14
7	Producción de jitomate en campo.....	14
8	Rendimiento de tomate rojo en México por tipo de tecnología, 2016.	15
9	Producción de jitomate en fertirriego.	15
10	Producción de jitomate en malla sombra.	16
11	Producción de jitomate en tezontle.	16
12	Producción de jitomate en invernadero tipo venlo (holandés).	17
13	Curva de retención de agua de un sustrato ideal, considerado por De Bood.	25
14	Ubicación del invernadero donde establecieron los experimentos.	32
15	Distribución de los tratamientos.	33
16	Distribución de los tratamientos y ubicación de los bordes y parcela útil.	35
17	Jitomate indeterminado variedad Cid F1.....	38
18	Siembra de jitomate Cid F1.....	38
19	Distribución de los tratamientos.....	39
20	Distribución de los tratamientos experimento 2.....	40
21	Trasplante experimento 1.	41
22	Trasplante experimento 2.....	41
23	Sistema de riego experimento 1.	42

24	Sistema de riego, experimento 2.....	42
25	Prueba de uniformidad de riego.	43
26	Lisímetro volumétrico.	44
27	Medición con TDR y pesado de botes.	45
28	Regresión lineal entre el contenido de humedad volumétrica mediante TDR, y % de humedad por el método gravimétrico, en tezontle.	46
29	Regresión lineal entre el contenido de humedad volumétrica mediante TDR, y % de humedad por el método gravimétrico, en fibra de coco.	46
30	Medición de humedad con TDR 300 Fieldscout.	47
31	Estructura para captación de drenaje.	50
32	Colocación de anillo para el tutoreo.	51
33	Entutorado con ganchos galvanizados.....	52
34	Deschuponado.	52
35	Selección del segundo tallo.	53
36	Poda del meristemo apical para las plantas con 2 tallos.....	53
37	Poda de flores para dejar 7 frutos por racimo.....	54
38	Poda de hojas a plantas con 2 tallos.	54
39	Inflorescencia de jitomate.....	55
40	Determinación de las necesidades hídricas.....	58
41	Pesado de la fruta.	58
42	Determinación de firmeza y °Brix.	60
43	Extracción celular de peciolo y análisis en los ionómetros de NO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ y K ⁺	61
44	Necesidades hídricas en jitomate a uno y dos tallos.....	63
45	Consumo hídrico diario (en una semana) en mL Planta ⁻¹	64
46	Necesidades hídricas de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.	66
47	Necesidades hídricas de jitomate, programa de riego.....	67
48	Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos (kg Planta ⁻¹).....	69
49	Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.	70

50	Clasificación de jitomate por la Norma mexicana (Exp 1).....	72
51	Clasificación de jitomate para exportación (Exp 1).....	72
52	Clasificación del fruto de jitomate mediante la NMX-FF-009 (Exp 2).	74
53	Clasificación de jitomate para exportación (Exp 2).....	75
54	Productividad del agua (Exp 1).....	76
55	Productividad del agua (Exp 2).....	78
56	Solidos solubles totales (°Brix).....	79
57	Firmeza en jitomate.	80
58	Número de frutos por planta.	81
59	Análisis de extracto celular de peciolo (mg/L).....	83

LISTA DE CUADROS EN EL APÉNDICE

Cuadro		Página
A-1	Clasificación de la uniformidad de riego.....	90
A-2	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo.	90
A-3	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos.	90
A-4	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo, en Fibra de coco (Tratamiento 2)	91
A-5	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo, en Tezontle (Tratamiento 3).	92
A-6	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos, en Tezontle (Tratamiento 1).....	92
A-7	Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos, en Fibra de coco (Tratamiento 4).....	93

I. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la vida, las actividades del hombre y todos los seres vivos dependen de la disponibilidad de ella, se sabe que tres cuartas partes del planeta están comprendidas por agua, lo cual indica suficiencia de manera sorprendente, sin embargo cerca del 97% es agua salada que comprende los océanos y no se encuentra disponible para las actividades del hombre. El 3% restante es agua dulce, de la cual más del 2% se encuentra congelada en glaciares, polos de la tierra y de manera subterránea, por lo que menos del 1% del agua total del planeta se encuentra disponible para el consumo de los seres que habitamos en la Tierra. Ahora la cantidad de agua que comprende al planeta, después de conocer la que está disponible para la existencia del hombre, ya no parecer ser suficiente. Aunado a esto, la tendencia en el desarrollo de la humanidad ha crecido de forma violenta en las últimas décadas, ya que en el año 1950 se estimaba una población mundial de 2600 millones, y 65 años más tarde la población se incrementó en más de 7300 millones de habitantes, es decir casi tres veces más, lo cual indica una cantidad abrumadora de productos y servicios que se requieren día con día. Es aquí donde la agricultura desempeña el papel más importante en la subsistencia de la humanidad ya que se debe abastecer a cada individuo al menos 3 veces por día. Sencillamente la agricultura jamás dejara de existir ya que es el sustento principal del hombre, al ser fuente de alimento. Sin embargo en la actualidad existen diversos problemas que limitan la producción de cultivos, las principales son el recurso hídrico y la reducción de los espacios destinados para generar alimentos por efecto de la industrialización. Estos problemas se adjudican al desequilibrado crecimiento de la población, por lo tanto resulta complicado la producción agrícola considerando dos puntos de suma importancia: 1) reducción en la disponibilidad del agua; en México más del 70% del agua disponible es de uso agrícola, lo que indica que se requieren enormes cantidades para generar alimento, por ejemplo para producir 1 kg de arroz se necesitan al menos 2500 litros de agua, por otra parte para obtener 1 kg de maíz se requiere de 1000 L de agua y para producir 1 kg jitomate en invernadero de mediana tecnología se necesitan 37.5 L de agua. 2) por otra parte el suelo de uso agrícola ha pasado a uso industrial, viviendas, etc., sobre todo en las grandes ciudades, por lo que el campo está obligado a producir cantidades superiores en menos superficie de la que se tenía con anterioridad, y si mencionamos los problemas de plagas y

enfermedades de cultivos y las adversidades del clima, la única opción para producir de manera eficiente es aislando el cultivo del medio natural y estableciéndolo en condiciones favorables como son los invernaderos que brindan diversos beneficios para la producción intensiva de hortalizas principalmente, y según sean los sistemas tecnológicos de producción, será proporcional la magnitud en cuanto a rendimiento. Para esto una de las alternativas que están al alcance de más del 40% de los productores a nivel nacional es la hidroponía, en donde se utilizan sustratos que aportan diversas características benéficas para el desarrollo óptimo de los cultivos como las brinda el tezontle y la fibra de coco, por una parte se tiene buena aireación y por otra una excelente retención de humedad. Con lo descrito en el contexto anterior, se busca innovar la producción de cultivos, incrementando el rendimiento por unidad de superficie, para obtener fruta de calidad y abastecer las necesidades cotidianas de la población, optimizando los recursos.

Es por esto que se desarrolló un trabajo de investigación en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, con la finalidad de hacer un uso eficiente del agua, y obtener un mayor rendimiento por unidad de superficie, obteniendo fruta de calidad. Para esto, se estableció una plantación de jitomate a uno y dos tallos a distintas densidades de población en los años 2016 y 2017, en condiciones de invernadero e hidroponía utilizando como sustratos tezontle y fibra de coco, para lo cual fue necesario estimar las necesidades hídricas del cultivo mediante dos métodos en los años descritos: lisímetro de drenaje (2016) y reflectometría de dominio de tiempo (TDR) en 2017, y con esto describir la practicidad y efectividad de los métodos que estiman la humedad, asociándose al uso consuntivo del cultivo.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo específico. Determinar las necesidades hídricas del cultivo de tomate a uno y dos tallos en fibra de coco y tezontle, mediante lisímetro volumétrico y reflectometría de dominio de tiempo.

2.2 Objetivos generales.

- Determinar el rendimiento del cultivo a uno y dos tallos, en diferentes sustratos.
- Evaluar la nutrición del cultivo.
- Conocer las concentraciones iónicas de N, Ca²⁺ y K⁺ en la savia de la planta.
- Determinar la eficiencia en el uso del agua en los diferentes sustratos con plantas a uno y dos tallos.
- Conocer la calidad física y organoléptica del fruto.
- Determinar el mejor método para estimar humedad.

2.3 Hipótesis.

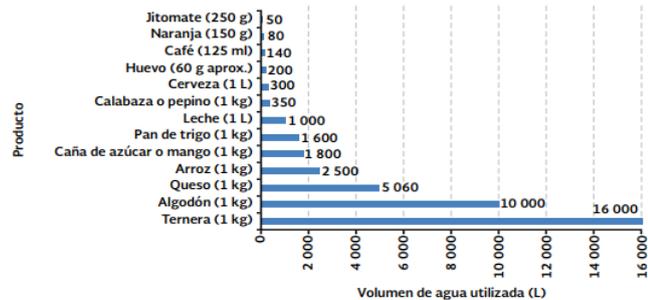
- La productividad del agua no depende de las características físicas de los sustratos.
- El uso del TDR no es eficiente para estimar la humedad en fibra de coco.
- El rendimiento y calidad de fruta no depende del número de tallos ni de los sustratos.
- La densidad de plantación influye en el peso de la fruta.
- Los métodos para determinar humedad son eficientes.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El recurso hídrico a nivel global. El agua es considerada como uno de los recursos naturales más importantes en el planeta, de ella dependen las actividades agrícolas, industriales y de consumo. Se estima que en el mundo hay alrededor de 1400 millones de kilómetros cúbicos de agua, sin embargo solo el 2.5% corresponden a agua dulce, de ésta cerca del 97% prácticamente es inaccesible, al encontrarse en los polos de la tierra (PNUMA, 2007). La disponibilidad del agua de un país o región depende del balance entre el volumen recibido en la precipitación y lo que se pierde por evaporación y evapotranspiración. En México el volumen promedio de agua obtenida por precipitación es de 1489 kilómetros cúbicos, sin embargo gran parte regresa a la atmósfera por ET, aproximadamente un 73.1% (Falkenmark y Rockström, 2004). Considerando las escorrentías que entran al país mediante los ríos de las fronteras, se dice que la disponibilidad de agua al año en México es de 460 km³, superando a la mayoría de los países europeos (FAO, 2007). Si bien, la CONAGUA (2011) considera abundante el volumen de precipitación desde 1981 al año 2010 con 935.7 milímetros, en el país existen condiciones muy contrastantes por ejemplo en el año 2011 la precipitación en Baja California Sur registro poco más de 70 mm, mientras que en Tabasco se tenían 2478 mm. El problema comienza en la repartición de agua por habitante y con el acelerado crecimiento de la población, cada vez la escasez es mucho mayor, ya que si se tiene una disponibilidad inferior a los 1700 m³ (1, 700,000 litros) por habitante por año, se considera una situación de estrés, por la falta de agua (UNDP *et al.*, 2000).

3.1.1 Huella hídrica. Este término hace referencia al volumen total de agua que se necesita para producir un bien o servicio para consumo humano. Sirve para determinar las cantidades de agua que se requieren en los procesos de producción, consumo y usos domésticos de un país. A nivel global en el periodo 1997-2001, el 86% de la huella hídrica se relacionó con el volumen de agua utilizada para la producción de productos agrícolas, 10% para el consumo de productos industriales y 4% para los usos domésticos, aproximadamente. Sin embargo la huella hídrica en la actualidad mantiene la misma tendencia, se necesitan miles de metros cúbicos de agua para producir alimentos, y cada vez son menos los espacios y la disponibilidad de agua para la producción.

En la Figura 1, se muestran el volumen de agua que se requiere para producir ciertas cantidades de productos de origen agropecuario e industriales, donde se observa que para obtener 250 gramos de jitomate se necesitan 50 litros de agua, lo que indica que para producir un kilogramo de jitomate se requieren 200 litros de agua.



Fuente: Water Footprint Network. Disponible en: www.huellahidrica.org/index.php?page=files/home. Fecha de consulta: octubre de 2012.

Figura 1. Volumen de agua utilizada para producir ciertas cantidades de productos

3.1.2 Uso consuntivo. La definición de uso consuntivo se refiere al agua que fue utilizada no se devuelve al medio donde se ha captado ni de la misma forma en que

se ha extraído. Es decir cuando existe consumo de agua, por la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen de descarga. La distribución de agua para usos consuntivos es diferente para cada país o región, ya que está en función de su disponibilidad, volumen de producción agrícola e industrial y el consumo de la población. En México el principal uso consuntivo es para la

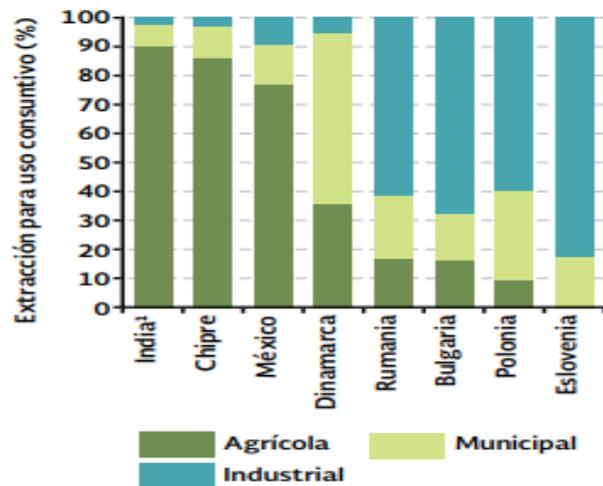


Figura 2. Uso consuntivo de agua en México y diferentes países (FAO-Aquastat, 2012).

agricultura (Figura 2) ya que para el año 2010 cerca del 77% se utilizó para el riego de 6.5 millones de hectáreas, divididas en 86 distritos de riego y en más de 40,000 unidades de riego. Por lo que el principal uso del agua en el país es para la producción agropecuaria, y recae la responsabilidad en técnicos, productores y todas las personas involucradas en el sector primario, realizar un uso eficiente del agua y a su vez elevar la producción agrícola en los diferentes campos, ya que la disponibilidad del recurso y los lugares de producción han sido restringidos de manera considerable.

3.2 El agua en la agricultura. Para generar alimentos se necesitan enormes cantidades de agua, es por ello que el desabasto del recurso hídrico en algunas zonas del país induce a una reducción en la producción nacional, aunado a esto un factor muy importante es la calidad del agua para riego, de ella dependen los rendimientos en varias especies cultivadas. En México el principal uso del agua es destinado para la agricultura, aproximadamente un 77% del agua disponible, y esto se entiende debido al volumen de agua utilizada para producir algunos productos. La superficie de siembra para el año 2015 fue de 22, 148,245.07 millones de hectáreas



Figura 3. Volumen de agua excesivo en riego por gravedad.

en modalidad de riego temporal en cultivos cíclicos y perennes. (SIAP, 2015). A pesar que más del 60% de la superficie de siembra es de temporal, es muy común observar en diferentes lugares de la republica que los productores y empresas productoras de hortalizas no realizan un uso eficiente del agua para el riego de los cultivos, debido a que aplican volúmenes excesivos (Figura 3), sobre todo cuando se trata del riego por gravedad donde la superficie a humedecer es considerable, por tanto se debe aplicar más cantidad de agua y dependiendo de la topografía, estructura y textura del terreno además de las condiciones climáticas del lugar, la eficiencia de riego empleando este método puede ir del 30 al 70%. Para esto deben buscar alternativas que mejoren el uso del agua y al mismo tiempo eleven los rendimientos de los cultivos.

3.3 Evapotranspiración. Este término se divide en dos conceptos: evaporación y transpiración. El primero hace referencia al agua evaporada de la superficie del suelo hacia la atmosfera, y la transpiración es el proceso de vaporización del agua que entra por las raíces de las plantas y sale por sus aberturas naturales, principalmente por las estomas. Mediante la transpiración, las plantas permiten el ascenso de los nutrimentos hacia los distintos tejidos de las mismas. Cuando el suelo se encuentra descubierto, el agua se pierde por evaporación y cuando el cultivo ha cubierto el suelo, el 90% del agua se pierde por transpiración (FAO, 2006). Casi toda el agua del suelo se pierde por transpiración, y es poca el agua que se dirige a los diferentes tejidos de

la planta, lo que se le conoce como agua de constitución. La evapotranspiración se mide en mm por unidad de tiempo, puede ser en días, meses e incluso años. Algunos factores que afectan la ET son: temperatura, precipitación, velocidad del viento, humedad relativa, radiación, tipo de cultivo, salinidad, etc. Para determinar la evapotranspiración del cultivo se debe multiplicar la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo; el cual relaciona el consumo de agua de un cultivo en cierta etapa de crecimiento con el consumo de agua de un cultivo de referencia. Para el cálculo de la Eto (evapotranspiración de referencia), el método más utilizado es el de Penman-Monteith, el cual requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Otro método es el del tanque evaporímetro clase A, los cuales han probado su valor práctico y han sido utilizados con éxito, observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo.

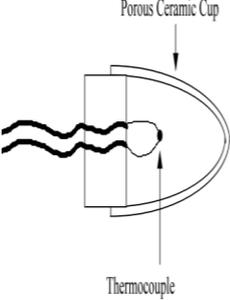
3.4 Métodos para medir y estimar la humedad del suelo. Una de las principales problemáticas en campo durante el desarrollo del cultivo, es saber cuándo, cómo y cuánto regar, para cubrir las necesidades hídricas de las plantas de las diferentes especies cultivadas, si bien, el productor no toma en cuenta este factor y normalmente aplica volúmenes excesivos, o bien no alcanzan a cubrir las necesidades en las diferentes etapas fenológicas, provocando estrés en las plantas, resultando en la disminución del rendimiento. Para ello se debe tener un seguimiento en cuanto al uso consuntivo a lo largo del ciclo de cultivo. El único método para medir la humedad del suelo es el gravimétrico; que consiste en tomar una muestra de suelo, pesar y meterlo a una estufa durante 24 horas a 105°C, para después pesar nuevamente la muestra y obtener el porcentaje de humedad del suelo, resultado de la diferencia del peso húmedo y el peso seco, dividido entre el peso seco y multiplicado por cien. Sin embargo este método resulta ser el menos usado ya que se requiere de una estufa de secado, tiempo para obtener el resultado y es destructivo, además que es muy difícil para saber la cantidad de agua por regar cuando se tiene el cultivo. Por lo que existen diferentes métodos que se deben calibrar con el gravimétrico, para estimar la humedad del suelo de manera inmediata, cuando el cultivo se encuentra establecido o no, los cuales hacen referencia con la evapotranspiración del cultivo (ETc). Principalmente usan una propiedad física que cambian con la humedad, como lo son: peso del suelo, tensión del agua dentro del suelo, humedad del aire dentro del suelo, dispersión de la radiación, atenuación de la radiación, constante dieléctrica del suelo,

resistencia eléctrica del suelo, textura, energía para cambiar la temperatura del suelo, etc. De acuerdo a SERVER (2005), en el Cuadro 1 se muestran algunos métodos y los principios para estimar la humedad del suelo.

Cuadro 1. Métodos para estimar la humedad del suelo.

Método	Principio	Ejemplo
Reflectometría (Time Domain reflectometry, TDR)	Se basa en la relación entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica. Mide la humedad volumétrica, al instante.	
Aspersor de neutrones	El número de neutrones lentos detectados es proporcional al número de colisiones entre neutrones y núcleos de hidrógeno, los cuales reflejan el contenido de agua del suelo.	
Tensiómetro	Mide la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. A medida que el suelo se seca, comienza a jalar agua de la columna de agua a través del bulbo de cerámica, provocando succión en la columna de agua. Funciona en un rango de 0 a -0,07 Mpa que corresponde al 50% de la HA.	
Bloques de resistencia (Bloques de yeso)	Su operación se basa en el hecho de que la conductividad eléctrica de muchos materiales varía en función del contenido de agua. Funcionan en un rango de -0.5 a -15 bares, son adecuados para suelos secos.	

Cuadro 1. Métodos para estimar la humedad del suelo (Continuación)...

Lisímetro de drenaje	Se basa en el principio de la evapotranspiración de cultivo en un volumen de suelo conocido. Al agregar un volumen de agua se capta el drenaje y la diferencia entre el volumen de entrada y el de salida es lo que se perdió por ET. Una vez suministrado ese volumen el suelo o sustrato queda a CC.	
Psicrómetro de termocúmulas	Mide el potencial hídrico, basado en el principio que en equilibrio se igualan los potenciales de agua del suelo y del vapor de agua del suelo. Efectivo para suelos húmedos a secos, trabaja en el rango de -2 a -15 bares.	

Los métodos antes descritos sirven para estimar las necesidades hídricas de los cultivos, haciendo referencia en el valor de la evapotranspiración del cultivo, esto cobra importancia cuando no se tienen datos climatológicos para determinar la evapotranspiración de referencia, y algunos son muy prácticos para que los lleven a cabo los productores y eviten el suministro de malos riegos en sus parcelas.

3.5 El riego y las necesidades hídricas del jitomate. Este cultivo tiene grandes requerimientos de riego tanto en volumen como en frecuencia. Las necesidades son muy variantes, si el cultivo se encuentra en campo o invernadero, condiciones ecológicas del lugar, si se establece en suelo (textura) o sustrato (retención), y se consideran las etapas fenológicas, desde el trasplante hasta el inicio de la floración los riegos deben ser cortos y frecuentes, en cuanto la planta comienza a fructificar la demanda se incrementa considerablemente, sobre todo en aquellas que son de crecimiento indeterminado. La etapa crítica es desde el inicio de la floración hasta la fructificación de manera continua ya que si se deja secar el suelo o sustrato y enseguida se aplican grandes cantidades de agua se puede inducir un estrés en la planta, causando el agrietamiento de frutos principalmente. El suelo o sustrato debe mantenerse al menos a una humedad residual del 80% ya que esto incrementa el rendimiento hasta en un 25% en suelos con 70% de humedad (Escobar y Lee, 2009).

En el Cuadro 2, se muestra el volumen de agua por metro cuadrado requerido en diferentes semanas para el cultivo de jitomate en invernadero. Sin embargo no se podría generalizar la cantidad de agua por aplicar, debido a que las condiciones edafoclimáticas en el país son diferentes, por lo cual se recomienda estimar las necesidades mediante uno de los métodos descritos en el Cuadro 1, y llevar el control de los riegos a lo largo del ciclo, considerando la textura del suelo y la retención de agua, al igual para los sustratos. Tomando en cuenta las temperaturas semanalmente, impidiendo el estrés para las plantas. Cuando no se planifica el riego o no se cuenta con equipos para estimar la humedad del suelo, ocurre en la mayoría de las veces un desaprovechamiento de los nutrimentos, sobre todo cuando se trata de fertirriego debido a que las sales en un suelo seco tienden a subir a la superficie, aumentando a su vez la conductividad eléctrica y el potencial osmótico, esto afecta el desarrollo de la planta, ya que le costara más trabajo succionar los nutrimentos, sobre todos cuando se encuentran precipitados. Por otra parte cuando se aplican riegos excesivos además del desperdicio del agua, la planta se encuentra más susceptible al ataque de enfermedades y en un suelo saturado el oxígeno comienza a reducirse causando muerte a la planta por asfixia de la raíz. Finalmente los productos químicos aplicados en el sistema de riego o en drench para abatir algunos fitopatógenos en un suelo con superávit de humedad la dilución del producto es inmediata y el efecto del ingrediente activo se demerita, y no se logra inhibir el problema presente.

Cuadro 2. Necesidades hídricas del cultivo de jitomate en invernadero.

Semana	Desarrollo	Litros m ⁻² día ⁻¹	
		Mínimo	Máximo
1	Enraizamiento	0.6	1.25
2-5	1° a 4° racimo floral	1.5	3.0
6	5° racimo floral	3.5	3.8
7-9	6° racimo floral	3.5	4.0
10-11	7-8° racimo en flor	4.0	4.5
12-15		4.5	5.0
16-17		5.5	6.0
18-20		5.5	6.0
21-23	Inicio - Fin de cosecha	5.0	5.0
24-25		5.0	5.0
25		5.0	5.0
27		5.0	5.0

Escobar y Lee, 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero.

3.6 Calendario de riego. El riego es el suministro de agua para compensar la pérdida de agua por evaporación y transpiración (evapotranspiración) a las plantas. Es de suma importancia programar los eventos de riego en las diferentes etapas del cultivo, esto es posible cuando se tienen datos de estaciones meteorológicas cercanas para calcular la evapotranspiración del cultivo. Si se toma el ejemplo del Cuadro 2 se debe conocer el gasto del emisor del sistema de riego que se está utilizando, y según sea la temperatura del sitio suministrar la cantidad mínima o máxima a la superficie de cultivo. La mayoría de productores se basan en el conocimiento empírico, de acuerdo al tipo de suelo, etapa de cultivo, clima, etc., sin embargo no está demás utilizar algún equipo para medir la humedad del suelo, tratando de mantener el suelo a capacidad de campo y al menos tener un 80% de agua residual para evitar el estrés de la planta y tener los mejores rendimientos. Si se trata de producción hidropónica, el riego se programa mediante un temporizador de riego, facilitando la operación.

3.7 Eficiencia del uso de agua en sistemas de producción de jitomate. En los diferentes sistemas de producción de jitomate, los rendimientos se incrementan a medida que se incluyen nuevas técnicas de producción mediante el uso de la tecnología, así mismo el uso eficiente del agua para la producción. Si bien, en la agricultura tradicional donde el riego se realiza por gravedad el volumen de agua desperdiciado por riegos excesivos es considerable, ya que con esa agua que se tira se puede producir más alimentos a la población. En el Cuadro 3, se muestran algunos sistemas de producción, rendimiento, consumo de agua y uso eficiente de agua.

