



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE-SEDE TETELA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO AGUA Y SUELO PARA LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO EN DOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL

PRESENTA

JESÚS IVÁN ORTIZ LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ

Tetela de Ocampo, Puebla, México. Diciembre 2020



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

COMPLEJO REGIONAL NORTE-SEDE TETELA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO AGUA Y SUELO PARA LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO EN DOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL

PRESENTA

JESÚS IVÁN ORTIZ LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ

ASESORES

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

M.C. MARÍA DEL ROSARIO HERNÁNDEZ TAPIA

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, MÉXICO. DICIEMBRE 2020

La presente tesis titulada: **Optimización del recurso agua y suelo para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero en dos sistemas de producción** y realizada por **Jesús Iván Ortiz López**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular para obtener el Título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL

Complejo Regional Norte

Consejo Particular Integrado por:

Firma

Director: M.C. Benjamín Barrios Díaz

Asesor: Dr. Juan Manuel Barrios Díaz

Asesor: M.C. María del Rosario Hernández Tapia

El presente trabajo académico forma parte del cuerpo académico BUAP-CA-324: **“Sistemas agroforestales y agrícolas sostenibles”** y de la línea de investigación: **Agricultura protegida y uso eficiente de los recursos agrícolas**. Dicho trabajo fue financiado con recursos del proyecto PRODEP (IDCA 28628): **Evaluación de la eficiencia del uso de recursos naturales: Suelo y agua en la productividad de los sistemas de horticultura protegida**.

DEDICATORIA

A mi padre por todo el apoyo incondicional, por ser mi motivación al elegir esta licenciatura, porque día a día esta al pie del cañón ejerciendo esa noble labor en el combate de incendios forestales cuidando la flora y fauna del país, siempre con ese gusto y voluntad de hacerlo, estoy muy orgulloso de ti papá, de ti y de tu trabajo.

A mi madre que con tanto esfuerzo ha sabido apoyarme, cuidarme y quererme. Esa mujer tan bondadosa, amorosa y humilde que a pesar de tantas adversidades ha sabido mantener a flote la familia, siempre cuidando de mi hermano.

A mi hermano Rubén Ortiz López, por estar conmigo en las buenas y malas, por siempre apoyarme y por su amistad.

A mis abuelitos María Moctezuma Cástulo, Juana Buenaventura Zamora, Sídrac Ortiz Cortez y Ángel López Castro, por ser unas personas buenas conmigo, por apoyarme, por siempre estar pendiente de mí, por sus consejos y por tantas historias contadas, estoy muy agradecido con Dios por cuidar de ustedes y por permitir conservarlos a mi lado.

A los M.C. Benjamín Barrios Díaz y Gloria Vázquez Huerta, por brindarme su amistad incondicional, por haber creído en mí y por abrirme las puertas de su empresa, muchas gracias.

A mi tío Miguel Ángel Lopez Moctezuma por sus sabios consejos durante mi formación, por brindarme su apoyo incondicional, por creer en mí y por enseñarme cosas que me servirían tanto en mi formación académica como en la vida misma.

A Lupita García por su apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento tanto en lo personal como en la realización de este experimento.

A mi tío Javier Lopez Moctezuma por siempre apoyarme y por sus consejos.

A mis tías Guadalupe y Ángeles por creer en mí y por siempre pedir lo mejor para mí.

A la iglesia Bautista Berea, al pastor Custodio y a sus miembros por siempre estar pendiente de mí, por sus incontables plegarias por mí y por ser un refugio en las tempestades.

Este pequeño espacio es dedicado especialmente para las personas, familiares y amigos que se fueron físicamente pero espiritualmente moran en nuestros corazones.

A mi tío Nahum Ortiz Buenaventura por siempre transmitirnos esa energía tan positiva, por sus risas, siempre tendré el mejor recuerdo de usted, que Dios lo tenga en su santa gloria.

A mi tío Noe Ortiz Buenaventura, por sus consejos, regaños, su positividad, por ser una gran persona, Dios lo tenga en su santa gloria.

Al Lic. Alfredo Viguera Bonilla, por brindarme su amistad incondicionalmente desde el inicio de mi formación académica, por abrirme las puertas de su hogar, por su confianza, por haber sido una gran persona conmigo y con mi familia. Y por siempre haber estado ahí cuando más lo necesite, Dios lo tenga en su santa gloria.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme la oportunidad de llegar hasta donde estoy, por tantas bendiciones y por ser mi escudo y mi protector, por siempre cuidarme, conservarme y cuidar de toda mi familia.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por abrirme sus puertas y cobijarme por más de 4 años, por creer en mí y por permitirme estar en una de las mejores universidades del país.

A mis padres Rubén Ortiz Buenaventura y Patricia López Moctezuma por su apoyo incondicional en este gran proyecto de vida por estar pendiente de mí y no dejarme solo.

A mi abuela María Moctezuma Cástulo por todo su cariño y consejos.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por abrirme sus puertas, por creer en mí y por permitirme estar en una de las mejores universidades del país.

Al complejo regional Norte sede Tetela y su personal académico, así como administrativo por siempre estar al pendiente de mí, por cuidar de su alumnado, por siempre tratar de ser los mejores y por siempre mantener esa energía tan positiva.

A mi director de tesis M.C. Benjamín Barrios Díaz por darme la oportunidad de trabajar con el este tema de tesis, por su accesibilidad, su amistad y su confianza hacia mí.

A mis asesores Dr. Juan Manuel Barrios Díaz y M.C. María del Rosario Hernández Tapia por brindarme su apoyo durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

A Teza Agricultura Sustentable S.A. de C.V. Por abrirme sus puertas y permitirme trabajar mi experimento de tesis.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Generalidades.....	5
4.2. Importancia del jitomate a nivel mundial	5
4.3. Importancia del jitomate en México	6
4.4. Requerimientos	6
4.4.1. Temperatura	6
4.4.2. Humedad	7
4.4.3. Tipo de suelo	7
4.4.4. pH del suelo.....	8
4.4.5. Conductividad eléctrica (CE)	8
4.5. Labores culturales	9
4.5.1. Poda de formación.....	9
4.5.2. Tutorado	10
4.5.3. Destallado.....	10
4.5.4. Polinización.....	11

4.5.5. Densidad de plantación y arreglo espacial	11
4.5.6. Riegos.....	11
4.5.7. Fertirrigación.....	12
4.5.8. Fertilizantes para preparar soluciones nutritivas.....	12
4.5.9. Solubilidad	13
4.6.1. Pureza	13
4.6.2. Compatibilidad.....	13
4.7.1. Métodos de producción	15
4.7.2. Siembra en el suelo	15
4.7.3. Siembra en contenedores.....	15
4.7.4. Sistemas hidropónicos.....	15
4.8. Clasificación de frutos de jitomate	16
4.9. Sistema hidropónico New Growing System (NGS®)	16
4.10. Recursos Naturales	18
4.10.1. Agua	18
4.10.2. Suelo.....	20
4.10.3. Degradación de suelos según aspectos físicos, químicos y biológicos.....	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1. Ubicación del sitio experimental	24
5.2. Metodología.....	24
5.3.1. Material vegetal.....	25
5.3.2. Manejo agronómico del cultivo en suelo e hidroponía NGS®.....	26
5.3.3. establecimiento del cultivo	26
5.3.4. Marco de plantación en suelo	26
5.3.5. Marco de plantación en sistema NGS®.....	27
5.4. Fertilización	30
5.4.1. Sistema convencional.....	30
5.4.2. Sistema convencional fertilizado cada 3 días.....	31
5.4.3. Fertilización aplicada en el sistema NGS®	32

5.4.4. Acolchado.....	33
5.4.5. Control fitosanitario	33
5.5. Riego	34
5.5.1. Descripción de los componentes principales del sistema de riego del cultivo en suelo	34
5.5.2. Descripción de los componentes principales del sistema de riego del cultivo en el sistema hidropónico.....	35
5.6. Uso productivo de agua	36
5.7. Descripción de los tratamientos	37
5.8. Variables evaluadas	38
5.8.1. Variables vegetativas.....	38
5.8.2. Variables de rendimiento	39
5.8.3. Uso eficiente de los recursos naturales	42
5.8.4. Consumo de agua	42
5.8.5. Consumo de fertilizante	42
5.9. Diseño experimental	43
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
6.1. Variables vegetativas	44
6.1.1. Altura de planta	44
6.1.2. Diámetro de planta	46
6.2. Rendimiento.....	47
6.2.1. Número de frutos.....	47
6.3. Calidad de fruto	48
6.3.1. Peso de frutos	48
6.3.2. Largo de fruto.....	50
6.3.3. Diámetro de fruto	51
6.4. Optimización de los recursos naturales.....	52
6.4.1. Uso de agua	52
6.4.2. Uso de fertilizante.	54
VII. CONCLUSIONES	57

