

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN TOMATE TIPO BOLA
(*Solanum lycopersicum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.**

Por:

FERNANDO JAVIER HERNÁNDEZ PASTRANA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN TOMATE TIPO BOLA
(*Solanum lycopersicum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

POR:
FERNANDO JAVIER HERNÁNDEZ PASTRANA

TESIS
QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

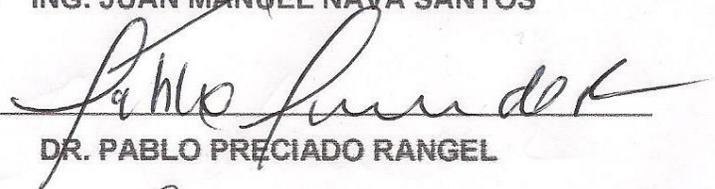
INGENIERO AGRÓNOMO

REVISADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS

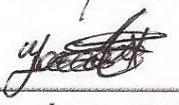
ASESOR:

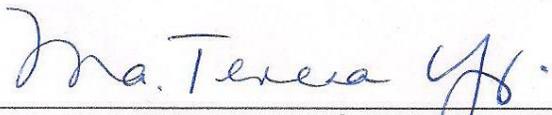

DR. PABLO PRECIADO RANGEL

ASESOR:


M.C. FRANCISCA SÁNCHEZ BERNAL

ASESOR:


M.C. FABIÁN GARCÍA ESPINOZA


DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA

COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN TOMATE TIPO BOLA
(*Solanum lycopersicum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

POR:

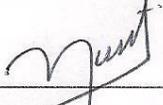
FERNANDO JAVIER HERNÁNDEZ PASTRANA

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

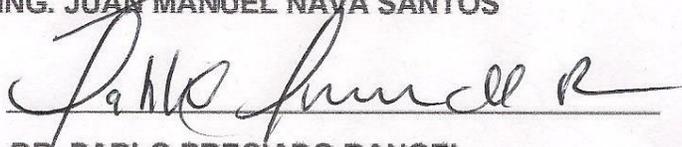
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

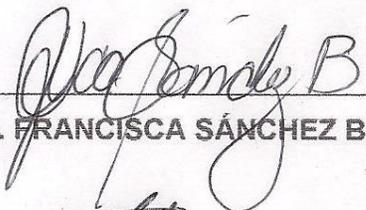
PRESIDENTE:


ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS

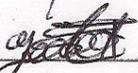
VOCAL:

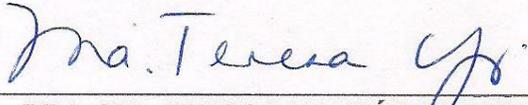

DR. PABLO PRECIADO RANGEL

VOCAL:


M.C. FRANCISCA SÁNCHEZ BERNAL

VOCAL SUPLENTE:


M.C. FABIÁN GARCÍA ESPINOZA


DRA. MA. TERESA VALDÉS PÉREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



AGRADECIMIENTOS

A Dios por mostrarse en cada símbolo y en cada paso, por dejarme vivir con lo justo para buscar la plenitud a toda costa, por las sorpresas que mi vida ha experimentado, por las batallas pasajeras, pero sobre todo, por la esperanza no sujeta al método científico.

A mi Alma Mater por el derroche de conocimientos brindado, por el tiempo permisible para pisar sus pasillos, disfrutar sus salones y conocer lo ignorado, por forjarme como profesionista y hacerme valorar lo más mínimo en una vida de carencias.

Al Ing. Juan Manuel Nava Santos, por su ardua labor en el experimento realizado, por sus conocimientos y su experiencia, pero sobre todo por su amistad.

Al M.C. Fabián García Espinoza, por su invaluable y desinteresado apoyo para una buena redacción y finalización de este documento, pero por esa amistad que seguro estoy no terminara nunca.

A la M.C. Francisca Sánchez Bernal, por su ayuda y dedicación a la realización de este documento, por su excelente carisma y su razonamiento aportado.

Al Dr. Pablo Preciado Rangel, al que le viviré agradecido por sus conocimientos transmitidos desde clases, por su ayuda y su peculiar forma de razonar.

A mis amigos y compañeros de clase, con los que compartí estos años brindando por la vida y por la oportunidad que nos dio de habernos conocido.

En especial agradecimiento a las personas que durante este tiempo se convirtieron en pieza importante para mi transcurrir en esta etapa de estudio y se convirtieron en hermanos, los extrañare; David Cruz, Sergio Rubio, Antonio Gutiérrez, Oscar De Santiago, Cesar Maldonado, Fabián García., Mariela Olguín, y Luis Palemón.

DEDICATORIAS

A mi abuela “Amparito”, por ser la madre que no pedí pero que Dios puso en la entrada de éste camino por la vida para darme el amor de madre que nunca me ha faltado y a la que le debo la vocación y el amor por el campo.

A mi abuelo Ignacio, por el ejemplo de lucha y constancia, de amor y optimismo, por el carácter y la virtud de no desfallecer en las situaciones no tan buenas, por la insistencia de “estudiar y estudiar” que impuso en sus hijos y que se ha transmitido a sus nietos.

A mi abuelo Miguel (†), por el respeto que me brinda la gente en su nombre, por el ejemplo de disciplina, trabajo, astucia y dignidad que me ha sido contado.

A mi abuela Amalia “Colachón” (†), por ser el ángel del que estoy seguro he recibido un sinfín de bendiciones.

A mis Padres, Micaela e Ignacio, por la vida que me dieron, por darme lo que me han dado desde que nací, por darme la necesidad de formarme sueños para vivir feliz y por verme culminar el primero de muchos; la educación que he recibido, no tendré con que pagarles nunca; los amo.

A mis hermanos, Dulce, Anabel, Aaron, Ricardo y Eduardo, por las palabras de aliento en tiempos difíciles a pesar de la distancia, por el cariño, las bromas y siempre hacerme sentir muy importante.

A mis tías, Cari, Blanca, Iris, Leti, Ceci, Tere, Roció, Aurora y Bertha, por el amor y el apoyo que me han brindado a cada paso que doy y por no permitir que me sienta solo nunca.

A Alejandra Alvarado, por sus llamadas matutinas tan atinadas para hacerme llegar a tiempo a clases y vivir conmigo esta etapa, a distancia.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE	iii
INDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia del Cultivo	3
2.2 Origen	4
2.3 Clasificación Taxonómica	4
2.4 Morfología	5
2.4.1 Raíz	5
2.4.2 Tallo.....	5
2.4.3 Hoja	6
2.4.4 Flor	6
2.4.5 Fruto	6
2.5 Valor Nutricional y Medicinal.....	7
2.6 Agricultura Protegida	7
2.7 Produccion Bajo Condiciones de Invernadero	9
2.7.1 Ventajas.....	10
2.7.2 Desventajas.....	10
2.7.4 Luz.....	11
2.7.5 Humedad	12
2.7.6 Radiación.....	13
2.8 El Cultivo del Tomate Bajo Invernadero en México	14
2.9 La Hidroponía Como Sistema de Producción	15
2.9.1 Ventajas.....	16
2.9.2 Desventajas.....	17
2.9.3 Solución Nutritiva Universal.....	18
2.9.3.1 Conductividad eléctrica	19
2.9.3.2 pH.....	20
2.10 Requerimientos Nutricionales	20
2.10.1 Nutrientes	21
2.10.1.2 Nitrógeno.....	21

2.10.1.3 Calcio	22
2.10.1.4 Azufre	22
2.10.1.5 Magnesio.....	23
2.10.1.6 Fosforo	23
2.11 Labores Culturales.....	24
2.11.1 Producción de plántulas	24
2.11.2 Densidad de población	24
2.11.3 Sustrato	25
2.11.4 Podas	25
2.11.5 Tutorio	25
2.11.6 Polinización	26
2.11.7 Fertirriego	26
2.12 Antecedentes de Investigación	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación Geográfica de la Comarca Lagunera	28
3.2 Ubicación Del Experimento.....	28
3.3 Características del Invernadero	28
3.4 Diseño Experimental.....	29
3.5 Análisis de Agua	30
3.6 Material Vegetal	30
3.7 Establecimiento	31
3.8 Riegos.....	31
3.9 Manejo del cultivo	32
3.9.1 Tutorio	32
3.9.2 Polinización	32
3.9.3 Podas	32
3.10 Control de Maleza.....	33
3.11 Control Fitosanitario.....	33
3.12 Otras aplicaciones	33
3.13 Cosecha.....	33
3.13. Variables evaluadas.....	34
3.13.1 Altura de la planta.....	34
3.13.2 Grosor de tallo	34
3.13.3 Peso de fruto	35
3.13.4 Diámetro polar	35
3.13.5 Diámetro ecuatorial	35
3.13.6 Espesor de pulpa.....	35
3.13.7 Solidos solubles.....	35
3.14 Análisis Estadístico	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Variables de Calidad.....	37

4.1.1	Peso de fruto	37
4.1.2	Diámetro polar	38
4.1.3	Diámetro ecuatorial	39
4.1.4	Espesor de pulpa.....	40
4.1.5	Numero de lóculos.....	41
4.1.6	Solidos Solubles	42
4.2	Variables de crecimiento.....	43
4.2.1	Altura de planta	43
4.2.2	Diámetro de tallo	44
4.2.3	Rendimiento por planta.....	44
4.3	Rendimiento Total.....	45
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo per cápita de tomate a nivel mundial.....	3
Cuadro 2. Composición nutricional del tomate por 100 gramos de tomate fresco. .	7
Cuadro 3. Relaciones de concentraciones (Meq L ⁻¹) para aniones y cationes.	19
Cuadro 4. Cantidad de iones y cationes en la solución nutritiva requerida en la planta de tomate.....	19
Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del tomate en Kg/ha.....	21
Cuadro 6. Solución Testigo (Solución Nutritiva Universal) empleada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014.....	29
Cuadro 7. Solución nutritiva tratamiento 1 (5K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014	29
Cuadro 8. Solución nutritiva tratamiento 2 (9K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014	29
Cuadro 9. Solución nutritiva tratamiento 3 (11K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014	30
Cuadro 10. Análisis del agua empleada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en ciclo primavera-verano 2013 en la comarca lagunera. UAAAN-UL. 2014.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Peso por fruto de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	37
Figura 2. Diámetro polar de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	38
Figura 3. Diámetro ecuatorial de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	39
Figura 4. Espesor de pulpa de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	40
Figura 5. Número de lóculos de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	41
Figura 6. Solidos solubles de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	42
Figura 7. Altura de planta de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	43
Figura 8. Grosor de tallo de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	44
Figura 9. Rendimiento por planta de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	45
Figura 10. Rendimiento total de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.	46

RESUMEN

El tomate es la hortaliza número uno en el mundo, producida en su mayoría bajo condiciones protegidas con el uso de soluciones nutritivas, buscando siempre mejora en la calidad y altos rendimientos. Durante el ciclo primavera-verano del año 2013 se llevó a cabo un experimento en el área de invernaderos de la UAAAN – UL con el objetivo de conocer la concentración óptima de potasio en la solución nutritiva para la obtención de frutos de buena calidad y buen rendimiento del tomate. Se evaluaron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de potasio, 5 Meq L⁻¹, 7 Meq L⁻¹, 9 Meq L⁻¹ y 11 Meq L⁻¹, se utilizó un diseño experimental completamente a la azar con 10 repeticiones utilizando solo cuatro racimos por planta para la evaluación; se tomaron en cuenta variables de calidad (diámetro polar, diámetro ecuatorial, entre otros) en las que sólo se tuvieron diferencias significativas para número de lóculos y sólidos solubles. El tratamiento con 9 Meq L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva presentó los mejores resultados cuantitativos, por otro lado, para la variable rendimiento fue sobresaliente pero no obtuvo diferencia significativa. La concentración del catión potasio influyó en la calidad del fruto sin afectar el rendimiento, un aumento de 20% o 2 Meq L⁻¹ en la solución nutritiva universal resultó ser la concentración óptima para aumentar la calidad del fruto.