Cuadro 3. Comparación de sistemas de producción de jitomate, rendimiento potencial y eficiencia de uso de agua.

Sistema de producción	Rendimiento t ha⁻¹	Consumo de agua (miles de m³ ha⁻¹).	Eficiencia de uso de agua (kg m⁻³)
Riego por gravedad	50	15,000	3.3
Fertirrigación a campo abierto	100	8,000	12.5
Invernadero (España)	250	7,000	35.7
Invernadero (México)	350	10,000	35.0
Invernadero (Holanda)	600	7,500	80.0

Sánchez, 2010. Ponencia de nutrición de cultivos hortícolas

3.8 Importancia económica del jitomate.

La productividad del jitomate por unidad de superficie sigue creciendo a nivel global, sin embargo los rendimientos son muy variables en función de la infraestructura y tecnología orientada en mejorar la rentabilidad del cultivo (Figura 4), principalmente para la exportación. Puede ir desde la producción en cielo abierto como en invernaderos



Figura 4. Producción de jitomate en hidroponía usando tezontle como sustrato.

de primer mundo donde el riego y el manejo de nutrición, así como la infraestructura son automatizados. En los siguientes subtemas se muestra la producción a nivel mundial, nacional, el consumo, divisas, tendencia de la producción, todo encaminado a la generación de ingresos a las empresas y familias productoras de la reina de las hortalizas.

3.8.1 Producción mundial.

La producción de jitomate ha ido en aumento a la par de los rendimientos por unidad de superficie. En la Figura 5 se muestra la producción de los principales países productores, destacando China para el 2015 tenía una superficie de siembra de 1.005 millones de hectáreas, de las cuales se produjeron 50.12 millones de toneladas, aportando el

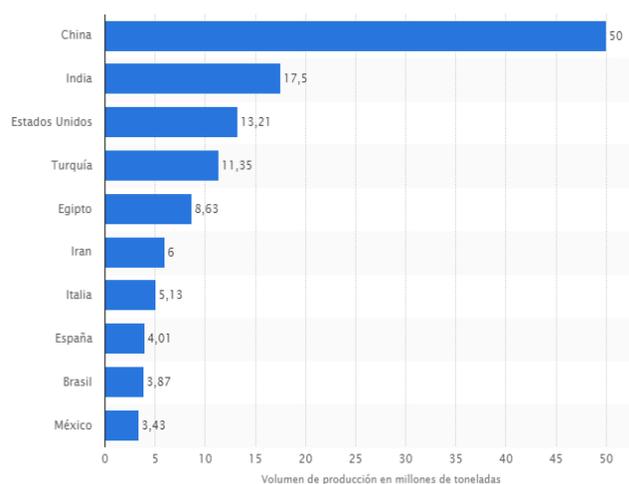


Figura 5. Principales países productores de jitomate a nivel mundial en millones de toneladas (FAO, 2015).

30.9% de la producción mundial (HORTOINFO, 2014). México se ubicó en el décimo lugar aportando el 2% de la producción mundial puesto que para el mismo año se produjeron 3.4 millones de toneladas. (FIRA, 2016). En cuanto a rendimiento, Holanda ocupa el primer lugar al producir 47.6 kg m⁻², como es sabido la tecnología

y la infraestructura de los invernaderos holandeses tipo venlo, permiten producir hasta 5 veces más que en los invernaderos de baja y mediana tecnología. Los rendimientos promedio de los demás países oscilan entre 6 y 9 kg m⁻² (HORTOINFO, 2014).

3.8.2 Consumo per cápita. El consumo de esta hortaliza ha ido en aumento en los últimos años de pasar de 15.4 kg en el 2001 a 20.2 kg para el 2011. Para este periodo a nivel global, el consumo se incrementó en una tasa promedio anual de 3.9%. Así mismo se duplicó el consumo para dos de los principales países más consumidores; China al pasar de 16.4 a 30.2 kg, mientras que India de 6.2 a 12 kg. Cabe mencionar que Egipto y Turquía son los países que tienen los mayores niveles de consumo per cápita con alrededor de 90 kilogramos por persona por año (FIRA, 2016). El incremento en el consumo per cápita del jitomate asume relevancia en México y los países que exportan más del 50% de la producción, ya que se abren nuevas ventanas de mercado, generando divisas. En México el consumo per cápita para el año 2015 fue de 15 kg.

3.8.3 Producción nacional. La producción de jitomate en los últimos años se ha incrementado de manera considerable ya que entre el año 2015 y 2016 se reportó un crecimiento cercano a las 200 mil toneladas. Lo que significa un aumento a una tasa anual de 7.8%, al pasar de 2, 570,000 a 2, 769,000 mil toneladas, de un año a otro. Los principales estados productores de jitomate son: Sinaloa (551,000), San Luis Potosí (296,800), Baja California (225,900) Zacatecas (185,200), y Michoacán con 178,200 toneladas. Respecto al nivel de producción nacional, Sinaloa aporta el 20%, San Luis Potosí, 11%, Baja California 8.2%, Zacatecas 6.7%, y Michoacán 6.4% (SAGARPA, 2017).

3.8.4 Exportación de jitomate en México. A pesar de ocupar el décimo lugar de los países productores de jitomate en el mundo, tiene el primer lugar en la exportación de esta hortaliza, esto se debe al incremento de la superficie de la producción en condición de invernadero, a pesar que México fue el último país de América del norte en adoptar esta tecnología sin embargo esta industria se desarrolló rápidamente, dando buenos resultados por las condiciones climáticas para producir, en la actualidad tiene más superficie de invernaderos que Estados Unidos y Canadá. Para el 2015 México superó a Holanda en la exportación de jitomate generando 1,814 millones de dólares, mientras que las exportaciones de Holanda sumaron 1,658 millones de dólares, desde el año 2011 al 2015 se ha ido alternado el liderazgo (Figura

6). (PPORTIMES, 2016). El volumen exportado durante ese año fue equivalente al 53.3% de la producción nacional de esta hortaliza. Sinaloa es el estado con mayor participación en las exportaciones de tomate. El principal destino de las exportaciones de tomate es Estados Unidos, con el 99.3% del volumen exportado en 2015, el resto se destinó a los mercados de Canadá y Japón (FIRA, 2016).



Figura 6. Exportaciones de jitomate entre México y Holanda.

3.9 Sistemas de producción de jitomate. La producción de jitomate en México se realiza mediante diversos métodos como se muestran a continuación.

3.9.1 Campo. En este sistema el cultivo se establece a cielo abierto, existen diversas técnicas para la producción, en cuanto a manejo, sistema de riego, fertilización, etc. La forma más sencilla es la siembra en melgas, normalmente es a doble hilera las cuales van desde 1.20 a 1.50 m de ancho y al menos de 20 a 30 cm de alto, colocando las plantas a tresbolillo con una separación de



Figura 7. Producción de jitomate en campo.

35 o 40 cm entre plantas y entre hileras. Normalmente el riego es por gravedad y la fertilización al suelo con fertilizantes convencionales. Sin embargo algunas variantes de este sistema son la utilización de acolchado, agrípon, fertirriego, uso de media sombra, entutorado (Figura 7) labores culturales, etc. Con el objeto de mejorar la calidad del fruto e incrementar el rendimiento. Bajo este sistema según FIRA (2007), evaluando la rentabilidad y costos del cultivo de tomate en Sinaloa el rendimiento promedio asumiendo diversas tecnologías en campo, es de 40-60 t ha⁻¹, en tomate bola, y el rendimiento promedio de jitomate Saladette para 2016 fue de 35.9 t ha⁻¹

(Figura 8). Sin embargo debido a la poca producción en comparación a otros sistemas, la superficie sembrada a cielo abierto se ha descendido de manera constante con una tasa promedio anual de 6.7% entre 2005 y 2015, al pasar de 73,960 a 36,848 hectáreas (FIRA, 2016).

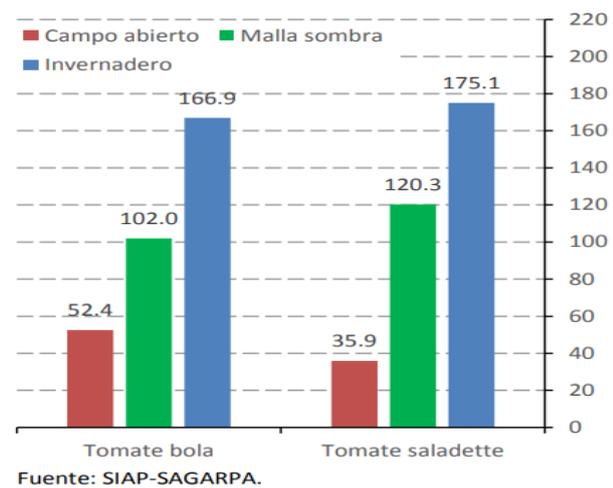


Figura 8. Rendimiento de tomate rojo en México por tipo de tecnología, 2016.

3.9.2 Invernadero (suelo). Este sistema es el más utilizado por los pequeños y medianos productores, utilizando acolchado, sistema de riego por goteo y fertilizantes hidrosolubles (Figura 9). Las técnicas para la producción son muy variables en las distintas regiones del país, ya que se debe adaptar a las condiciones edafoclimáticas del lugar, por tanto, el diseño del



Figura 9. Producción de jitomate en fertirriego.

invernadero, genotipo, manejo de la nutrición, marco de plantación, manejo agronómico, entre otros, son factores importantes en la producción, que finalmente repercuten en la calidad y rendimiento del fruto. El rendimiento promedio en el país de jitomate Saladette producido en invernadero (Figura 8) en suelo es de 175.1 t ha⁻¹ (FIRA, 2016).

3.9.3 Malla sombra. Es muy similar con el sistema de invernadero, en cuanto a manejo, nutrición, riego, etc. La diferencia es que se recomienda utilizar malla sombra en lugares donde la temperatura es alta, debido a que el jitomate no tolera concentraciones de aire caliente, además que por encima de los 35° Celsius, el polen se encuentra estéril, por tanto se reduce su productividad. La temperatura óptima es de 25° Celsius durante el día, razón principal para utilizar este mecanismo de

producción, cuyo rendimiento promedio de jitomate Saladette, es de 120.3 t ha⁻¹ (Figura 8). El incremento en la infraestructura para la producción de jitomate bajo condiciones de invernadero y malla sombra (Figura 10) se debe al éxito de la rentabilidad del cultivo, debido a la exportación y venta nacional del producto. Del año 2005 al 2015 la superficie de siembra creció en promedio un 42.6% anual, pasando de 395 a 13,747 ha (FIRA, 2016).



Figura 10. Producción de jitomate en malla sombra.

3.9.4 Hidroponía. La palabra hidroponía derivada del griego *hidor*; agua y *ponos*; labor, trabajo. Los cultivos hidropónicos tienen como base la nutrición mediante solución nutritiva y el establecimiento de plantas sin suelo; se pueden utilizar sustratos

como tezontle (Figura 11), fibra de coco, perlita, lana de roca, arena, grava, entre otros, o la combinación de algunos de ellos. Sin embargo en la producción hidropónica existen nuevas técnicas para la producción como son: sistema de raíz flotante, películas nutritivas (NFT), recirculación de la SN (NGS), etc., donde existen diversos modelos, contenedores y tecnología para



Figura 11. Producción de jitomate en tezontle.

producir jitomate. La infraestructura para producir puede ser invernadero, malla sombra o incluso en campo si la producción es de autoconsumo. El rendimiento promedio es de 350 t ha⁻¹ (Sánchez, 2010). Las condiciones del invernadero dependiendo de la tecnología que éstos sean van a definir el rendimiento, es decir un invernadero con un cultivo hidropónico de mediana tecnología sin calefacción no obtendrá el rendimiento de los invernaderos de alta tecnología.

3.9.5 Invernadero holandés. La estructura se trata de un invernadero tipo venlo, de vidrio, la tecnología en cuanto al suministro de nutrimentos, inclusión de CO_2^- , canales para captación y reciclado de la solución nutritiva, control de clima, automatización del invernadero, entre otros aspectos de este sistema de elite, conllevan a las plantas a un acondicionamiento óptimo (Figura 12) para explotar



Figura 12. Producción de jitomate en invernadero tipo venlo (holandés).

todo su potencial genético, en tanto que la producción de jitomate en este sistema es 4 veces más al producido en condiciones de invernadero de baja y mediana tecnología, ya que existen reportes donde la producción va desde los 800 ton h^{-1} (2000AGRO, 2014), y en Querétaro y Estado de México (Bionature) han alcanzado 900 ton ha^{-1} (Sánchez, 2010).

3.10 Conceptos básicos de nutrición.

3.10.1 Elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La mayoría de las plantas superiores cultivadas requieren de 17 elementos para un óptimo crecimiento y desarrollo. En la elaboración de soluciones nutritivas se realiza una mezcla de los mismos con el fin de explotar al máximo el rendimiento de los cultivos en cuanto a nutrición. En el Cuadro 4, se muestran los elementos esenciales, símbolo químico, peso atómico, forma disponible para las plantas y la concentración promedio en el tejido seco. Por otra parte existen algunos elementos benéficos para algunos cultivos, sin embargo este tema ha causado discusión entre varios autores involucrados en la rama de nutrición vegetal, debido a que algunos estipulan que éstos elementos estimulan el crecimiento en algunos vegetales, mas no se deben considerar esenciales, otros los definen con aquellos elementos que pueden compensar los efectos tóxicos de otros elementos o que pueden “reemplazar” a los nutrimentos esenciales en algunas funciones menos específicas, como el mantenimiento del potencial osmótico. Se han descrito siete elementos los cuales son: sodio, silicio, cobalto, aluminio, selenio, yodo, y vanadio.

3.10.2 Criterios de esencialidad. Para que un elemento sea considerado esencial debe presentar las siguientes características, según Arnon y Stout (1939).

1. Con la ausencia del elemento en cuestión, no es posible un desarrollo normal de la planta y ésta es incapaz de completar su ciclo vital.
2. Los síntomas de deficiencia deben ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente, o sea que el elemento en cuestión no debe ser sustituido o remplazado totalmente por ningún otro elemento.
3. Las funciones o su influencia sobre el metabolismo deben ser conocidas.
4. El elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta, lo cual significa que no debe actuar a través de variaciones en el substrato.

Cuadro 4. Elementos esenciales para la mayoría plantas superiores de especies cultivadas, símbolo, peso atómico, forma disponible y concentración en tejido seco (Salisbury y Ross, 1994).

Elemento	Símbolo químico	Peso atómico	Forma disponible	Concentración en tejido seco	
				mg kg ⁻¹	(%)
Carbono	C	12.01	CO ₂	450,000	45
Oxígeno	O	16.00	O ₂ , H ₂ O	450,000	45
Hidrogeno	H	1.01	H ₂ O	60,000	6
Nitrógeno	N	14.01	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	15,000	1.5
Fosforo	P	30.98	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	2,000	0.2
Potasio	K	39.10	K ⁺	10,000	1
Calcio	Ca	40.08	Ca ²⁺	5,000	0.5
Magnesio	Mg	24.32	Mg ²⁺	2,000	0.2
Azufre	S	32.07	SO ₄ ²⁻	1,000	0.1
Hierro	Fe	55.85	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	100	0.01
Cloro	Cl	35.46	Cl ⁻	100	0.01
Boro	B	10.82	H ₃ BO ₃	20	0.002
Manganeso	Mn	54.94	Mn ²⁺	50	0.005
Zinc	Zn	65.38	Zn ²⁺	20	0.002
Cobre	Cu	63.54	Cu ³⁺ , Cu ²⁺	6	0.0006
Níquel	Ni	58.71	Ni ²⁺	6	0.0006
Molibdeno	Mo	95.95	MoO ₄ ²⁻	0.1	0.00001

3.10.3 Diagnóstico nutrimental. Para tener un crecimiento y desarrollo de la planta normal y permitir que las concentraciones de los nutrimentos se encuentren en sus

rangos óptimos, con el fin de evitar deficiencias o identificar toxicidades por algún elemento, en necesario realizar un diagnóstico en la nutrición del cultivo.

3.10.3.1 Síntoma visual. Existen varias técnicas para identificar la suficiencia e insuficiencia de los nutrientes, el más común es el síntoma visual donde se aprecian amarillamientos, clorosis, necrosis, quemaduras, coloración rojiza, morada etc., en las hojas, principalmente, éstos síntomas indican deficiencias en mayor nivel, es decir la insuficiencia de ese nutriente comienza a hacerse severa, dado que la misma comenzó desde tiempo atrás colocándose en lo que los edafólogos llaman hambre oculta, y hace referencia a la deficiencia del nutriente en la planta pero que no se puede observar a simple vista. Cabe señalar que la deficiencia de algún nutriente se observa en casi toda la parcela, cuando se trata de hidroponía se muestra en todas las plantas, dado que si se llegara a confundir el síntoma con alguna de plaga o enfermedad, éstas últimas se presentan en manchones dentro de la parcela, mientras que la deficiencia lo hace en casi todas las plantas, la deficiencia debe ser simétrica, es decir las mismas manchas que se encuentran en un lado de la hoja deben ser similares al lado opuesto.

3.10.3.2 Análisis químico. Este es un método muy confiable, sin embargo se requiere de equipos de laboratorio de difícil acceso para los productores, además de ser destructivo y tardado para obtener los resultados. Para esto se toma una muestra de tejido vegetal (regularmente hoja) y se debe meter a la estufa de secado para obtener la materia seca, seguido a esto se debe moler y realizar la mineralización o digestión del tejido por la vía húmeda, principalmente con ácidos fuertes y temperaturas elevadas, entre 250 y 300°C, o vía seca en una mufla a 450-500 °C. Enseguida se procede a determinar la concentración de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo, mediante espectrómetros de emisión atómica inductivamente acoplados o absorción atómica. El N normalmente se determina mediante el método de microkjedahl (Alcántar y Trejo, 2013).

3.10.3.3 Análisis químico de extracto celular de peciolo. El análisis de extracto celular de peciolo o análisis de savia, es una herramienta que nos permite realizar un diagnóstico nutricional de los cultivos intensivos como es el caso del tomate, este análisis se considera confiable por la veracidad en los resultados además de ser fácil de determinar. Para tomate los rangos óptimos según Castellanos (2004) son los que se indican en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Niveles de referencia recomendados en extracto celular de peciolo en el cultivo de tomate en invernadero (Castellanos, 2004).

Días después del trasplante	-----ppm-----			
	N-NO ₃	P	K ⁺	Ca ²⁺
25	600 – 1,100	180 - 400	3,000 – 4,000	180 - 220
50	600 – 1,100	180 - 400	3,000 – 4,000	180 - 220
75	600 – 1,100	180 - 400	3,000 – 4,000	180 - 220
Cosecha	600 – 800	180 - 400	3,500 – 5,000	180 - 220

El muestreo se realiza en la hoja que está debajo del racimo en floración. Si no se cuenta con el equipo para su análisis se debe congelar la savia.

3.11 Conceptos básicos de cultivos hidropónicos

3.11.1 La solución nutritiva en cultivos hidropónicos. La solución nutritiva es una mezcla homogénea de los elementos esenciales en su forma disponible para las plantas y de manera balanceada evitando precipitados, el resultado del análisis químico del agua debe considerarse en la elaboración de la fórmula química de la solución.

3.11.2 Solución nutritiva universal Steiner. Esta solución se dio a conocer en 1968, los componentes básicos para su creación fue una relación mutuas entre cationes y aniones. La relación de cationes es 35:45:20% de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente, mientras que la relación de aniones es de 60:5:35% de NO₃⁻, H₂PO₄²⁻ y SO₄²⁻, respectivamente, para una presión osmótica definida (Baca *et al.*, 2016).

3.11.3 Preparación de una solución nutritiva verdadera. Normalmente las soluciones preparadas no consideran las reglas de oro para la preparación de la SN, las cuales son:

1. Si los milimoles de Ca²⁺ x milimoles de H₂PO₄⁻ ≥ 2.2 ; habrá precipitación de CaHPO₄. El fosfato de calcio es una sal difícilmente soluble, por ende la planta no lo puede absorber de manera normal, al presentarse este compuesto el taponamiento de goteros en los sistemas de riego son muy comunes.
2. Si los milimoles de Ca²⁺ x milimoles de SO₄²⁻ ≥ 60; habrá precipitación de de CaSO₄. La precipitación del sulfato de calcio impedirá que se absorban ambos elementos como en el caso anterior, provocando los mismos problemas en el sistema de riego.

Considerando las reglas de oro, se debe tomar en cuenta el análisis químico del agua de riego, los resultados del mismo se deberán restar a las concentraciones en meq L^{-1} o en mg L^{-1} a las cantidades de los iones correspondientes de la solución nutritiva Steiner a la conductividad eléctrica deseada. Normalmente el pH del agua de riego es alcalino, por lo que deberá bajarse entre un intervalo de 5.5 a 6.5, en el cual la mayoría de los nutrientes se encuentran en su forma disponible para las plantas, sin embargo hay que considerar que la SN Steiner tiene reacción alcalina al disolver los fertilizantes por lo que debe adicionarse con cuidado ácido sulfúrico con el cual a su vez neutraliza los bicarbonatos. La presencia de bicarbonatos en la solución nutritiva eleva el pH y son los micronutrientes los más afectados debido a que se precipitan y no pueden ser absorbidos por las plantas. Lo recomendable es adicionar agua a la mitad de la capacidad del contenedor, agregar el H_2SO_4 indicado hasta bajar el pH a 5.5, seguido de esto se agregan los fertilizantes disueltos y se afora hasta la capacidad máxima del contenedor, finalmente se mide el pH y se asegura al intervalo antes descrito. El contenedor debe quedar completamente tapado, debido que el CO_2 atmosférico al entrar en contacto con la solución se forma HCO_3^- , resultando un incremento en el pH de un día para otro. Por esta razón y por propia experiencia el pH de la solución es preferible que se encuentre en un valor de 5.5 a 5.8. Por otra parte en múltiples ocasiones se menciona el orden con el que se deben agregar los fertilizantes, creando confusiones entre diferentes investigadores, realmente el orden en que se deben agregar no importa, siempre y cuando los fertilizantes se encuentren totalmente disueltos al ser agregados en un volumen de agua medio a la capacidad total del contenedor, los bicarbonatos se hayan neutralizado y se cumplan las reglas de oro (Baca *et al.*, 2016).

3.11.4 Definición de osmosis y presión osmótica. La osmosis es el paso de las moléculas de disolvente principalmente por medio de una membrana semipermeable, de menor a mayor concentración. La razón es que en la membrana semipermeable permite el paso del disolvente y se limita el paso del soluto debido a los espacios pequeños que impiden su desplazamiento, es por ello que el flujo se da en sentido contrario. Debido al flujo de menor a mayor concentración se crea una diferencia de niveles en los compartimentos separados por la membrana semipermeable, cuando se alcanza el equilibrio la osmosis termina. Pero para alcanzar el equilibrio se necesita aplicar una presión hidrostática para detener el flujo de disolvente por la membrana, o bien ejercer una presión en el compartimento de mayor concentración para detener

el flujo evitando el incremento de nivel y alcanzando el equilibrio, esta presión requerida se le denomina presión osmótica. Para detener la osmosis la presión aplicada debe ser igual a la presión osmótica, pero si la presión aplicada es mayor que la presión osmótica aparece un fenómeno llamado osmosis inversa, el disolvente es obligado a abandonar la disolución más concentrada y difundirse hacia la de menor concentración. La osmosis inversa tiene aplicación para desalinizar el agua de mar y utilizarla para el riego de cultivos, sin embargo el costo es muy elevado. En células vegetales cuando el fluido que rodea a la célula con respecto al fluido celular es hipertónico ocurre la plasmólisis y marchitamiento de la célula, si el fluido es hipotónico la célula ganará agua y se hinchará, si es demasiada la célula puede explotar, bajo este concepto es muy común ver en algunas hortalizas donde no se tiene control de riego y sufren un déficit de agua y al día siguiente aplican cantidades excesivas, los frutos tienden a rajarse. Finalmente cuando el fluido es isotónico la célula se mantendrá en un estado normal (Paz, 2010).

3.11.5 Potencial osmótico y presión osmótica en la SN. El potencial osmótico es uno de las 4 propiedades coligativas del agua y se puede calcular a partir de cualquiera de las otras propiedades (Salisbury y Ross, 1994). El Ψ_o es componente del potencial hídrico que resulta de la presencia de partículas de soluto y es equivalente a la presión osmótica en concepto pero con signo opuesto. El potencial osmótico podría ser expresado en términos de energía, mientras que la presión osmótica se expresa en términos de presión (Baca *et al.*, 2016). El potencial osmótico se determina de la siguiente manera:

$$-\Psi\pi = Mi R T$$

Donde:

$-\Psi\pi$ = Potencial osmótico en bares

M = Molaridad de la solución

i = Constante que considera la ionización de los solutos y otras desviaciones de las soluciones perfectas.

R = Constante de los gases (0.083; cuando se utilizan las unidades siguientes: bares, moles, grados Kelvin).

T = Temperatura absoluta en grados Kelvin.