VI. LITERATURA CITADA.....	58
----------------------------	----

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	pagina
Cuadro 1.Principales países productores de jitomate en el mundo.	6
Cuadro 2. Características hídricas y físicas del suelo.....	8
Cuadro 3. Hortalizas y tolerancias a la salinidad.....	9
Cuadro 4. Fertilizantes solubles más utilizados para preparar soluciones nutritivas.	14
Cuadro 5. Clasificación de tamaño de jitomate tipo saladette.....	16
Cuadro 6. infraestructura de riego a nivel mundial	19
Cuadro 7. Litros de agua utilizados para producir 1 kg de jitomate en distintos países y en diferentes sistemas de producción.	23
Cuadro 8. Programa de fertilización del tratamiento dos expresado en gramos.	30
Cuadro 9. Programa de fertilización del tratamiento tres expresado en gramos.	31
Cuadro 10. programa de nutrición del tratamiento uno sistema NGS® expresado en gramos.	32
Cuadro 11. Contenido nutrimental en unidades fertilizante, de los fertilizantes empleados en el experimento.....	33
Cuadro 12. Rendimiento promedio de planta.....	49
Cuadro 13. Resultados obtenidos de litros utilizados para producir un kilogramo de jitomate.	53
Cuadro 14. Cantidad de fertilizante utilizados para la producción de jitomate en 1000 m ² .	55
Cuadro 15. Cantidad de fertilizante utilizados para la producción de jitomate en 1000 m ² .	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	pagina
Figura 1. Sistema de flujo de solución nutritiva en NGS. Fuente: Portal Frutícola (2017).	17
Figura 2. Principales tipos de degradación del suelo. Fuente: Alegre (2015).	22
Figura 3. Localización del invernadero experimental en Cuapancingo, Tetela de Ocampo, Puebla.....	24
Figura 4. Plántulas de jitomate variedad agua miel, utilizadas para el trasplante	26
Figura 5. Marco de plantación en suelo de plántulas de jitomate variedad agua miel	27
Figura 6. Marco de plantación en sistema NGS®	27
Figura 7. Componentes del sistema hidropónico NGS® 1) Elementos estructurales tipo “M”; 2) Celosía de soporte de la multibanda; 3) Multibanda NGS; 4) Manguera con estacas-gotero, goteros y microtubín; 5) depósito de agua para la recirculación y almacenamiento de agua con solución nutritiva; 6) sistema NGS® armado y listo para su funcionamiento.	28
Figura 8. Instalación de sistema de riego para el tratamiento dos y tres.	35
Figura 9. Instalación de sistema de riego utilizado para el sistema hidropónico NGS® ...	36
Figura 10. Evaluación de diámetro de tallo	38
Figura 11. Evaluación de altura de planta.....	39
Figura 12. Número de frutos por racimo	39
Figura 13. Longitud de fruto.....	40
Figura 14. Diámetro de fruto	40
Figura 15. Peso de fruto.....	41

Figura 16. Ganancia de altura promedio de planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.	45
Figura 17. Diámetro de tallo de plantas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.	46
Figura 18. Número de frutos promedio por racimo de jitomate (<i>solanum lycopersicum</i> L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.	47
Figura 19. Peso de frutos promedio por racimo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días	48
Figura 21. Promedio de largo de frutos (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.	50
Figura 22. Promedio de diámetros de frutos (<i>Solanum lycopersicum</i> L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.	51
Figura 23. Uso de agua durante el ciclo de producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS®(T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.	53
Figura 24. Uso de fertilizante durante el ciclo de producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación	

NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días. 55

OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO AGUA Y SUELO PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

RESUMEN

La optimización de los recursos agua y suelo consiste en el manejo adecuado dichos recursos para la producción agrícola protegida. La investigación se realizó con el objetivo de conocer qué tipo de sistema productivo es el más eficiente para la optimización de los recursos naturales en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), para ello se utilizó un tipo de diseño completamente al azar con tres tratamientos. los tratamientos evaluados fueron (T1) Sistema hidropónico de recirculación NGS[®], (T2) sistema convencional fertilizado diario (T3) tratamiento convencional fertilizado cada tres días concentrando la solución nutritiva a 3 veces su concentración. Fueron evaluadas 10 plantas de cada tratamiento, teniendo un total de 30 plantas evaluadas, se evaluaron vegetativamente y así mismo se evaluaron los frutos desde calidad, cantidad, diámetros polares, diámetros ecuatoriales. Donde se llevó a cabo dicha evaluación hasta el séptimo racimo, También se evaluó la cantidad de agua utilizada para cada uno de los tratamientos, así como también del uso de fertilizante. Se encontró que el (T1) sistema hidropónico NGS[®] obtuvo resultados inferiores en la parte de las variables vegetativas (altura y diámetro de tallo). Pero en las variables de rendimiento de fruto fueron muy similares los 3 tratamientos evaluados. Sin embargo, en la variable de uso de agua se encontró que el (T1) fue el más eficiente usando solo 53 litros de agua para la producción de 1 kg de fruta, concluyendo que se puede producir jitomates de buena calidad optimizando los recursos agua y suelo.

Palabras clave: Recursos naturales, calidad de fruto, sistema hidropónico, producción, agricultura protegida.

SOIL AND WATER RESOURCE OPTIMIZATION FOR THE PRODUCTION OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) UNDER GREENHOUSE IN TWO PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

The optimization of water and soil resources consists of the adequate management of these resources for protected agricultural production. The research was carried out with the objective of knowing what type of productive system is the most efficient for the optimization of natural resources in the tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.), for this a completely random design was used with three treatments. The treatments evaluated were (T1) NGS® recirculation hydroponic system, (T2) conventional daily fertilized system (T3) conventional treatment fertilized every three days concentrating the nutrient solution at 3 times its concentration. 10 plants of each treatment were evaluated, having a total of 30 evaluated plants, they were evaluated vegetatively and likewise the fruits were evaluated from quality, quantity, polar diameters, equatorial diameters. Where said evaluation was carried out until the seventh bunch, the amount of water used for each of the treatments was also evaluated, as well as the use of fertilizer. It was found that the (T1) NGS® hydroponic system obtained lower results in the part of the vegetative variables (height and stem diameter). But in the fruit yield variables the 3 evaluated treatments were very similar. However, in the variable of water use, it was found that (T1) was the most efficient using only 53 liters of water for the production of 1 kg of fruit, concluding that good quality tomatoes can be produced optimizing water resources and floor.

Keywords: Natural resources, fruit quality, hydroponic system, production, protected agriculture.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, necesario para la satisfacción de las necesidades de la población, puede ir acompañado de la sobreexplotación de los recursos naturales y de una contaminación ambiental excesiva, las cuales pueden comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. El agua y el suelo son dos recursos naturales no renovables indispensables para la agricultura protegida (Fernández 2013).

La producción agrícola en México ha sido acompañada de una sobreexplotación del recurso agua y suelo, así como si la escasez del líquido y erosión del suelo en algunas regiones de México, la cual ha impactado en la producción agroalimentaria del país disminuyendo así los rendimientos de los cultivos y los altos costos de producción para llevar agua a los lugares donde se encuentran las unidades de producción y los altos costos de maquinaria que implica cambiar o mejorar un suelo degradado (Pineda *et al.*, 2008).

En México los lugares dependientes de la agricultura están enfrentando restricciones debido a la salinización y erosión de los suelos que aumenta significativamente la concentración de sales solubles, reduciendo la productividad de muchos cultivos, la salinidad afecta a las plantas de jitomate, disminuyendo el desarrollo radicular, los tallos alcanzan menor altura, la cobertura foliar se reduce de modo que hay menos producción de foto asimilados, por lo que el número, peso y calidad de los frutos es afectado e impacta el rendimiento comercial post cosecha (Lamz, 2013).

La importancia de conocer la calidad del agua para riego tiene el fin de poder predecir su efecto sobre el suelo y los cultivos para esto, es necesario determinar la concentración cualitativa y cuantitativa de los iones en solución, principalmente los iones que causan toxicidad y los que originan la formación de sales nocivas. Los problemas más comunes causados por el agua de riego de mala calidad son la salinización paulatina de los suelos, que trae como consecuencia problemas osmóticos sobre las plantas, y la toxicidad de algunas sales y elementos iónicos (Can *et al.*, 2014).