Palabras claves: Potasio, solución nutritiva, hidroponia, calidad, *Solanum lycopersicum* L.

I. INTRODUCCIÓN

Considerando la superficie dedicada a su cultivo y el valor de su producción el tomate es la hortaliza número uno en el mundo. (Muñoz, 2009). En 2011 se produjeron 158 millones de toneladas en el mundo, con una superficie cosechada de 4.7 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2014).

En México, el tomate o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L.) su importancia radica en que posee cualidades muy esenciales para adecuarse a la dieta alimenticia, sea por su consumo en fresco o procesado, ya que representa una rica fuente de sales minerales y vitaminas A y C principalmente, además de utilizarse en la industria cosmética, farmacéutica y ornamental (Ortega, 2010).

Desde el punto de vista económico, el tomate es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera, es el principal producto hortícola de exportación (Ortega, 2010).

El potasio es el nutriente más importante que influye en la calidad de la fruta (Tjalling, 2006).

Los roles esenciales del potasio se encuentran en la síntesis de la proteína, los procesos fotosintéticos y el transporte de azúcares de las hojas a las frutas. Un buen suministro de potasio sustentara, por consiguiente, desde el principio la función de la hoja en el crecimiento de la fruta y contribuirá al efecto positivo del potasio en el rendimiento y en el alto contenido de sólidos solubles (más azúcares) en la fruta en el momento de la cosecha (Winsor *et al.*, 1958).

Las aplicaciones de K en tomate generalmente son más altas que para cualquier hortaliza. Por cada tonelada de fruto de tomate producido, se requiere que el cultivo haya removido 4,5 de K disponible en el suelo. Del total de K absorbido por la planta, la mayor parte se acumula en el fruto (57%). Pero un exceso de este elemento causa deficiencias de magnesio y calcio por desbalance (Jaramillo, *et al.*, 2007).

1.1 Objetivo

Determinar la concentración óptima de miliequivalentes del catión potasio para calidad y rendimiento en tomate tipo bola.

1.2 Hipótesis

La concentración del catión potasio en la solución nutritiva influye positivamente en la calidad y rendimiento del tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del Cultivo

El tomate es originario de América del sur, entre las regiones de Chile, Ecuador y Colombia, pero su domesticación se inició en el sur de México y norte de Guatemala. Es una de las hortalizas de mayor importancia en el mundo, por su área sembrada y su alto nivel de consumo. Los principales países productores son: China, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Italia, India, Irán, España, Brasil y México, los cuales contribuyen con cerca del 70 % de la producción mundial (Jaramillo, *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista alimenticio, el tomate es la hortaliza que por su versatilidad de consumo es una de las más importantes. A nivel de Norte y Centroamérica, el consumo per cápita/año es alrededor de los 26.9 kg, mientras que a nivel mundial es de 12.6 (Pérez, *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Consumo per cápita de tomate a nivel mundial.

Región	Área sembrada (miles de hectareas)	Producción (millones de tm)	Rendimiento (tm/ha)	Consumo per cápita /año (kg)
Mundial	2,588	60.8	23.5	12.6
Africa	445	6	13.6	10.8
Norte y Centroamérica	311	10.8	34.8	26.9
Sur América	133	3.4	25.7	12.7
Asia	798	15.2	19	5.4
Europa	506	18.1	35.8	36.8
Oceanía	15	0.3	23.5	15
USSR	380	6.9	18.1	24.6
Países desarrollados	1,108	35.3	31.9	29.2
Países en desarrollo	1,480	25.5	17.2	7

Fuente: Pérez, *et al.*, 2002

2.2 Origen

El jitomate o tomate rojo es originario de América del Sur en variedades silvestres, evidenció, desde tiempos previos a la llegada de los españoles, preferencias para su consumo en fresco o en combinación con otros productos. En varios tratados se considera a México como el centro de domesticación del cultivo al ser utilizado como alimento cotidiano dentro de la dieta de sus habitantes. La comercialización y difusión lograda han hecho que pase a formar parte a través del tiempo, de la dieta de diversas culturas en el globo terráqueo, permitiendo que en nuestros días ocupe el segundo lugar dentro del consumo mundial de productos hortícolas (Claridades Agropecuarias, 1998).

El tomate alcanzo un estado avanzado de domesticación en México antes de ser llevado a Europa y Asia. Los herbarios europeos muestran descripciones y gradados de tomate solamente a partir de la segunda mitad del siglo XVI. Esas informaciones revelan que los primeros tipos cultivados en Europa tenían frutos blandos, con amplia variedad de formas y colores, cambios que fueron realizados por los agricultores primitivos de México (Jaramillo, *et al.*, 2007).

2.3 Clasificación Taxonómica

De acuerdo a ITIS (2014), la siguiente clasificación taxonómica del tomate, es la actualmente aceptada, aun cuando la propuesta por Miller en 1788 es la más comúnmente citada:

Dominio: Eukaria
Reino: Plantae
Subreino: Viridaeplantae
División: Traqueophyta
Subdivisión: Spermatophytina
Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales
Familia: Solanáceae
Género: Solanum L.
Especie: *Solanum lycopersicum* L.

2.4 Morfología

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. La planta puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar, en estas últimas, a 10 m en un año (Chamarro, 2001).

2.4.1 Raíz

El sistema radical tiene como funciones la absorción y el transporte de nutrientes así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo (Chamarro, 2001).

El sistema radical del tomate consta de una raíz principal y gran cantidad de ramificaciones secundarias. En los primeros 30 cm de la capa de suelo se concentra el 70% de la biomasa radical. Bajo condiciones de suelo la raíz principal crece unos 2.5 cm diarios hasta llegar a los 60 cm de profundidad (Muñoz, 2009).

2.4.2 Tallo

El tallo principal tiene 2 a 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis (Chamarro, 2001). Sobre el tallo se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Este tiene la propiedad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo,

característica importante que se aprovecha en las operaciones culturales de aporque dándole mayo anclaje a la planta (Jaramillo, *et al.*, 2007).

2.4.3 Hoja

Según Chamarro (2001), la hoja es Compuesta e imparipinada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares y las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo.

2.4.4 Flor

Las flores aparecen en racimos, siendo sencillos en la parte baja y después más divididos y ramificados. Las flores son pequeñas, pedunculadas, de color amarillo y forman corimbos axilares. El cáliz tiene 5 sépalos, la corola tiene 5 pétalos que conforman un tubo pequeño pues esta soldada inferiormente, los 5 estambres están soldados en estilo único que a veces sobresale de los estambres, el ovario contiene muchos óvulos (Muñoz, 2009).

2.4.5 Fruto

Jaramillo *et al.*, (2007), mencionan que el fruto es una baya que presenta diferente tamaño, forma, color, consistencia y composición, según el cultivo que se trate. Está constituido por la epidermis, la pulpa, el tejido placentario y las semillas y está dividido en lóculos.

La forma, el tamaño y el peso de los frutos, depende de la variedad y del manejo, aspectos importantes al momento de definir que variedad plantar (Muñoz, 2009).

2.5 Valor Nutricional y Medicinal

Según Jaramillo, *et al.*, (2007), el tomate es una rica fuente de vitaminas A, B1, B2, B6, C y E, y de minerales como fosforo, potasio, magnesio, zinc, sodio, hierro y calcio (Cuadro 2). El tomate es rico en licopeno, que es el más potente de los antioxidantes, que puede prevenir y combatir el cáncer porque protege las células de los efectos de oxidación. El tomate posee también glutatión, antioxidante que ayuda a depurar productos tóxicos del organismo. Su consumo estimula el sistema inmune, disminuye el riesgo de desarrollar cáncer, es remineralizante y desintoxicante.

Cuadro 2. Composición nutricional del tomate por 100 gramos de tomate fresco.

Elemento	Cantidad
Agua	93.50%
Proteína	0.9 g
Grasa	0.1 g
Calorías	23
Carbohidratos	3.3 g
Fibra	0.8 g
Fosforo	19 mg
Calcio	7 mg
Hierro	0.7 mg
Vitamina A	1.100 ul
Vitamina B1	0.05 mg
Vitamina B2	0.02 mg
Vitamina C	20 mg
Niacina	0.6 mg

Fuente: Jaramillo, *et al.*, 2007.

2.6 Agricultura Protegida

Syngenta (2010), menciona que la agricultura protegida es un sistema de producción que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar restricciones que el medio ambiente impone para desarrollo óptimo de las plantas;

menciona también que principalmente se concentra en obtener cosechas en épocas en que las condiciones climáticas no son favorables para lograr un buen desarrollo de los cultivos; eleva la calidad y productividad de los productos cosechados, y reducir el riesgo de pérdidas debidas a la incidencia de plagas y enfermedades; mejora la oferta de los productos en el extranjero o en grandes cadenas de supermercados, y permitir la estabilidad de precios mediante convenios compra-venta, como un valor agregado para los productores.

La horticultura protegida en México se ha venido desarrollando bajo condiciones muy heterogéneas, desde costosos invernaderos de vidrio, con muy elevadas inversiones que superan los 100 US\$/m², hasta económicas instalaciones como las denominadas “casas sombras” con costos de 4 a 7 US\$/m². En una encuesta con una serie de actores de la horticultura protegida en México realizado por los autores del presente capítulo, se estimó que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombras, asciende a 8,934 ha, superficie estimada al mes de junio de 2008 (Castellanos y Borbón, 2009).

En el mundo existen alrededor de 631,884 mil hectáreas dedicadas al cultivo de hortalizas y flores en invernadero (o ambiente controlado). A nivel global, el continente asiático es la región con mayor número de hectáreas cultivadas bajo esta técnica (Syngenta, 2010).

Alpi y Tognoni, (1991) señalan que existe una tendencia desde hace varios años en los campos de los cultivos hortícolas, hacia la producción anticipada o totalmente fuera de la estación (semiforzado y forzado de cultivos), ha llevado a la puesta a punto de diversos sistemas protectores idóneos para los fines indicados. Estas instalaciones pueden ser muy diversas entre sí; bien por las características

y complejidad de sus estructuras, como por la mayor o menos capacidad de control del ambiente. Una primera clasificación a grandes trazos, de los diversos tipos de protectores, puede hacerse distinguiendo entre túneles, cajoneras, semilleros e invernaderos. Afirman también que debido a que el invernadero es el que presenta mayor interés, entre otras razones por ser el único que permite el cultivo totalmente fuera de temporada, ha experimentado un gran desarrollo acompañado de una notable diversificación de formas. Especialmente en los últimos tiempos debido a la evolución de los materiales de cubierta.