Derivado de la fórmula anterior se obtiene el factor para determinar la presión osmótica (PO) de las soluciones nutritivas que es igual a 0.0244. Para determinar la PO de una solución nutritiva se realiza la siguiente operación.

$$\text{Presión osmótica (atm)} = 0.024 \times \text{milimoles de la solución (mM)}$$

Otra manera de calcular la PO (atm), es mediante un factor determinado de forma empírica por la USDA (1962), para calcular en general la presión osmótica de aguas para uso agrícola, y es igual a 0.36. Este factor se multiplica por la conductividad eléctrica de la solución, cuando está expresada en mmhos cm^{-1} o dSm^{-1} .

$$\text{Presión osmótica (atm)} = 0.36 \times \text{CE}(\text{dS/m}, \text{mmhos/cm})$$

La presión osmótica de la solución nutritiva Steiner a una $\text{CE} = 2.0 \text{ dSm}^{-1}$ es igual a 0.72 atm. Para saber la PO ideal para un cultivo, los investigadores realizan trabajos aplicando diferentes potenciales de acuerdo a la tolerancia a salinidad de cada especie, por ejemplo se pueden utilizar PO de 0.5, 0,7 y 0,9 atmosferas, y claramente se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos, en cuanto a crecimiento y rendimiento de la planta. Con esto, se puede obtener una curva de demanda nutrimental. Por otra parte la presión osmótica puede cambiar en el mismo cultivo, manejando una presión baja en primavera donde los riegos son más frecuentes y una PO elevada en invierno donde los riegos son menos frecuentes, así mismo la PO va en aumento conforme la demanda del cultivo en las diferentes etapas fenológicas, sobre todo en aquellos que son muy demandantes en nutrientes.

3.12 Sustratos: usos en la agricultura

3.12.1 Definición de sustrato. Se le denomina sustrato a aquel material donde se desarrollan las raíces de las plantas, el cual está limitado por su volumen dentro de algún contenedor, su principal función es retener humedad y permitir una buena oxigenación, además de brindar nutrientes esenciales. Debido a su composición se dividen en dos grupos: orgánicos y e inorgánicos. Se pueden utilizar solos o mezclados, según sean las características deseadas del productor.

3.12.2 Sustratos Orgánicos. Este grupo comprende a la turba, aserrín, fibra de coco, pulpa de café, cascarilla de arroz, acícula de pino, etc. Los cuales poseen la característica de ser buenos en retener humedad y brindar a la planta algunos nutrientes para su desarrollo.

3.12.3 Sustratos inorgánicos. Este grupo se divide en naturales, proceso de manufacturación y sintéticos.

a₁) De origen natural. Estos no incluyen algún proceso previo a su uso, en ellos se encuentran las gravas, arena, y piedras de origen volcánico (tezontle, piedra pomex, tepojal, etc.), todos en distintas granulometrías, y son caracterizados por brindar oxigenación adecuada y buen drenaje.

a₂) De origen natural con procesos de manufacturación. Normalmente son tratados con calor antes de su uso, en este grupo se encuentra la perlita, vermiculita, arlita, lana de roca, entre otros.

a₃) Sintéticos. Se incluyen el poliestireno y poliuretano. Principalmente se utilizan en hidroponía en películas nutritivas, donde sirven como sostén de la planta ante la solución nutritiva.

3.13 Características de los sustratos

3.13.1 Características físicas.

a) Granulometría. Es una de las características importantes, y por lo tanto se debe conocer el tamaño de las partículas que conforman el sustrato, un claro ejemplo es el tezontle en donde, a mayor tamaño de partícula será menor la retención de humedad y mayor la capacidad de aireación, caso contrario cuando se tiene una partícula pequeña, donde se logra tener una retención de humedad mayor. Para ello el sustrato debe pasar por una malla cuadrículada, según sea el tamaño requerido.

b) Densidad real. Considera la densidad de las partículas sin incluir el espacio poroso, es decir es la relación entre el peso de la partícula y el volumen que ocupa, se expresa en g cm⁻³.

c) Densidad aparente. Es la relación entre el peso seco del sustrato y el volumen que ocupa en condiciones de cultivo, se expresa en g cm⁻³. Este parámetro es importante para determinar el grado de compactación del sustrato, pudiendo afectar el espacio poroso, disponibilidad de agua y nutrientes, así como el desarrollo radicular.

d) Espacio poroso total (EPT). Es el porcentaje del volumen del sustrato no ocupado por el material sólido, es decir éste volumen está lleno de aire en los macroporos (> 0.0008 mm) y por agua en los microporos (0.0008 mm). La fórmula para determinar el espacio poroso total se muestra a continuación:

$$EPT = \left(1 - \left(\frac{DA}{DR} \right) \right) * 100$$

Donde:

EPT = Espacio poroso total (%)

DA = Densidad aparente (g cm⁻³)

DR = Densidad real (g cm⁻³)

e) Capacidad de absorción de agua. Es la cantidad de agua expresada en gramos que puede retener 100 gramos de sustrato seco.

f) Curva de retención de agua a bajas tensiones. Se aborda este apartado debido a que el agua es retenida por los poros del sustrato con una cierta fuerza o tensión, por lo tanto la planta debe vencer esa tensión para extraerla por las raíces, a esta fuerza se le denomina potencial de agua, expresándolo en cm de columna de agua, por lo que los cultivos absorben el agua a diferentes tensiones según sea el sistema de producción por ejemplo, en los cultivos hidropónicos se tienen tensiones hasta de 100 cm, en cultivo de regadío hasta 300 cm, en riego tradicional hasta 1500 cm y en cultivos de secano hasta 10000 cm. Hablando de cultivos en sustrato, se tienen tres puntos de tensión; 10, 50 y 100 cm de columna de agua (Figura 13). En los cuales se pueden determinar los siguientes parámetros:

f₁) Porcentaje de volumen material sólido (% MS). Es la diferencia entre 100 y el % del espacio poroso total.

f₂) Capacidad de aireación (%A). Es la diferencia entre la porosidad total y el volumen de agua a 10 cm de tensión.

f₃) Porcentaje volumen de agua fácilmente disponible (%AFD). Diferencia entre el volumen de agua retenida a 10 cm de tensión y el volumen de agua retenida a 50 cm de tensión.

f₄) Porcentaje de agua de reserva (%AR). Diferencia entre el volumen de agua retenida a 50 cm de tensión y el volumen de agua retenida a 100 cm de tensión.

f₅) Porcentaje de volumen agua difícilmente disponible (%ADD). Es la diferencia hasta 100 de la suma de MS+A+AFD+AR o el volumen de agua retenida a una tensión de 100 cm de c.a.

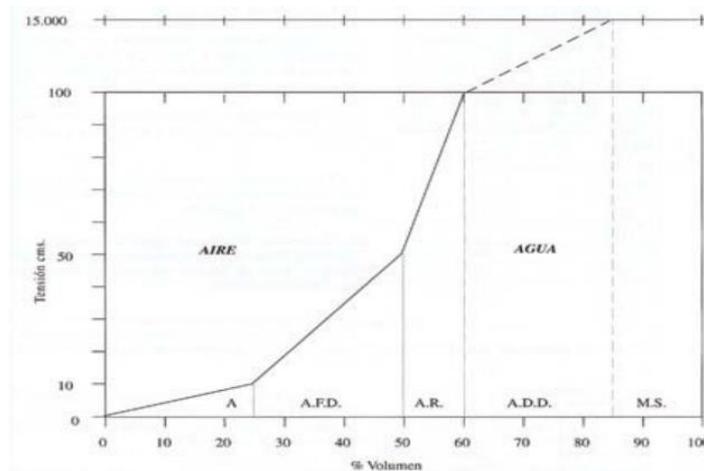


Figura 13. Curva de retención de agua de un sustrato ideal, considerado por De Bood, (1971).

3.13.2 Características químicas. Entre ellas se encuentran: efectos fitotóxicos por liberación de H^+ , OH^- y ciertos iones metálicos. Aumento de pH y por ende precipitación del fósforo y algunos micronutrientes.

También se tienen efectos osmóticos por una concentración considerable de sales solubles. Por otra parte la capacidad de intercambio catiónica desarrolla un papel importante ya que puede elevarse el pH y modificar la composición de la solución nutritiva.

Finalmente se tienen propiedades bioquímicas, en donde ocurren reacciones de degradación del sustrato, sobre todo en los que son de origen natural y pierden su volumen con el paso del tiempo.

3.13.3 Principales sustratos utilizados en hidroponía. En el Cuadro 6, se muestran algunos sustratos utilizados en la producción intensiva de hortalizas.

Cuadro 6. Principales sustratos utilizados en hidroponía.

Sustrato	Origen	Ilustración
Turba	Material de origen vegetal más o menos humificado con buen contenido de materia orgánica.	
Rocas volcánicas	Son materiales de origen volcánico (rocas ígneas) compuestos de silicio, aluminio y hierro, principalmente.	
Arenas y gravas	Materiales procedentes de canteras naturales y su composición depende del origen de las rocas, y pueden ser calcáreas o silicio.	

Cuadro 6. Principales sustratos utilizados en hidroponía (continuación)...

Lana de roca	Este material se obtiene mediante un proceso industrial por fundición a 1,600°C de una mezcla de rocas de origen basáltico y calcáreo y carbón de coke.	
Perlita	Es un material de procedencia volcánica que se expande mediante un proceso de calentamiento de 1,000-1,200°C. Químicamente está compuesto por sílice y óxidos de aluminio, hierro, calcio, magnesio y sodio.	
Fibra de coco	Se utiliza la fibra del fruto de la palmera, y según sea la molienda se agrupan en fibras largas, medianas y polvillo. Normalmente suelen tener una alta conductividad eléctrica.	
Otros: Cascarilla de arroz Corteza de pino, Vermiculita.	La mayoría de las veces estos sustratos se utilizan para ser combinados con algunos otros descritos anteriormente, para mejorar las condiciones de manejo y desarrollo del cultivo.	

3.13.4 Importancia del tezontle como sustrato para hidroponía. El tezontle es una roca volcánica (ígneas), cuya formación sucede con el enfriamiento del magma o lava volcánica, dando origen a diversas rocas. Forma parte de los silicatos oscuros donde predomina el hierro y el magnesio, y en pequeñas cantidades el sílice. Existen tres colores de tezontle; rojo, amarillo y negro, cada uno con características particulares. En el caso del tezontle rojo, su principal componente es el bióxido de hierro, de ahí la coloración rojiza. (ERP Agrícola, 2017). Una de sus principales características es que es una piedra muy ligera y porosa, presenta burbujas en su interior, como una especie de micro túneles, que es donde el agua queda retenida durante la aplicación del riego

para los cultivos, incluso cuando se saca la raíz se observa como los pelos radicales se encuentran dentro de esos pequeños túneles puesto que el agua disponible queda retenida en ellos. Las minas o reservas de tezontle se encuentran en el eje neovolcánico, cerca de los volcanes. En el municipio de Texcoco, estado de México el costo del tezontle es muy barato, por lo que es muy común su uso para la producción de cultivos hidropónicos, oscilando entre los \$80 y \$120 el metro cúbico, dependiendo de la granulometría.

3.13.4.1 Absorción del oxígeno en cultivo en tezontle. Una de las partes importantes en los cultivos hidropónicos es la absorción del oxígeno sobre todo cuando se trabaja con cultivos en solución (película nutritiva, sistema NGS) donde las raíces se encuentran totalmente sumergidas en la SN, debido a que este elemento representa aproximadamente el 45% en la materia seca en la planta (Salisbury y Ross, 1994). La ausencia de este elemento o concentraciones menores a las requeridas por las plantas causan amarillamiento instantáneo en las hojas, pudiendo llegar a la asfixia de las raíces y muerte de la planta. En los cultivos hidropónicos donde se utiliza tezontle como sustrato, el oxígeno que toman las plantas se efectúa de la siguiente manera: al realizar un riego con SN las plantas aprovechan el oxígeno disuelto en la solución, sin embargo ocurre otro fenómeno de suma importancia, la solución cubre gran parte de la raíz y del sustrato formando una película continua que se prolonga en las superficies internas de los macro y micro poros del tezontle, siendo ésta mucho más delgada en los micro poros. Para que el oxígeno del espacio poroso sea absorbido por la planta debe atravesar la película de agua que envuelve a la raíz. La velocidad de difusión del oxígeno es muy rápida en la fase gaseosa del sustrato y se lleva a cabo en los espacios libres entre partículas las cuales comprenden la porosidad que es igual al 30% del volumen total del sustrato. La velocidad de difusión del O₂ a una temperatura de 18°C es de 0.42 mg de O₂ por segundo, en una sección de 1 cm² y a una distancia de 1 cm (Baca *et al.*, 2016). Este valor es 2,000,000 veces mayor a la velocidad de difusión del O₂ en el agua (Steiner, 1968, 1976). Este mismo autor indica que realizando al menos 2 o 3 riegos diarios se cubre la cantidad de O₂ requerido por las plantas.

3.13.5 Relaciones hídricas sustrato – planta.

a) Disponibilidad del agua. La absorción de agua por las raíces de la planta depende de 3 factores importantes: 1) la capacidad de la planta para absorber agua 2) la capacidad del sustrato para suministrar al sistema radicular y 3) de la interacción entre

el sistema radicular de la planta y el sustrato. La capacidad de la planta para absorber agua depende de factores genéticos (especie, variedad), estado sanitario, estado fenológico, etc. La capacidad del sustrato para suministrar agua a la planta depende de sus propiedades físicas, como la capacidad de almacenamiento y la capacidad de transporte de agua. El agua se almacena en los poros del sustrato. Las raíces absorben el agua de los poros más próximo; esto desequilibra el sistema, que tiende a reponer el agua, transportándola de los poros más alejados. La capacidad para transportar el agua, y en consecuencia para reponer el equilibrio, es una característica propia del sustrato que depende de las características del espacio poroso y se mide mediante la conductividad hidráulica. La interacción entre el sistema radicular de la planta y el sustrato puede entenderse si se tiene en cuenta la actividad respiratoria de las raíces y la complementariedad de los volúmenes ocupados por aire y por agua en el espacio poroso. Para un sustrato determinado, cuanto más elevada es la disponibilidad de agua, menor es la disponibilidad de aire, y más probable es alcanzar esta situación de asfixia, en la que, a pesar de la alta disponibilidad del agua, ésta no es útil para la planta, por la reducción de la capacidad de absorción (Terés, 2001).

b) Movimiento del agua dentro del sustrato. Para entender este fenómeno es necesario entender la primera y segunda ley de la termodinámica, las cuales proponen:

Primera ley. Principio de conservación de la energía: La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.

Segunda ley: La dirección de los cambios en un sistema aislado tiende siempre al equilibrio.

Bajo estos principios, se propone el siguiente ejemplo: se tiene una porción de sustrato bajo un contenedor en condiciones de humedad perfectamente abastecidas, por lo tanto el sistema hídrico se encuentra equilibrado, es decir la energía potencial es la misma en todos los puntos. Para que éste sistema se altere y entre en desequilibrio deben de ocurrir alguno de los siguientes sucesos:

1. El sistema radicular de la planta actúa como demandante de agua, por lo tanto se provoca un descenso local del potencial hídrico, desequilibrando al sistema. Cuando esto ocurre se desplaza el potencial que se encuentra en el punto más elevado y se dirige el potencial del punto más bajo, transformando así la energía potencial en cinética. El movimiento cesa cuando se logra reestablecer el equilibrio en el sistema. El mecanismo explicado de transformación de

energía potencial en cinética, y viceversa, tiende a restablecer el equilibrio, provocando el flujo de agua hacia las raíces.

2. Aportación de riego. El riego se aplica cuando la disponibilidad de agua es baja. Esta baja disponibilidad es consecuencia del bajo contenido hídrico y del bajo potencial hídrico. El aporte del agua de riego supone la entrada en el sistema de agua, con un potencial hídrico muy superior al del agua del sustrato. El mencionado mecanismo de transformación reversible de energías es el responsable de la redistribución del agua en todo el volumen de sustrato, de su re-equilibrio, del aumento del potencial hídrico y, en definitiva, del aumento de la disponibilidad de agua (Terés, 2001)..

En un sustrato se producirá movimiento de agua entre dos puntos si los potenciales hídricos no son iguales.

b₁) Conductividad hidráulica. Se define como la capacidad de transporte de agua. El flujo de agua necesario para el restablecimiento del equilibrio se produce a través de los poros. Los poros actúan, por lo tanto, como conducciones hidráulicas. Las dimensiones de estas características inciden en la capacidad de transporte. Se puede medir mediante un permeámetro y el resultado se expresa en cm/hora.

b₂) Capilaridad. Propiedad similar a la descrita en el contexto anterior, que define la capacidad del sustrato de absorber y distribuir en todas las direcciones el agua, a través de los microporos. Cuando el sustrato no tiene capilaridad, el agua se mueve verticalmente a través del perfil, llegando rápidamente al drenaje y dejando zonas secas en las cuales no se puede desarrollar las raíces haciendo que la planta no se desarrolle bien o no crezca adecuadamente.

3.14 Principio de la reflectometría dominio del tiempo (TDR). El principio bajo el cual trabaja el TDR 300 involucra la medición del tiempo en que una onda electromagnética a lo largo de una guía. La velocidad de la onda en los suelos depende de la permisibilidad dieléctrica en bruto (ϵ) para el suelo. El hecho de que el agua ($\epsilon = 80$) tiene una constante dieléctrica mayor que la del aire ($\epsilon = 1$) o los sólidos del suelo ($\epsilon = 3-7$) se explota para determinar el contenido volumétrico de agua. El contenido volumétrico de agua medido por el TDR es un promedio a lo largo de la guía. La electrónica en el TDR 300 genera y mide el regreso de una señal de alta energía que viaja hacia abajo y de regreso, por el suelo, a lo largo de una guía compuesta por las dos barras intercambiables de acero inoxidable. El volumen de

muestreo es un cilindro elíptico que se extiende por aproximadamente 3 centímetros hacia fuera de las barras. La información de la señal de alta frecuencia luego se convierte en contenido volumétrico de agua (FIELDSCOUT, 2008).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio. El trabajo de investigación se desarrolló en el campus montecillo del Colegio de Postgraduados, ubicado en la carretera México – Texcoco km 36.5, en las coordenadas geográficas: 19° 27' 38" latitud norte y 98° 54' 11" longitud oeste, a una altitud de 2250 msnm.

4.2 Descripción del área de estudio. Se trabajó en condiciones de invernadero, el cual es de tipo cenital, ideal para climas templados, debido a que las ventilas cenitales ubicadas en la parte superior de cada nave permiten liberar el aire caliente cuando se tienen temperaturas altas y al mismo tiempo intercambiar el aire de la parte de fuera, el jitomate de crecimiento indeterminado es uno de los cultivos que no toleran el flujo de aire caliente, ya que una vez que alcanza una altura mayor a 2 metros se puede afectar la inflorescencia y por consecuencia se tienen frutos de menor calidad. También permiten una mayor aireación en los días donde la humedad relativa es alta debido a los días frecuentes con lluvias o nubosidad abundante. La cubierta es de plástico y las paredes de malla antiáfidos es de 40 x 25 / 16 x 10, en las cuales conllevan cortinas de plástico para la ventilación de acción manual. La superficie del invernadero es de 504 m² (Figura 14), y la superficie utilizada para el experimento fue de 168 m² (una nave), la altura desde la base de la planta hasta el cable galvanizado para tutorar es de 2.80 metros.



Figura 14. Ubicación del invernadero donde establecieron los experimentos.

4.3 Desarrollo experimental. Con el objeto de observar la respuesta a diferentes métodos de medición de humedad, manejo de nutrición, sustratos y espaciamiento

entre plantas de jitomate indeterminado a uno y dos tallos, se realizaron dos experimentos durante los años 2016 y 2017, (Experimento 1 y Experimento 2, respectivamente). De esta forma se podría determinar el mejor tratamiento en cuanto a rendimiento y calidad, comparando las metodologías que a continuación se describen.

4.3.1 Diseño experimental. A continuación se describen los diseños experimentales y modelos estadísticos utilizados para ambos experimentos.

Experimento 1. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, por la razón de tener un factor de estudio (número de tallos), considerando que se usaron plántulas de jitomate como unidad experimental (una plántula contenida en una bolsa de polietileno con 10 L de tezontle, fue una UE), las cuales presentaban homogeneidad, se utilizó una sola granulometría en el sustrato (Tezontle grueso) y la solución nutritiva fue la misma para los tratamientos, los cuales fueron: T1: 1 Tallo y T2: 2 Tallos (Figura 15). Por lo tanto,

se aleatorizaron los tratamientos desde la etapa de semillero, a cada cavidad de la charola le correspondía uno de los tratamientos descritos. Se tenían 270 repeticiones por tratamiento y se agruparon en líneas dobles con 90 unidades experimentales, esto fue para facilitar el riego. Las variables de respuesta fueron: 1) necesidades hídricas del cultivo (evapotranspiración), 2) rendimiento, 3) calidad física del fruto, 4) eficiencia en el uso del agua, y 5) número de frutos. El modelo del diseño y el juego de hipótesis se muestran a continuación.

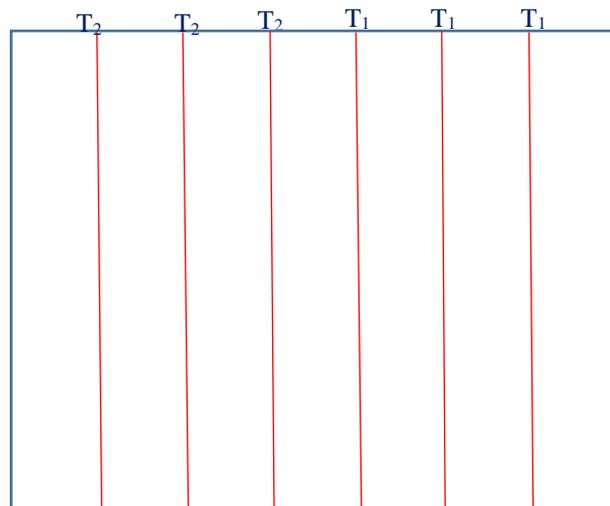


Figura 15. Distribución de los tratamientos.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = variable de respuesta correspondiente al tratamiento i en su repetición j .

μ = media general.

τ_i = efecto del tratamiento i .

ε_{ij} = error experimental correspondiente al tratamiento i en su repetición j .

El juego de hipótesis que plantea este diseño, son las siguientes:

$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_t$; todos los tratamientos producen el mismo efecto.

$H_a: \exists i \neq j$ tal que $\tau_i \neq \tau_j$; no todos los tratamientos producen el mismo efecto.

Para el análisis de los datos se usó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System).

Experimento 2. Se propuso un diseño experimental factorial completamente al azar debido a las condiciones del experimento. En este diseño el modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

i = número de niveles del factor A.

j = número de niveles del factor B.

k = número de repeticiones de cada combinación A*B.

Y_{ijk} = valor de la variable de respuesta correspondiente a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B.

μ = media general.

A_i = efecto del nivel i de A.

B_j = efecto del nivel j de B.

AB_{ij} = interacción A*B, correspondiente al nivel i de A y nivel j de B.

ϵ_{ijk} = error experimental correspondiente a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B.

El juego de hipótesis correspondiente al diseño es el siguiente:

a) Factor A:

$H_0 = A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_a$; todos los niveles del factor A producen el mismo efecto.

$H_a: \exists i \neq j$ tal que $A_i \neq A_j$; no todos los niveles del factor A producen el mismo efecto.

b) Factor B:

$H_0 = B_1 = B_2 = B_3 = \dots = B_b$; todos los niveles del factor B producen el mismo efecto.

$H_a: \exists i \neq j$ tal que $B_i \neq B_j$; no todos los niveles del factor B producen el mismo efecto.

c) Interacciones:

H_0 = No existe interacción, A*B.

H_a = Si existe interacción, A*B.

Se trabajó con dos factores:

Factor A: Sustrato (Tezontle medio y Fibra de coco).

Factor B: Número de tallos (uno y dos).

La unidad experimental fue una plántula de jitomate variedad Cid F1 a la cual se le asignaron los factores en estudio al azar, mediante el programa estadístico de R, cuando las plantas se encontraban en crecimiento en las charolas donde fueron germinadas. Los tratamientos en estudio fueron los siguientes:

- T₁: Tezontle 2 tallos (T2T). T₃: Tezontle 1 tallo (T1T).
 T₂: Fibra de coco 1 tallo (F1T). T₄: Fibra de coco 2 tallos (F2T).

El riego para cada tratamiento fue distribuido en forma individual debido a que se calculaba de acuerdo a las necesidades hídricas, por lo que las repeticiones se tuvieron que agrupar dentro de cada tratamiento. Una vez asignados los tratamientos, las repeticiones fueron las siguientes; para los tratamientos de fibra y tezontle a un tallo, se colocaron 110 bolsas maceteras (10 L) para cada sustrato, y este número correspondía a las repeticiones. En el caso de los tratamientos con dos tallos, el número de repeticiones fue de 55. De esta manera, se asume que el número de tallos será de 110 para los cuatro tratamientos y se podrán determinar los objetivos planteados.

La solución nutritiva fue la misma para todos los tratamientos. En total se tenían 330 unidades experimentales distribuidas en los tratamientos correspondientes de la parcela útil, ya que las plantas de los

bordes y orillas no se contemplaron para la toma de datos. De manera gráfica en la Figura 16 se muestra la distribución de los tratamientos dentro del invernadero. Las variables de respuesta fueron las siguientes: 1) necesidades hídricas del cultivo mediante el uso de TDR (evapotranspiración), 2) rendimiento, 3) calidad física del fruto, 4) eficiencia en el uso del agua, 5) calidad organoléptica y 6) Análisis de extracto celular de pectilo.