Una alternativa para dar solución a estos dos grandes problemas es el sistema hidropónico, dicho sistema es muy utilizado esto debido a que es una alternativa productiva para obtener hortalizas de alta calidad sanitaria, con mayores rendimientos y precocidad en relación a las cultivadas en el suelo así mismo es una tecnología donde las plantas se desarrollan en una solución nutritiva solo con agua y fertilizante con o sin el uso de un medio artificial como (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta, La mayoría de los sistemas hidropónicos se encuentran bajo cubierta con el fin de tener controles óptimos de temperatura y así reducir el estrés de la planta, reducir la pérdida de agua por evapotranspiración, mejor control de fitosanitarios y proteger a los cultivos de elementos del ambiente, como el viento, lluvia, heladas, etc. (Lara., 1999; Carrasco *et al.*, 2006).

La hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La palabra hidroponía deriva del griego *HIDRO* y *PONOS* lo cual significa literalmente trabajo en agua. La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra así mismo algunas de las ventajas de la hidroponía son cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación. Reducción de costos de producción, Independencia de los fenómenos meteorológicos, Permite producir cosechas en contra estación con menor espacio y capital para una mayor producción, ahorro de agua, que se puede reciclar, ahorro de fertilizantes e insecticidas, se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera), limpieza e higiene en el manejo del cultivo, mayor precocidad de los cultivos, alto porcentaje de automatización, mejor y mayor calidad del producto, altos rendimientos por unidad de superficie aceleramiento en el proceso de cultivo, posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta al año (Beltrano 2015).

El sistema de recirculación New Growing System (NGS) es un sistema hidropónico sin sustrato en bandas de plástico y alimentado por medio de soluciones nutritivas recirculantes, las cuales suben por la línea alimentadora y que a su vez esta línea alimenta las estacas que tiene cada planta, una vez que la estaca riega la planta, la solución cae en las bandas inferiores por gravedad y se va al contenedor que alimenta la línea principal, es decir se considera que es un circuito cerrado (Marfa, 2002).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar dos sistemas de producción de jitomate bajo invernadero optimizando los recursos agua y suelo.

2.2. Objetivos específicos

Establecer jitomate saladete indeterminado (Aguamiel de Vilmorin®) en el sistema de producción hidropónico New Growing System® para evaluar su rendimiento y comprobar la eficiencia de uso de agua.

Establecer jitomate saladete indeterminado (Aguamiel de Vilmorin®) en suelo para evaluar su rendimiento haciendo un uso eficiente del agua (riegos alternados).

III. HIPÓTESIS

La producción de jitomate indeterminado saladate es más eficiente en un sistema hidropónico que en suelo y es posible producir jitomate en suelo optimizando los tiempos de riego y el volumen de agua utilizado.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades

El jitomate es una planta endémica de América del sur, el origen de esta planta se encuentra en la región de los Andes que comprende los países de Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú y ahí se ubica la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (Valadez, 1998).

México es el país más importante en la domesticación del tomate, lo antes mencionado es aceptado dentro del mundo científico, debido a las distintas formas domésticas en nuestro país, tienen mucha antigüedad y sus frutos eran sumamente conocidos y utilizados como base de alimentación por las 6 culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México antes de la conquista de los españoles (Macías, 2003).

4.2. Importancia del jitomate a nivel mundial

Es una hortaliza con el más alto consumo a nivel mundial y su producción es principalmente bajo invernadero teniendo similitud los sistemas de producción tanto en Estados Unidos de América, Europa y México, en estos lugares se emplea el uso de variedades indeterminadas, en densidades de plantación que van de 2 a 4 plantas por metro cuadrado dependiendo las características edafoclimáticas de la zona de producción (Sánchez *et al.*, 2009).

De acuerdo con FAO (2013) México se ubica en el décimo lugar de la producción mundial después de China, Estado Unidos, Turquía, India e Italia, cuya producción en conjunto representa más del 60% del total global (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales países productores de jitomate en el mundo.

País	2006	2007	2008	2009	2010
China	32,519,322	36,096,890	39,938,708	45,365,543	47,116,084
Estados Unidos	12,257,200	14,185,200	12,735,100	14,181,300	12,858,700
India	9,820,400	10,055,000	10,303,000	11,148,800	12,433,200
Turquía	9,854,880	9,945,040	9,204,100	10,745,600	10,052,000
Egipto	8,576,070	8,639,020	10,985,400	10,278,500	8,544,990

Fuente: FAO (2013).

4.3. Importancia del jitomate en México

El jitomate uno de los cultivos más producidos en México, debido a los distintos usos que a este se le da dentro de la gastronomía mexicana, teniendo una superficie de explotación en el año 2017 de 50,373 hectáreas. De las cuales el 52.04% son para abastecer el mercado nacional siendo los estados más importantes en la producción Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Zacatecas y Jalisco. Y el otro 47.96% es para la exportación siendo los consumidores principales Estados Unidos de América cubriendo el 67% de las importaciones y Canadá con un 65.31. (SAGARPA, 2017; FIRA, 2019).

4.4. Requerimientos

4.4.1. Temperatura

La temperatura promedio para el desarrollo del cultivo del jitomate oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 14 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30- 35 °C afectan la calidad de los frutos por mal desarrollo de óvulos, el desarrollo de la planta y del sistema radicular también se ven afectados por esta condición. Temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 12 °C ocasionan que la fecundación sea defectuosa o nula en variedades e híbridos muy sensibles a este factor (Jasso *et al.*, 2012).

4.4.2. Humedad

Para satisfacer las necesidades de humedad del cultivo de jitomate es por medio de un sistema de riego, habiendo una relación entre régimen y niveles de rendimientos, es por ello por lo que la producción de dicho cultivo es por medio de sistema de riego en un 85% siendo el 15% de riego de temporal (Anderlini, 1981).

Los niveles de humedad que requiere el jitomate se encuentran en los rangos de un 60% y un 80% para que tenga un buen desarrollo, un alto nivel de humedad favorece a la generación de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. Cuando existe un exceso de humedad el fruto puede sufrir agrietamiento ya sea por humedad edáfica o de riego abundante tras un período de estrés hídrico la humedad baja y dificulta la movilidad del polen al estigma de la flor (InfoAgro, 2002).

4.4.3. Tipo de suelo

El cultivo no es muy exigente en tanto a tipos de suelo, aunque los de su preferencia son suelos sueltos de textura sillico-arcillosa y ricos en materia orgánica. En suelos arcillo-arenoso también se tiene un buen desarrollo (Geisenberg y Stewart, 1986). A continuación, en el Cuadro 2 se describen diferentes características hídricas y físicas de distintos tipos de suelo.

Cuadro 2. Características hídricas y físicas del suelo.

Suelo	Densidad aparente	Capacidad de campo		Humedad disponible	Valores (mm) de parámetros hídricos para un suelo de 500 mm de profundidad		
	g/cm ³	% peso	% vol.		Capacidad campo	Punto marchitez	Humedad disponible
Arena	1.35	10	13.5	11	67.5	12.5	55
Arenolimoso	1.30	16	21	18	105	15	90
Limoarenoso	1.25	20	26	21.5	130	27.5	107.5
Limo	1.20	29	35	24.5	175	52.5	122.5
Arcillolimoso	1.15	33	38	22.5	190	77.5	112.5
Arcilla	1.10	38	42	22	210	100	110
Turba	1	70	70	40	350	150	200

Fuente: Anstet (1979).

4.4.4. pH del suelo

El pH el suelo puede ser ligeramente ácido, es una de las especies cultivadas en invernadero que tolera las condiciones de salinidad ya sea del suelo como del agua de riego. Los pH que oscilan para tener un buen desarrollo del cultivo son de 5.5 a 6.8 (Allende *et al.*, 2017).

4.4.5. Conductividad eléctrica (CE)

El control de la salinidad depende de la calidad del agua por una parte y del manejo del riego y el drenaje del suelo por otra. Es necesario mantener altos niveles de humedad en el terreno de modo que la presión osmótica de la solución del suelo permanezca baja. En lo que respecta a la salinidad del suelo, la fertirrigación es preferible al uso de fertilizantes sólidos (FAO 2002). En el cuadro 3. se presenta la tolerancia de algunas hortalizas a la salinidad según FAO (2002).

Cuadro 3. Hortalizas y tolerancias a la salinidad

	CE _e (mS/cm a 25°C) para una producción potencial		
	100%	90%	75%
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	2,5	3,5	5,0
Melón (<i>Cumis melo</i>)	2,2	3,6	5,7
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	2,5	3,3	4,4
Pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	1,5	2,2	3,3
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1,3	2,1	3,1

Fuente: FAO (2002).

4.5. Labores culturales

4.5.1. Poda de formación

Es una práctica que se realiza comúnmente en variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza aproximadamente de 15 a 20 días después del trasplante, eliminando los tallos laterales, esto para mejorar la aireación de la planta, con esto se define si la planta se va a un tallo o a dos tallos, dependiendo la densidad de plantación (Gonzales *et al.*, 1991).