2.7 Produccion Bajo Condiciones de Invernadero

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible unas condiciones artificiales de microclima y, con ello, cultivar plantas en condiciones óptimas (Jaramillo, *et al.*, 2007).

El mismo Jaramillo, *et al.*, (2007), describe el invernadero como una estructura en que las partes correspondientes a las paredes y el techo están cubiertos con películas plásticas, con la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente controlado de temperatura y humedad. Se pueden tener construcciones simples, diseñadas por los agricultores a bajo costo, o sofisticadas, con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. Los invernaderos generalmente son utilizados para cultivos de porte alto como tomate, pepino, melón, flores y otros.

2.7.1 Ventajas

Según la AAIC (2004), los invernaderos brindan las siguientes ventajas:

- Permite cultivar hortalizas en zonas con condiciones de clima desfavorables, sin que estas las afecten.
- Se logra mayor rendimiento de las cosechas: 2 o 3 veces superior a los cultivos hechos al aire libre.
- Facilita obtener productos de mejor calidad, con una presentación excelente y un alto grado de competitividad en el mercado.
- Se ahorra agua, con la implementación de riego por goteo.
- Permite cultivar fuera de temporada.
- Existe mejor control de plagas y enfermedades.
- Se disminuyen riegos climáticos.
- Permite trabajar con mayor comodidad y seguridad.

2.7.2 Desventajas

La AAIC (2004), menciona que en el invernadero se presentan algunos inconvenientes:

- Las personas dedicadas a estas actividades productivos requieren especialización empresarial y técnica.
- Los costos de producción son elevados (semilla, abonos, jornales, tratamientos, conservación, etc.), comparados con los cultivos realizados al aire libre.
- Los riesgos climáticos son mayores en las cubiertas de polietileno.
- Tienen una alta dependencia de recursos exógenos: plástico, semilla, fertilizante.

2.7.3 Temperatura

La temperatura se le ha considerado clásicamente como la esencia del clima. Siendo tal vez, el elemento climático que más ha sido estudiado y que mejor se conocen sus relaciones con el desarrollo de las plantas (Ortiz, 1987).

Según FAO (2002), la temperatura afecta directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. Menciona también que las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura del invernadero está por debajo de 0°, o por encima de 50°C. el límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante periodos cortos de tiempo, pero debe evitarse el acercarse a este valor letal.

Para el tomate, Jaramillo, *et al.*, (2007), señala las temperaturas óptimas para cada etapa de desarrollo, dice que cuando las temperaturas son mayores a 25°C y menores de 12°C la fecundación es defectuosa o nula, porque se disminuye la cantidad y calidad del polen, lo que produce caída de flores y deformación de frutos. Con temperaturas menores de 12°C se produce ramificaciones en las inflorescencias. En cuanto al fruto, éste se puede amarillear si se presentan temperaturas mayores de 30°C y menores de 10°C. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe ser mayor de 10°C.

2.7.4 Luz

La luz es fuente de energía, tanto para que la planta realice sus funciones vitales (fotosíntesis, respiración, crecimiento, reproducción) como para que se transforme en calor. Los materiales utilizados en la cubierta del invernadero deben tener una gran transparencia a la radiación de onda corta, que es la luz solar que

recibe durante el día. Esta característica hace que la temperatura del interior sea superior a la luz exterior. De acuerdo con la ubicación del invernadero y el material de cubierta, la cantidad de luz que pasa al interior del invernadero va de 60 a 90% (AAIC, 2004).

Jaramillo, *et al.*, (2007), mencionan que el tomate requiere de días soleados para un buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto. Dice que la baja luminosidad afecta algunas etapas de desarrollo y algunos procesos fisiológicos de la planta (floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta y reduce la absorción de agua y nutrientes).

2.7.5 Humedad

La FAO (2002), señala la importancia de la humedad como factor de influencia dentro del invernadero y lo describe de la siguiente forma:

“La humedad es uno de los factores ambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. La influencia de la humedad no ha sido investigada con la misma profundidad que la de otros factores ambientales, quizás debido a la dificultad del control y de la medida precisa de esta variable.

El aire del invernadero es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por la transpiración de las plantas.

Durante la noche la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de estomas y evaporación del suelo es insignificante porque el déficit de presión de vapor es pequeño. Conforme la temperatura decrece en el invernadero y puesto que la humedad relativa varía inversamente con la

temperatura para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire, la humedad relativa aumenta y puede alcanzar valores próximos a la saturación.

Durante el día por efecto de la calefacción solar, la humedad absoluta del aire aumenta puesto que la apertura de los esto hace aumentar la transpiración. Al mismo tiempo la humedad relativa puede disminuir con el aumento de la temperatura y en muchos casos puede alcanzar valores muy bajos, especialmente si el invernadero está bien ventilado. El cultivo tiene una influencia clara en la humedad ambiental: el tomate puede evaporar en condiciones óptimas hasta 15 gr de agua por metro cuadrado y minuto, esto es aproximadamente un litro por cada metro cuadrado y hora.”

Mientras tanto Jaramillo (2007), señala brevemente que la humedad relativa ideal para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 65% y un 75% para su óptimo crecimiento y fertilidad.

2.7.6 Radiación

Olivares, *et al.*, (2008), mencionan la importancia e influencia de la radiación en la calidad de los frutos, ejemplificando que se ha comprobado en el caso del pepino y morrón que un incremento en la radiación tiene efecto en el tamaño del fruto. En el caso del tomate una baja radiación en el cultivo del tomate hace que se incremente el contenido del agua en el fruto, afectando su compacidad y bajando el contenido de azúcares. Pero también con elevada radiación se afecta la calidad del fruto, en lo que respecta al crecimiento y desarrollo del fruto.

Dentro de la radiación solar incidente, hay que tener en cuenta que la radiación infrarroja es la responsable de aportar el calor, de gran importancia en los cultivos protegidos y la radiación visible que es indispensable para la actividad fotosintética de las plantas (Olivares, *et al.*, 2008).

2.8 El Cultivo del Tomate Bajo Invernadero en México

El sistema de producción de jitomate en invernadero que normalmente se practica en Europa, Estados Unidos y México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población que van de dos a tres plantas por metro cuadrado, donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de siete metros de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año (2000Agro, 2013).

Syngenta (2010), menciona que la producción de tomate en invernadero es una actividad que abarca diversas tecnologías de agricultura y que, sin lugar a dudas, constituye una de las oportunidades de inversión más rentables y de mayor futuro en México. En la actualidad, las exportaciones de tomate fresco de invernaderos en México representan un volumen de 250 mil toneladas, sembradas en una superficie de agricultura protegida de 3,200 hectáreas. Con un valor cercano a los 400 millones de dólares, dicha producción equivale a más del 35% del valor de las exportaciones totales de tomate mexicano.

En México, la producción de frutas y hortalizas en invernadero puede clasificarse en dos grandes categorías: a) las unidades de producción intensiva en

capital de alta tecnificación, y b) las unidades rústicas o semi-rústicas de pequeña escala orientada a abastecer los mercados locales (Cuevas, *et al.*, 2002).

2.9 La Hidroponía Como Sistema de Producción

En 2013, 2000Agro: La revista industrial del campo, menciona que de acuerdo con la Asociación Internacional de los Cultivos sin Tierra (ISOSC, por sus siglas en inglés), hasta el año 2000, en el mundo se cultivaban más de 25 mil hectáreas bajo hidroponía. A la fecha, esta cifra ha sido superada por mucho, especialmente en países como Holanda, España, Francia y Japón. En México, al igual que en otros países, las cantidades de suelo que se pierden por un mal manejo agronómico o bien la poca disponibilidad de espacios para producir, han hecho que los cultivos hidropónicos sean una de las alternativas más viables para cultivar alimentos. Además, para productores orientados a los mercados de exportación, el uso de esta tecnología es un factor diferenciador que les lleva a ganar puntos en el ámbito agroalimentario internacional. Poco a poco, los sistemas hidropónicos se consolidan como una alternativa alimentaria de alimentos, sanos e inocuos. En México, una de las principales hortalizas cultivadas mediante hidroponía es el tomate, producto que ocupa el primer lugar en las exportaciones hortofrutícolas de nuestro país.

Los sistemas hidropónicos pueden ser clasificados como:

- Sistemas de circuito abierto donde una vez que ha sido suministrada la solución nutritiva a la planta, no se vuelve a utilizar.
- Sistema de circuito cerrado donde la solución es captada en un tanque de almacenamiento; se repone el agua evapotranspirada verificando el pH y conductividad eléctrica y nuevamente es reciclada (Jensen y Collins, 1985).

2.9.1 Ventajas

Baixauli y Aguilar (2002), puntualizan las ventajas más notables de los cultivos sin suelo de hortalizas, entre las que se encuentran las siguientes:

- a) Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.
- b) La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo, puesto que trato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.
- c) En sistemas cerrados, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes. Por el hecho de tener controlados dichos drenajes se evita la contaminación de suelos y acuíferos.
- d) Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos procedentes de residuos, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc., con muchas posibilidades y con posibles soluciones por explotar a nivel local.
- e) Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos totalmente inertes, con ausencia de enfermedades típicas del suelo, convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes, entre los que cabe citar el bromuro de metilo, el cual se encuentra en fase de desaparición.
- f) Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, tutorados, etc.. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando en general las condiciones de trabajo. En determinados cultivos como el fresón cultivado en invernadero, la posibilidad de montar el sistema en altura, puede facilitar la recolección.
- g) Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.

- h) Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.

2.9.2 Desventajas

La hidroponía como sistema de producción en invernadero también tiene algunos inconvenientes muy señalados, como mencionan Baixauli y Aguilar (2002), de la siguiente manera:

- a) En las instalaciones donde se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante, cuando se evacuan los drenajes al suelo ó a una fosa.
- b) El vertido tanto de sustratos como de plásticos de forma incontrolada, es también contaminante.
- c) Pueden aparecer, y de hecho aparecen, enfermedades de raíz, por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos. Un ejemplo es el Phytium que actúa en sistemas de cultivo sin suelo sobre plantas adultas, produce enanismo acusado y llega a matar las plantas.
- d) El sistema requiere de una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajos volúmenes de sustrato, con poca reserva de agua y un error puede traer consecuencias fatales.
- e) En sustrato se da una menor inercia térmica que en el suelo y los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental.
- f) El establecimiento de un cultivo sin suelo, supone un mayor coste de instalación, tanto por los elementos de riego, por la conveniencia de adecuar el cabezal de riego, la adquisición de contenedores y sustratos.
- g) Por ser una técnica novedosa para el agricultor, requiere de un asesoramiento técnico, aunque en muchos casos pasa a ser una ventaja, puesto que dicho servicio termina siendo un asesoramiento integral del cultivo.

2.9.3 Solución Nutritiva Universal

En hidroponía y en producción en sustratos, la nutrición de los cultivos se realiza a través de una solución nutritiva, debido a que los sustratos son químicamente inertes, no deben suministrar ningún nutrimento a las plantas (Enriquez, 2012).

La solución nutritiva es la disolución en agua de los nutrientes necesarios para la alimentación de la planta, que deben estar en forma asimilable, en concentración y en proporción adecuada. La proporción o equilibrio adecuado en la solución del suelo influye en el crecimiento o desarrollo de los cultivos (Burgueño, 1999).