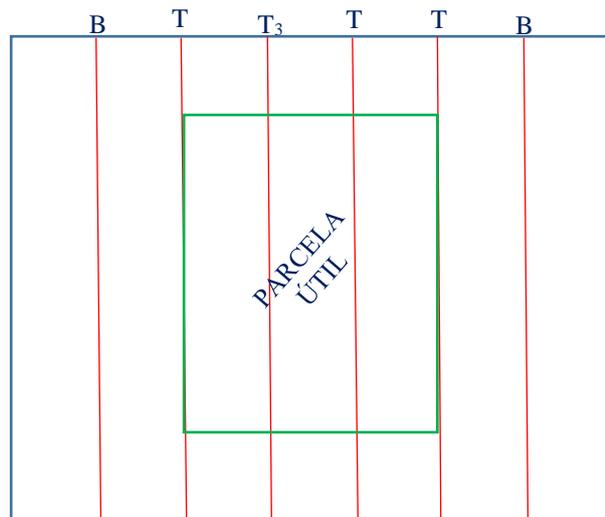


Figura 16. Distribución de los tratamientos y ubicación de los bordes y parcela útil.

4.4 Caracterización física de los sustratos. Se realizaron en los laboratorios de RASPA y en el de física de suelos.

Experimento 1. Se utilizó tezontle rojo de granulometría gruesa, el cual se caracteriza por ser una piedra de origen volcánico compuesto por piedra pómez y magma. En el Cuadro 7 se muestran los siguientes datos:

Cuadro 7. Caracterización física de tezontle grueso.

No.	Volumen de maceta (L)	Peso del sustrato (kg)	VAS (L)	VAD (L)	VAR (L)	Dap (g cm ⁻³)	PT (%)	RH (%)	CA (%)
1	10	9.880	5.500	4.180	1.320	0.988	55.00	13.20	41.80
2	10	9.985	5.450	4.090	1.360	0.970	54.50	13.60	40.90
3	10	9.990	5.515	4.250	1.265	1.020	55.15	12.65	42.50
Promedio		9.952	5.488	4.173	1.315	0.993	54.88	13.150	41.733

VAS: Volumen de agua a saturación, **VAD:** Volumen de agua drenada, **VAR:** Volumen de agua retenida

Dap: Densidad aparente, **PT:** Porosidad total, **RH:** Retención de humedad, **CA:** Capacidad aireación

Experimento 2. Se utilizó tezontle rojo de granulometría media, y fibra de coco constituida por fibras medias y polvillo. En el Cuadro 8 se muestran los siguientes datos:

Cuadro 8. Características físicas de Tezontle medio y Fibra de coco.

Sustrato	No.	Volumen de maceta (L)	Peso del sustrato (kg)	Agua a saturación (L)	Agua drenada (L)	Agua retenida (L)
Tezontle	1	10	10.865	5.100	2.595	2.505
	2	10	10.879	5.180	2.603	2.577
	3	10	10.865	5.190	2.602	2.588
	Promedio		10.870	5.157	2.600	2.557
Fibra de coco	1	10	0.700	6.964	3.580	3.384
	2	10	0.704	6.960	3.570	3.390
	3	10	0.707	6.956	3.560	3.396
	Promedio		0.704	6.960	3.570	3.390

Cuadro 8. Características físicas de Tezontle medio y Fibra de coco (Continuación).

Sustrato	No.	Dap (g cm ⁻³)	Porosidad Total (%)	Retención de humedad (%)	Capacidad de aireación (%)	TDR	
						CC	PMP
Tezontle	1	1.087	51.000	25.050	25.950	21.7	10.85
	2	1.088	51.800	25.770	26.030	21.6	10.75
	3	1.087	51.900	25.880	26.020	21.8	10.95
	Promedio	1.087	51.567	25.567	26.000	21.7	10.85
Fibra de coco	1	0.070	69.640	33.840	35.800	37	18.5
	2	0.070	69.600	33.900	35.700	37.1	18.55
	3	0.071	69.560	33.960	35.600	37.2	18.6
	Promedio	0.070	69.600	33.900	35.700	37.1	18.55

4.5 Caracterización del agua de riego. Para realizar el balance de la solución nutritiva Steiner (1984), se determinaron las concentraciones iónicas del agua de riego, tomando dos muestras de 1 litro cada una y se efectuó el análisis químico (con una repetición por muestra) en el laboratorio de hidrociencias. En el Cuadro 9 se muestran los resultados obtenidos de los análisis en miliequivalentes por litro.

Cuadro 9. Análisis químico del agua de riego.

Muestra	pH	CE (dSm ⁻¹)	meq L ⁻¹							
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SUMA	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SUMA
1	7.25	0.550	1.64	3.16	0.14	4.94	2.52	0.64	1.21	4.37
2	7.34	0.510	1.18	2.42	0.15	3.75	2.52	0.64	1.21	4.37
3	7.31	0.480	1.36	2.80	0.13	4.29	2.24	0.64	1.21	4.09
4	7.15	0.490	1.36	2.76	0.14	4.26	2.40	0.72	1.21	4.33
Promedio	7.26	0.507	1.39	2.79	0.14	4.31	2.42	0.66	1.21	4.29

Se deben eliminar los bicarbonatos para permitir que los micronutrientes puedan ser absorbidos por el sistema radical, por otra parte el pH ideal para la preparación de la solución nutritiva debe oscilar entre 5.5 y 6.5, para corregir ambos problemas se debe aplicar ácido sulfúrico, para esto, se tomó una muestra de agua de riego de 2 L y se llevó al laboratorio donde se agregó ácido sulfúrico (98%) con una pipeta de 0.1 mL hasta bajar el pH a 5.8 gastando 0.06 mL de H₂SO₄, por lo tanto se aplicaron 300 mL para 5 m³ de agua.

4.6 Material vegetal. Para ambos experimentos el genotipo utilizado fue la variedad de jitomate CID F1, el cual es de tipo saladette, y se caracteriza por ser una planta vigorosa, de crecimiento indeterminado, los frutos son de color rojo intenso con buena firmeza y larga vida de anaquel (Figura 17). Este genotipo es preferible por los productores del país por su alto rendimiento y por la gran aceptación en los mercados nacionales, lo que facilita su comercialización, presenta buena adaptación a la mayoría de climas del país y posee tolerancia a algunas plagas y enfermedades.



Figura 17. Jitomate indeterminado variedad Cid F1.

4.7 Obtención de plántulas. Para el experimento 1 (2016) la siembra se efectuó el 29 de marzo de 2016, mientras que para el experimento 2 (2017), la siembra se llevó a cabo el día 20 de marzo del 2017. Se utilizó como sustrato turba (Peat most) para la germinación de las semillas. Cabe mencionar que las charolas de poliestireno de 200 cavidades que se utilizaron, previamente fueron lavadas con agua y detergente y a su vez se aplicó Previcur (propamocarb) a razón de 1 mL/L de agua, dentro de las cavidades y al exterior de la misma, con el objeto de prevenir enfermedades fungosas que pudieran perjudicar la germinación de la semilla. Se colocó una semilla por cavidad (Figura 18) y al terminar la actividad se colocó papel periódico mojado para favorecer la germinación.

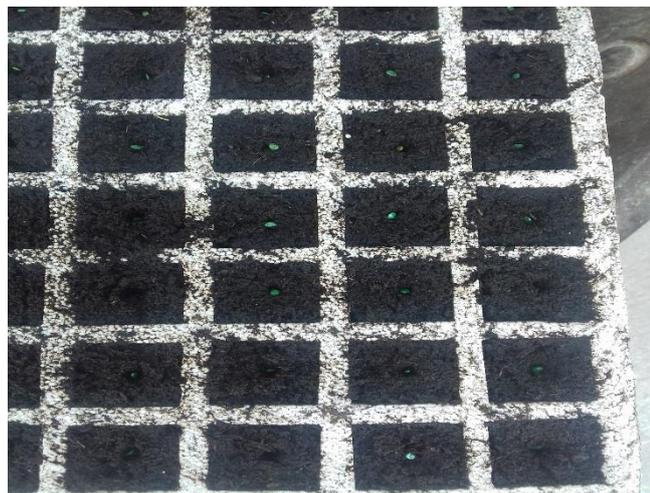


Figura 18. Siembra de jitomate Cid F1.

4.8 Manejo de los experimentos.

4.8.1 Llenado de macetas y distribución.

Experimento 1. Se utilizaron bolsas de polietileno de color negro, en las cuales se colocaron 10 L de tezontle grueso. Enseguida se distribuyeron los tratamientos en 3 filas dobles de 90 bolsas para las plantas a 1 tallo y la misma cantidad para las de 2 tallos, dejando un marco de plantación como se muestra en la Figura 19. La densidad de plantación se describe a continuación con la ecuación siguiente:



Figura 19. Distribución de los tratamientos.

$$(1) \text{Densidad de plantación} = \frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{\text{Distancia entre plantas(m)} * \text{distancia entre surcos(m)}}$$

T1: 1 Tallo

Distancia entre plantas = 0.35 m

Distancia entre surcos = 0.90 m

Superficie = 1 m²

Densidad de plantación = 3.17

T2: 2 Tallos

Distancia entre plantas = 0.35 m

Distancia entre surcos = 0.90 m

Superficie = 1 m²

Densidad de plantación = 3.17

Esto indica que para el T1 se tiene 3 pl m⁻², y para el T2, al considerar el número de tallos sería de 6 pl m⁻², es decir el T1 con 3 tallos y el T2 con 6 tallos por metro cuadrado.

Tezontle

Masa = Volumen (cm³) * Dap (g/cm³)

Masa = 10,000 cm³ * 1.087 g/cm³

Masa = 10.87 kg.

Fibra de coco

Masa = Volumen (cm³) * Dap (g/cm³)

Masa = 10,000 cm³ * 0.07 g/cm³

Masa (fibra de coco) = 0.7 kg

Experimento 2. Considerando las propiedades físicas de los sustratos se calculó el peso que debía tener en los contenedores, los cuales fueron bolsas de polietileno de 35x35 de color negro. Para ello se despejó la masa de la fórmula de la densidad aparente (Dap=masa/volumen), considerando que se necesitaban 10 litros de

sustrato, debido a las dimensiones de los contenedores. Para tener 10 litros de tezontle se debían pesar en una balanza 10.870 kg, quitando el peso de la bolsa macetera, mientras que para tener los 10 litros de fibra de coco, bastaba con pesar solo 700 gramos. Cabe mencionar que estos cálculos se realizaron en base al peso seco de ambos sustratos. Antes de llenar las bolsas con la fibra de coco, fue necesario aplicar un lavado para desprender las sales que contiene, siendo su principal característica y en cierto caso desventaja por la cantidad de agua que se debe aplicar para desalinizarlo.

La fibra de coco tenía una conductividad eléctrica de 3.0 dSm^{-1} , y después del lavado con agua de la llave se dejó a una $\text{CE} = 0.55 \text{ dSm}^{-1}$, esta actividad se debe realizar para no afectar el crecimiento de la planta al momento del trasplante debido a que la solución nutritiva también aportaría sales al sustrato. Una vez llenadas las bolsas con el sustrato se distribuyeron en el invernadero de la siguiente manera: en los tratamientos con un tallo se colocaron 110 macetas a doble hilera con. Para los tratamientos con dos tallos, se colocó una hilera sencilla con 55 macetas a 30 cm entre plantas (Figura 20). La densidad de plantación considerando la ecuación (1), y los siguientes datos es:



Figura 20. Distribución de los tratamientos experimento 2.

1 Tallo Tezontle y Fibra de coco
 Distancia entre plantas = 0.30 m
 Distancia entre surcos = 1 m
 Superficie = 1 m^2
 Densidad de plantación = 3.33

2 Tallos Tezontle y Fibra de coco
 Distancia entre plantas = 0.30 m
 Distancia entre surcos = 1.50 m
 Superficie = 1 m^2
 Densidad de plantación = 2.22

Para los tratamientos a un tallo es de 3.33 pl m^{-2} , y para los tratamientos a dos tallos es de 2.22 pl m^{-2} , ya que solo fue una sola hilera, lo que vendría siendo el equivalente a 4.4 tallos por metro cuadrado.

4.9 Trasplante

Experimento 1. Previo a esto, con las bolsas de polietileno con 10 L de tezontle acomodadas en el marco de plantación descrito en el contexto anterior, se saturaron con agua y enseguida se hicieron 4 orificios en la base de la bolsa en dirección a los puntos cardinales para drenar el exceso de agua y dejar el sustrato a capacidad de campo, se hizo una cepa con ayuda de una cuchara plana de metal y se colocaba una plántula por maceta, las cuales se extrajeron de la charola con todo y cepellón a los 51 dds (Figura 21), se distribuyeron de acuerdo a los tratamientos correspondientes.



Figura 21. Trasplante experimento 1.

Enseguida se aplicó Previcur (propamocarb) a razón de 1 mL L⁻¹ de agua, junto con radix 1500 (ácido Indol – 3 – butírico, 150 ppm) a razón de: 1.5 g L⁻¹ en drench, para prevenir enfermedades fungosas y promover el sistema radicular, respectivamente.

Experimento 2. De igual forma, se saturaron las bolsas con agua, después se realizaron 4 orificios en la base de las mismas para que drenara el agua no retenida, enseguida se colocó una plántula con todo y cepellón en cada maceta con referencia a los tratamientos correspondientes (Figura 22). Así mismo se aplicó en drench, previcur (propamocarb) + radix 1500 (ácido Indol – 3 – butírico, 150 ppm) a razón de: 1 mL y 1.5 g/ L, respectivamente. Esta actividad se realizó a los 45 dds.



Figura 22. Trasplante experimento 2.

4.10 El Riego. En este apartado se aborda la instalación, prueba de uniformidad, estimación de las necesidades hídricas del cultivo por los diferentes métodos y la aplicación de riego para cada uno de los experimentos.

4.10.1 Instalación. Se utilizaron sistemas de riego localizado diferentes para cada experimento como se describen a continuación.

Experimento 1. El sistema de riego estaba constituido por tubo de PVC de 1" para las líneas distribuidoras, donde se localizaba una electroválvula para cada línea regante las cual a su vez se constituía por poliducto de 16 mm, con goteros tipo botón cuyo gasto es de 4 lph, insertados cada 35 cm. Para cada gotero se utilizaron 4 microtubing de 50 cm y se colocaron dos estacas de riego por maceta (Figura 23). La presión de operación del sistema fue de 20 psi. El riego fue sistematizado mediante un temporizador de riego.



Figura 23. Sistema de riego experimento 1.

Experimento 2. Se instalaron electroválvulas nuevas con adaptación de 1 pulgada al tubo de PVC en la tubería principal, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, debido a que cada tratamiento requerirá diferente volumen de agua. Para esto se colocó una línea regante para cada electroválvula, utilizando poliducto de 16 mm, con gotero integrado autocompensado cuyo gasto a una presión de 20 psi es de 1.5 lph. Los goteros estaban separados cada 30 cm, y se colocó un gotero por maceta (Figura 24). El riego fue automatizado mediante un temporizador de riego (Sprinkler timer), Hunter Pro-C.



Figura 24. Sistema de riego, experimento 2.

4.10.2 Prueba de uniformidad de riego.

Para verificar el funcionamiento del sistema de riego se realizó una prueba de uniformidad de riego, la cual consistió en lo siguiente: se encendió el timer y se esperó durante un minuto para colocar un vaso de plástico debajo del gotero y con cronometro en mano se contaron 60 segundos para



Figura 25. Prueba de uniformidad de riego.

después observa el gasto arrojado (Figura 25). Para cada línea regante se hicieron 5 repeticiones, en el Cuadro 10 se muestran las observaciones obtenidas. Esto fue para el experimento 2.

Cuadro 10. Observaciones obtenidas en la prueba de uniformidad de riego (mL/min.)

Línea	Repeticiones					Promedio
	1	2	3	4	5	
1	25	26	25	27	25	25.6
2	24	25	25	26.5	26	25.3
3	25	25	26	24	23.5	24.7
4	24	25	27	24	25	25
5	25	23	25	24.5	27	24.9
Promedio total						25.1

La fórmula para determinar el coeficiente de uniformidad de riego fue la siguiente:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q} \times 100$$

Donde:

$q_{25\%}$ = promedio de los 6 datos más bajos (25%).

q = promedio de todas las observaciones.

$$CU = \frac{23.75}{25.1} \times 100 = 94.62\%$$

El coeficiente de uniformidad del sistema de riego es de 94.62%, de acuerdo a la clasificación del Cuadro A-1 del apéndice, su calificación se considera excelente.

4.10.3 Determinación de las necesidades hídricas del cultivo. A continuación se muestran los métodos utilizados para cada Experimento.

Experimento 1. Se instalaron 10 lisímetros volumétricos o de drenaje, colocando 5 para cada tratamiento y distribuidos aleatoriamente en la parcela útil (se evitaron los bordes y las orillas), los cuales se

elaboraron de tal forma que se pudiera captar el drenaje al suministrar cierta cantidad de agua (Figura 26). Para estimar las necesidades hídricas, se vaciaba un litro de solución nutritiva en una regadera de plástico para jardín y se le suministraba a cada maceta que comprendía el lisímetro, se esperaba a que drenara los excesos y se captaban en un recipiente de



Figura 26. Lisímetro volumétrico.

plástico, a la diferencia entre el volumen de entrada y el volumen de salida determinaba el consumo de agua por evapotranspiración. Por lo que un día a la semana se realizaban estas determinaciones cada dos horas, de 10:00 hasta las 16:00 horas. Y con ello se programaba el riego. Para saber la cantidad de agua por aplicar se realizaba la siguiente operación.

$$(2) \text{Volumen de agua por aplicar} = (\text{Volumen de entrada} - \text{Volumen de salida}) * 31$$

Todo expresado en mL. Por ejemplo: Si agregan 1000 mL y el drenaje es de 700 mL, quiere decir que el consumo es de 300 mL, divididos entre el gasto de 2 estacas (31 mL/min), es igual a 9.68 minutos de riego por aplicar, para cubrir la necesidad hídrica.

Experimento 2. Se utilizó un TDR 300 Fieldscout, el cual se calibro como se describe a continuación:

a) Calibración. El único método para medir la humedad del suelo o de algunos sustratos es el método gravimétrico, el cual consiste en sacar una muestra de suelo y enseguida pesarla en una báscula, una vez obtenido el peso húmedo se mete la

muestra de suelo a una estufa de secado durante 24 horas a una temperatura de 105° Celsius. Transcurrido el tiempo, se sustituyen los datos en la fórmula: % de humedad = $((\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}) * 100$, y se obtiene el porcentaje de humedad que retiene esa muestra de suelo o sustrato. Esto debe tomarse en cuenta porque los demás métodos solo estiman la humedad con diferentes técnicas, metodologías y principios, en el caso del TDR 300 es por reflectometría de dominio-tiempo, el cual mide la humedad volumétrica del suelo o sustrato. Por lo que es necesario calibrar este método con el gravimétrico para tener la certeza que los datos arrojados por el TDR son verídicos



Figura 27. Medición con TDR y pesado de botes.

y comprobar que el método será útil para determinar las necesidades hídricas del cultivo y a su vez, beneficiar al crecimiento y desarrollo del cultivo obteniendo buenos resultados. Para esto, se tomaron bolsas maceteras con 10 litros de cada sustrato y se saturaron con agua, enseguida se realizaron orificios en la parte baja de la bolsa para drenar los excesos y se esperó a que el sustrato quedará a capacidad de campo, una vez llegado a este punto se obtuvo la primera medición con el TDR (Figura 27), seguido a esto se sacó una muestra del sustrato con botes de aluminio de la misma medida que las varillas del TDR y se llevó al laboratorio para efectuar el método gravimétrico (Figura 27). Esta actividad se repitió hasta los 7 días después de la primera medición para ambos sustratos, con los datos obtenidos se realizaron las regresiones lineales (Figuras 28 y 29) correspondientes para observar la relación entre las variables.

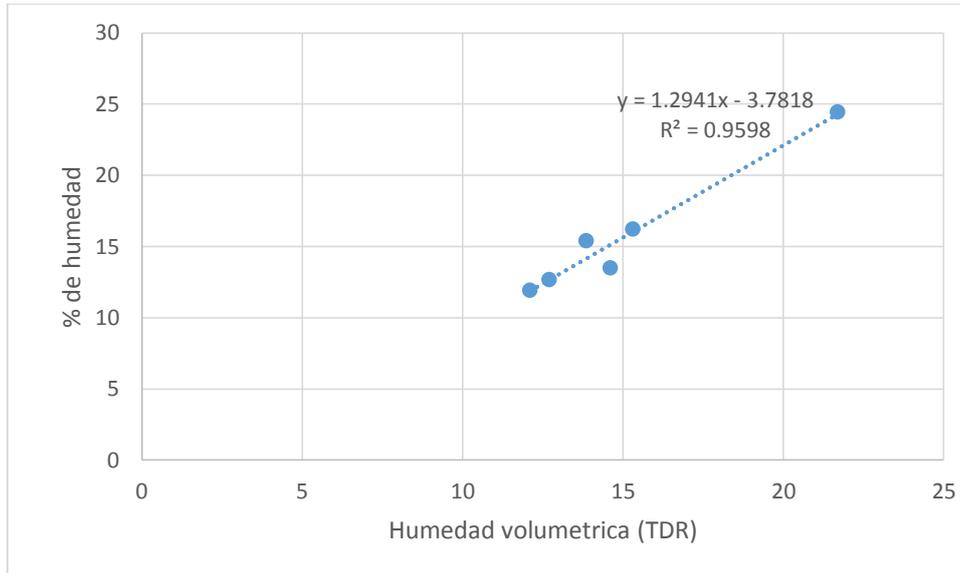


Figura 28. Regresión lineal entre el contenido de humedad volumétrica mediante TDR, y % de humedad por el método gravimétrico, en tezontle.

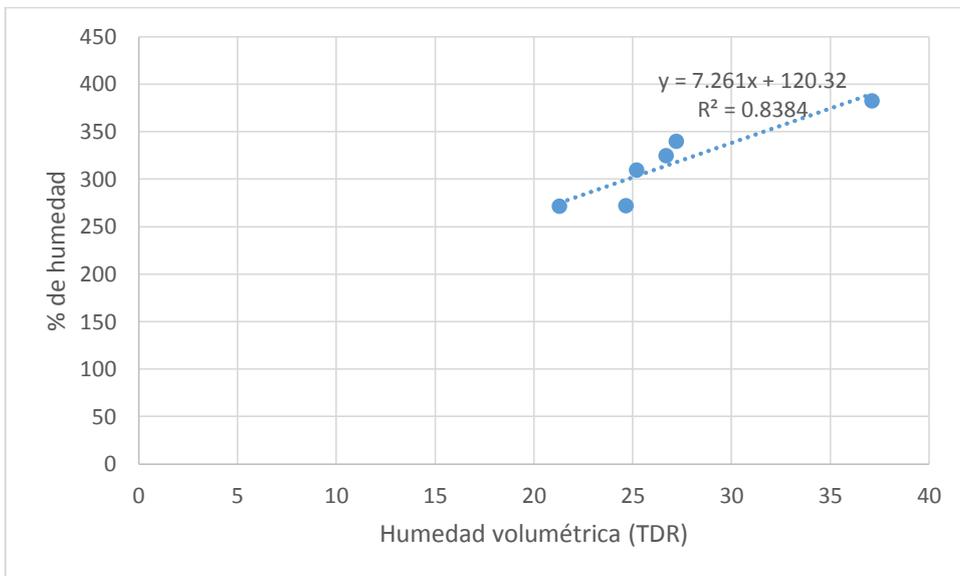


Figura 29. Regresión lineal entre el contenido de humedad volumétrica mediante TDR, y % de humedad por el método gravimétrico, en fibra de coco.

b) Determinación con TDR. Se utilizó un medidor de humedad de suelo Fieldscout TDR 300, el cual fue calibrado previo a la toma de datos. Las observaciones se determinaron de la siguiente manera: se tomó una muestra de 5 plantas por tratamiento para tomar los datos, insertando las varillas del TDR en forma vertical (Figura 30) del lado derecho e izquierdo de la maceta y el promedio era el valor que se registraba. Las



Figura 30. Medición de humedad con TDR 300 Fieldscout.

mediciones se efectuaban 1 día a la semana desde las 10:00 hasta las 17:00 horas, con la información obtenida se programaba el riego hasta llegar al día donde se colectarían los siguientes datos. Por otra parte para calcular el volumen de agua aplicado se toman en cuenta los siguientes datos:

Tezontle	Fibra de coco
Capacidad de campo = 21.7	Capacidad de campo = 37.1
Densidad aparente = 1.087 g cm ⁻³	Densidad aparente = 0.07 g cm ⁻³
Profundidad de maceta = 30 cm	Profundidad de maceta = 30 cm
Superficie de maceta = 415.477 cm ²	Superficie de maceta = 415.477 cm ²
Gasto del gotero = 25 mL min ⁻¹ .	Gasto del gotero = 25 mL min ⁻¹ .

Los valores de capacidad de campo corresponden a las lecturas con el TDR obtenidas en la calibración del equipo. Con el promedio de las 5 observaciones por tratamiento se utilizaron las formulas siguientes para el cálculo del volumen de agua por aplicar y el tiempo de riego en el timer.

$$(3) LR = [((CC-Prom.)/100) \times Dap \times Prof. \times Supr.]$$

Donde:

LR = Lamina de riego (cm³)

CC = Capacidad de campo del sustrato (% de humedad volumétrica)

Prom. = Promedio de las 5 mediciones por tratamiento (% de humedad volumétrica)

Dap = Densidad aparente del sustrato (g cm⁻³)

Prof. = Profundidad de la maceta (cm)

Supr. = Superficie de la maceta (cm²)

$$(4) \text{ Tiempo de riego (minutos)} = (LR \text{ (cm}^3\text{)})/25)$$

4.10.4 Aplicación de riego.

Experimento 1. Antes de comenzar con las mediciones y permitir que las plantas se adaptaran después del trasplante, se aplicaron 264 mL/día/planta, hasta los 15 ddt. Seguido de ello y con los datos obtenidos después de cada medición, se realizaba el calendario de riego para la semana, tomando en cuenta las necesidades hídricas (mL), se calculaba el tiempo de riego, conociendo el gasto del gotero a una presión de 20 psi, se programaba el riego en un temporizador de riegos Hunter Pro-C, con un total de 10 riegos hasta los 56 ddt, desde las 8:00 hasta las 17:00 hrs., con el volumen de agua correspondiente a las mediciones del lisímetro. A partir de los 57 ddt hasta 142 ddt, se aplicaban 12 riegos, distribuidos a las 8:00, 9:00, 10:00, 10:30, 11:00, 12:00, 13:00, 13:30, 14:00, 15:00, 16:00 y 17:00, con las cantidades de agua correspondientes a los datos obtenidos en los lisímetros en cada semana.