4.5.2. Tutorado

La práctica de tutoreo se realiza para mantener a la planta recta para evitar que las hojas y frutos toquen el suelo, así es como se consigue una aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación. El tutoreo se realiza principalmente con hilo de polipropileno (rafia) sujeto del extremo inferior a la base de la planta ya sea con un anudado o sujeto mediante un anillo de plástico especial para tutoreo, de la parte superior se encuentra situado un alambre de forma vertical por encima de la cama de la planta a una altura aproximada de 1.8 a 2.4 m de altura sobre el suelo. Conforme la planta va desarrollándose se va sujetando al hilo tutor mediante vueltas a la planta evitando ajustar mucho la rafia, hasta que la planta alcance el alambre. A partir de este momento existen tres opciones (Gonzales *et al.*, 1991).

- Bajar la planta quitando el anillo de tutoreo cuidadosamente si se prevé que el cultivo será para ciclo largo.
- Despuntar (cortar la yema apical) de la planta a un determinado número de racimos florales
- Dejar que la planta crezca cayendo por propia gravedad.
- Dejar que la planta vaya creciendo horizontalmente sobre los alambres del emparrillado (Gonzales *et al.*, 1991).

4.5.3. Destallado

La práctica de destallado consiste en eliminar los brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Esta práctica debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10 a 15 días en invierno) para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas. Los cortes deben ser limpios para evitar la posible entrada de enfermedades. En épocas de riesgo es aconsejable realizar un tratamiento fitosanitario con algún fungicida-bactericida cicatrizante, como pueden ser los derivados del cobre (Gonzales *et al.*, 1991).

4.5.4. Polinización

En los invernaderos, el movimiento de aire es insuficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, siendo necesaria la vibración de los racimos florales para obtener una buena polinización. En los cultivos bajo invernadero, los productores hacen una vibración de la planta golpeando el sistema de tutorado. Con el uso de un vibrador o abejorro eléctrico se puede mejorar la polinización vibrando los tallos de los racimos sin tocar las flores para no dañarlas y evitar malformaciones de frutos (Escobar, 2009).

4.5.5. Densidad de plantación y arreglo espacial

Número de plantas por metro cuadrado y por hectárea, es un factor determinante en el rendimiento y la calidad de fruto. Los mejores resultados se han obtenido en camas de 1.6 m de anchura, y realizando el trasplante en camas a doble hilera en zigzag y a una distancia de 20 cm entre plantas; de manera que se establezca una densidad de 3.1 plantas por metro cuadrado, lo que equivale a tener 31,250 plantas por hectárea. La densidad de plantas puede variar en función del híbrido y del destino de la producción (Jasso *et al.*, 2011).

4.5.6. Riegos

El manejo del agua de riego es uno de los factores que tienen una mayor influencia en el incremento de los rendimientos y la obtención de cosechas de alta calidad, además de ser un recurso escaso que cada vez debemos de manejar con mayor eficiencia para optimizar su uso. La utilización de sistemas de riego localizado de alta frecuencia como el riego por goteo permiten hacer un uso eficiente del agua de riego (Jasso *et al.*, 2012).

Los riegos en este cultivo de jitomate deben de ser muy cuidadoso, ya que en un exceso de agua o ya sea una disminución de agua repercute en la calidad y producción del fruto. Se ha comprobado que con una disminución de agua que se le dé existen lo que son grietas en fruto; y, por otra parte, el aplicarle un exceso de agua se tiene presencias de enfermedades radiculares de la planta y como una consecuencia de esta se tiene bajos rendimientos en el cultivo (INTAGRI, 2018).

4.5.7. Fertirrigación

El riego es fundamental para una cosecha exitosa, pues la aplicación de agua durante el desarrollo del cultivo influye en su rendimiento y calidad de los frutos vegetales están compuestos entre un 80 y 95% de agua. Por eso son tan susceptibles a retrasar su madurez y reducir su rendimiento cuando el daño por falta de agua ocurre el principio de su desarrollo o a afectar su calidad cuando padecen estrés hídrico en las últimas etapas precosecha (SEMINIS, 2016).

En el cultivo de tomate el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y hasta dado en función por el estado fonológico de la planta, así como por las condiciones ambientales en que esta se desarrolla (tipo de suelo, calidad del agua de riego, condiciones climáticas, etc.) (Ritchie, 1971).

- La cantidad de agua que se le aplique este cultivo se debe de tomar en cuenta que se dará en función por los siguientes parámetros:
- Tipo de suelo (capacidad de campo, porcentaje de saturación).
- Evapotranspiración del cultivo.
- Eficacia de riego (uniformidad de los goteros).
- Calidad del agua de riego (a peor calidad, mayores son los volúmenes de agua).

4.5.8. Fertilizantes para preparar soluciones nutritivas

Para la nutrición del jitomate en invernadero se utilizan soluciones nutritivas, las que incluyen todos los elementos esenciales o bien parte de ellos. Debido a que los fertilizantes se aplican a través del sistema de riego por goteo, estos deben reunir ciertas características, dentro de las cuales, las más importantes son: solubilidad, pureza y compatibilidad (Jasso *et al.*, 2009).

4.5.9. Solubilidad

Los fertilizantes deben ser altamente solubles en agua, para obtener en disolución los elementos contenidos en ellos mismos y evitar obturaciones a lo largo de las tuberías y goteros. Se deben descartar todos los fertilizantes que contengan aditivos para mejorar su conservación o para hacer más lenta su liberación. Los fertilizantes sólidos para fertiirrigación deben llevar especificado en sus etiquetas las denominaciones “cristalino soluble” o “soluble para fertiirrigación”. Existen también en el mercado fertilizantes con la denominación grado invernadero, los cuales podemos identificar por las letras GG (Greenhouse Grade) los cuales han sido elaborados especialmente para su utilización en la nutrición de cultivos de invernadero (Jasso *et al.*, 2012).

4.6.1. Pureza

En la preparación de soluciones nutritivas es de vital importancia que los fertilizantes que han de ser inyectados a través del agua de riego contengan la menor cantidad de impurezas, ya que además de ser una fuente de contaminación, originan problemas de taponamiento de los emisores. Por lo que es aconsejable utilizar productos de alta calidad y concentración nutrimental. Es conveniente evitar el uso de fertilizantes que contengan alto índice salino y aquellos que contengan sustancias tóxicas (Jasso *et al.*, 2012).

4.6.2. Compatibilidad

Problemas de compatibilidad pueden ocurrir cuando se mezclan fertilizante líquidos, sólidos o mezclas de fertilizantes líquidos y sólidos. La compatibilidad es una propiedad que se debe tener muy en cuenta al momento de preparar las soluciones nutritivas o al realizar mezclas de fertilizantes, ya que de lo contrario se corre el riesgo de formación de compuestos insolubles que formarán precipitados. Como regla general, en la preparación de soluciones nutritivas concentradas, el ion sulfato es incompatible con el calcio y los fosfatos con el calcio y con el magnesio. Para hacer una buena elección de los fertilizantes a utilizar, es importante conocer los elementos contenidos en el agua de riego y su concentración, además de algunas características como pH, conductividad eléctrica, dureza, sólidos solubles totales, concentración de carbonatos, bicarbonatos, etc. (Jasso *et al.*, 2012). Los fertilizantes más comunes para preparar soluciones nutritivas se encuentran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Fertilizantes solubles más utilizados para preparar soluciones nutritivas.

Fertilizante	Formula	Riqueza	Peso Mol	Sol (g L ⁻¹)
Nitrato de calcio	Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O	15.5 N, 19 Ca	263.0	1,020.0
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	33.5 N	80.04	1,900.0
Fosfonitrato	P(NO ₃) ₃	32-02-00	175.0	1,185.0
Urea	CO(NH ₂) ₂	46 N	60.07	1,080.0
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	21-00-00-22(S)	132.13	412.2
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	00-52-32	136.09	230.0
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	11-52-00	115.0	225.0
Fosfato diamonico	(NH ₄) ₂ HPO ₄	18-46-00	132.06	400.0
Nitrato de potasio	KNO ₃	13-00-46	101.10	380.0
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	00-00-50	174.30	110.0
Cloruro de potasio	KCL	00-00-60	74.55	340.0
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ .7H ₂ O	10 (mg)-13 (S)	246.3	710.0
Fe EDTA	[Fe(NH ₃) ₆] ³⁺	7Fe	292.24	90
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	23 (Zn)	287.0	750.0
Sulfato de cobre	CuSO ₄ . 5H ₂ O	25 (cu)	249.7	203.0
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ . H ₂ O	32 (Mn)	169.0	517.0
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	11 (B)	381.4	550.0
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	40 (Mo)	241.95	480.0

Fuente: Jasso et al. (2012).