El concepto de solución nutritiva ha sido originalmente propuesto para sistemas hidropónicos o de cultivos sin suelo, pero también aplica para cultivos en suelo (Castellanos y Ojodeagua ,2009).

Castellanos y Ojodeagua (2009), mencionan que las soluciones nutritivas nacieron en 1860 y continúan desarrollándose hasta mediados del siglo XX, también menciona las soluciones nutritivas clásicas entre las que figuran Knop 1860, Crone 1900, Arnon 1902 y Hougland 1950. Hace referencia a Steiner quien en 1961, propone el concepto de solución nutritiva universal, indicando que las plantas podían crecer bien , siguiendo los porcentajes equivalentes de aniones y cationes.

La concentración a la que se encuentran los distintos iones se puede expresar de distintas formas, siendo en los sistemas de cultivo sin suelo la de mmol/l. o meq/l, la más común para el caso de los macroelementos y la de ppm., para la de los microelementos (Baixauli y Aguilar, 2002).

Cuadro 3. Relaciones de concentraciones (Meq L⁻¹) para aniones y cationes.

Aniones	% (Meq L ⁻¹)	Cationes	% (Meq L ⁻¹)
NO ₃ ⁻	60	Ca ⁺⁺	45
H ₂ PO ₄ ⁻	5	K ⁺	35
SO ₄ ⁼	35	Mg ⁺⁺	20

Fuente: Steiner (1980).

Cuadro 4. Cantidad de iones y cationes en la solución nutritiva requerida en la planta de tomate.

Unidad	Elementos cationes				Elementos aniones			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Σ
Meq L ⁻¹	9	4	7	20	12	1	7	20
Σ de Cationes - Σ de Aniones= 0								
20 - 20 = 0								

Fuente: Steiner (1966).

2.9.3.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica (Baixauli y Aguilar, 2002).

En general, podemos decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0,75 mS/cm, permisible con valores de 0,75 a 2 mS/cm,

dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; el fresón y la judía son sensibles (Baixauli y Aguilar, 2002).

2.9.3.2 pH

El pH de una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones (Baixauli y Aguilar, 2002). El pH se define una vez que se establece la proporción relativa de los aniones y los cationes, y la concentración total de ellos en Me L-1, lo cual significa que el pH es una propiedad inherente de la composición química de la SN y no puede cambiar independientemente (De Rijck y Schrevens, 1998).

El pH apropiado de la SN para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5.5 y 6.5; sin embargo, el pH de la SN no es estático, ya que depende del CO₂ en el ambiente, de que la SN se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutrimental, de la fuente nitrogenada utilizada, etc (Favela, *et al.*, 2006).

2.10 Requerimientos Nutricionales

Uno de los factores más importantes para tener altos rendimientos de tomate en invernadero es la nutrición de la planta (Olivares, 2008). Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere de una alta disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Zn. (Jaramillo, 2006).

Pérez, *et al.*, (2002), mencionan que el orden de extracción de nutrientes por la planta de tomate en forma decreciente es K, N, Ca, S, Mg y P.

Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del tomate en Kg/ha

Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
150	200	275	150	25	22

Fuente: Pérez, *et al.*, (2002).

2.10.1 Nutrientes

2.10.1.1 Potasio

El rol del potasio en tomate se relaciona directamente con la calidad y producción (Tjalling, 2006). La principal función del potasio se asocia con las relaciones hídricas y absorción por la planta. Mantiene el potencial osmótico de las células. Participa como activador de innumerables enzimas y juega un papel importante en casi todos los procesos metabólicos de la planta (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

El K juega un papel importante en la cantidad de azúcares que acumula el fruto; al igual que el fósforo, el K ayuda a aumentar la cantidad de materia seca y vitamina C (Pérez, *et al.*, 2002).

Según Favela, *et al.*, (2006), la planta absorbe el potasio como K^+ .

2.10.1.2 Nitrógeno

Según Moreno (2007), el nitrógeno es utilizado por las plantas, para sintetizar aminoácidos formación de clorofila, proteínas, desarrolla follaje y tallos.

Su deficiencia da menor altura de planta por entrenudos cortos, hojas cloróticas, tallos y ramas quebradizos. El exceso provoca plantas muy frondosas con grandes hojas de color verde oscuro, elongación de tallo, disminución de floración y poca resistencia a heladas.

Las plantas pueden absorber este nutrimento en forma de ion NO_3^- o NH_4^+ , el N_2 atmosférico; también lo aprovechan mediante reducción microbiana (Favela, *et al.*, 2006).

2.10.1.3 Calcio

Este elemento estimula la formación de raíces y hojas. Es esencial para las paredes celulares, provee energía a las células y regula el flujo de nutrientes hacia ellas (Pérez, *et al.*, 2002). Por ser un elemento poco móvil, su traslocación es lenta y su deficiencia se aprecia rápidamente en las zonas meristemáticas (Jaramillo, *et al.*, 2007).

El síntoma principal de una deficiencia severa de este elemento es la pudrición apical (Pérez, *et al.*; 2002; Favela, *et al.*, 2006; Jaramillo, *et al.*, 2007; Castellanos y Ojodeagua, 2009).

2.10.1.4 Azufre

Según Moreno (2007), las plantas demandan bastante azufre, predominando en las hojas. Funciona como material formador de varias proteínas, favorece el crecimiento radical y mejora el suministro de clorofila.

2.10.1.5 Magnesio

Moreno (2007), menciona que el azufre es un elemento demasiado móvil, constituyente esencial de la molécula de clorofila, actúa como transportador del fósforo dentro de la planta; el Mg abunda en hojas y semillas.

Según Favela, *et al.*, (2006), Al igual que el Ca, el Mg puede encontrarse en las plantas como elemento estructural (forma parte de la molécula de clorofila) o como cofactor enzimático que actúa sobre sustratos fosforilados, por lo que tiene gran importancia en el metabolismo energético. Y menciona también que el magnesio se absorbe activamente en forma de Mg^{++} .

2.10.1.6 Fosforo

Castellanos y Ojodeagua (2009), señala que el fosforo es un constituyente de enzimas y proteínas y un componente esencial de los ácidos nucleicos. Juega un papel fundamental en las funciones reproductivas, tales como la floración, la precocidad a la madurez y la calidad de fruto. En las etapas tempranas de la planta está implicado en el crecimiento de la raíz. Participa prácticamente en todos los procesos metabólicos de la planta y juega un papel regulatorio en la formación y traslocación de azúcares y almidones.

Lo contienen las semillas, frutos y tejido meristemático, es soluble y relativamente móvil (Moreno, 2007).

2.11 Labores Culturales

2.11.1 Producción de plántulas

Para el establecimiento de un cultivo se deben producir plántulas de calidad en almácigos provistos de tecnología que permitan tener plántula en tiempo y condiciones requeridas para lograr la sobrevivencia al trasplante, o bien, se puede optar por adquirir plántulas con productores que se dediquen a dicha actividad y que garanticen el vigor y sanidad de la planta (Linares, 2004).

Moreno (2007), describe la producción de plántulas comenzando por la utilización charolas de polietileno, esterilizadas previamente con productos como algún fungicida comercial, llenando las cavidades con turba (peat most) que es un material inerte, colocando en cada una de las cavidades las semillas de tomate a una profundidad de 2 a 3 milímetros, se cubren con el mismo material, apilando de 6 a 8 charolas previamente humedecidas, cubriéndolas con plástico para evitar pérdidas de humedad y al mismo tiempo conservar el calor.

2.11.2 Densidad de población

La tendencia en los invernaderos ha sido usar de 2.5 a 3 plantas/m², apostando por los ciclos medios y largos y sosteniendo un determinado volumen a los mercados, con un rendimiento sostenido a lo largo del ciclo del orden de 1.5 kg/m² por semana (Muñoz, 2009).

2.11.3 Sustrato

Las funciones más importantes de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas. (Abad, 2001)

La elección de un determinado material va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad del mismo, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste, de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación (Baixauli y Aguilar, 2002).

Los sustratos que mas comúnmente se usan en la horticultura protegida en los sistemas de cultivo sin suelo son: tezontle, perlita, arena, lana de roca, fibra de coco, tepetzil, tepojan y pumacita (Vázquez, *et al.*, 2009).

2.11.4 Podas

Según Jaramillo, *et al.*, (2007), con el propósito de propiciar mayor aireación, luminosidad, sanidad y calidad de los frutos, se deberán realizar en la planta las podas de brotes laterales, hojas viejas, flores dañadas o defectuosas, frutos y brote apical o despunte.

2.11.5 Tutoreo

Garza y Molina, (2008), describen el tutoreo como una práctica impredecible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores

culturales (destallado, recolección, etc). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

2.11.6 Polinización

Para obtener una buena formación de frutos en el cultivo de tomate bajo agricultura protegida, las flores necesitan ayuda para ser polinizadas. Para que se produzca una buena polinización y fructificación, el polen debe soltarse del estambre y hacer contacto con el estigma (Syngenta, 2010).

La polinización se puede hacer mecánicamente moviendo las plantas, haciendo circular el viento mediante sopladores o ventiladores y la utilización de abejorros que son altamente eficientes para estimular este proceso (Moreno, 2007).

2.11.7 Fertirriego

El sistema de fertirrigación es, hoy por hoy, el método más racional de que disponeos para realizar una fertilización optimizada (Cadahia, 2001).

Baixauli y Aguilar (2002), puntualizan que los aspectos más importantes del manejo de sistemas hidropónicos son el riego, la frecuencia, dotación, numero, drenaje y manejo de la solución nutritiva. Dicen que el aporte de riego ha de permitir compensar las extracciones de la planta, evitar una posible acumulación de sales en el sistema radicular y mantener los niveles de oxigeno adecuados, con una correcta aireación.

2.12 Antecedentes de Investigación

Aquino (2014), evaluó soluciones nutritivas orgánicas en el ciclo otoño-invierno 2012 bajo condiciones de invernadero, utilizando como testigo la Solución nutritiva universal propuesta por Steiner, que contiene una concentración de 7 Meq L⁻¹ de Potasio, obteniendo valores sobresalientes dentro de las variables analizadas de altura de planta, grosor de tallo, peso por fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de lóculos y rendimiento total.

Ramírez, et al. (2011), evaluó el efecto del potasio en la calidad nutraceútica del fruto, con soluciones nutritivas a diferentes concentraciones de potasio a 20% (4 Meq L⁻¹), 40% (8 Meq L⁻¹), 60%(12 Meq L⁻¹) y 45%(9 Meq L⁻¹), en el otoño-invierno 2002-2003 y el otoño-invierno 2004-2005, concluyendo en que las concentraciones de potasio en la solución nutritiva afectan significativamente las concentraciones de sustancias nutraceútica tales como licopeno y β-caroteno, que son indicadores de la calidad interna del fruto.

Armenta (2004), evaluó soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de potasio con intervalos de 3.5 Meq L⁻¹, teniendo tratamientos de 3.5 Meq L⁻¹, 7 Meq L⁻¹, 10 Meq L⁻¹ y 14 Meq L⁻¹, concluyendo en que la influencia del potasio reside solo en las variables de calidad, obteniendo diferencias solo en diámetro polar y diámetro ecuatorial, menciona que el potasio no parece tener una función estructural en las plantas, pero desempeña numerosos papeles catalíticos, que no están claramente definidos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica de la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera se localiza entre los paralelos (25° 05' y 26° 54' N) y los meridianos (101° 40' y 104° 45' O) teniendo una altura de 1,139 m sobre el nivel del mar, en la parte Sur Oeste del estado de Coahuila y Noroeste del estado de Durango, al norte con el estado de Chihuahua y al sur con el estado de Zacatecas.