Experimento 2. Los riegos se aplicaron en función a las necesidades hídricas en las diferentes etapas fenológicas, programando el riego para cada tratamiento en un temporizador de riego Hunter Pro-C. El horario de riego en los días antes de la maduración del fruto fue desde las 8:00 hasta las 17:00 horas dando un riego cada hora, al inicio de la maduración se aplicaron 14 riegos, desde las 8:00 a las 18:00 horas, implementando 3 riegos a las 12:30, 13:30 y 14:30 horas, las cuales son de mayor temperatura y por ende se tiene mayor evapotranspiración.

4.11 Nutrición.

Experimento 1. Durante todo el ciclo se suministraron los nutrimentos mediante la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984), se aplicó la solución nutritiva a una conductividad eléctrica (CE) de 1.0 dSm⁻¹ desde el trasplante hasta los 30 ddt, seguido de esto se incrementó la CE a 2.0 dSm⁻¹ y se dejó hasta el final del ciclo.

En el Cuadro 11 se muestran las cantidades de fertilizante aplicado así como los micronutrimentos y los ácidos, para la preparación de la solución nutritiva para 5,000 L de agua.

Cuadro 11. Fertilizantes y cantidad requerida para la preparación de 5 m³ de solución nutritiva a una CE= 2.0 dSm⁻¹.

Fertilizantes	Formula química	Cantidad para 5,000 L de agua
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O	4720 g
Nitrato de potasio	KNO ₃	2020 g
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	1231 g
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ *7 H ₂ O	1675 g
Tradecorp AZ	Fe,Zn,Mn,Cu,MoO	40 g
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄ (98%)	258.15 mL
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄ (85%)	337.11 mL

Experimento 2. Con los datos obtenidos de los análisis, se realizó el balance de la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984). En el Cuadro 12, se muestran los resultados con las cantidades de los fertilizantes para 5 m³ de agua a una CE de 2.0 dSm⁻¹. Así mismo se observa, que la cantidad de sulfatos no se encuentra en las cantidades requeridas, debido a que faltan 35.34 ppm, sin embargo con el H₂SO₄ y la formulación de algunos micronutrientes que incluyen el azufre se podría compensar el resto. Cabe destacar que la SN se incrementaba con la etapa fenológica, manejando 1.0 dSm⁻¹ en la etapa vegetativa (1-21 ddt), 2.0 dSm⁻¹ en floración e inicio de fructificación (22-60 ddt), 2.5 dSm⁻¹ en crecimiento de fruto (60-80 ddt) y en Cosecha se incrementó a 2.8 dSm⁻¹. De ahí en adelante fue disminuyendo a medida que se cosechaba la fruta.

Cuadro 12. Balance de la solución nutritiva Steiner (1984) en mg kg⁻¹.

Requerimiento	N-NO ₃	P-PO ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S-SO ₄
	168.15	31	273	180	48	111.88
Análisis de agua	0	0	5.47	27.76	33.87	29.10
Requerimiento ajustado	168.15	31	267.53	152.25	14.13	82.78
Fertilizantes						
Nitrato de calcio	111.09			152.25		
Nitrato de potasio	57.05		181.64			5.91
Sulfato de potasio			47.34			20.83
Sulfatos de magnesio					14.13	19.70
Fosfato mono potásico		31	38.55			

a) Monitoreo de la nutrición. Con el objeto de observar el correcto crecimiento y desarrollo del cultivo y al mismo tiempo llevar el seguimiento de la nutrición del cultivo con la solución nutritiva que se elaboró, se consideraron los siguientes parámetros.

a₁) Control del pH y la conductividad eléctrica. Al estar suministrando la solución nutritiva de manera constante, los sustratos tienden a almacenar altas concentraciones de sales, por los fertilizantes que llevan los nutrimentos que la planta requiere para un óptimo desarrollo,

por lo que se dice que los sustratos tienden a ensalitrarse. Cuando esto sucede el potencial osmótico aumenta y la planta requiere de un esfuerzo mayor para absorber los nutrimentos, lo que ocasiona estrés en la planta y a su vez afecta su desarrollo, afectando el rendimiento. Sin embargo el cultivo de jitomate por naturaleza es una



Figura 31. Estructura para captación de drenaje.

planta que tolera concentraciones de sales que en otros cultivos como las berries afectarían el rendimiento en más de un 80%, por ejemplo si se tiene una conductividad eléctrica de 4 dSm^{-1} , aun con esto, el jitomate puede tolerar dicha concentración cuando llega a la etapa de maduración del fruto, pero es preferible manejar una CE adecuada a las etapas fenológicas del cultivo para obtener siempre los mejores resultados. Es por ello que se colocaron bases de varilla (Figura 31) para sostener las macetas y captar en un recipiente el drenaje de la solución nutritiva, y enseguida medir ambos parámetros, considerando que el drenaje debe resultar con un pH alcalino y una CE ligeramente mayor a la de entrada, estas condiciones determinan que la planta se encuentra en correcto funcionamiento. Las lecturas se llevaron a cabo en el laboratorio de hidrociencias. Para el pH se utilizó un potenciómetro HANNA pH 210, y para la conductividad eléctrica un conductímetro HANNA HI 255, ambos previamente calibrados.

a₂). Análisis de extracto celular de peciolo. Una manera sencilla para evaluar la nutrición de los cultivos es realizando un análisis de extracto celular de peciolo, es decir se extrae la savia para observar las concentraciones de los nutrientes, con esto se pueden corregir aquellos que no se encuentren dentro del rango de aceptación,

adicionando el fertilizante correspondiente. Es común que las concentraciones de nutrientes se encuentren desbalanceadas dentro de la planta cuando se desarrollan los cultivos en condiciones de campo, debido a la variación de los mismos, clima, enfermedades, estrés, entre otras de las problemáticas que se involucran en este sistema, por lo que se deben corregir de buena manera para beneficiar el desarrollo de la planta. En hidroponía, tiene aplicación para observar si la solución nutritiva se encuentra balanceada, y de esta forma evitar posibles deficiencias. Para obtener información rápida, al extraer la savia se miden nitratos, calcio y potasio en mg L^{-1} , mediante el uso de iónómetros los cuales miden la concentración del ion en una solución líquida, también se requiere de un fotolorímetro para medir fósforo, sulfatos, magnesio y hasta micronutrientes, con los reactivos correspondientes para cada nutrimento. Para este trabajo únicamente se utilizaron los iónómetros debido a la practicidad de éstos y asumiendo que los desbalances más comunes ocurren cuando alguno de estos nutrimentos se encuentra en menor proporción debido a que la planta requiere de ellos en mayor cantidad a los demás.

4.12 Labores agronómicas.

4.12.1 Tutorio.

Experimento 1. A los 15 ddt se realizó esta actividad, en donde se sostuvieron las plantas mediante rafia agrícola calibre 45 de color negro (con resistencia a los rayos ultravioleta evitando su ruptura y alargando su vida útil) a los rieles de acero inoxidable sostenidos a su vez a la estructura del invernadero a una altura de 2.50 metros, la rafia se guio a lo largo de la planta en forma



Figura 32. Colocación de anillo para el tutorio.

de espiral y en la base de la misma se colocó un anillo de plástico para tutorio (Figura 32). Semanalmente se repetía esta labor debido al crecimiento del cultivo.

Experimento 2. Se utilizaron ganchos de acero galvanizado enredados con 5 metros de rafia agrícola calibre 45 de color negro y se colgaron del alambre galvanizado de 5/32 sostenido en la estructura metálica del invernadero, el cual tiene la capacidad para resistir hasta 1.175 toneladas por metro lineal, seguido de esto se desenredó la rafia hasta llegar al



Figura 33. Entutorado con ganchos galvanizados.

el cuello de la planta donde se colocó un anillo de plástico para sujetar y desprender de manera rápida la rafia del tallo de la planta, la cual se guió en forma de espiral (Figura 33), semanalmente se guiaba la planta por la rafia.

4.12.2 Podas. A continuación se describen los tipos de podas realizadas.

a) Eliminación de yemas axilares (Deschuponado).

También conocidos comúnmente como chupones, son aquellas que brotan entre el tallo y el peciolo de la hoja, estas yemas son capaces de formar una nueva planta, y se deben eliminar para que no le resten energía y nutrientes al tallo principal de la planta. Para ambos experimentos la eliminación de las



Figura 34. Deschuponado.

de las yemas fue de forma manual (Figura 34), y se realizaba una vez a la semana, cabe señalar que al término de esta actividad se aplicaba vía foliar cupravit (oxicloruro de cobre) a razón de 2.5 g/L, para evitar alguna enfermedad.

Experimento 1. Para el tratamiento con 2 tallos, se dejó un yema axilar de la segunda o tercera hoja verdadera (dependiendo el caso, se seleccionó la mejor yema axilar) para que se convirtiera en el segundo tallo (Figura 35). Con esto, se obtiene una diferencia en crecimiento de un tallo a otro, es decir el principal gana en crecimiento por 3 semanas al tallo



Figura 35. Selección del segundo tallo.

secundario, por lo que la posición de los racimos no será simétrica, además se genera un área foliar mayor por unidad de superficie.

Experimento 2. . En el caso de las plantas con dos tallos, se cortó el meristemo apical a los 14 ddt, por lo que tuvieron un retraso en cuanto a fenología respecto a las plantas con un tallo, se dejaron dos chupones en forma simétrica a las hojas en desarrollo (Figura 36). De ahí en adelante esta actividad se realizó cada semana, al término se aplicaba Metalkil (Metalaxyl + clorotalonil) a razón de 1 mL/ L de agua, para evitar que algún microorganismo patógeno pudiera ingresar por la herida causada.



Figura 36. Poda del meristemo apical para las plantas con 2 tallos.

b) Flores. Para el Experimento 1 no se efectuaron podas de flores.

Experimento 2. Cuando se tienen las plantas con la nutrición correcta, es muy común que las inflorescencias contengan un alto número de flores, en el presente trabajo se encontraron racimos con inflorescencias que llegaban a tener más de 20 flores, que si se dejaran continuar su ciclo, los frutos no tendrían buen tamaño, para



Figura 37. Poda de flores para dejar 7 frutos por racimo.

evitar lo anterior y con el fin de mejorar la calidad física del fruto se eliminaron en forma manual algunas flores de cada racimo, de tal modo que solo quedarán 7 frutos por racimo (Figura 37). Esta actividad se realizaba cuando el 70% de las flores habían cuajado el fruto, para todos los tratamientos.

c) Hojas.

Experimento 1. Las podas de hoja se efectuaron de la siguiente manera: Cuando comenzaba la maduración de fruto se eliminaron las hojas basales, hasta dejar una hoja por debajo del racimo en maduración, las podas siguientes se efectuaron bajo el mismo principio, ya que al eliminar hojas, se beneficia en el sabor y color de la fruta. El quitar hojas antes de tiempo impulsa el crecimiento de la planta y la fruta no tiene un desarrollo eficiente ya que la hoja es el órgano que suministra los nutrientes al racimo en desarrollo.



Figura 38. Poda de hojas a plantas con 2 tallos.

Experimento 2. La primera poda se efectuó a los 40 ddt, eliminando en forma manual las hojas cotiledonales y la hoja siguiente, ya que se encontraban en senescencia y no les llegaba la luz para aportar energía mediante la fotosíntesis. La poda siguiente se efectuó a los 77 ddt cuando los frutos comenzaban a madurarse y solo se dejó una

hoja debajo del racimo en maduración para los tratamientos a un tallo, en el caso de las plantas con 2 tallos se eliminaron 9 hojas en total dejando de tres a cuatro hojas debajo del racimo que todavía no entraba en maduración (Figura 38), sin embargo fue necesaria la poda, para permitir una buena aireación y evitar problemas fitosanitarios debido a los días frecuentes con humedad relativa alta. Las siguientes podas se realizaron cuando los frutos comenzaban a madurarse y se dejaba una hoja por debajo del mismo.

4.12.3 Polinización. Las flores del jitomate son perfectas o hermafroditas, es decir poseen ambos sexos, y se agrupan en inflorescencias (conjunto de flores), por lo que tienen la capacidad de auto fecundarse mediante la polinización anemófila o entomófila, principalmente.

Sin embargo en condiciones de invernadero la velocidad del viento no es suficiente, además cuando no se cuenta con insectos polinizadores se deben provocar vibraciones en las plantas para permitir el desprendimiento del polen hacia el ovario, ya sea de manera manual (Figura 39) o con un carrizo de dura consistencia para golpear los alambres galvanizados que sostienen las plantas,(en este trabajo se utilizaron ambos métodos) esta actividad se debe realizar en la mañana o cuando las condiciones



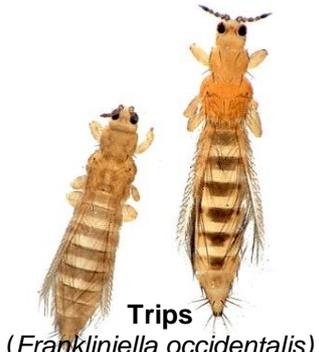
Figura 39. Inflorescencia de jitomate.

climáticas beneficiaban la viabilidad del polen, no es recomendable polinizar en horas con altas temperaturas ya que el polen se encuentra deshidratado y posiblemente no exista amarre en esa flor, concluyendo en frutos de pequeño tamaño y sin semilla. Esta técnica de polinización fue aplicada para ambos experimentos.

4.12.4 Control de plagas y enfermedades. Para ambos experimentos se presentaron los mismo problemas de plagas y enfermedades, cabe destacar que en condiciones de hidroponía se reduce considerablemente la incidencia de éstos organismos, por lo que la eliminación de los mismos resulta muy fácil, sin elevar los costos de producción significativamente por aplicaciones de productos. En el Cuadro 13, se presenta la incidencia de plagas y enfermedades, el daño que ocasiona y el

control de los mismos. Cabe señalar que las aplicaciones se iban alternando para no generar tolerancia de la plaga o enfermedad además para el caso de las plagas se utilizaron trampas pegajosas de color amarillo con el objeto de atraer los insectos fitófagos y se quedarán adheridos a la trampa. En el caso de las enfermedades, se mantenían abiertas las cortinas laterales y las ventanas cenitales para favorecer la aireación.

Cuadro 13. Plagas y enfermedades y control para ambos experimentos.

Plaga/Enfermedad	Daño/Síntoma	Control
 <p>Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación en Drench con Actara, a razón de 1g/L. • Aplicación foliar con Oberon (0.5 mL/L) + New Leverage (2 mL/L) • Aplicación foliar con Biodie (3 mL/L).
 <p>Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación foliar con Palgus (0.75 mL/L). • Aplicación foliar con Tracer (0.25 g/L)+ Evisect (1.5 g/L). • Aplicación foliar con Extracto de Neem (3 mL/L).
<p>CENICILLA (<i>Leveillula taurica</i> & <i>Oidium neolycopersicum</i>)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación foliar con Rally (1 g/L). • Aplicación foliar con azufre elemental (5 mL/L). • Aplicación foliar con cupravit (2.5 g/L)+ Metalkill (2.5 g/L).
<p>TIZON TEMPRANO (<i>Alternaria solani</i>)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación foliar con Ridomil Bravo (1.5 mL/L). • Aplicación foliar con Amistar (0.75 g/L). • Aplicación foliar con cupravit (3 gr/L).

4.13 Determinación de variables de respuesta.

Experimento 1.

a) Necesidades hídricas mediante el lisímetro volumétrico. Se tuvo un ciclo de 149 días, (21 semanas y 2 días), por lo que la primera medición se efectuó a los 15 ddt y la última a los 142 ddt, generando así 19 programas de riego. El principio bajo el cual se determinó fue mediante el uso consuntivo, ya que se agregaba cierto volumen de agua a las plantas en estudio y se captaba el drenaje (Figura 40), por lo que la diferencia entre el volumen de entrada y el de salida resultaba el consumo hídrico, con estos valores se programaban los riegos en el temporizador (timer), la única operación realizada fue dividir el



Figura 40. Determinación de las necesidades hídricas.

resultado entre el gasto de dos estacas para obtener los minutos de riego para cubrir esa necesidad, después de cierto tiempo se volvía a medir y se realizaban las mismas actividades con los datos obtenidos. Al término del día de medición, se realizaba un programa de riego para una semana, para después volver a medir el uso consuntivo y así sucesivamente.

b) Rendimiento. Se determinó el rendimiento del cultivo a 8 racimos para las plantas con un tallo, en donde se seleccionaron al azar 5 plantas y se pesaron los frutos en una balanza eléctrica (Figura 41), para obtener el rendimiento por planta. Para el tratamiento a dos tallos, el rendimiento se determinó para los 8 racimos del tallo principal, más 5 racimos del tallo secundario, al igual que el caso anterior se seleccionaron 5 plantas.



Figura 41. Pesado de la fruta.

c) Calidad física. Se obtuvo diámetro ecuatorial para clasificar las calidades de fruto respecto a la norma mexicana NMX-FF-009 y con fines de exportación según la

empresa PREMIER HORTICULTURA GROUP, S. DE R.L DE C.V. (Cuadros 15 y 16, respectivamente).

d) Eficiencia en el uso del agua. También llamada productividad de agua refiere a la cantidad de agua utilizada para producir algún bien o servicio. En este caso es la cantidad de agua utilizada para producir ciertos kg de jitomate. Para ello se utilizó la formula (5).

$$(5)Ef\ Agua = \frac{Producción\ (kg)}{Agua\ utilizada\ (m^3)}$$

e) Numero de frutos por planta. Se contaron los frutos cosechados por planta para cada tratamiento, utilizando las plantas con los lisímetros para la toma de datos.

Experimento 2

a₁) Necesidades hídricas mediante reflectometría de dominio tiempo (TDR). Por efecto de la poda del meristemo apical a los tratamientos con 2 tallos (retraso 14 en fenología), se manejaron dos ciclos de cultivo para los tratamientos con uno y dos tallos, para las plantas con un tallo se obtuvo un ciclo de cultivo de 133 días, generando 17 programas de riego, mientras que para los tratamientos a dos tallos el ciclo fue de 147 días, obteniendo 19 programas de riego. Con el TDR 300 calibrado, las mediciones se realizaban 2 veces a la semana y se obtenía un promedio semanal para registrar el consumo de agua semanal. En cuanto se obtenían las observaciones de todos los tratamientos, se programaba el riego para cubrir la demanda hídrica, para esto se obtenía la lámina de riego considerando el valor a capacidad de campo del sustrato, el promedio de las observaciones, la densidad aparente, la profundidad de la maceta, el área de maceta y el gasto del gotero y se sustituían los valores en la formula siguiente:

$$LR = [((CC-Prom.)/100) \times Dap \times Prof. \times Supr.]$$

Finalmente para saber el tiempo de riego se utilizaba la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo de riego (minutos)} = (LR\ (cm^3)/25)$$

Siendo 25 los mL por minuto de gasto del emisor.

b₂) Rendimiento. Se seleccionaron 5 plantas por tratamiento, las cuales correspondían a las plantas donde se obtenían las observaciones con el TDR. Se determinó el rendimiento por planta.

c₃) Calidad física. También consideraba como calidad comercial, se determinó el tamaño de los frutos de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-009 para jitomate

alargado, donde el tamaño se determina en base a su diámetro ecuatorial. También se clasificó de acuerdo a su peso para fines de exportación según la empresa PREMIER HORTICULTURA GROUP, S. DE R.L DE C.V. En los Cuadros 14 y 15 se muestra la referencia para las clasificaciones correspondientes.

Cuadro 14. Calificación de jitomate alargado NMX-FF-009

Tamaño	Diámetro (mm)	
	Mínimo	Máximo
Chico	38	51
Mediano	52	59
Grande	60	70
Extra grande	71	en adelante

Cuadro 15. Calificación de jitomate saladette para exportación.

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

d4) Eficiencia en el uso del agua (EUA). Se determinó por el mismo método del Experimento 1.

e5) Calidad organoléptica. Se determinó la firmeza mediante un textuómetro digital FORCE FIVE modelo FDV-30 (Figura 42), el cual mide la fuerza requerida para obtener una deformación dada. Así mismo se determinaron los grados Brix (°Brix) los cuales miden el contenido de los Sólidos Solubles Totales (SST) en jitomates consiste principalmente de azúcares (fructuosa). Para ello se utilizó un refractómetro digital pocket at-pal1 (Figura 42). Se hizo un corte longitudinal de la fruta y se presionaba para vaciarlo directamente en el refractómetro.



Figura 42. Determinación de firmeza y °Brix.

f6) Número de frutos por planta. Para este experimento se sumaron los frutos por racimo, ya que para todos tratamientos se dejaron 7 frutos por racimo.

g7) Análisis de extracto celular

de peciolo. En el cultivo de jitomate se debe cortar la hoja que se encuentra debajo del racimo en plena floración (>70% de floración), a ésta se le quitan los foliolos y el peciolo se tritura para extraer la savia. Se cortaron 3 peciolos por tratamiento respecto al racimo a evaluar, se trituraron y mediante una jeringa se depositaba la savia en los



Figura 43. Extracción celular de peciolo y análisis en los ionómetros de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ .

electrodos de los ionómetros correspondientes (Figura 43), los cuales fueron calibrados previamente.

4.14 Análisis estadístico de las observaciones experimentales. Las variables de respuesta de esta se sometieron a un análisis de varianza, y a una prueba de comparación de medias (Tukey) con una significancia del 5%. Se usó el programa estadístico SAS para la discusión de los resultados obtenidos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En base a las observaciones de las variables de respuesta de los experimentos realizados, a continuación se muestran los resultados obtenidos.

5.1 Necesidades hídricas del cultivo

Experimento 1. De acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo de jitomate con un ciclo de 149 días. En los Cuadros A-2 y A-3 del apéndice, se muestra el consumo hídrico semanal y diario de las plantas evaluadas a uno y dos tallos, respectivamente, donde en la semana cero se consideran los primeros 14 días después del trasplante, en donde aún no se iniciaban las mediciones, solo se daban riegos ligeros para mantener la humedad del sustrato. A continuación en el Cuadro 16 se muestran las necesidades hídricas totales en las plantas evaluadas de los tratamientos correspondientes.

Cuadro 16. Necesidades hídricas de jitomate en tezontle a uno y dos tallos.

Tratamiento	L Planta ⁻¹					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1	135.6	136.1	135.7	137.3	135.2	135.969 b
T2	162.3	163.3	161.6	161.5	163.2	162.393 a
FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	1	1742.400	1742.400	2536.24	<.0001	*
Error	8	5.496	0.6870			
Total	9	1747.896				

Como se observa en el Cuadro anterior, las plantas a un tallo requieren de 135.969 L para subsistir un ciclo de 149 días. Mientras que para el tratamiento con 2 tallos, se requieren de 162.393 L, quizá se piense que al tener una planta con el doble de tallos el consumo de agua debería ser paralelo, sin embargo mediante este trabajo de investigación se puede observar que la demanda hídrica solo se incrementa en un 19.43%. Mendoza (2015), reporta un incremento de 11.11% en las necesidades hídricas de jitomate a uno y dos tallos determinadas también mediante lisímetro volumétrico o de drenaje. Esta variación se puede deber a la temperatura registrada durante ese año y al método de medición ya que Mendoza realizaba mediciones diarias y eso incrementa la eficiencia en el uso del agua, mientras que en este experimento se efectuaba una vez por semana. Por otra parte Flores *et al.*, (2007), reporta un volumen aplicado de 143 L/planta a un tallo para un ciclo de 137 días, estimaciones dadas mediante un lisímetro de drenaje, las cuales son mayores a las obtenidas en la presente investigación. Mendoza (2015) a su vez reporta valores de

135 y 146 L/planta a uno y dos tallos, respectivamente para un ciclo de 154 días, los cuales son inferiores a los obtenidos en la presente investigación. La Figura 44, muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el T2 el que presente el mayor valor al tener la mayor demanda hídrica.

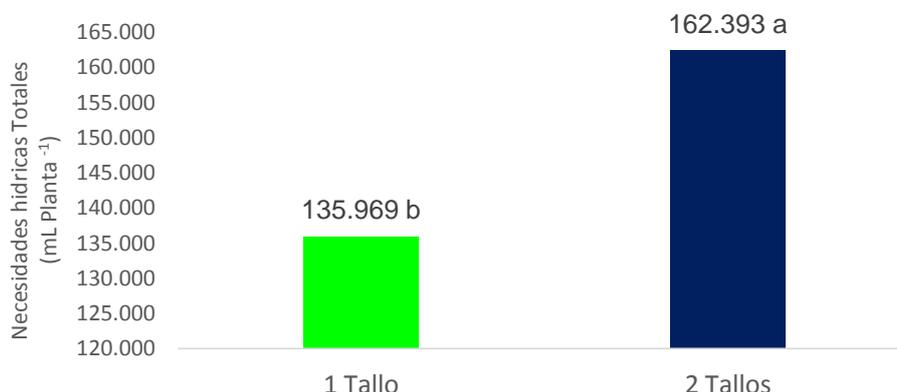


Figura 44. Necesidades hídricas en jitomate a uno y dos tallos.