4.7.1. Métodos de producción

En invernadero dos de los métodos de producción más utilizados son, trasplantar directamente al suelo del invernadero y la hidroponía que básicamente es la siembra en contenedores con sustratos mezclados, se llaman sustratos hidropónicos porque todos los nutrientes requeridos por la planta son suministrados en el riego (Beltrano, 2015).

4.7.2. Siembra en el suelo

Realizar el trasplante directamente en el suelo requiere una mínima cantidad de labor inicial, pero a medida que el cultivo va desarrollando se unen una serie de desventajas de enfermedades radiculares, insectos y problemas de malezas. Estos problemas suelen aumentar con el tiempo especialmente si no se realiza una rotación de cultivo por la resistencia que pueden generar este tipo de fitopatología (INIA, 2017).

4.7.3. Siembra en contenedores

Existen varios sustratos que se combinan entre peat, perlita, vermiculita o arena, dichas mezclas por lo regular traen un fertilizante de fondo, pero una desventaja de estas son que usualmente las cantidades de fertilizante no alcanzan a suplir las necesidades nutricionales del ciclo del cultivo. Así mismo son los principales hospederos de organismos patógenos y resulta ser contraproducente por los gastos de sustrato a utilizar y el control de estos organismos (FAO, 2002).

4.7.4. Sistemas hidropónicos

Los métodos de producción en hidroponía no utilizan material orgánico, brindando al productor un control más completo sobre las necesidades nutricionales del cultivo. Esto da como resultado un mejor crecimiento de las plantas y una mejor producción en tanto a calidad de frutos. No obstante, como en todo sistema de producción tiene sus desventajas y las que más podemos destacar es que dichos sistemas son más demandantes de mano de obra debido a que se tiene que estar monitoreando y mantener en los niveles óptimos pH y CE, así como también tener un control en los riegos y evitar el estrés de la planta (Beltrano, 2015).

4.8. Clasificación de frutos de jitomate

De acuerdo con Mendoza *et al.*, 2018 existe una clasificación de tamaños de tomate saladette que van desde los tamaños chico hasta extragrande de acuerdo con las medidas polares que estos arrojen y basado en la a Norma Mexicana NMX-FF-031-1997, dichos promedios de tamaño se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de tamaño de jitomate tipo saladette.

Tamaño	Diámetro (mm)	
	Mínimo	Máximo
Chico	38	52
Mediano	52	60
Grande	60	71
Extragrande	71	En adelante

Fuente: Mendoza *et al.* (2018).

4.9. Sistema hidropónico New Growing System (NGS®)

El sistema Nuevo Sistema de Crecimiento (NGS) se basa en la circulación de la solución nutritiva en un conjunto de bandas de polietileno, dispuestas de forma tal que después de que la solución recorre un tramo inicial determinado, se distribuye a semejanza de cascada por las demás bandas (Portal Frutícola, 2017).

El flujo de la solución permite a las raíces extenderse sin restricciones, por lo que la aireación del sistema radicular es idónea. Al concluir el recorrido por las bandas, la solución nutritiva es devuelta al contenedor inicial, aquí se reponen los nutrientes consumidos por el cultivo, tras pasar por un filtro, por medio de una bomba de distribución (Portal Frutícola, 2017).

Desde el momento en que la solución nutritiva es liberada por el sistema de riego, hasta que alcanza la última banda (colectora), se está poniendo a disposición de las raíces todos los elementos indispensables para el buen desarrollo de las plantas: agua, nutrientes y oxígeno. En la figura 1 se presenta el sistema de flujo del sistema NGS (Portal Frutícola, 2017).

Sistema de Flujo en N.G.S.

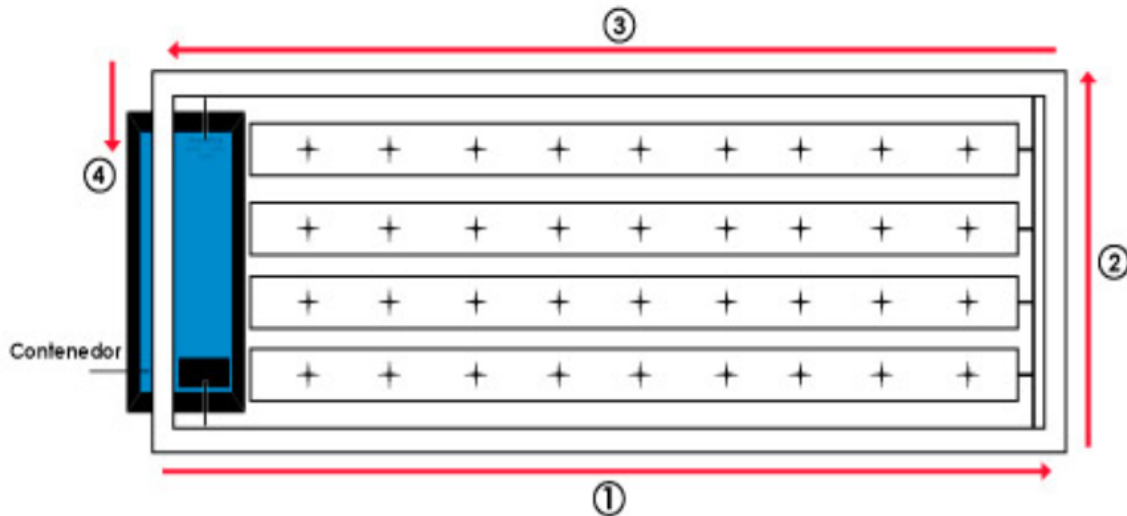


Figura 1. Sistema de flujo de solución nutritiva en NGS. Fuente: Portal Frutícola (2017).

Al mismo tiempo, la solución nutritiva realiza una segunda función; que es la de retirar los iones no asimilados o los compuestos excretados por las raíces que se encuentran en la capa imite que rodea dichas raíces contribuyendo a renovar los gases que participan en la respiración radical (O_2 Y CO_2). En caso de emplear una solución nutritiva caliente en invierno o fría en verano, también facilita el cambio de calor con el sistema radical (Portal frutícola, 2017).

Cuando las raíces superan el cepellón en el que se encuentran al momento del trasplante, alcanzan la primera capa interior, desde donde son guiadas por el movimiento del agua a favor de la pendiente del agua favor de la pendiente de la banda, hasta la perforación más próxima que les permite descender a la capa inferior. De este modo el sistema se adapta fácilmente a diferentes cultivos (Portal Frutícola, 2017).

La presencia del oxígeno en el agua es esencial para el correcto desarrollo del sistema radicular. En situaciones de anoxia, el sistema radicular comienza a degradarse prematuramente ocasionando en casos extremos la muerte de la planta antes de concluir el ciclo del cultivo. Así mismo las enfermedades que comúnmente atacan a las raíces penetran con gran facilidad por las heridas ocasionadas por la falta de oxígeno disuelto en el agua de

riego. Con el sistema NGS, la oxigenación se consigue de forma natural gracias a las diferentes laminas por las que debe fluir el agua de riego antes de ser colectada por la ultima capa este efecto de forma de cascada natural mantiene en el agua de riego los niveles mínimos admisibles de oxígeno disuelto para evitar situaciones de estrés y por eso garantiza el suministro de este gas para el adecuado desarrollo de las raíces (Portal Frutícola, 2017).

Es esta la diferencia más novedosa de este método de cultivo con otros sistemas debido a que evitan la proliferación de enfermedades sin emplear métodos caros y agresivos para desinfectar la solución nutritiva a la capa superior de la multibanda (Portal Frutícola, 2017).

4.10. Recursos Naturales

4.10.1. Agua

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. El principal uso del agua en México es el agrícola, el cual en términos de uso de aguas nacionales se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos, conforme al VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Cabe destacar que dicho censo encontró que el 18% de dicha superficie es de riego, y la superficie restante tiene régimen de temporal (CONAGUA, 2018).

El agua para riego es pieza clave para la alimentación mundial del total de la superficie cultivada solo el 19% tiene una infraestructura de riego, sin embargo, con esto se produce más del 40% de la superficie cultivada del mundo (FAO, 2011). Durante los últimos años en la agricultura se han utilizado una mayor cantidad de pesticidas, que han derivado en la contaminación y degradación de suelos y acuíferos.

México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego, mientras que en los primeros lugares están China, India y los Estados Unidos de América, cabe señalar que estos países ocupan mejores estructuras de riego debido a muchos factores, esto podría ser por los altos índices de sobre población y por ende la demanda de alimentos aumenta, estos datos se encuentran en el cuadro 6.