3.2 Ubicación Del Experimento

El experimento se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano del 2013 en el Invernadero número 3, ubicado en el Departamento de Horticultura, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en periférico y carretera a Santa Fe, en Torreón, Coahuila, México.

3.3 Características del Invernadero

El invernadero tiene una superficie de 207 m², cuenta con una estructura semicircular, con policarbonato en la parte frontal, tiene una cubierta con polietileno transparente calibre 600, con malla sobra al 50% utilizada en las estaciones de mayor radiación y altas temperaturas; para el control climático cuenta con una pared húmeda, un par de extractores automáticos con termostato, y con un piso de capa de grava.

3.4 Diseño Experimental

El experimento utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos y 10 repeticiones cada uno con un total de 40 unidades experimentales. Los cuatro tratamientos constaron de 3 soluciones nutritivas modificadas a partir del catión Potasio, y la solución nutritiva universal de Steiner como testigo, los tratamientos fueron modificaciones a la solución nutritiva universal de Steiner (1984) y su composición fue la siguiente:

Cuadro 6. Solución Testigo (Solución Nutritiva Universal) empleada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014

Unidad	Elementos cationes				Elementos aniones			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Σ
Meq L ⁻¹	9	4	7	20	12	1	7	20
Σ de Cationes - Σ de Aniones= 0								

Cuadro 7. Solución nutritiva tratamiento 1 (5K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014

Unidad	Elementos cationes				Elementos aniones			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Σ
Meq L ⁻¹	10.743	4.771	5.175	20.689	12.43	1.035	7.245	20.71
Σ de Cationes - Σ de Aniones= -0.021								

Cuadro 8. Solución nutritiva tratamiento 2 (9K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014

Unidad	Elementos cationes				Elementos aniones			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Σ
Meq L ⁻¹	7.374	3.275	8.721	19.37	11.628	0.969	6.783	19.38
Σ de Cationes - Σ de Aniones= 0.001								

Cuadro 9. Solución nutritiva tratamiento 3 (11K) evaluada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, ciclo primavera-verano 2013, UAAAN-UL 2014

Unidad	Elementos cationes				Elementos aniones			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Σ
Meq L ⁻¹	5.843	2.588	10.318	18.749	11.256	0.938	6.566	18.76
Σ de Cationes - Σ de Aniones= -0.011								

3.5 Análisis de Agua

Para la elaboración de las soluciones nutritivas es necesario obtener las aportaciones de nutrimentos que el agua de riego aporta, por ello se realizó un análisis del agua con que se cubrió la demanda hídrica del cultivo, en el cuadro 10, se encuentran las concentraciones de los elementos presentes en ella.

Cuadro 10. Análisis del agua empleada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en ciclo primavera-verano 2013 en la comarca lagunera. UAAAN-UL. 2014

Contenido del Agua	Concentraciones Meq L ¹
Nitratos (NO ₃ ⁻)	0.59
Fosfatos (H ₂ PO ₄ ⁻)	0
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	4.24
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	1.79
Cloruros (Cl ⁻)	3.64
Potasio (K ⁺)	0.01
Calcio (Ca ⁺⁺)	6.86
Magnesio (Mg ⁺⁺)	0.16
Amonio (NH ₄ ⁺)	0
Sodio (Na ⁺)	2.2

3.6 Material Vegetal

Se utilizó como material vegetal el híbrido IL 7046 F1 de crecimiento indeterminado de la empresa HARRIS MORAN®.

3.7 Establecimiento

El experimento se estableció el 27 de enero, 40 días después de la siembra con una densidad de población de 3 plantas/m². Previo al establecimiento del cultivo, se realizó la rehabilitación del invernadero, comenzado por la limpieza general, y desinfección, se prepararon macetas de 20 kg de capacidad con 70% de arena y 30% de perlita como sustrato, el cual se desinfecto en tambos de plástico de 200 litros utilizando como desinfectante cloro durante 2 días.

Se aplicaron los riegos suficientes para remover desinfectante y lixiviar sales.

3.8 Riegos

Se aplicaron riegos diarios a partir de la fecha del transplante, comenzando con la solución nutritiva testigo hasta la primer semana, a partir de entonces comenzaron a regarse con los tratamientos ya señalados; durante los primeros 21 días se aplicaron 2 riegos diarios por unidad experimental, 500 ml por la mañana y 500 ml por la tarde, después de esa etapa se rego un litro por la mañana y un litro por la tarde hasta el final del experimento.

Los fertilizantes comerciales que proveyeron los macronutrientes de las soluciones nutritivas fueron Ca(NO₃)₂, KNO₃, MgNO₃, MgSO₄, KH₂PO₄, los reguladores del pH fueron H₃PO₄ y H₂SO₄.

3.9 Manejo del cultivo

3.9.1 Tutoreo

El tutoreo se realizó utilizando rafia como sujetador de la planta pasándola por debajo de la maceta y amarrada al tallo muy por debajo de la primer hoja verdadera, circulando el tallo de forma ascendente hasta el brote apical, atando la rafia al alambre tutor sujetado a su vez a la estructura metálica interna del invernadero.

3.9.2 Polinización

Esta actividad se realizó al aparecer la primera inflorescencia a los 32 días después del transplante, y durante todo el experimento, entre las 9:00 y 11:00 horas del día, consistió en agitar manualmente las plantas por medio de la rafia a la que estaban sujetas hasta que visualmente se percibió el desprendimiento del polen.

3.9.3 Podas

Para la formación de la planta a un solo tallo, durante todo el ciclo del cultivo, se realizó la eliminación de brotes axilares. Se realizó una poda intercalada de hojas, dejando solo una hoja por debajo del racimo floral una vez comenzando el amarre de frutos. Para estas labores se utilizó unas tijeras de podas desinfectándose en cada corte.

3.10 Control de Maleza

El control de maleza se realizó dentro y fuera del invernadero periódicamente para evitar hospederos alternantes de plagas y enfermedades, para esta labor se utilizaron en su mayoría palas y azadones.

3.11 Control Fitosanitario

Durante el experimento se presentaron un par de plagas, mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y paratrioza (*Paratrioza cockerelli*), para su prevención y control se aplicaron periódicamente los insecticidas Endosulfan y Cipermetrina en dosis de 1ml L⁻¹. En el desarrollo del experimento no se presentaron enfermedades fungosas pero se hicieron aplicaciones preventivas de Captán, Tecto 60, Benomil, a razón de 1 gr L⁻¹ y Previcur, a razón de 1 ml L⁻¹.

3.12 Otras aplicaciones

Se realizaron aplicaciones al sustrato de un complejo de microelementos quelatados a razón de 0.38 gramos, dados por los cálculos necesarios para los tratamientos propuestos. Calendarizando las aplicaciones de acuerdo a su necesidad.

3.13 Cosecha

La cosecha se realizó periódicamente por fruto, una vez que los frutos presentaran madurez comestible, es decir un color completamente rojo y de consistencia rígida, la cosecha se realizó sin distinción de plantas o racimos fructíferos. Los frutos fueron evaluados al momento de ser cosechados.

3.13. Variables evaluadas

Para la determinación del efecto que tienen las diferentes concentraciones de miliequivalentes de potasio, se tomaron una serie de datos tomando en cuenta las siguientes variables para determinar la calidad del fruto: peso de fruto (PF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), espesor de pulpa (EP), número de lóculos (NL) y grados brix (BX). Para las variables, DP y DE se utilizó un vernier o pie de rey registrando las cantidades en centímetros, al igual que para la variable EP una vez que el fruto era cortado transversalmente, de la misma forma se contabilizó el número de lóculos (NL); para la variable PF, se utilizó una báscula digital y se obtuvo el rendimiento por planta (RP) y rendimiento total (R).

Las variables de fenología registradas fueron altura de planta y grosor de tallo.

3.13.1 Altura de la planta

La altura de planta se realizó utilizando un flexometro o cinta métrica de la base de la planta hasta el brote apical.

3.13.2 Grosor de tallo

Se realizó con la utilización de un vernier o pie de rey, en el mismo lugar cada semana para observar el crecimiento en el engrosamiento del tallo.

3.13.3 Peso de fruto

Se tomó el peso por fruto de los frutos de las repeticiones elegidas para evaluarse, utilizando en una balanza analítica y registrando el valor en gramos.

3.13.4 Diámetro polar

Este valor se tomó utilizando un vernier o pie de rey, midiendo longitudinalmente la parte inferior del fruto.

3.13.5 Diámetro ecuatorial

Este valor se tomó colocando el fruto en forma transversal y con el mismo vernier o pie de rey se le midió el diámetro en centímetros.

3.13.6 Espesor de pulpa

Una vez cortado el fruto por la parte ecuatorial, se midió el espesor de la pulpa utilizando una regla y registrando en centímetros el valor arrojado.

3.13.7 Sólidos solubles

El valor de sólidos solubles se obtuvo utilizando un refractómetro en donde colocando una gota de jugo de tomate se observaba el total de grados brix, que es un indicador de la calidad del fruto..

3.14 Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS 9.2 utilizando el procedimiento GLM con un diseño completamente al azar y utilizando la prueba de Tukey para la comparación de medias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de Calidad

4.1.1 Peso de fruto

Para la variable peso por fruto el análisis de varianza no encontró diferencias significativas en las fuentes de variación, mostrando una media general de 249.75 g, sin embargo el tratamiento 9K obtuvo una media de 279.5 g, superando a los demás tratamientos (Figura 1).

Aquino (2014), reporta un peso medio de 305.01g con la Solución nutritiva universal de Steiner (7 Meq L⁻¹). Ramírez, *et al.* (2011), reporta diferencias significativas cuando la solución nutritiva presenta un 40% (8 Meq L⁻¹) de K⁺⁺, sobre el 20% (4 Meq L⁻¹), y 60% (12 Meq L⁻¹); reporta una media de 137 g.

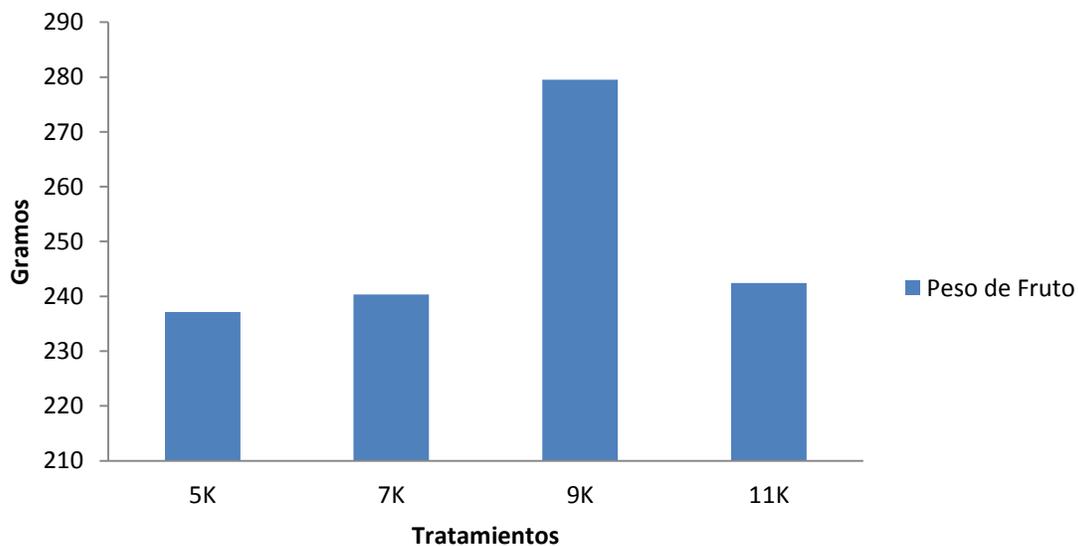


Figura 1. Peso por fruto de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Los resultados obtenidos en este trabajo difieren de lo reportado por Aquino (año) y Ramírez, sin embargo la media está cerca del rango de peso de los híbridos comerciales de exportación, que fluctúa entre 250g y 300g como lo señala Syngenta (2010).