En el Cuadro 17 se observa la demanda hídrica por etapa fenológica total de los tratamientos en estudio.

Cuadro 17. Consumo hídrico por etapa fenológica (Exp 1.)

Tratamiento	Etapa Fenológica	Consumo hídrico (L Planta ⁻¹)					x̄
		1	2	3	4	5	
T1: 1 Tallo	Vegetativa - Inicio de Floración	7.18	7.25	7.14	7.24	7.32	7.23 a
	Floración - Inicio de Fructificación	14.76	14.90	15.16	15.34	15.07	15.05 b
	Desarrollo de fruto	34.50	35.06	35.51	36.25	34.71	35.20 b
	Inicio - Fin de cosecha	79.13	78.85	77.88	78.52	78.08	78.49 b
T2: 2 Tallos	Vegetativa - Inicio de Floración	7.24	7.23	7.12	7.32	7.25	7.23 a
	Floración - Inicio de Fructificación	19.40	19.17	19.49	19.23	19.97	19.45 a
	Desarrollo de fruto	42.54	43.29	41.70	41.96	42.95	42.49 a
	Inicio - Fin de cosecha	93.14	93.65	93.32	92.95	93.06	93.22 a

Para la duración de la fenología los días se consideraron de la siguiente manera:

Vegetativa – Inicio de Floración = 1 – 28 ddt

Floración – Inicio de Fructificación = 29 – 49 ddt

Desarrollo de fruto = 50 – 82 ddt

Inicio – Fin de cosecha = 83 – 149 ddt

El mayor consumo de agua para ambos tratamientos es en la etapa de producción debido a su duración de 66 días, con ello podemos destacar que el consumo hídrico

durante esta etapa en promedio es de 1.19 y 1.41 L/planta/día para los tratamientos a uno y dos tallos respectivamente. Mendoza (2015) presenta un consumo de agua de 1.04 y 1.14 para la etapa de producción, los cuales son inferiores a los obtenidos en el presente trabajo. Por otra parte Flores *et al.*, (2007), presenta un consumo diario de 1.08 L para el tratamiento a un tallo, el cual es inferior al de la presente investigación. Existe diferencia significativa a partir de la segunda etapa fenológica ya que la demanda hídrica incrementa en las plantas con dos tallos para abastecer cada uno de sus componentes. En la Figura 45, se muestra el consumo diario del programa de riego que se elaboraba para una semana, durante el ciclo de cultivo.

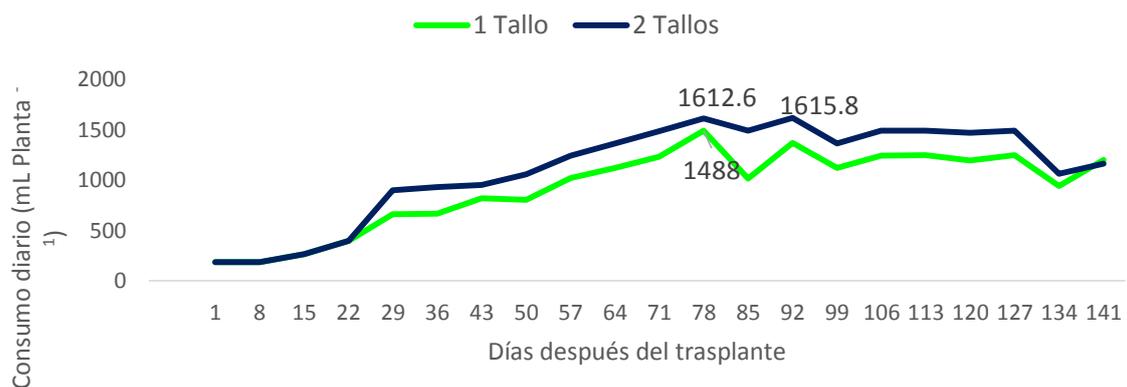


Figura 45. Consumo hídrico diario (en una semana) en mL Planta⁻¹.

En el T1 la demanda hídrica máxima ocurre en la semana correspondiente a los 78 ddt teniendo un consumo diario de 1.488 L por planta, esto se relaciona con la etapa fenológica puesto que para ese tiempo la planta estaba a 5 días de cosecha y es ahí donde se requiere de la mayor cantidad de agua para que la planta pueda abastecer todos sus componentes de manera adecuada. Por otra parte en el T2, la dinámica es un poco diferente, si bien comienza de forma similar al T1 a los 78 ddt con una demanda hídrica igual a 1.613 L/planta, existe otro momento donde la demanda es parecida al necesitar 1.616 L/planta/ y esto se puede relacionar a que en la semana correspondiente a los 92 ddt está por iniciar la cosecha del tallo secundario y por ende la demanda asciende. Para ambos tratamientos a partir de los 92 ddt la curva de demanda hídrica tiende a mantenerse en equilibrio por debajo de la demanda máxima, y presenta ligeras alteraciones al incrementar o reducir la demanda hídrica y esto obedece a que al tiempo que se colecta la fruta se realizan podas de hojas, además del efecto de la temperatura de una semana a otra. Pérez (2016) reporta un

consumo máximo de 1.400 L/planta en la etapa próxima a producción para las plantas a un tallo los cuales son similares a los obtenidos en este experimento.

Experimento 2. De acuerdo con las observaciones obtenidas mediante el uso del TDR para un ciclo de 133 días para los tratamientos 2 y 3 (Fibra 1 tallo y Tezontle 1 tallo, respectivamente) y 147 días para los tratamientos 1 y 4 (Fibra 2 tallos y Tezontle 2 tallos, respectivamente), en los Cuadros del apéndice (A-4 - A-7) se muestra el consumo hídrico semanal y diario. En el Cuadro 18, se muestran los resultados obtenidos de las necesidades hídricas con los ciclos de cultivo descritos en contexto anterior.

Cuadro 18. Necesidades hídricas en jitomate (L Planta-1).

Tratamiento	Repetición					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: Tezontle 2 Tallos	207.89	208.99	208.87	209.03	208.20	208.59 a
T2: Fibra 1 Tallo	95.74	95.50	96.16	95.68	96.00	95.82 d
T3: Tezontle 1 Tallo	152.84	153.26	153.25	153.38	153.44	153.23 b
T4: Fibra 2 Tallos	118.64	117.87	118.62	119.29	119.04	118.69 c
FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	3	36216.259	12072.087	Infty	< .0001	*
S	1	27204.900	27204.900	Infty	< .0001	*
T	1	7703.205	7703.205	Infty	< .0001	*
S*T	1	1308.1531	1308.1531	Infty	< .0001	*

Todos los tratamientos presentan diferencias significativas debido a la interacción entre el sustrato y el manejo a uno y dos tallos. Las necesidades hídricas más altas se encuentran en el tratamiento 1 ya que para un ciclo de 147 días se requieren 208.6 L de agua por planta. Mientras que el T2 es el que requiere cantidades de agua menores a los demás tratamientos, esto para un ciclo de 133 días. Si bien estas diferencias están estrechamente ligadas a las características físicas de los sustratos, ya que la fibra de coco tiene una alta capacidad de retención de humedad gravimétrica. Los valores son relativamente altos sin embargo se debe observar el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua los cuales serán los mejores indicadores en el aprovechamiento del recurso hídrico. Cabe señalar que en el año 2017 la temperatura en primavera fue muy elevada dentro del invernadero alcanzando temperaturas máximas de 40, 39, 37 ° Celsius en los meses de abril, mayo y junio, respectivamente, lo cual impulsa la transpiración y por lo tanto la demanda hídrica incrementa considerablemente. Álvarez (2015), reporta un consumo hídrico de 108.46 L para el tratamiento a 1 tallo en tezontle haciendo las determinaciones con un TDR

dejando el riego a 80% de agua aprovechable residual esto para un ciclo de 84 días, lo que promedia una demanda hídrica de 1.29 L/planta, mientras que en el presente experimento se tiene un consumo promedio de 1.15 L/planta, el cual es inferior al reportado por el autor mencionado. La Figura 46 presenta los valores de las necesidades hídricas para los tratamientos en estudio.

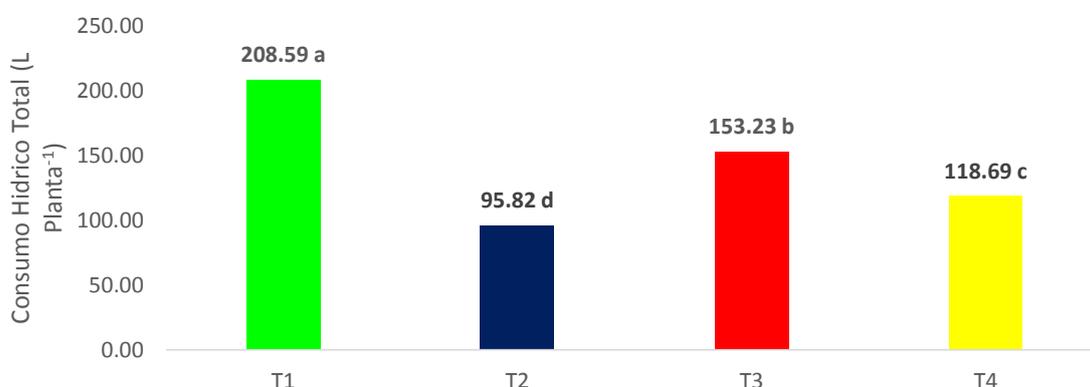


Figura. 46. Necesidades hídricas de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.

Los tratamientos con fibra de coco presentan una menor demanda hídrica debido a las características del sustrato al tener buena retención de humedad, por otra parte las necesidades hídricas de los tratamientos con tezontle muestran un incremento del 26.54% entre el tratamiento 1 y 3. El Cuadro 19 muestra el consumo hídrico por etapa.

Cuadro 19. Consumo hídrico por etapa fenológica (Exp 2).

Tratamiento	Etapa Fenológica	Consumo hídrico (L Planta ⁻¹)					Promedio
		1	2	3	4	5	
T1: Tezontle 2 Tallos	Vegetativa - Inicio de Floración	7.45	7.64	7.66	7.62	7.59	7.59 b
	Floración - Inicio de Fructificación	24.78	24.93	25.16	24.94	25.33	25.03 a
	Desarrollo de fruto	81.02	81.36	81.04	81.56	80.99	81.19 a
	Inicio - Fin de cosecha	94.64	94.92	94.94	94.84	94.00	94.67 a
T2: Fibra 1 Tallo	Vegetativa - Inicio de Floración	6.61	6.62	6.54	6.71	6.57	6.61 c
	Floración - Inicio de Fructificación	8.56	8.70	8.70	8.39	8.73	8.62 d
	Desarrollo de fruto	25.18	25.03	25.55	25.36	25.55	25.34 d
	Inicio - Fin de cosecha	55.39	55.15	55.37	55.23	55.15	55.26 d
T3: Tezontle 1 Tallo	Vegetativa - Inicio de Floración	7.97	7.95	8.22	8.29	8.32	8.15 a
	Floración - Inicio de Fructificación	20.30	20.48	20.36	20.43	20.21	20.35 b
	Desarrollo de fruto	45.98	46.50	46.38	46.57	46.71	46.43 b
	Inicio - Fin de cosecha	78.59	78.34	78.29	78.10	78.20	78.30 b
T4: Fibra 2 Tallos	Vegetativa - Inicio de Floración	6.01	6.08	6.05	6.05	6.06	6.05 d
	Floración - Inicio de Fructificación	9.10	9.19	9.39	9.20	9.39	9.25 c
	Desarrollo de fruto	44.22	44.06	44.05	44.09	43.70	44.03 c
	Inicio - Fin de cosecha	56.53	55.70	56.00	57.11	56.87	56.44 c

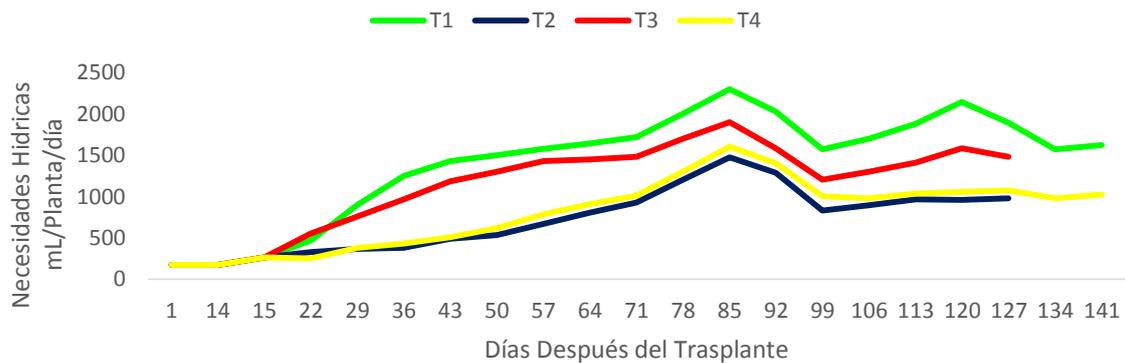


Figura 47. Necesidades hídricas de jitomate, programa de riego.

Para la duración de la fenología los días se consideraron de la siguiente manera:

Tratamientos:	1 Tallo	2 Tallos
Vegetativa – Inicio de Floración =	1 – 28 ddt	1 – 28 ddt
Floración – Inicio de Fructificación =	29 – 49 ddt	29 – 49 ddt
Desarrollo de fruto =	50 – 82 ddt	50 – 95 ddt
Inicio – Fin de cosecha =	83 – 133 ddt	96 – 147 ddt

La diferencia del ciclo de producción con los tratamientos a uno y dos tallos se debe al efecto de la poda del meristemo apical, lo cual retraso el crecimiento por dos semanas, lo cual fue necesario para tener la misma cantidad de racimos cosechados en los dos tallos. Existen diferencias significativas en el consumo hídrico por etapa fenológica, siendo los tratamientos con tezontle los más demandantes y así mismo las plantas a dos tallos. En la Figura 47 se muestran las necesidades hídricas diarias en una semana programada con el mismo riego.

A los 85 ddt se presentan el mayor consumo de agua para todos los tratamientos, ya que alcanzan la madurez fisiológica en cuanto a la fruta a excepción de los tratamientos a dos tallos, los cuales son abundantes en fruta y hojas. A la semana siguiente se hicieron poda de hojas, siendo más drástica en los tratamientos a dos tallos al eliminar 9 hojas por plantas, reduciendo la demanda hídrica. Las variaciones siguientes obedecen al cambio en la temperatura y a los colecta de frutos y poda de hojas. Claramente se observa como el efecto de los tratamientos respecto a la demanda hídrica comienza a partir de la tercera semana después del trasplante.

5.2 Rendimiento.

Experimento 1. En las plantas donde se instalaron los lisímetros se cuantificó el rendimiento a 8 racimos para las plantas a un tallo (T1) y para el tratamiento con dos tallos (T2) se cosecharon los 8 racimos del tallo principal y 5 racimos del tallo secundario, debido al manejo implementado a los mismos. En el Cuadro 20 se muestran los valores obtenidos para ambos tratamientos.

Cuadro 20. Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos.

Tratamiento	Rendimiento (kg Planta ⁻¹)					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: 1 Tallo	5.04	5.38	5.73	5.58	6.96	5.74 a
T2: 2 Tallos	6.77	5.73	5.71	5.57	5.89	5.93 a
FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	1	0.0960	0.0960	0.25	0.6297	NS
Error	8	3.0588	0.3824			
Total	9	3.15484				

El tratamiento con dos tallos tiene en promedio el valor más alto en rendimiento con 5.93 kg, y su tendencia debería obedecer a ser el mejor tratamiento, sin embargo suceden dos factores importantes que se deben considerar. El primero es la densidad de plantación, para el T1 es de 3 pl m⁻², y así mismo para el T2, sin embargo el número de tallos es de 6 por m², es decir son más tallos con producción por unidad de superficie. El otro factor es el número de racimos cosechados, ya que para el T1 se cuantificó el rendimiento a los 8 racimos, mientras que para el T2 fueron los 8 racimos del tallo principal más 5 racimos del tallo secundario, es decir 13 racimos por planta. Si bien existe diferencia numérica, mas no significativa. Mendoza (2015) reporta rendimiento de 6.55 y 5.91 kg planta⁻¹, con una cosecha de 10 racimos. Los cuáles serán menores a los del presente experimento si se consideraran los mismos racimos. Y esto puede deberse a que en el presente experimento la demanda hídrica es mayor. En la Figura 48 se muestra el rendimiento promedio de las plantas a uno y dos tallos. Estos valores indican un rendimiento de 17.21 y 17.802 kg/planta m⁻², respectivamente, resultados similares a los que presenta De la rosa *et.al.*, (2016).

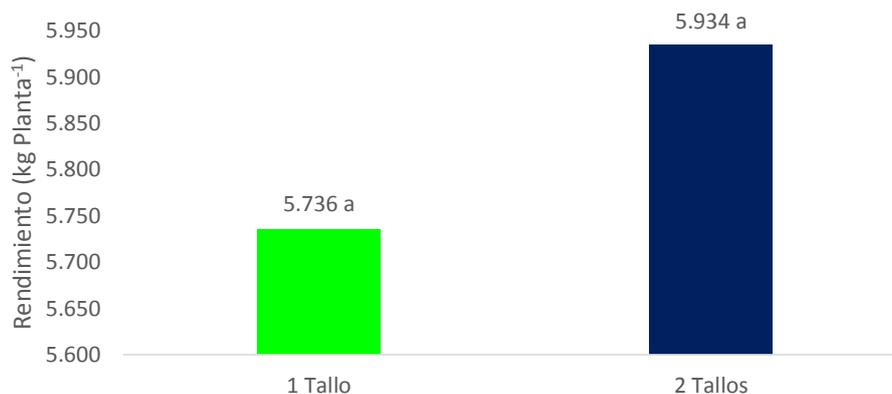


Figura 48. Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos (kg Planta⁻¹).

Experimento 2. De acuerdo a los datos obtenidos de las 5 plantas evaluadas a 6 racimos para los tratamientos con un tallo y 12 racimos para las plantas con 2 tallos, en el Cuadro 21 se observan los resultados de cada tratamiento.

Cuadro 21. Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.

Tratamiento	kg Planta ⁻¹					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: Tezontle 2 Tallos	10.57	10.24	10.35	10.50	10.35	10.40 a
T2: Fibra 1 Tallo	5.04	5.36	5.11	5.01	5.40	5.19 d
T3: Tezontle 1 Tallo	6.17	6.12	6.43	6.27	6.59	6.31 c
T4: Fibra 2 Tallos	8.93	9.02	9.01	9.24	8.82	9.00 b

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	3	86.23	28.740	Infty	< .0001	*
S	1	8.00	8.00	Infty	< .0001	*
T	1	78.131	78.131	Infty	< .0001	*
S*T	1	0.088	0.088	Infty	< .0001	*

El tratamiento 1 tiene el mayor rendimiento en kg/planta respecto a los demás, sin embargo se deben considerar algunos aspectos para determinar si realmente es el mejor tratamiento, por ejemplo, en promedio el peso de cada racimo evaluado es de 867 gramos, para el T2, T3 y T4 fueron de 865 gramos, 1.051 kg y 750 gramos, respectivamente. Es decir en el T3 se tiene la fruta con mayor peso. Mendoza (2015), al evaluar 10 racimos muestra valores de 655 y 591 gramos para los tratamientos a uno y dos tallos respectivamente, los cuales son inferiores a los del presente trabajo, y esto se debe principalmente al efecto de la nutrición, ya que en este experimento fue ascendiendo de manera proporcional al crecimiento de la planta y Mendoza, únicamente utilizó una conductividad de 2.0 dSm⁻¹ para el desarrollo, producción y fin

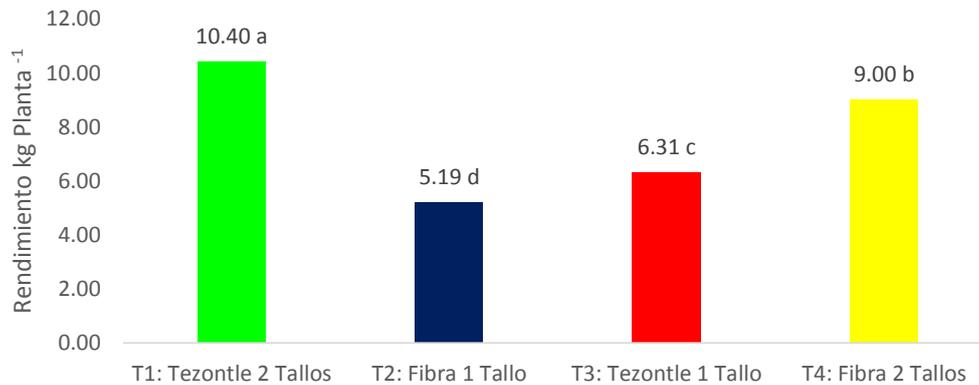


Figura 49. Rendimiento de jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.

de ciclo. Por otra parte Pérez (2016) al evaluar distintos foliares en jitomate con una densidad de 1.2 pl/m² en el rendimiento de 5 racimos obtuvo un promedio de 595 gramos por racimo en plantas a un tallo el cual es inferior al obtenido en la investigación. La Figura 49 muestra que existe diferencia significancia entre los tratamientos, siendo los de dos tallos quienes presentan el mayor rendimiento al tener el doble de racimos cosechados, mientras que el T3 presenta mayor rendimiento que el T2 y se asocia al volumen de agua suministrado para cada tratamiento.

Alvarez (2015) obtuvo un rendimiento de 1.51 kg/planta, al cosechar 16 frutos en 4 cortes para el tratamiento con 80% de humedad aprovechable, el cual promedia un peso de 94.38 gramos por fruta, mientras que en la presente investigación se tiene un peso promedio de 150 g por fruta y esto se debe a que el agua que se ahorra hace que se pierda un 37% de crecimiento en la fruta lo cual impacta directamente en el rendimiento.

5.3 Calidad física.

Experimento 1.

De acuerdo a los datos obtenidos en los Cuadros 22 y 23 se muestra el diámetro ecuatorial y el peso del fruto (g) para su clasificación. Cabe señalar que para las plantas a dos tallos se promediaron los racimos a partir 4 al 8, con los racimos del tallo secundario dado que el tiempo de cosecha fue el mismo para los antes descritos.

Cuadro 22. Diámetro ecuatorial promedio de la fruta (mm). Exp 1.

Tratamiento	Racimo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T1 : 1 Tallo	59.33 a	54.47 a	47.86 a	52.88 a	49.39 a	45.25 a	45.55 a	51.36 a
T2: 2 Tallos	52.94 b	53.23 a	48.76 a	45.35 b	44.73 b	42.49 a	38.88 b	44.21 b

Cuadro 23. Peso promedio de la fruta (g) Exp 1.

Tratamiento	Racimo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T1 : 1 Tallo	140.60 a	117.99 a	88.66 a	104.72 a	88.20 a	80.10 a	72.58 a	90.45 a
T2: 2 Tallos	117.50 b	105.58 a	77.19 a	72.63 b	66.98 b	57.10 b	53.98 b	56.31 b

Para ambos cuadros se observa que el tratamiento 1 es el que presenta los valores más altos de diámetro ecuatorial y peso de frutos, respectivamente. Debido a que se tenían menos por plantas por unidad de superficie y se aprovechaba de mejor forma la radiación. Existen diferencias significativas entre el T1 y T2, siendo el primero quien presenta los mejores valores en cuanto a diámetro y peso de fruto, debido al mejor aprovechamiento de la radiación por la densidad de plantación. En el Cuadro 24, se presenta la clasificación de la fruta según la norma mexicana NMX-FF-009 para jitomate alargado.

Cuadro 24. Clasificación de jitomate mediante la norma mexicana Exp 1.

Tratamiento	Numero de frutos	NMX-FF-009			
		Grande	Mediano	Chico	Desecho
T1 : 1 Tallo	57	10 a	28 a	19 b	0 b
T2: 2 Tallos	83	0 b	18 a	59 a	6 a

Esta norma clasifica la fruta de jitomate para el consumo fresco en base al diámetro ecuatorial, y el rango que toma para los tamaños es muy alto debido a que en el mercado nacional entre más grande se encuentre la fruta es de mejor calidad, así se maneja en la mayoría de los mercados mexicanos durante la comercialización. En promedio de las frutas muestreadas para el tratamiento 1 se tiene que el 17.54% es clasificado como fruta grande, el 49.13% como fruta mediana que es el tamaño más comercial, y finalmente un 33.33% de la fruta es chica. Mientras que para el tratamiento 2 no hay fruta grande y se tiene un 21.69% de fruta mediana, 71.08% de

fruta chica o de tercera calidad y 7.23% de fruta con un diámetro menor a 38 mm que se clasifica como desecho o fruta canica. En la Figura 50 se muestran los porcentajes de la fruta clasificada mediante la norma mexicana NMX-FF-009 para jitomate alargado.