Cuadro 6. infraestructura de riego a nivel mundial

No.	País	Superficie con infraestructura de riego con dominio total (miles de ha)	Superficie cultivada (miles de ha)	Infraestructura de riego respecto a superficie cultivada (%)
1	India	70,400	169,360	41.6
2	China	69,863	122,524	57.0
3	Estados Unidos de América	26,708	157,205	17.0
4	Pakistán	19,270	31,252	61.7
5	Irán	8,700	16,476	52.8
6	Indonesia	6,722	46,000	14.6
7	México	6,460	25,670	25.2
8	Tailandia	6,415	21,310	30.1
9	Brasil	5,400	86,589	6.2
10	Turquía	5,340	23,944	22.3
11	Bangladesh	5,050	8,499	59.4
12	Vietnam	4,585	10,232	44.8
13	Uzbekistán	4,198	4,770	88.0
14	Italia	4,004	9,121	43.9
15	España	3,923	17,188	22.8

Fuente: FAO (2011).

Durante los últimos 20 años las sequías han producido pérdidas económicas por miles de millones de dólares. De 2011 a 2013 México se vio severamente afectado por una sequía que cubrió el 90% del territorio. La evaluación de la sequía es imprescindible para evitar mayores daños y controlar los riesgos, La sequía ocurre cuando las lluvias son significativamente menores a los niveles normales registrados, lo que ocasiona graves desequilibrios hidrológicos, que perjudican a los sistemas de producción agrícola. Cuando la lluvia es escasa e infrecuente y la temperatura aumenta, la vegetación se desarrolla con dificultad. Las sequías son los desastres naturales más costosos, porque afectan a más personas que otras formas de

desastre natural. Adicionalmente la sequía puede enlazarse con fenómenos de degradación del suelo y deforestación (CONAGUA, 2018)

La “eficiencia en la utilización del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” es la interacción que existe entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado instante (Salazar *et al.*, 2014).

4.10.2. Suelo

El suelo es un medio natural diverso y complejo en los procesos físicos, químicos y biológicos. Dichos procesos son la base de la vida de otros ecosistemas y organismos, los ciclos de nutrientes y ciclos de agua favorecen la sobrevivencia humana, una cuarta parte del suelo del planeta son suelos con tendencia elevada a la degradación o son tierras ya degradadas (IICA, 2016; FAO 2011).

Así mismo el suelo además de ser el soporte y fuente de nutriente de las plantas, es habitad de una amplia gama de organismos, el suelo alberga algunas de las comunidades biológicas más diversas del planeta. La dinámica de la vida en el suelo asegura que los servicios ecológicos que en una gran variedad de condiciones ambientales suministra el suelo al conjunto de la biosfera (Labrador, 2008).

Algunos servicios que presta el suelo al ser humano (Labrador, 2008).

- Producción de biomasa (alimento, fibra y energía) por su actuación como sustrato del desarrollo vegetal
- Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria
- Hábitat biológico y reserva genética de muchas plantas, animales y organismos, que estarían protegidos de la extinción.
- Medio físico que sirve de soporte para estructuras industriales y técnicas, así como actividades socioeconómicas
- Fuente de materias primas que proporciona agua, arcilla, arena grava, minerales, etc.
- Elemento de nuestra herencia cultural, que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad

4.10.3. Degradación de suelos según aspectos físicos, químicos y biológicos

La degradación de los suelos disminuye su capacidad para proveer bienes y servicios al ecosistema y a sus beneficiarios. Físicamente se manifiesta por la pérdida de productividad, de la disponibilidad de agua, y su anegamiento o deslave. La degradación química aumenta los niveles de contaminación, salinización, alcalinización, así como eutrofización, los cuales reducen la fertilidad y el contenido de materia orgánica de los suelos. Cuando se produce la pérdida de la cubierta vegetal que funge como capa protectora, el suelo es más vulnerable a la erosión eólica e hídrica. Los efectos de la erosión y degradación, estimados al 2002 y revisados al 2013 (CONAGUA, 2018).

Existe un enfoque dedicado al manejo integrado de suelo (MIS) destacando que aminora efectos negativos y aumenta o mejora las propiedades físicas del suelo y de la materia orgánica, mejorando así la fertilidad del suelo, la disponibilidad del agua, la cubierta vegetal, la optimización de los ciclos de nutrientes y las técnicas de conservación (IICA, 2016)

La degradación de los suelos es un gran desafío para la región, esto se origina mayormente a las malas prácticas agrícolas, el mal uso de las tierras y la expansión de la frontera agrícola (IICA, 2016).

En la figura 2, se presenta la degradación de los suelos de acuerdo con Alegre (2015)

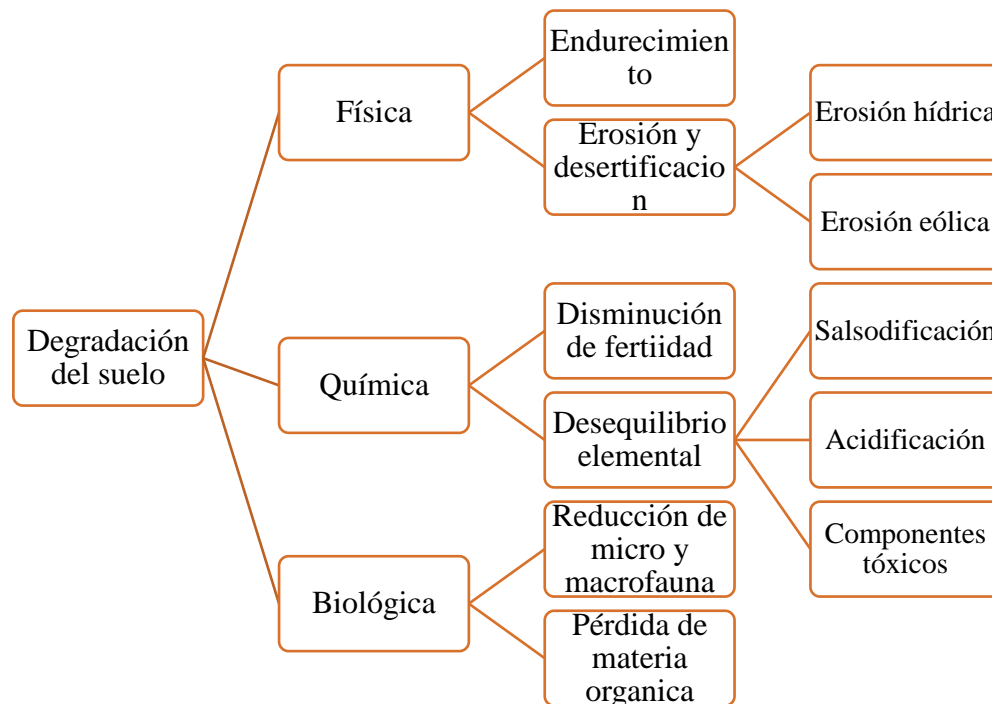


Figura 2. Principales tipos de degradación del suelo. Fuente: Alegre (2015).

De acuerdo con Salazar *et al.*, (2014) se estima los gastos de agua para la producción de 1 Kg de jitomate va a depender sobre el nivel de tecnificación con la que cuente la unidad de producción, es decir que en un invernadero con un nivel alto de tecnificación el gasto de agua va a ser 75% menos en comparación con la producción en campo abierto, la producción en invernaderos incrementa el uso eficiente del agua, esto debido a que se reduce a gran medida la evapotranspiración, mejor control de plagas y enfermedades y las distintas técnicas de fertirrigación disponible para hacer más eficiente este recurso. A continuación, en el cuadro 7. se presentan los litros de agua utilizados por kilogramo de jitomate producido en distintos tipos métodos de producción y en distintos países.

Cuadro 7. Litros de agua utilizados para producir 1 kg de jitomate en distintos países y en diferentes sistemas de producción.

Método de producción	País	Litros
Campo abierto en general	Varios	100-300
Campo abierto, riego por goteo	Israel, España	60
Campo abierto Almería, España	España	50-60
Invernaderos de plástico sin calefacción	Israel, España	30-40
Invernaderos de cristal con control avanzado y calefacción, enriquecimiento CO ₂	Holanda	22
Igual que el anterior, con sistema hidropónico cerrado Holanda	Holanda	4

Fuente: Salazar *et al.* (2014).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó en un invernadero de 400 m² de tipo cenital, el cual está ubicado en las instalaciones de Teza agricultura Sustentable S.A. de C.V. en la comunidad de Cuapancingo, Tetela de Ocampo, Pue. (figura 3), localizado en las siguientes coordenadas 19° 49' hacia el norte y 97° 51' hacia el oeste con una altura de 1783 msnm (INEGI, 2016). El clima es templado húmedo con clasificación CMBW(w2) (i') y temperatura media anual entre 12° y 18|° C (García, 2004). Tiene un rango de precipitación de 600-1600 mm anual (INEGI, 2016).