4.1.2 Diámetro polar

El análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial, no presento diferencias significativas sin embargo el que obtuvo el mayor valor numérico fue el que presenta menor concentración de potasio, 5k.

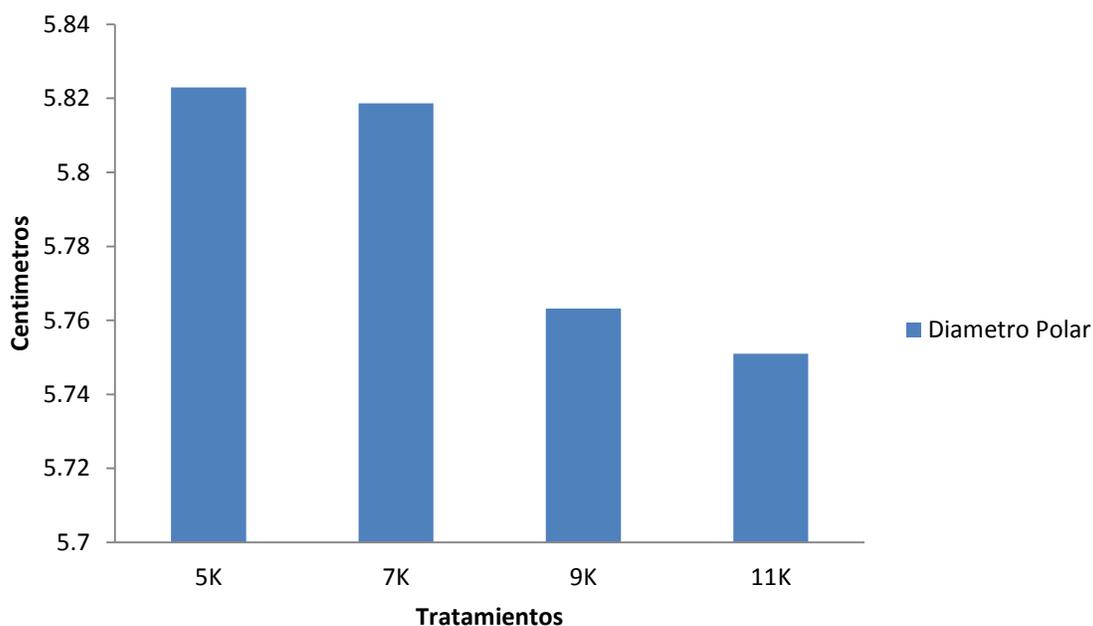


Figura 2. Diámetro polar de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Los resultados obtenidos difieren con los de Aquino (2014), que reporta una media de 6.88 cm para su tratamiento con solución nutritiva universal (7 Meq L⁻¹), también difiere con los obtenidos por Armenta (2004), quien obtiene una media de

5.27 cm con la misma concentración, pero coinciden en que a menor concentración de potasio es mayor el diámetro polar reportando una media de 5.65 cm con una concentración de 3.5 Meq L⁻¹.

4.1.3 Diámetro ecuatorial

Para este parámetro de calidad el análisis de varianza no encontró diferencias significativas, sin embargo el tratamiento 9K obtuvo el mayor valor con una media de 8.54 cm, seguido de 8.05 del tratamiento 11K., obteniendo una media general de 8.06 cm.

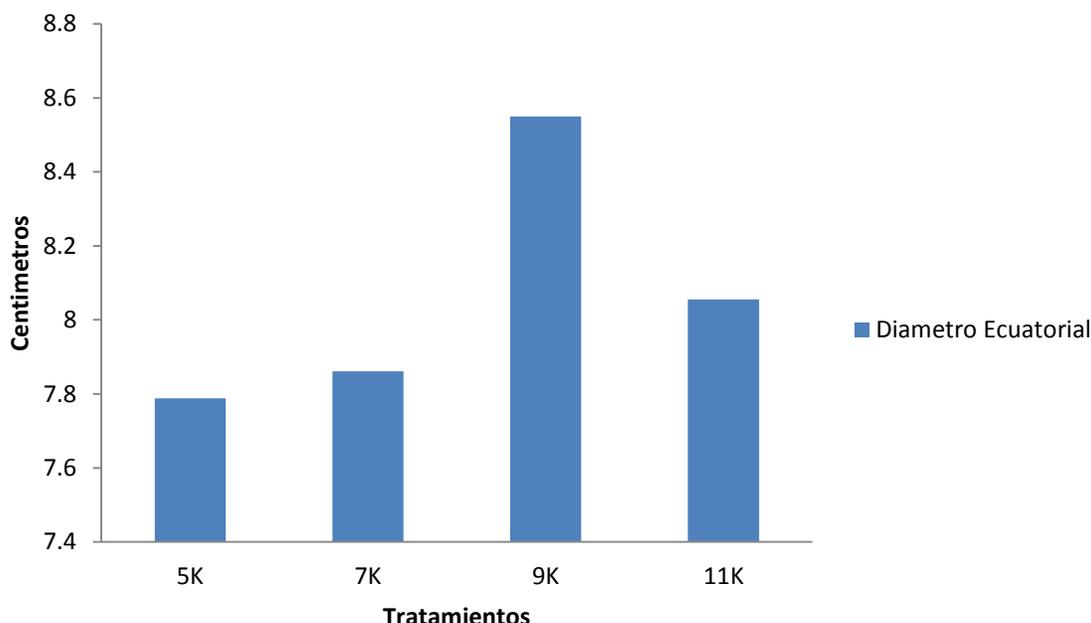


Figura 3. Diámetro ecuatorial de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Aquino (2014), obtiene una media de 7.85 cm con solución nutritiva universal (7 Meq L⁻¹), siendo igual a la obtenida por el mismo tratamiento en este experimento que obtuvo una media de 7.86 cm. Los resultados obtenidos

alcanzan valores mayores a los obtenidos por Ramírez, *et al.* (2011), que reporta una media general de 6.91 cm para el tratamiento con 45% (9 Meq L⁻¹) de Potasio en la solución nutritiva sobresaliendo sobre los demás tratamientos.

4.1.4 Espesor de pulpa

Para la variable espesor de pulpa, el análisis de varianza no presenta diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo una media general de 0.78 cm, siendo el tratamiento 9K el de menor valor con 0.74, y 5K el tratamiento que obtuvo el valor mayor con 0.814.

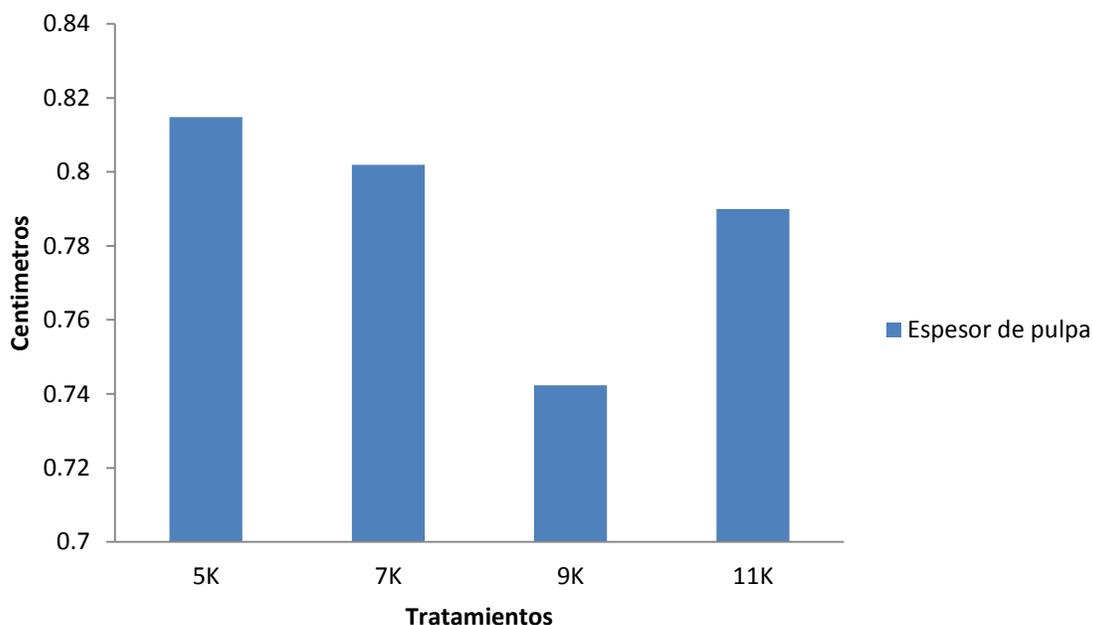


Figura 4. Espesor de pulpa de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Los resultados obtenidos difieren con los obtenidos por Aquino (2014), en su experimento reporta una media para la solución nutritiva universal de 1.27 cm.

4.1.5 Numero de lóculos

Para la variable número de lóculos en fruto, el análisis de varianza presenta diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 9K el que obtiene una media de 6.96, sobresaliendo sobre los demás tratamientos, seguido del tratamiento 11K con 6.16 como se muestra en la figura 5.