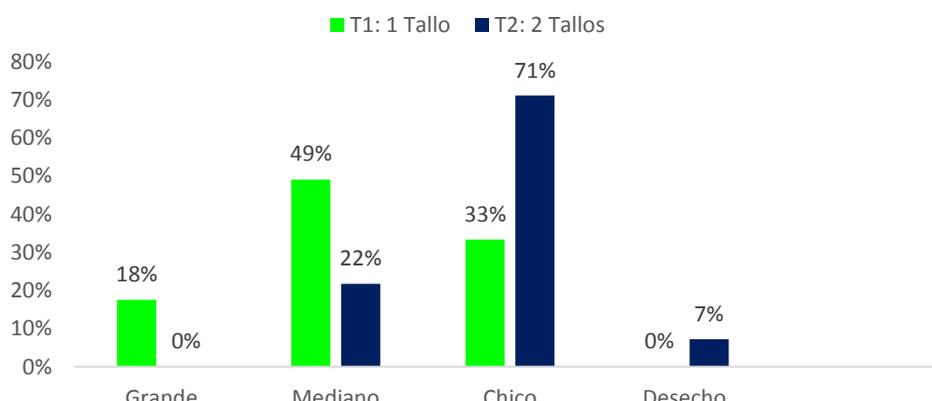


Figura 50. Clasificación de jitomate por la Norma mexicana (Exp 1).

En el Cuadro 25 se muestra la clasificación de jitomate con fines de exportación según la empresa PREMIER HORTICULTURA GROUP, S. DE R.L DE C.V.

Cuadro 25. Clasificación de jitomate para exportación Exp 1.

Tratamiento	Numero de frutos	PREMIER HORTICULTURA GROUP, S DE R.L DE C.V.			
		Extra Grande	Grande	Mediano	Chico
T1 : 1 Tallo	57	12 a	37 a	8 b	0
T2: 2 Tallos	83	0 b	36 a	43 a	4

En esta clasificación también se incluye el diámetro ecuatorial de la fruta y el peso, sin embargo para este trabajo se clasifico únicamente por el diámetro ecuatorial. A diferencia de la clasificación anterior, en ésta los tamaños son menores debido a los requerimientos para la comercialización. En la Figura 51 se muestra el porcentaje de fruta según su calidad para los tratamientos evaluados.

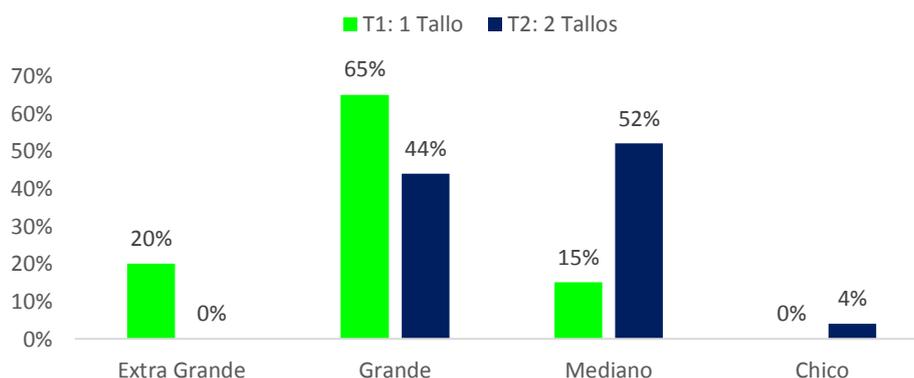


Figura 51. Clasificación de jitomate para exportación (Exp 1).

Mediante las clasificaciones descritas se puede elegir la venta del producto dependiendo del precio en ambos mercados, ya que por el tamaño, para venta nacional se esperaría un precio bajo debido a que la calidad requerida son jitomates muy grandes, mientras que para exportación e incluso algunas tiendas comerciales prefieren el jitomate de tamaño mediano y chico. Mendoza (2015), para el tratamiento con 1 tallo reporta el 69% de fruta de primera calidad clasificado como grande, utilizando el software Minitab, el cual maneja valores bajos en cuanto a tamaño. Mientras que para las plantas a dos tallos tiene el 49% de frutos grandes. Cabe señalar que no cuenta con clasificación de fruta extra grande y además presenta 1.66% y 1.05% de fruta canica para el tratamiento a uno y dos tallos, respectivamente. Los valores descritos son inferiores a los obtenidos en la presente investigación y pueden obedecer al mayor volumen de agua aplicado.

Experimento 2.

En los Cuadros 26 y 27 se muestran los resultados promedio del diámetro ecuatorial y el peso de la fruta en los 6 racimos evaluados para las plantas a un tallo y para los tratamientos con dos tallos se promediaron los racimos en el mismo orden de crecimiento.

Cuadro 26. Diámetro ecuatorial promedio de la fruta (mm) Exp 2.

Tratamiento	Racimo					
	1	2	3	4	5	6
T1 : Tezontle 2 Tallos	57.02 b	56.28 b	55.59 b	54.46 b	54.53 b	53.76 b
T2: Fibra 1 Tallo	56.72 b	55.82 b	55.26 b	54.76 b	52.72 c	52.88 b
T3: Tezontle 1 Tallo	60.55 a	60.37 a	60.09 a	58.17 a	60.75 a	60.91 a
T4: Fibra 2 Tallos	54.68 b	52.95 c	51.84 c	50.35 c	50.54 d	50.82 c

Cuadro 27. Peso promedio de la fruta (g) Exp 2.

Tratamiento	Racimo					
	1	2	3	4	5	6
T1 : Tezontle 2 Tallos	134.31 b	125.61 b	125.94 b	118.76 b	117.71 b	117.21 b
T2: Fibra 1 Tallo	134.57 b	133.06 b	133.43 b	118.74 b	110.17 c	107.23 b
T3: Tezontle 1 Tallo	159.83 a	156.97 a	154.06 a	135.94 a	148.94 a	150.49 a
T4: Fibra 2 Tallos	121.51 b	111.21 c	106.04 c	99.94 c	102.06 d	102.50 c

El tratamiento que presenta el mayor peso y diámetro de fruta es el T3, traducido a mejor calidad física. En el Cuadro 28 se muestra la clasificación de jitomate para consumo fresco de la norma mexicana.

Cuadro 28. Clasificación de jitomate por la norma mexicana (Exp2).

Tratamiento	Numero de frutos	NMX-FF-009		
		Grande	Mediano	Chico
T1 : Tezontle 2 Tallos	84	15 b	60 a	10 b
T2: Fibra 1 Tallo	42	8 c	26 c	8 b
T3: Tezontle 1 Tallo	42	27 a	15 d	0 c
T4: Fibra 2 Tallos	84	5 c	40 b	39 a

La mayor calidad según la norma mexicana NMX-FF-009 se presenta en el T3, al tener 64.29% de frutos clasificados como grandes o de primera calidad. Esto se debe a que la nutrición manejada beneficiaba más a los tratamientos a un tallo al mantener la solución nutritiva con una $CE=2.8 \text{ dSm}^{-1}$, como máximo. Los tratamientos con fibra de coco presentan menor calidad y esto obedece a que al ser un sustrato con buena retención de humedad se suministraba menos volumen de agua, pues al medir con el TDR la demanda era muy baja, y esto se traducían a una menor nutrición puesto que los riegos que se daban incluían a la solución nutritiva en todo momento, a excepción de cuando se hacían lavados para evitar la salinidad de los sustratos. En la Figura 52 se muestran los porcentajes respecto a la clasificación de los frutos evaluados.

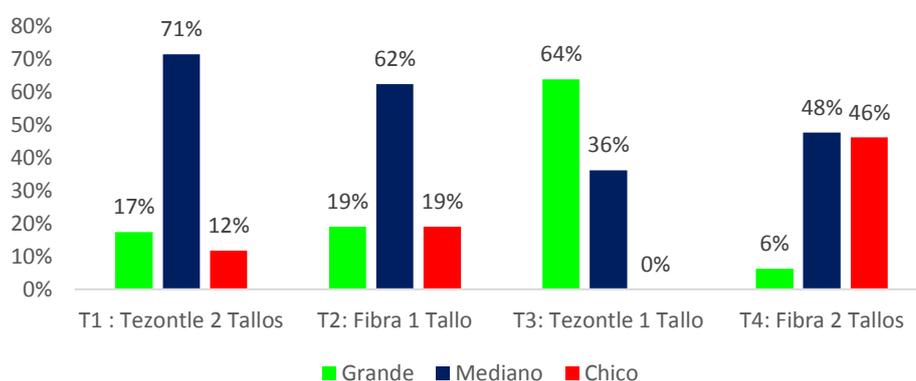


Figura 52. Clasificación del fruto de jitomate mediante la NMX-FF-009 (Exp 2).

El Cuadro 29 muestra la clasificación del jitomate con fines de exportación, la cual es menos exigente en cuanto a tamaño, por lo que se puede apreciar que en todos los tratamientos la mayor parte de la información se encuentra en las primeras calidades (extra grande y grande).

Cuadro 29. Clasificación del jitomate para exportación (Exp 2).

Tratamiento	Numero de frutos	PREMIER HORTICULTURA GROUP, S DE R.L DE C.V.			
		Extra Grande	Grande	Mediano	Chico
T1 : Tezontle 2 Tallos	84	41 a	43 b	0 b	0
T2: Fibra 1 Tallo	42	24 b	18 c	0 b	0
T3: Tezontle 1 Tallo	42	41 a	1 d	0 b	0
T4: Fibra 2 Tallos	84	21 b	61 a	2 a	0

Solo en el tratamiento 4 se han clasificados 2 frutos como calidad mediano, lo que representa el 2.3% (Figura 53) del total de los frutos evaluados. Por lo tanto mediante esta clasificación, la comercialización hacia el mercado extranjero quedaría en las mejores condiciones.

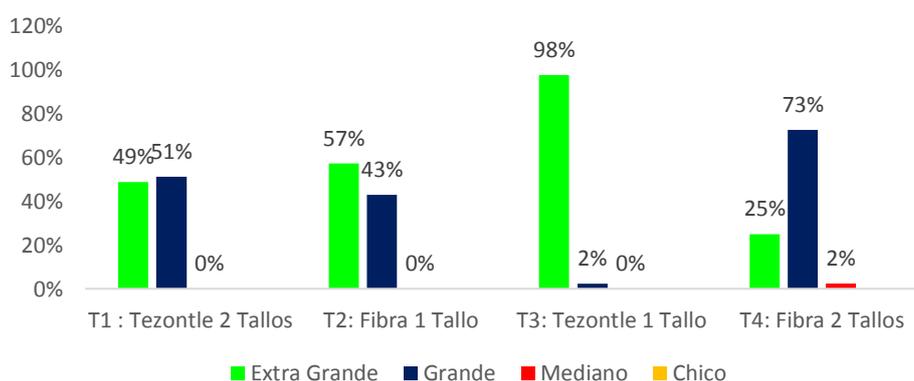


Figura 53. Clasificación de jitomate para exportación (Exp 2).

Pérez (2016), utilizando la misma clasificación para exportación, obtuvo el 40% como fruta extra grande y el 60% de la fruta, grande. Esto fue para racimos con 6 frutas, para jitomate cid f1 a un tallo en tezontle. Ambos resultados son inferiores a los obtenidos en la presente investigación y esto puede deberse a la nutrición utilizada durante el ciclo de cultivo.

5.4 Eficiencia en el uso del agua (EUA). También llamada productividad del agua. Para ambos experimentos se traduce en los kilogramos que se pueden producir con 1000 litros de agua.

Experimento 1. En el Cuadro 30 se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 30. Eficiencia en el uso del agua en jitomate (Exp 1).

Tratamiento	EUA (kg m ⁻³)					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1	37.19	39.52	42.21	40.61	51.45	42.19 a
T2	41.73	35.07	35.30	34.52	36.08	36.54 a
FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	1	79.9758	79.9758	4.12	0.0769	NS
Error	8	155.3997	19.4125			
Total	9	235.2756				

En rendimiento el T2 fue quien tuvo los mejores resultados, lo cual apuntaría que sería el mejor de los tratamientos, sin embargo no para el objetivo de la investigación, como se muestra en el cuadro anterior por cada 1000 litros de agua se producen 42.19 kg de jitomate para el T1 y 36.54 kg para el T2 (Figura 54), es decir con la misma cantidad de agua se está produciendo más fruta en el T1. Mendoza (2015), obtuvo un eficiencia de 49 y 41 kg/m³ para el T1 y T2, respectivamente los cuales son mayores a los de la presente investigación, sin embargo Mendoza evaluó la producción hasta el décimo racimo y en la investigación presente solo se trabajó al racimo 8.

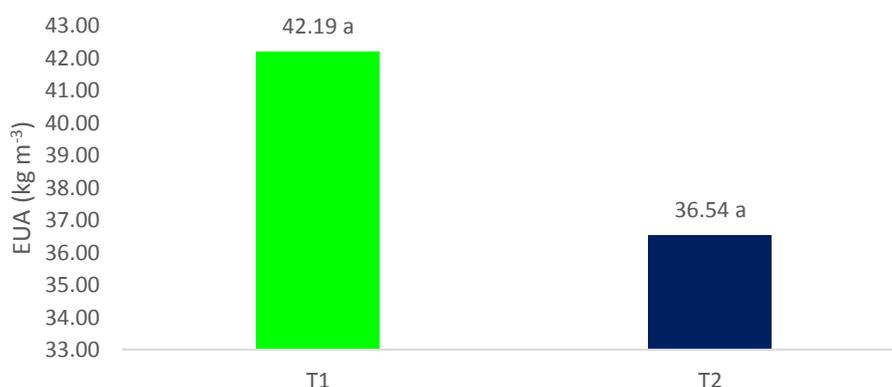


Figura 54. Productividad del agua (Exp 1).

Si existe diferencia numérica, mas no es significativa en la eficiencia en el uso del agua por lo que ambos tratamientos presentan una productividad del agua similar, sin embargo se destaca que la producción en el T2 fue mayor, no así el peso de la fruta. **Experimento 2.** En el Cuadro 31 se muestran los resultados de la productividad del agua.

Cuadro 31. Eficiencia en el uso del agua (Exp 2).

Tratamiento	Eficiencia en el uso del agua kg m ⁻³					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: Tezontle 2 Tallos	50.84	48.97	49.53	50.24	49.69	49.86 c
T2: Fibra 1 Tallo	52.67	56.17	53.18	52.38	56.20	54.12 b
T3: Tezontle 1 Tallo	40.36	39.92	41.92	40.89	42.94	41.21 d
T4: Fibra 2 Tallos	75.30	76.56	75.93	77.42	74.11	75.86 a

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	3	3283.76	1094.58	Infty	< .0001	*
S	1	1769.08	1769.08	Infty	< .0001	*
T	1	1255.48	1255.48	Infty	< .0001	*
S*T	1	259.20	259.20	Infty	< .0001	*

La eficiencia de uso de agua se vincula con la capacidad de retención de humedad de los sustratos, entre más humedad se retenga menor será el volumen de riego aplicado, dado a las mediciones con el TDR, en el sustrato de fibra de coco el tiempo de riego fue muy inferior a los tratamientos con tezontle, por la alta capacidad de retener humedad, sin embargo el rendimiento no fue el esperado debido a que la fruta no obtuvo el peso y tamaño esperado, esto hace referencia a la falta de humedad y nutrientes. En general los resultados de la productividad de agua son muy buenos pues con 1000 litros de agua se producen casi 50 kg de jitomate en el T1, y 41 kg para el T3, lo que es interesante son las cantidades que presentan los tratamientos con fibra de coco ya que para el T2 se producen hasta 54 kg y para el T4 la cantidad de 75.8 kg lo cual indica que para producir 1 kg de jitomate se necesitan solo 13.19 L de agua, Salazar (2014) reporta para un sistema hidropónico cerrado 4 L de agua para producir 1 kg de jitomate y 15 L para producir 1 kg en un sistema hidropónico con invernadero holandés, este último dato se asemeja al valor obtenido del T4, en el cual cabe señalar que si se obtuvo una mayor eficiencia en el uso del agua, la fruta no fue de la mejor calidad en cuanto a tamaño, esto indica que si se agregara un volumen más elevado la EUA bajaría considerablemente.

Salazar (2014) indica que en Holanda la productividad del agua es de 52 kg/m³ para invernaderos de alta tecnología y hace una comparación entre el método de producción en campo y en invernadero de mediana tecnología donde la eficiencia en el uso del agua es de 37 kg/m³ en invernadero y de 16 a 20 kg/m³ en condiciones de campo. Es decir en promedio la eficiencia del agua en invernadero es 2 veces mayor que en campo. Por otro lado, Antón *et al.*, (2003) mencionan que la

evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a la del aire libre, por lo que en general, la producción bajo invernaderos incrementa la eficiencia en el uso del agua por tres razones: 1) Se reduce la evapotranspiración (menor radiación, mayor humedad), 2) Incremento de los rendimientos debido a un mejor control de plagas y enfermedades y 3) Técnicas avanzadas de riego (riego por goteo y reúso del agua). En la Figura 55 se muestra la significancia en la productividad del agua para los tratamientos en estudio.

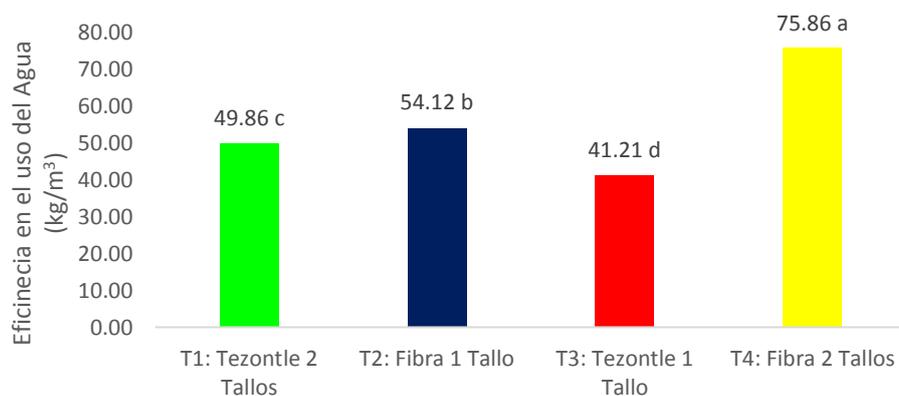


Figura 55. Productividad del agua (Exp 2).

Existe diferencia significativa en cuanto la productividad del agua siendo el T4 quien presenta el mayor valor debido a la capacidad de retención de humedad del sustrato y al volumen de agua aplicado.

Álvarez (2015) reporta una productividad de 43.30 kg/m³, para las plantas a un tallo en tezontle, el cual es inferior al obtenido en la investigación, lo cual indica un mayor peso de la fruta en este experimento, ya que el consumo de agua fue mayor al reportado por el autor descrito.

5.5 Calidad organoléptica.

En los Cuadro 32 y 33 se muestran los resultados de los grados °Brix del fruto (solidos solubles totales), y firmeza (N), respectivamente.

Cuadro. 32 Sólidos solubles totales en jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.

Tratamiento	°Brix				Promedio
	1	2	3	4	
T1: Tezontle 2 Tallos	4.60	4.60	5.10	6.30	5.15 a
T2: Fibra 1 Tallo	4.40	4.30	4.00	4.20	4.23 a
T3: Tezontle 1 Tallo	4.10	4.50	4.50	4.60	4.43 a
T4: Fibra 2 Tallos	4.40	4.30	4.90	5.10	4.68 a

De manera general los sólidos solubles totales en jitomate saladette oscilan en un rango de 4 a 6, valores por debajo de 4 indican que la fruta fue cosechada en etapa temprana antes de alcanzar su madurez fisiológica. Mendoza (2015), obtuvo valores de 4.67 y 4.65 para los tratamientos a uno y dos tallos, respectivamente en donde no existía diferencia significativa.

En este experimento se obtiene la mayor cantidad de °Brix en el tratamiento 1 en donde se tiene un área foliar mayor a los tratamientos a un tallo, por lo que se eficiente la fotosíntesis y elaboración de azúcares. En la Figura 56 se muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

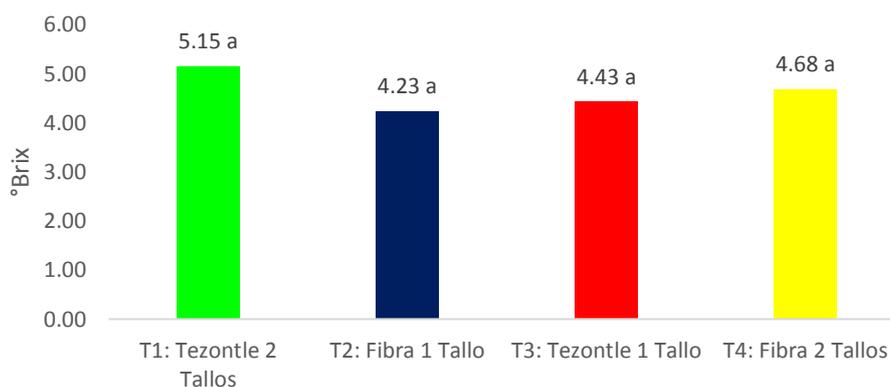


Figura 56. Sólidos solubles totales (°Brix).

Cuadro 33. Firmeza en jitomate a uno y dos tallos en tezontle y fibra de coco.

Tratamiento	Firmeza (Newton)				Promedio
	1	2	3	4	
T1: Tezontle 2 Tallos	1.63	1.95	1.54	1.5	1.66 a
T2: Fibra 1 Tallo	1.84	1.80	1.85	1.83	1.83 a
T3: Tezontle 1 Tallo	1.68	2.11	1.83	1.80	1.86 a
T4: Fibra 2 Tallos	1.75	1.33	1.74	1.80	1.66 a

No existe diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 57), es decir la firmeza del jitomate es similar. Sin embargo existe diferencia numérica en los tratamientos a 1 tallo con los de 2 tallos y esto se debe a que las plantas a un tallo quedan más expuestas a la radiación por lo que la pared celular engrosa para proteger la semillas del fruto lo que concluye en un jitomate con buena firmeza. Por otra parte el contenido de calcio en la solución nutritiva fue el adecuado, lo cual beneficia la firmeza y vida de anaquel.

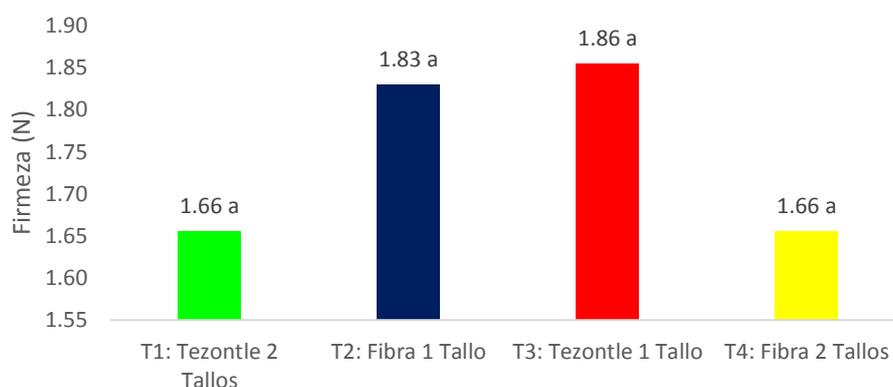


Figura 57. Firmeza en jitomate.

5.6 Numero de frutos

Experimento 1. En el Cuadro 35, se muestra el número de frutos por planta que se obtuvieron durante la cosecha de 8 racimos en el T1 y 13 racimos en el T2.

Cuadro 34. Número de frutos por planta (Exp 1).

Tratamiento	Planta					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: 1 Tallo	55	56	57	57	60	57.0 b
T2: 2 Tallos	87	80	85	81	83	83.2 a
FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	SIG
Tratamiento	1	1716.100	1716.100	293.35	<.0001	*
Error	8	46.800	5.8500			
Total	9	1762.900				

En este experimento no se realizaron podas de flores y se dejaron todos los jitomates que pudiera abastecer el racimo, es por ello que el tamaño y el número de frutos no fue igual para todas las plantas y el T2 no representa el doble de frutos como tendría que ser, además el primer racimo del tallo secundario se presentó cuando estaba en

floración el cuarto racimo del tallo principal. Mendoza (2015), obtuvo 62 y 78 frutos por planta hasta el décimo racimo, para el T1 y T2, respectivamente, en éste último fue inferior a los obtenidos en la presente investigación. La Figura 58 muestra que existe diferencia significativa entre el T2 y T1. Cabe señalar que en cuanto al número de frutos fue mejor el T2, mas no así en calidad.

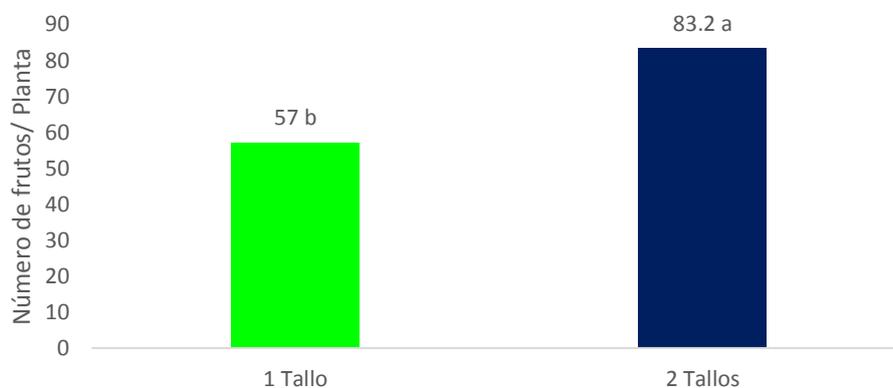


Figura 58. Número de frutos por planta.

Experimento 2.

Para este trabajo se dejaron solo 7 frutos por racimo por lo que los valores fueron iguales para todas las plantas (Cuadro 35).

Cuadro 35. Número de frutos por planta (Exp 2).