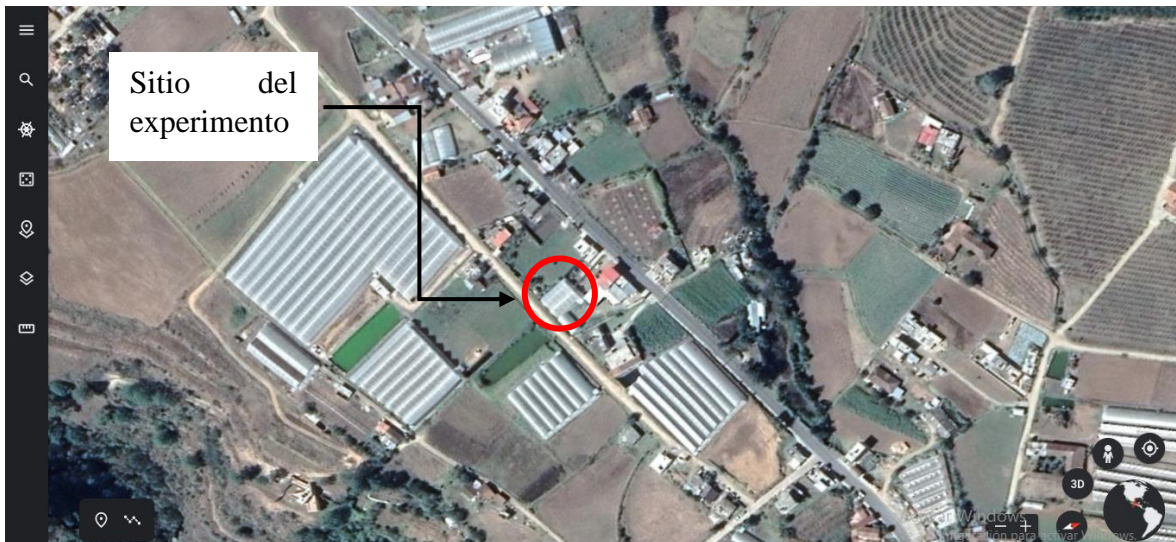


Figura 3. Localización del invernadero experimental en Cuapancingo, Tetela de Ocampo, Puebla.

Fuente: Google Earth (2020).

5.2. Metodología

Para el desarrollo de la investigación solo se llevó a cabo una fase de campo donde se evaluaron los rendimientos del cultivo con la optimización del recurso suelo y agua.

La evaluación del desarrollo y crecimiento de la planta se llevó a cabo en base a la metodología de (Vázquez *et al.*, 2010). se eligieron al azar 10 plantas de cada tratamiento y se comenzó a evaluar a la segunda semana después del trasplante tomando en cuenta las siguientes variables, diámetro de tallo (DT), Altura de la planta (AP).

De acuerdo con Mendoza *et al.*, (2018) se eligieron al azar diez plantas para medir los rendimientos, número de frutos y medidas polares por material genético hasta el séptimo racimo, cabe mencionar que las evaluaciones se realizaron semanalmente. Una vez recolectados los frutos, se contabilizaron, se pesaron en una báscula (Toro®) y se midió el diámetro y largo de la fruta con un vernier de la marca Karlen®

5.3.1. Material vegetal

La variedad de jitomate a establecer fue Aguamiel de Vilmorin® y algunas de sus características son que tienen frutos de gran tamaño y un excelente rendimiento en tanto a frutos de 130 a 160 g. es una planta fuerte, buena cobertura foliar, tiene una excelente adaptación a todo tipo de climas, y se adapta bien a ciclos de mediano a largo (Vilmorin, 2018).

Algunas características especiales son:

- a) Periodo de madurez comercial de 70 a 75 días
- b) Resistencia a enfermedades HR: TSWV; Fol:1, 2, 3
- c) Cultivar versátil: adaptado al cultivo en campo abierto y protegido alto potencial productivo
- d) Cobertura óptima de las hojas y protección de la fruta.

Frutas

- e) Frutos uniformes de gran calibre y firmeza
- f) Alta calidad y presentación
- g) Excelente post cosecha: permite viajes de larga distancia
- h) Tipología saladette de fácil comercialización

5.3.2. Manejo agronómico del cultivo en suelo e hidroponía NGS®

5.3.3. establecimiento del cultivo

Las plántulas se obtuvieron de un semillero certificado especializado en la producción de plántula para hortalizas figura 4.



Figura 4. Plántulas de jitomate variedad agua miel, utilizadas para el trasplante

5.3.4. Marco de plantación en suelo

El marco de plantación en las camas de siembra fue a tres bolillo con espaciamiento de 30 cm entre planta y planta y entre hileras a 50 cm. Con una densidad de plantación de aproximadamente 3.5 plantas por metro cuadrado figura 5.



Figura 5. Marco de plantación en suelo de plántulas de jitomate variedad agua miel

5.3.5. Marco de plantación en sistema NGS®

El marco de plantación en las bandas del sistema hidropónico fue con espaciamento de 30 cm entre planta y planta dos plantas por cavidad (figura 6).



Figura 6. Marco de plantación en sistema NGS®

En la figura 7 se muestra los componentes del sistema hidropónico NGS. A continuación, se muestra una pequeña descripción de cada uno de los componentes.

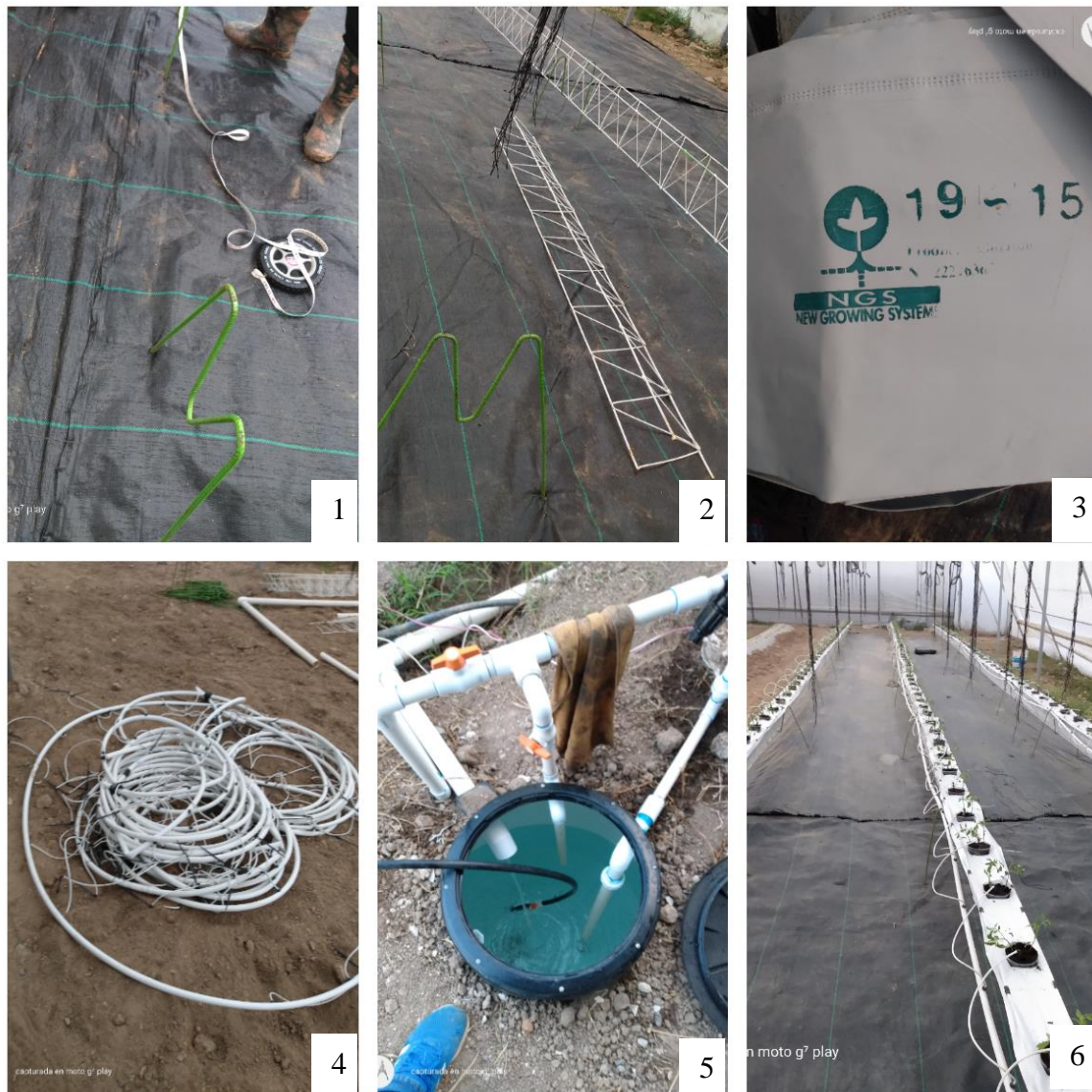


Figura 7. Componentes del sistema hidropónico NGS® 1) Elementos estructurales tipo “M”; 2) Celosía de soporte de la multibanda; 3) Multibanda NGS; 4) Manguera con estacas-gotero, goteros y microtubín; 5) depósito de agua para la recirculación y almacenamiento de agua con solución nutritiva; 6) sistema NGS® armado y listo para su funcionamiento.