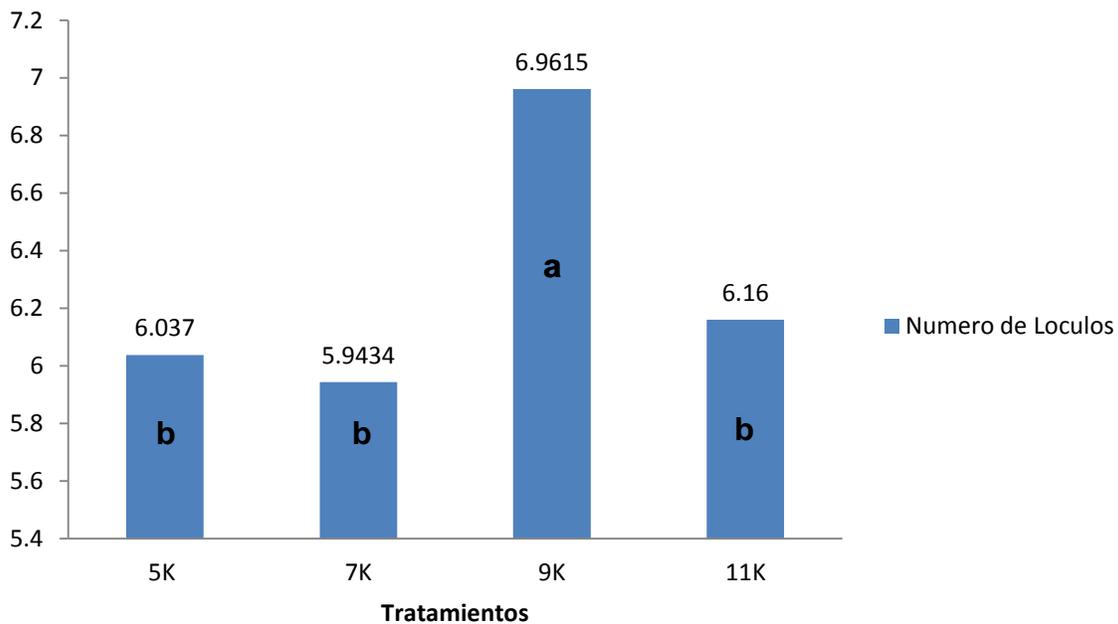


Figura 5. Número de lóculos de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

*Letras iguales entre columnas son estadísticamente iguales

Aquino (2014), reporta una media de 5.6 con la solución Steiner superando a sus otros tratamientos, los resultados obtenidos superan a los reportados por Aquino, sin embargo difieren con los valores estándar para ese parámetro de calidad que se encuentra entre 4 y 5 lóculos para frutos comerciales.

4.1.6 Sólidos Solubles

El análisis de varianza para la variable Sólidos solubles encontró diferencias estadísticas significativas para las fuentes de variación; el tratamiento 9K obtuvo una media de 4.3 grados Brix, mientras que el menor valor lo arrojó el tratamiento 5K con 3.8.

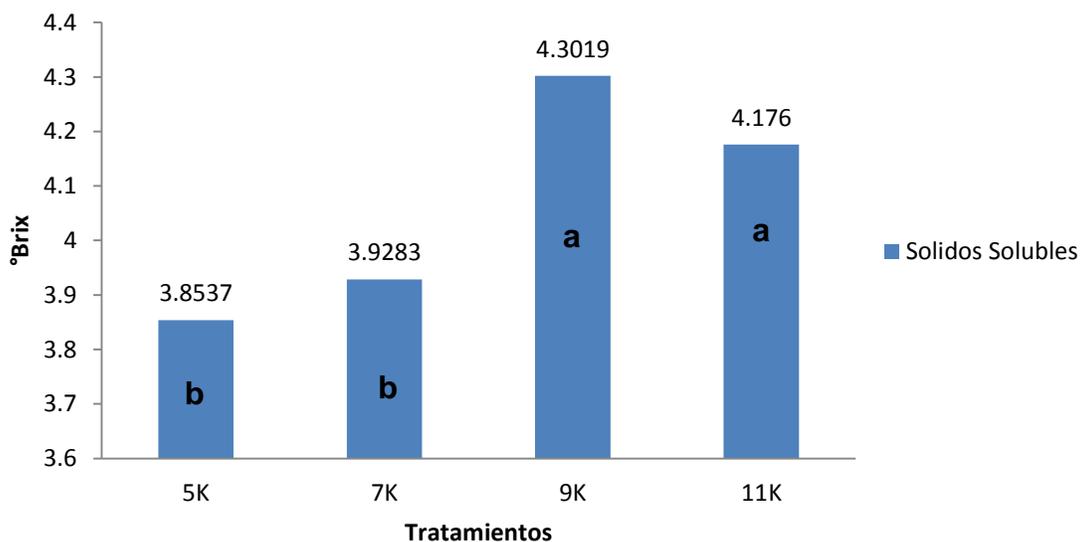


Figura 6. Sólidos solubles de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

*Letras iguales entre columnas son estadísticamente iguales

Los resultados obtenidos por Ramírez, *et al.* (2011), superan a los del presente trabajo reportando una media de 5.29 para la solución a un 45% (9 Meq L⁻¹) de potasio que supera a todos los tratamientos evaluados. Según Siller y Baez (2009), los frutos mayores a 4.5° Brix son clasificados como frutos de buen sabor, mientras que los que se encuentran por debajo de 4° Brix son clasificados como calidad no aceptable.

Tjalling (2006), señala que una relación mayor de K/Ca en la solución nutritiva produce más °Brix, y un aumento de vida en postcosecha, menciona también que independiente de una relación K/Ca, a mayor nivel de Mg, se tiene mayores °Brix y mayor vida postcosecha.

4.2 Variables de crecimiento

4.2.1 Altura de planta

Para los parámetros de fenología, el análisis de varianza no encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos. La solución nutritiva universal (7K) presento la mayor altura con 152.25 cm a los 93 días después del transplante (Figura 7), los cuatro tratamientos se comportaron estadísticamente iguales,

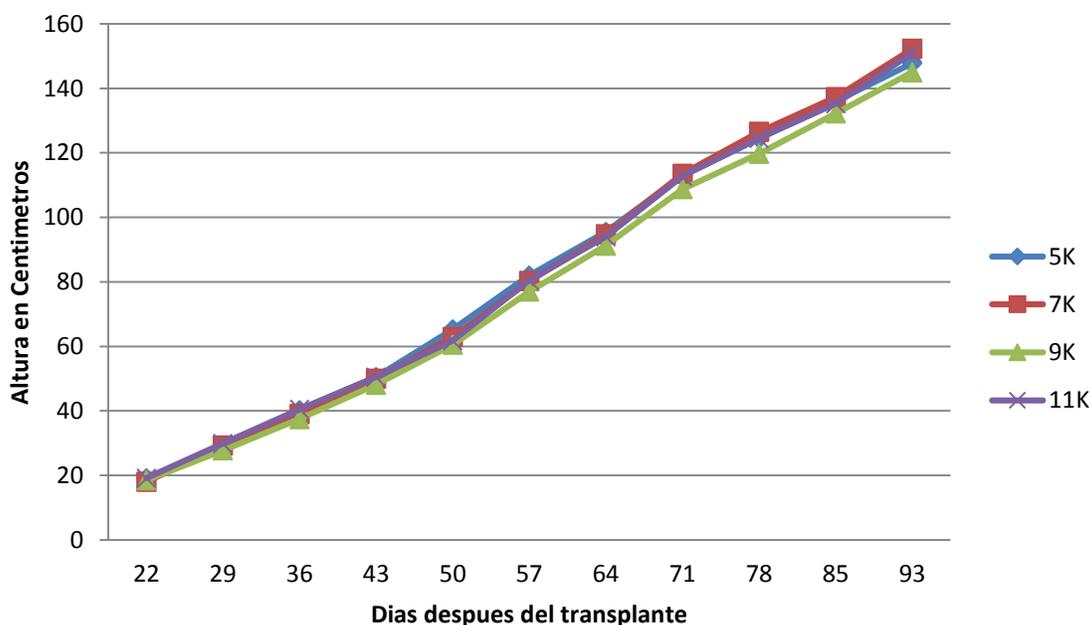


Figura 7. Altura de planta de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

4.2.2 Diámetro de tallo

Para esta variable no se encontraron diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento con mayor concentración de potasio (11K) el que presentó el mayor diámetro de tallo con 2.01 cm, seguido del tratamiento 5K con 1.81 cm, al final 7K con 1.77 y 9K con el mismo valor (figura 8).

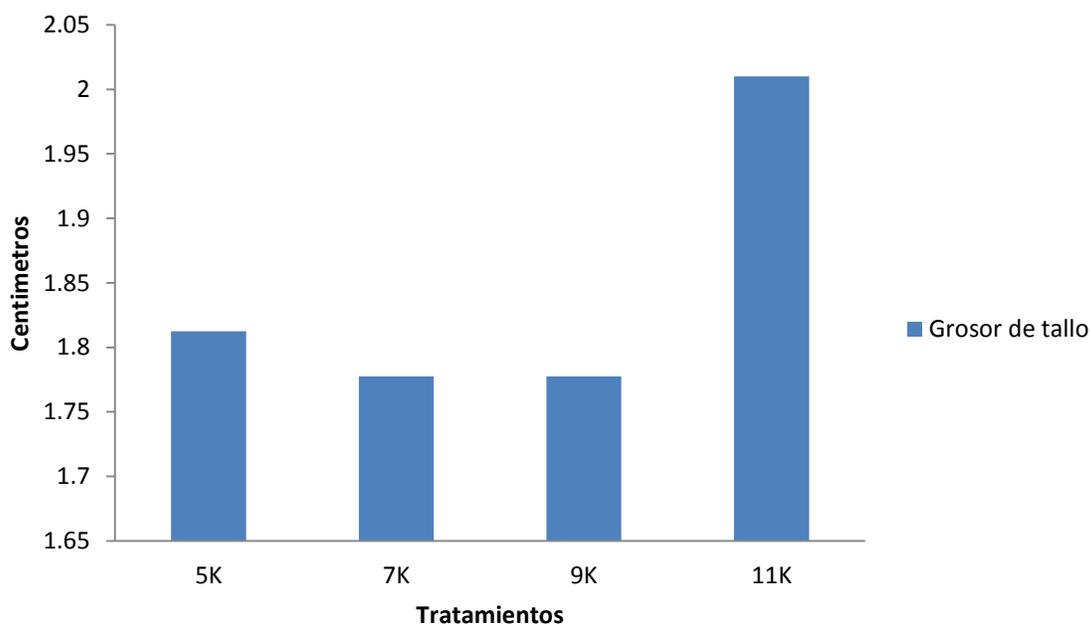


Figura 8. Grosor de tallo de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-JL, 2014.

Tjalling (2006), menciona que la acción del potasio en la síntesis de proteína refuerza la conversión del nitrato absorbido en proteínas, contribuyendo a una mejor eficiencia del fertilizante nitrogenado proporcionado, siendo evidente en los resultados que presenta esta variable, entre mayor concentración de potasio, mayor diámetro de tallo, ya que al ser mejor absorbido el nitrógeno existe un mayor crecimiento.

4.2.3 Rendimiento por planta

Para la variable rendimiento por planta no se presentaron diferencias significativas en las fuentes de variación, sin embargo el tratamiento 9K, presento el mayor valor cuantitativo para esta variable con una media de 3.63 kg, mientras que el tratamiento con menor rendimiento fue el que presenta mayor concentración de potasio (11K) (Figura 9).