Tratamiento	Número de frutos Planta ⁻¹					Promedio
	1	2	3	4	5	
T1: Tezontle 2 Tallos	84	84	84	84	84	84 a
T2: Fibra 1 Tallo	42	42	42	42	42	42 b
T3: Tezontle 1 Tallo	42	42	42	42	42	42 b
T4: Fibra 2 Tallos	84	84	84	84	84	84 a

5.7 Valores de pH y Conductividad eléctrica en drenaje de los sustratos. En los Cuadros 36 y 37, se muestran los valores obtenidos de pH y CE, respectivamente.

Cuadro 36. Valores de pH en el drenaje de los sustratos.

Etapa Fenológica	T3: Tezontle 1 Tallo	T1: Tezontle 2 Tallos	T2: Fibra de coco 1 Tallo	T4: Fibra de coco 2 Tallos
Vegetativa - Inicio de floración	7.35	7.20	7.32	7.25
Floración - Inicio de fructificación	7.56	7.88	7.21	7.33
Desarrollo de fruto	7.40	7.36	7.48	7.44
Inicio de cosecha	7.46	7.81	7.24	7.06
Fin de cosecha	7.08	7.36	7.28	7.25

El pH de la solución nutritiva fue de 5.8 y los valores del cuadro anterior representa el pH de salida el cual se mantiene alcalino para todas las etapas fenológicas, por lo que es un buen indicador de que la nutrición fue la adecuada, ya que la planta al metabolizar libera por las raíces radicales OH^- lo cual vuelve alcalino la solución de salida.

Cuadro 37. Valores de Conductividad eléctrica (dSm^{-1}) en el drenaje de los sustratos.

Etapa Fenológica	T3: Tezontle 1 Tallo	T1: Tezontle 2 Tallos	T2: Fibra de coco 1 Tallo	T4: Fibra de coco 2 Tallos
Vegetativa - Inicio de floración	1.1	1.1	1.3	1.3
Floración - Inicio de fructificación	1.8	1.7	2.2	2.0
Desarrollo de fruto	2.6	2.5	2.7	2.6
Inicio de cosecha	2.7	2.4	2.5	2.4
Fin de Cosecha	3.1	2.5	3.2	2.8

La salinidad en el sustrato incrementa al tiempo del crecimiento de la planta, además la CE de la solución nutritiva se incrementa con las etapas fenológicas y con ello la demanda hídrica. Después de cada medición se aplicaba 1 día riegos con agua acidulada a un pH de 5.0 para evitar el acumulamiento de sales.

5.8 Análisis de extracto celular de peciolo.

En el Cuadro 38 se observan las concentraciones iónicas del extracto de peciolo en jitomate, durante las etapas fenológicas.

Los valores obtenidos son similares a los reportados por Castellanos (2004) los cuales indican los rangos óptimos para jitomate en invernadero. En la etapa de fructificación se muestra un incremento en los valores de potasio (Figura 59) debido a que es el nutrimento que se requiere en mayores cantidades, respetando el balance entre el Ca^{2+} y K^+ , no se tuvo problema de payaseado.

Cuadro 38. Análisis de extracto celular de peciolo en jitomate, en mg L⁻¹.

Etapa	Tratamiento	N-NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	K ⁺
Vegetativa	Tezontle 1 Tallo	971.37	200	5600
	Tezontle 2 Tallos	677.7	230	5100
	Fibra de coco 1 Tallo	993.96	190	5600
	Fibra de coco 2 Tallos	813.24	290	5300
Floración	Tezontle 1 Tallo	790.65	240	5400
	Tezontle 2 Tallos	881.01	260	5200
	Fibra de coco 1 Tallo	790.65	230	5500
	Fibra de coco 2 Tallos	881.01	240	5300
Fructificación	Tezontle 1 Tallo	993.96	210	6000
	Tezontle 2 Tallos	903.6	230	5800
	Fibra de coco 1 Tallo	1016.55	200	6000
	Fibra de coco 2 Tallos	948.78	240	5900

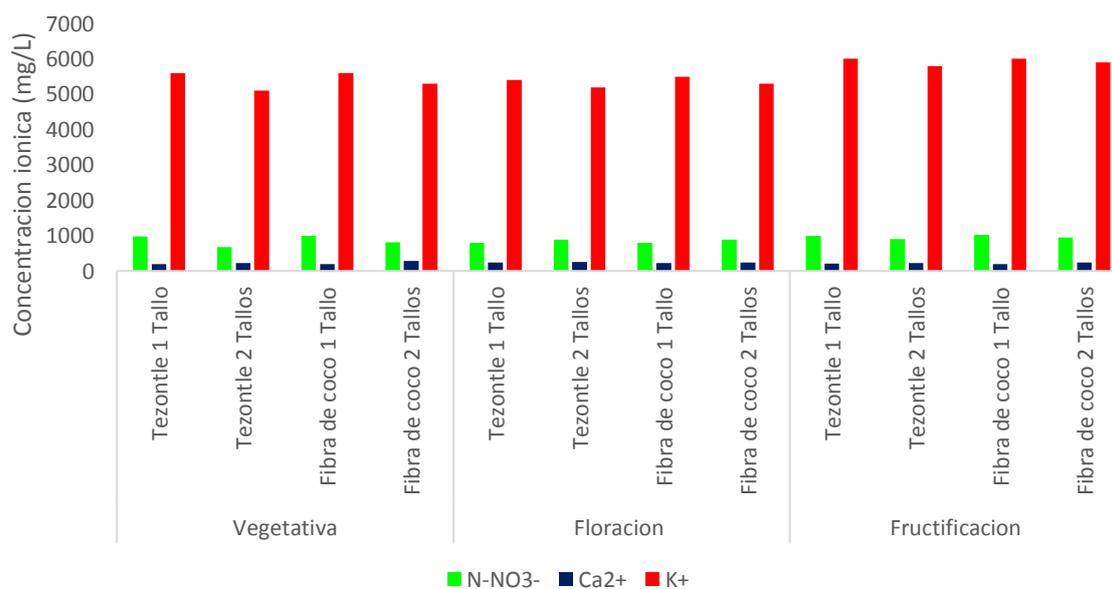


Figura 59. Análisis de extracto celular de peciolo (mg/L).

VI. CONCLUSIONES

6.1 Necesidades hídricas.

En el Experimento 1 el tratamiento a 2 tallos requiere 17.4% más, de agua que el T1. Por la densidad de plantación manejada el T2 muestra una mayor evapotranspiración debido al volumen ocupado por unidad de superficie lo que indica mayor transpiración y con ello mayor consumo de agua. A partir de los 29 ddt se observan las diferencias hídricas en ambos tratamientos siendo el T2 el que comienza a necesitar de mayor volumen de riego para abastecer todos los órganos de la planta.

Para el Experimento 2, existen diferencias significativas en el consumo hídrico en todos los tratamientos siendo el T1 (Tezontle 2 tallos) quien presenta el mayor volumen de agua requerido, mientras que el T2 (Fibra 1 tallo) requiere el menor volumen. Esto se debe a las características físicas de los sustratos, principalmente a la capacidad de retención de humedad.

6.2 Rendimiento.

En el Experimento 1 no existen diferencias significativas, sin embargo se debe considerar que para el T2 se cosecharon 13 racimos mientras que en el T1 solo 8 lo que indica que el tamaño de la fruta del T2 fue menor, esto debido a la densidad de plantación, ya que en el T2 no se aprovechaba la radiación al máximo, existía competencia por luz, espacio y nutrientes por lo que la fruta no desarrolló el tamaño deseado.

En el Experimento 2 si existe diferencia significativa al manejar densidades similares, siendo los tratamientos a dos tallos quienes presentan los mayores rendimientos al tener el doble de racimos, sin embargo no se obtuvo el doble de rendimiento respecto a los tratamientos correspondientes a 1 tallo debido al manejo de la nutrición, ya que los tratamientos a un tallo tienen mayor peso de fruta.

6.3 Calidad.

En el Experimento 1, mediante la clasificación de la norma mexicana NMX-FF-009 el T2 no obtuvo fruta de calidad grande (primera) y la mayor concentración la obtiene en calidad chica (tercera) con un 71% de la fruta evaluada. Mientras que el T1 obtiene el mayor porcentaje en fruta mediana (segunda) con un 49%. Por otra parte con la clasificación para fines de exportación, las calidades se ubican en mayor proporción en grande y mediano con un 65% y 52% para el T1 y T2, respectivamente.

En el Experimento 2, la clasificación de la norma mexicana NMX-FF-009 indica que el T3 (tezontle 1 tallo) tiene la mejor calidad de fruta con un 64% de fruta grande

(primera), mientras que el T1 (Tezontle 2 tallos) tiene el 71% de fruta mediana (segunda) y el T4 (Fibra 2 tallos) tiene la mayor cantidad de fruta chica con un 46%. En todos los tratamientos se obtuvo fruta de calidad grande y el T3 fue el único que no obtuvo fruta chica. Por otro lado en la clasificación para fines de exportación solo en el T4 se obtuvo el 2% de fruta chica. Mientras que para los demás tratamientos la fruta se consideró extra grande y grande con un 98% y 73% para los tratamientos 1 y 4, respectivamente.

6.4 Eficiencia en el uso del agua.

En el Experimento 1 no se obtuvieron diferencias significativas, debido al pequeño tamaño de la fruta en el tratamiento a dos tallos.

Mientras que en el Experimento 2, el T4 resultó ser el mejor tratamiento con una productividad de 75.86 kg/m³, dato que solo se reporta en invernaderos holandeses con sistemas hidropónicos y esto se debe a que las lecturas con el TDR no fueron tan exactas, y se puede mencionar que la planta finalizó su ciclo teniendo un ligero estrés hídrico en cada una de sus etapas fenológicas, y esto se observa en que fue el tratamiento con la menor calidad en tamaño y peso de fruto, respecto a los demás. Seguramente si el volumen de agua ascendiera, la productividad del agua bajaría considerablemente.

En cuanto a la calidad organoléptica del Experimento 2, no se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a °Brix y Firmeza, los valores obtenidos son similares a los que existen en la literatura, así mismo los valores del análisis de extracto celular de peciolo fueron los adecuados para la nutrición de las plantas con los diferentes tratamientos, sin embargo se debería considerar una CE para cada uno puesto que las plantas a dos tallos se verían beneficiadas si ésta se incrementara.

En cuanto a los métodos para estimar la humedad, ambos fueron muy sencillos de ejecutar y los resultados fueron buenos. Sin embargo en el Experimento 1 la densidad manejada a dos tallos no fue la adecuada así como el manejo de la nutrición, al mejorar ambos parámetros aumentaría la calidad del fruto. En cuanto al Experimento 2, el TDR no fue eficaz en cuanto a la estimación de las necesidades hídricas de los tratamientos con fibra de coco, ya que el volumen aplicado no fue el óptimo para obtener fruta de mayor calidad. Por lo que se debería considerar otro método para estimar la humedad en la fibra de coco. Mientras que los datos obtenidos para el tezontle de granulometría media fueron eficientes, al obtener rendimientos mayores a los citados en la literatura.

LITERATURA CITADA

- 2000AGRO. Revista industrial del campo, 2014. Holanda cuadruplica producción de tomate en invernadero. Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/holanda-cuadruplica-produccion-de-tomate-en-invernadero/>. Fecha de consulta: 23/08/2017.
- Álvarez, H. V. 2015. Respuesta del jitomate en condiciones protegidas, a la humedad aprovechable estimada con TDR. Tesis de maestría Colegio de Postgraduados campus montecillo, Texcoco, México.
- De Boodt M, Verdonck O. 1971. Physical properties of peat and peat-moulds improved by perlite and foam-plastics.
- Castellanos, J. 2004. Curso internacional de producción de hortalizas en invernadero. INIFAP. Celaya, Guanajuato, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6797/63420%20ARTEAGA%20RESENDIZ%2C%20ANA%20MARIA%20%20TESIS.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 18/07/2017.
- CONAGUA, 2011. Estadísticas del Agua en México. Edición 2011. Conagua. México.
- ERP Agrícola, 2007. El tezontle como sustrato para la producción agrícola. Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tezontle-como-sustrato-agricola/>. Fecha de consulta: 26/08/2017.
- Escobar, H, y Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. Disponible en: <http://avalon.utadeo.edu.co/servicios/ebooks/tomate/index.html#4/z>. Fecha de consulta: 23/08/2017.
- Falkenmark, M. y J. Rockstrom. 2004. Balancing water for humans and nature: The new approach in Ecohydrology. Reino Unido.
- FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Manual 56. Disponible en: <https://riegos.files.wordpress.com/2008/03/fao56castellano-x0490s.pdf>. Fecha de consulta: 23/08/2017.
- FAO, 2007. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006. Roma. Disponible en: www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm. Fecha de consulta: 15/08/2017.

- FAO-Aquastat, 2012. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/. Fecha de consulta: 19/08/2017.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), 2007. Rentabilidad y costos de cultivo en Sinaloa. Disponible en: <http://portal.fira.gob.mx/Files/TOMATE%20Sinaloa%20-%20Análisis%20de%20Costos.pdf>. Fecha de consulta: 20/08/2017.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), 2016. Panorama agroalimentario. Tomate rojo. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf. Fecha de consulta: 19/08/2017.
- FIELDSCOUT, 2008. Manual de usuario. Medidor de humedad de suelo TDR 300. Disponible en: https://www.kosmos.com.mx/wp-content/uploads/2018/01/6430FS_TDR300.pdf. Fecha de consulta: 22/08/2017.
- Flores, J.; Ojeda-Bustamante W., López I., Rojano A., Salazar I. 2007. Requerimientos de riego para tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 25 (2):127-134.
- HORTOINFO, 2014. Tomate, como se produce, cifras globales. Disponible en: <http://hortoinfo.es/webantigua/index.php/noticia/3117-rendimiento-tomate-130314>. Fecha de consulta: 19/08/2017.
- Mendoza P., C. 2015. Respuesta hídrica y productiva del chile poblano y jitomate a diferentes condiciones de manejo del número de tallos bajo condiciones protegidas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México.
- Merriam, J. L. & J. Keller. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide For Management*, USA.
- NMX-FF-031-1997-SCFI, 2005. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - HORTALIZAS FRESCAS - TOMATE - (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – ESPECIFICACIONES.
- Paz, M. Alan, 2010. Presión osmótica, física IV área 2 ENP- UNAM. Disponible en: <https://es.slideshare.net/alpazmar/presin-osmtica>. Fecha de consulta: 19/08/2017.

- Pérez. E. H. A. 2016. Evaluación de fertilizantes foliares en la producción y calidad de dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, México.
- PNUMA, 2007. Programa del Agua Water Quality Outlook. PNUMA Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Programa del Agua, Instituto Nacional de Investigación sobre el Agua. Burlington, Ontario.
- PPORTIMES, 2016. México lidera exportación de tomates con producción controlada. Disponible en: <https://www.opportimes.com/america-del-norte/mexico-lidera-exportaciones-de-tomates-con-produccion-controlada/>. Fecha de consulta: 20/08/2017.
- PREMIER HORTICULTURA GROUP, S DE R.L DE C.V., 2018. Clasificación del tomate para exportación. Disponible en: http://www.premierhorticultura.com/quienes_premier_horticultura_group.html. Fecha de consulta 28/08/17.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA), 2017. Aumenta 35% la producción de jitomate hecho en México. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC_0055_10.PDF. Fecha de consulta: 20/08/2017.
- Salazar-Moreno, Raquel; Rojano-Aguilar, Abraham; López-Cruz, Irineo Lorenzo La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada Tecnología y Ciencias del Agua, vol. V, núm. 2, marzo-abril, 2014, pp. 177-183. Redalyc.org.
- Sánchez, G. P. 2010. Nutrición de cultivos hortícolas. Disponible en: http://www.itson.mx/micrositios/nch/Documents/suelo_y_agua.pdf. Fecha de consulta: 23/08/2017.
- SERVER, 2005. Medición del contenido de humedad en el suelo. Relación Suelo-Agua-Planta. Disponible en: <http://www.sap.uchile.cl/descargas/sap/MEDICION1.PDF>. Fecha de consulta: 25/08/2017.

SIAP, 2015. Superficie de siembra anual en México. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Fecha de consulta: 18/08/2017.

Terés, T. V. 2001. Tesis doctoral: Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego. Metodología de laboratorio y modelización. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Producción Vegetal. Fitotecnia. Madrid, España.

UNDP, UNEP, WB y WRI, 2000. World Resources 2000-2001. WRI.

Water Footprint Network, 2012. Huella hídrica. Disponible en: www.huellahidrica.org/index.php?page=files/home. Fecha de consulta: 19/08/2017.

APÉNDICE

Cuadro A-1. Clasificación de la uniformidad de riego

Clasificación	CU (Merriam and Keller, 1978).
Excelente	> 90
Buena	80 – 90
Suficiente	70 – 80
Pobre	< 70

Cuadro A-2. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo.

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (L)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	186.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	2.730	2.800	2.688	2.786	2.870	2.775	396.40
3	29	4.480	4.557	4.753	4.690	4.620	4.620	660.00
4	36	4.536	4.620	4.620	4.830	4.795	4.680	668.60
5	43	5.740	5.726	5.789	5.817	5.656	5.746	820.80
6	50	5.586	5.642	5.670	5.726	5.600	5.645	806.40
7	57	7.070	6.965	7.203	7.287	7.168	7.139	1019.80
8	64	7.196	7.686	8.400	8.260	7.609	7.830	1118.60
9	71	8.750	8.750	8.260	9.100	8.330	8.638	1234.00
10	78	10.318	10.535	10.451	10.276	10.500	10.416	1488.00
11	85	6.930	8.323	6.860	6.839	6.657	7.122	1017.40
12	92	9.723	9.093	9.345	9.905	9.800	9.573	1367.60
13	99	8.281	8.141	7.105	7.700	7.917	7.829	1118.40
14	106	8.540	8.316	8.890	8.946	8.792	8.697	1242.40
15	113	8.946	8.330	8.400	9.023	8.897	8.719	1245.60
16	120	8.435	8.302	8.323	8.435	8.386	8.376	1196.60
17	127	8.400	8.960	9.135	8.330	8.757	8.716	1245.20
18	134	6.832	6.937	6.538	6.293	6.384	6.597	942.40
19	141	8.624	7.936	8.800	8.648	7.992	8.400	1200.00

Cuadro A-3. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos.

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (mL)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	186.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	2.786	2.779	2.667	2.870	2.800	2.780	397.20
3	29	6.356	6.153	6.300	6.216	6.370	6.279	897.00
4	36	6.300	6.300	6.601	6.517	6.797	6.503	929.00
5	43	6.741	6.720	6.587	6.496	6.804	6.669	952.80
6	50	7.350	7.784	7.287	7.000	7.546	7.393	1056.20

Cuadro A-3 Continuación.

7	57	8.330	8.750	8.610	8.736	9.030	8.691	1241.60
8	64	9.870	9.800	9.100	9.450	9.485	9.541	1363.00
9	71	10.584	10.416	10.255	10.311	10.486	10.410	1487.20
10	78	11.214	11.438	11.284	11.305	11.200	11.288	1612.60
11	85	10.514	10.416	10.269	10.381	10.486	10.413	1487.60
12	92	11.186	11.361	11.389	11.312	11.305	11.310	1615.80
13	99	9.450	9.450	9.723	9.534	9.583	9.548	1364.00
14	106	10.423	10.416	10.507	10.430	10.325	10.420	1488.60
15	113	10.423	10.584	10.423	10.234	10.444	10.421	1488.80
16	120	10.367	10.458	10.150	10.150	10.227	10.270	1467.20
17	127	10.500	10.409	10.430	10.388	10.36	10.417	1488.20
18	134	7.420	7.546	7.427	7.469	7.413	7.455	1065.00
19	141	8.050	8.106	8.169	8.204	8.113	8.128	1161.20

Cuadro A-4. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo, en Fibra de coco (Tratamiento 2).

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (L)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	175.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	2.310	2.324	2.240	2.408	2.268	2.310	330.00
3	29	2.485	2.569	2.562	2.562	2.576	2.551	364.40
4	36	2.660	2.709	2.639	2.583	2.660	2.650	378.60
5	43	3.416	3.423	3.500	3.241	3.493	3.415	487.80
6	50	3.654	3.738	3.731	3.766	3.710	3.719	531.40
7	57	4.690	4.508	4.816	4.662	4.816	4.698	671.20
8	64	5.600	5.642	5.677	5.684	5.600	5.641	805.80
9	71	6.440	6.300	6.524	6.496	6.608	6.474	924.80
10	78	8.400	8.470	8.400	8.323	8.435	8.406	1200.80
11	85	10.290	10.339	10.374	10.262	10.318	10.317	1473.80
12	92	9.100	8.869	9.016	9.072	9.030	9.017	1288.20
13	99	5.810	5.775	5.824	5.747	5.796	5.790	827.20
14	106	6.230	6.300	6.216	6.293	6.146	6.237	891.00
15	113	6.734	6.685	6.804	6.713	6.720	6.731	961.60
16	120	6.720	6.685	6.706	6.727	6.664	6.700	957.20
17	127	6.902	6.867	6.832	6.846	6.860	6.861	980.20

Cuadro A-5. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 1 tallo, en Tezontle (Tratamiento 3).

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (L)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	175.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	3.675	3.654	3.920	3.990	4.025	3.853	550.40
3	29	5.460	5.390	5.320	5.320	5.110	5.320	760.00
4	36	6.650	6.762	6.692	6.860	6.790	6.751	964.40
5	43	8.190	8.323	8.351	8.246	8.309	8.284	1183.40
6	50	8.960	9.170	9.093	9.107	9.198	9.106	1300.80
7	57	9.730	10.010	10.213	9.947	10.157	10.011	1430.20
8	64	10.15	10.150	9.940	10.346	10.157	10.149	1449.80
9	71	10.332	10.409	10.255	10.367	10.430	10.359	1479.80
10	78	11.907	11.823	12.040	11.900	11.844	11.903	1700.40
11	85	13.230	13.279	13.307	13.300	13.384	13.300	1900.00
12	92	11.109	10.969	11.060	11.039	11.200	11.075	1582.20
13	99	8.547	8.400	8.330	8.400	8.330	8.401	1200.20
14	106	9.030	9.170	9.009	9.100	9.198	9.101	1300.20
15	113	9.940	9.905	9.884	9.835	9.800	9.873	1410.40
16	120	11.130	11.046	11.116	11.039	11.060	11.078	1582.60
17	127	10.500	10.500	10.423	10.290	10.150	10.373	1481.80

Cuadro A-6. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos, en Tezontle (Tratamiento 1).

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (L)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	175.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	3.150	3.346	3.360	3.325	3.290	3.294	470.60
3	29	6.090	6.146	6.447	6.153	6.601	6.287	898.20
4	36	8.750	8.736	8.680	8.764	8.666	8.719	1245.60
5	43	9.940	10.045	10.031	10.024	10.059	10.019	1431.40
6	50	10.423	10.570	10.430	10.640	10.430	10.499	1499.80
7	57	10.983	10.997	10.850	11.186	11.053	11.014	1573.40
8	64	11.550	11.550	11.662	11.347	11.326	11.487	1641.0
9	71	11.900	11.970	11.900	12.285	12.173	12.046	1720.80
10	78	13.930	14.070	14.070	14.000	13.986	14.011	2001.60
11	85	16.114	16.170	16.100	16.100	16.030	16.103	2300.40
12	92	14.280	14.210	14.140	14.070	14.280	14.196	2028.00
13	99	11.123	11.186	10.976	10.724	10.878	10.977	1568.20
14	106	11.900	11.900	11.844	12.026	11.830	11.900	1700.00
15	113	13.230	13.132	13.230	13.160	13.090	13.168	1881.20

Cuadro A-6 Continuación.

16	120	14.756	15.001	15.099	15.288	14.882	15.005	2143.60
17	127	13.230	13.230	13.265	13.307	13.146	13.236	1890.80
18	134	11.039	10.920	11.074	10.997	10.983	11.003	1571.80
19	141	11.200	11.508	11.410	11.340	11.200	11.332	1618.80

Cuadro A-7. Necesidades hídricas semanales y diarias en plantas de jitomate a 2 tallos, en Fibra de coco (Tratamiento 4).

Semana	ddt	Consumo semanal de agua por planta (L)					Promedio	Consumo diario (mL/planta)
		1	2	3	4	5		
0	1 - 14	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	175.00
1	15	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	1.848	264.00
2	22	1.708	1.785	1.750	1.750	1.764	1.751	250.20
3	29	2.660	2.695	2.674	2.604	2.716	2.670	381.40
4	36	2.905	2.870	3.150	3.024	3.115	3.013	430.40
5	43	3.535	3.626	3.563	3.570	3.556	3.570	510.00
6	50	4.263	4.326	4.424	4.319	4.312	4.329	618.40
7	57	5.593	5.467	5.383	5.530	5.516	5.498	785.40
8	64	6.447	6.300	6.384	6.279	6.244	6.331	904.40
9	71	7.000	7.259	7.147	7.070	6.944	7.084	1012.00
10	78	9.184	9.016	9.093	9.114	9.100	9.101	1300.20
11	85	11.200	11.214	11.228	11.270	11.130	11.208	1601.20
12	92	9.723	9.716	9.947	9.800	9.835	9.804	1400.60
13	99	6.923	6.993	6.832	7.133	7.147	7.006	1000.80
14	106	6.846	6.769	6.839	6.755	6.993	6.840	977.20
15	113	7.420	7.224	6.993	7.693	7.000	7.266	1038.00
16	120	7.630	7.000	7.140	7.623	7.616	7.402	1057.40
17	127	7.434	7.126	7.700	7.630	7.700	7.518	1074.00
18	134	6.874	6.727	6.937	6.846	6.916	6.860	980.00
19	141	7.000	7.455	7.140	6.986	7.140	7.144	1020.60