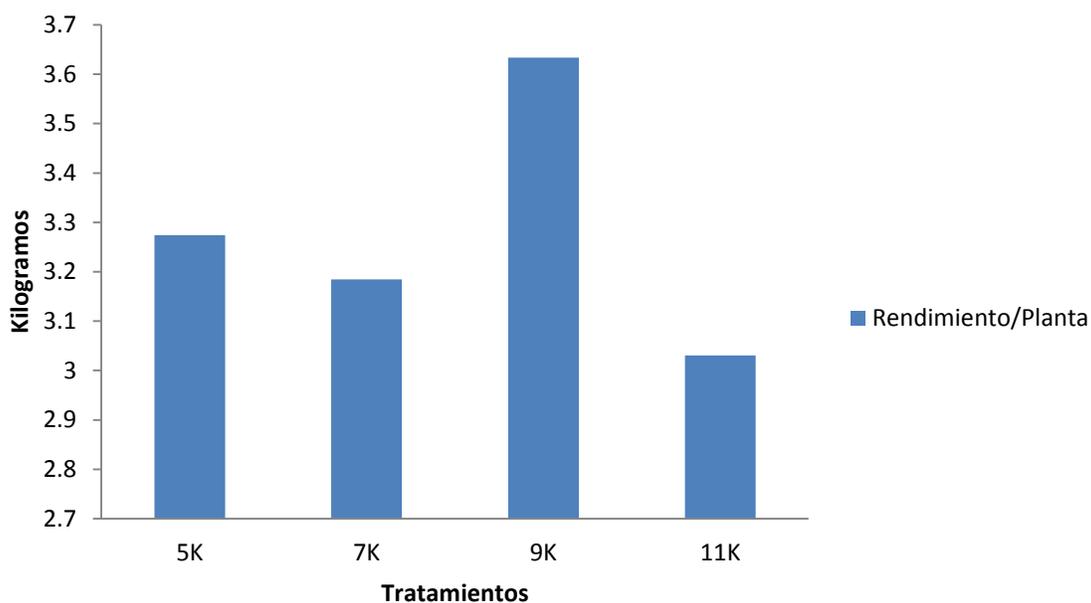


Figura 9. Rendimiento por planta de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Muños (2009), menciona que para un marco de plantación de 2 a 3 plantas/m², se tiene un producción de 1.5 kg/m².

4.3 Rendimiento Total

El análisis de varianza para la variable rendimiento total, no presento diferencia significativa, sin embargo el tratamiento 9K presento el mayor rendimiento total con 109 tonha⁻¹, mientras que el menor valor lo presento el tratamiento 11K con 90.9 tonha⁻¹ (Figura 10).

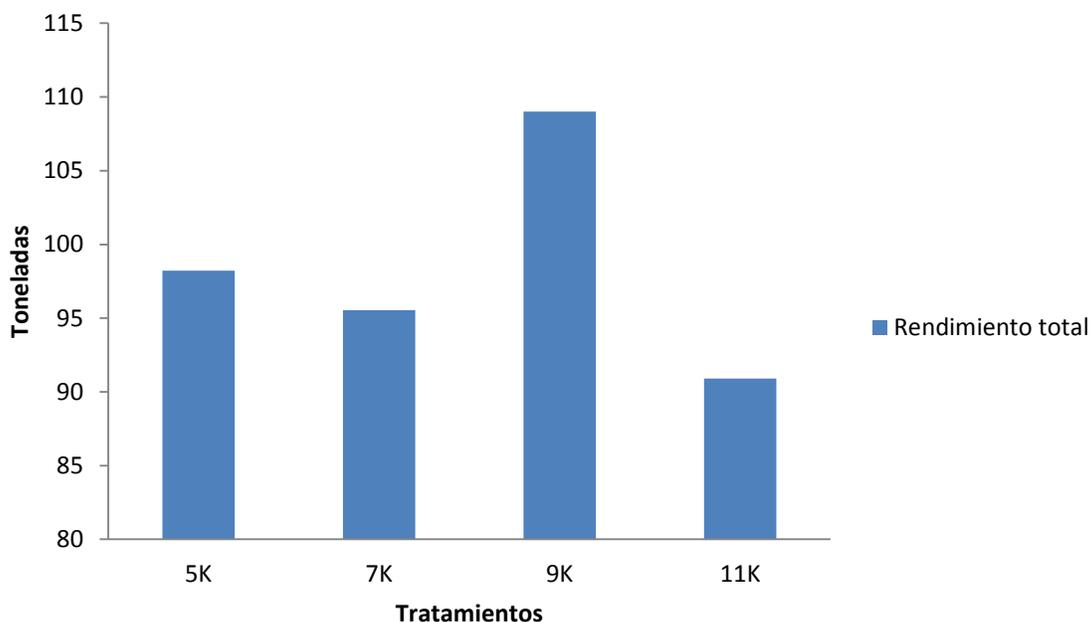


Figura 10. Rendimiento total de tomate tipo bola bajo evaluación de fertilización potásica en invernadero, ciclo primavera-verano 2013. UAAAN-UL, 2014.

Tjalling (2006), señala que los aumentos en los niveles de potasio de la fertilización o la solución nutritiva, mejora la forma de la fruta, reduce la incidencia de desórdenes de maduración, reduce la proporción de fruta hueca, mejora la firmeza de la fruta y mejora el sabor mediante el aumento de acidez, sin embargo en relación a la producción no hace mención.

V. CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis planteada que dice que la concentración del catión potasio en la solución nutritiva influye positivamente en la calidad y rendimiento del tomate, siendo más evidente en cuanto a las variables de calidad.

El tratamiento con 9 Meq L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva, presentó los mejores resultados cuantitativos para las variables peso de fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de lóculos, sólidos solubles, rendimiento por planta y rendimiento total; sin embargo sólo presentó diferencias estadísticas significativas para las variables número de lóculos y sólidos solubles.

La concentración del catión potasio dentro de la solución nutritiva influyó en la calidad del fruto sin embargo no influye estadísticamente en el rendimiento. Un aumento de 20% o 2 Meq L⁻¹ en la solución nutritiva universal, resultó ser la concentración óptima para aumentar la calidad del fruto.

En la agricultura protegida es cada vez más relevante el uso de soluciones nutritivas para la producción de hortalizas, como lo es el tomate, para ello se buscan las concentraciones óptimas de cada elemento, sin olvidarse del balance iónico para la obtención de frutos de buena calidad y buenos rendimientos.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Abad, M. 2001. Sustratos para el Cultivo sin suelo. Pp. 130-166 En: Nuez, F. El Cultivo del Tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera Edición, 1995. Reimpresión 2001. España. 793 p.
- Alpi, A.,y F. Tognoni, 1991. Cultivo en Invernadero (3ra. Ed) Madrid, España. Mundi-Prensa Libros. 343 p.
- Aquino, G.B. 2014. Produccion hidropónica de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. 70 p.
- Asociacion de Agrónomos Indígenas de Cañar, AAIC, 2004. Diseño, construcción y mantenimiento de invernaderos de madera. Editorial Abya Yala. Segunda Edición. Quito, Ecuador. 59 p.
- Baixauli, C. y Aguilar, J. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Serie de Divulgación Técnica N° 53. Generalitat Valenciana, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 110 p.
- Burgueño, H., 1999. La Fertigación en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico. Bursag S.A. de C.V. Culiacán, Sinaloa, México. 88 p.
- Cadahia, C., 2001. Fertilización Pp. 167-187 En: Nuez, F. El Cultivo del Tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera Edición, 1995. Reimpresión 2001. España. 793 p.
- Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. Panorama de la Horticultura Protegida en México Pp. 1-18 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI_AMHPAC. Panorama de la agricultura Protegida en México. Manual de Produccion de tomate de invernadero. INTAGRI-México.
- Castellanos, J.Z y J.L Ojodeagua 2009. Formulación de Solución Nutritiva Pp. 131-156 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI_AMHPAC. Panorama de la agricultura Protegida en México. Manual de Produccion de tomate de invernadero. INTAGRI-México.
- Chamarro, J., 2001. Anatomía y Fisiología de la Planta Pp. 43-91 En: Nuez, F. El Cultivo del Tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera Edición, 1995. Reimpresión 2001. España. 793 p.
- Claridades Agropecuarias. 1998. Jitomate y Soya. Num 62. 36 p.
- Cuevas, R., Maser, O. y Díaz , R . 2002 Calidad y Competitividad de la Agroindustria de América Latina y el Caribe: Uso Eficiente y Sostenible de la Energía. FAO. Pátzcuaro, Michoacán, México.

- FAOSTAT 2014, Products, Crops. [Disponible en línea] http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/search/*/E (Fecha de consulta 01/10/2014).
- Favela, E., Preciado, R.P., Benavides, A. 2006. Manual para la Preparación de Soluciones Nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila. 146 p.
- Garza, M. y Molina, M. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. Gobierno del Estado de Nuevo León-SAGARPA 183 p.
- ITIS, Integrated Taxonomic Information System, 2014. [Disponible en línea] http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671 (Fecha de consulta 01/10/2014).
- Jaramillo, J., V.P. Rodríguez, M. Guzmán y M. Zapata. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 48 p.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V. P.; Guzmán, M.; Zapata, M.; Rengifo, T.; 2007.; Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO-. Gobernación de las Naciones Unidas seccional de salud de Antioquia-Mana-, Convenio Fao-Mana: proyecto de seguridad alimentaria y buenas Prácticas Agrícolas Para el Sector Rural en Antioquia proyectos UTF/COL/027,TCP/COL/3101. Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Medellín, Colombia. 313 p.
- Jensen, M. H. and W. L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 483- 559.
- Linares, O. H., 2004. Manual del Participante, Cultivo de Tomate en Invernadero. [Disponible en línea] <https://es.scribd.com/doc/24471502/Cultivo-de-Tomate-Bajo-Invernaderos-II> (Fecha de consulta 08/10/2014)
- Muñoz, R. J., 2009. Manejo del Cultivo de Tomate en Invernadero Pp. 45- 92 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI_AMHPAC. Panorama de la agricultura Protegida en México. Manual de Produccion de tomate de invernadero. INTAGRI-México.
- Nuño, M. R. 2007 “Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California”.

- Olivares, E., García, N. E., Molina, M., Martínez, J. 2008. Producción de Tomate en Invernadero. Curso Teórico Práctico. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de Los Garza, Nuevo León. 101 p
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas, Dirección de Producción y Protección Vegetal. Roma, Italia. 323 p.
- Ortega, L. D. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Colegio de Postgraduados, Puebla, Puebla.
- Ortiz-Solorio, C. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa. 3ª Edición Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 327 p.
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., Larín, M. A. 2002. Guía Técnica, Cultivo de Tomate. CENTA, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. San Salvador, El Salvador. 49 p.
- Ramírez, S.L.F., Muro, E.J. y F.R. Serrano. 2011 Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. Acta Universitaria, 21(1): 5-10
- Siller C.J.H., y M.A. Baez. 2009. Recolección, empaque y manejo de poscosecha. Pp. 409-426 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI_AMHPAC. Panorama de la agricultura Protegida en México. Manual de Producción de tomate de invernadero. INTAGRI-México.
- Steiner, A., 1961 A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition Plant Soil. 15: 134-154 p.
- Steiner, A., 1966 The influence of Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato Plant Soil. 17:189-201 p.
- Steiner, A. A., 1980 The Selective capacity of plant for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution, Acta Horticulture. 98
- Syngenta, 2010. Boletín Técnico, Producción de Tomate Bajo Invernadero. Segunda Edición. Syngenta Agro S.A. de C.V. México, D.F.
- Tjalling, H. 2006. Guía de Manejo, Nutrición Vegetal de Especialidad, Tomate. SQM S.A. 83 p.
- Vázquez, G.V., Villalobos, R.S, y J.Z. Castellanos. 2009. Manejo del Riego en Sustratos Pp. 157-186 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI_AMHPAC. Panorama de la agricultura Protegida en México. Manual de Producción de tomate de invernadero. INTAGRI-México.

Winsor, G.W., J.N. Davies y J.H.L. Messing. 1958. Studies on potash/nitrogen ratio in nutrient solutions, using trickle irrigation equipment. Rep Glasshouse Crops Res Inst 1957, 91-98.

2000Agro, Revista industrial del campo, 2013. Hidroponía en escalera N° 80. 47 p.