- 1) **Estructura M**, es estructura como su nombre lo dice en forma de M que su función principal es brindar anclaje y sostén de la estructura tipo triangulo donde va la banda de recirculación.
- 2) **Estructura tipo triangulo**, es una estructura en forma de triángulo que brinda soporte a la banda de recirculación.
- 3) **Banda de recirculación**, la función principal de esta banda es el soporte des sustrato con la planta, así como medio de protección para el sistema radicular y recirculación de la solución nutritiva.
- 4) **Manguera principal**, la función de esta manguera es ser la línea principal por donde sube la solución nutritiva para después distribuirla en los tubos de tipo “espagueti” y así mismo estos tubos alimentar las estacas de goteo que penetran el sistema radical y así mantener húmeda la planta.
- 5) **Contenedor de agua de 1100 litros de capacidad**, la principal función de este contener es almacén de la solución nutritiva, así como de alimentación de agua de la manguera y recirculación de las bandas.
- 6) **Grapas**, para ajuste de las bandas de recirculación a la base de tipo triangulo esto es para que la banda mantener firme la banda y no se presionen las plantas.

5.4. Fertilización

5.4.1. Sistema convencional

Para la fertilización del tratamiento convencional se llevó a cabo en 4 etapas fenológicas del cultivo que iban desde inicio, desarrollo, floración y fructificación, cabe resaltar que los riegos fueron diarios. En el cuadro 8 se presentan las fuentes de fertilizantes utilizados expresados en gramos/superficie.

Cuadro 8. Programa de fertilización del tratamiento dos expresado en gramos.

Etapa	Inicio	Desarrollo	Floración	Fructificación
Sulfato de Potasio	5	45	90	135
Fosfato monopotásico	30	40	30	45
Nitrato de potasio	50	30	30	45
Nitrato de calcio	60	135	150	225
Fosfonitrato	30	30	70	105
Sulfato de magnesio	100	200	250	375

5.4.2. Sistema convencional fertilizado cada 3 días

La fertilización de este tratamiento se ajustó en 4 etapas fenológicas del cultivo y se basó en concentrar por tres la solución nutritiva del tratamiento dos (convencional) e inyectar dicha solución en un solo riego dejando intervalos de tres días, la concentración de la solución nutritiva se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9. Programa de fertilización del tratamiento tres expresado en gramos.

Etapa	Inicio	Desarrollo	Floración	Fructificación
Sulfato de Potasio	15	135	170	405
Fosfato monopotásico	90	120	90	135
Nitrato de potasio	150	90	90	135
Nitrato de calcio	180	405	450	675
Fosfonitrato	90	90	210	315
Sulfato de magnesio	300	600	750	1125

5.4.3. Fertilización aplicada en el sistema NGS®

La fertilización de este tratamiento se basó también en 4 etapas fenológicas del cultivo preparando la solución en un tanque de 1100 litros de capacidad, cambiando la solución nutritiva cada que el tanque se vaciaba. El programa de nutrición se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10. programa de nutrición del tratamiento uno sistema NGS® expresado en gramos.

Etapa	Inicio	Desarrollo	Floración	Fructificación
Sulfato de Potasio	146	234	331	142
Fosfato monopotásico	40	65	177	178
Nitrato de potasio	22	34	374	95
Nitrato de calcio	318	508	1130	1398
Fosfonitrato	0	0	0	0
Sulfato de magnesio	144	230	615	634

A continuación, en el cuadro 11, se presentan los aportes nutricionales de cada uno de los fertilizantes utilizados.

Cuadro 11. Contenido nutrimental en unidades fertilizante, de los fertilizantes empleados en el experimento.

Fertilizante	Unidades fertilizante (%)					
	N	P ₂ O ₂	K ₂ O	CaO	MgO	S
Sulfato de Potasio	0.0	0.0	51.0	0.0	0.0	18.0
Fosfato monopotásico	0,0	52.0	34.0	0.0	0.0	0.0
Nitrato de potasio	13.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.0
Nitrato de calcio	15.14	0.0	0.0	24.88	0.0	0.0
Fosfonitrato	32.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Sulfato de magnesio	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	13.5

5.4.4. Acolchado

El acolchado empleado fue de 1.4 m de ancho, color plata-negro, calibre 90; dicha cubierta se empleó para el control de malezas, aumento de temperatura de raíces y conservación de la humedad del suelo.

5.4.5. Control fitosanitario

En el control fitosanitario fue por medio de monitoreo al cultivo para realizar la identificación completa de problemáticas y así mismo buscar estrategias preventivas y curativas, estos métodos de control y prevención fue con productos químicos y orgánicos certificados.

Las principales plagas presentes durante el ciclo del cultivo fueron las siguientes:

Cochinillas: (*Armadillidium vulgare*): la aparición de esta plaga fue al principio del ciclo, se realizó el control con cipermetrina 2 mL por litro de agua esto dirigido a la base de la planta y en riego 50 ML en 50 litros de agua, fue una sola aplicación durante todo el ciclo del cultivo.

Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) el control de esta plaga al principio fue con sivanto prime de ingrediente activo flupyradifurone como método preventivo con intervalos de aplicaciones semanales a 0.5 mL por litro de agua, posterior a eso se realizaron aplicaciones de neem car la formulación de este producto es extracto de neem con una dosis de 5 ml por litro de agua. Así mismo se realizaron aplicaciones de betacyflutrin 8.40% + imidacloprid 19.60% con una dosis de 1 mL por litro de agua.

Las enfermedades que se presentaron durante el ciclo del cultivo fueron las siguientes:

Cenicilla (*Leveillula taurica*) el control de esta enfermedad se llevó a cabo con Larrea, es un fungicida-bactericida de ingrediente activo extracto de gobernadora 5 mL por litro de agua con intervalos de aplicación semanales como método preventivo, así mismo se realizaron aplicaciones de Consis Max, siendo el ingrediente activo tebuconazol 22.63% + trifloxystrobin 22.63% y con dosis de 2.5 mL por litro con aplicación vía foliar.

5.5. Riego

5.5.1. Descripción de los componentes principales del sistema de riego del cultivo en suelo

a) Cabezal de riego principal: se localiza a 10 metros del invernadero y se basa en un depósito de agua con capacidad de 1200 litros, una bomba de agua de 1 HP de potencia eléctrica, un depósito de agua de 100 L donde se pone la solución nutritiva, un manómetro para medir la presión del agua.

b) Tubería principal: la tubería principal fue de 6 tramos de tubo de PVC hidráulico de 1¼ pulgadas de diámetro que comienza de donde se ubica el depósito de agua principal y llegan hasta el final del invernadero para abastecer de agua los dos tratamientos.

c) Cintilla de riego: El sistema de riego fue instalado para abastecer de agua y solución nutritiva las camas de siembra con dos cintillas de riego por goteo de la marca Toro[®], separadas aproximadamente 3 cm y su presión se encuentra en los rangos de 0.3 a 0.8 bar para un flujo nominal de 1.27 litros por hora, las cintillas de riego son abastecidas por las tuberías principales.



Figura 8. Instalación de sistema de riego para el tratamiento dos y tres.

5.5.2. Descripción de los componentes principales del sistema de riego del cultivo en el sistema hidropónico

Cabezal de riego: El sistema de riego fue basado principalmente por un depósito de agua de 1200 litros enterrado en el suelo para la recirculación de la solución nutritiva, una bomba de agua de $\frac{1}{4}$ de HP, un controlador de riego adaptado a cada ciclo fenológico del cultivo y filtro de agua para eliminar impurezas y evitar el taponamiento de los microtubos y estacas.

b) Tubería principal: la tubería principal fue de 2 tramos de tubo de PVC hidráulico de $1\frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro que comienza de donde se ubica el depósito de agua principal y llegan hasta el final del sistema hidropónico para abastecer de agua el tratamiento.



Figura 9. Instalación de sistema de riego utilizado para el sistema hidropónico NGS®

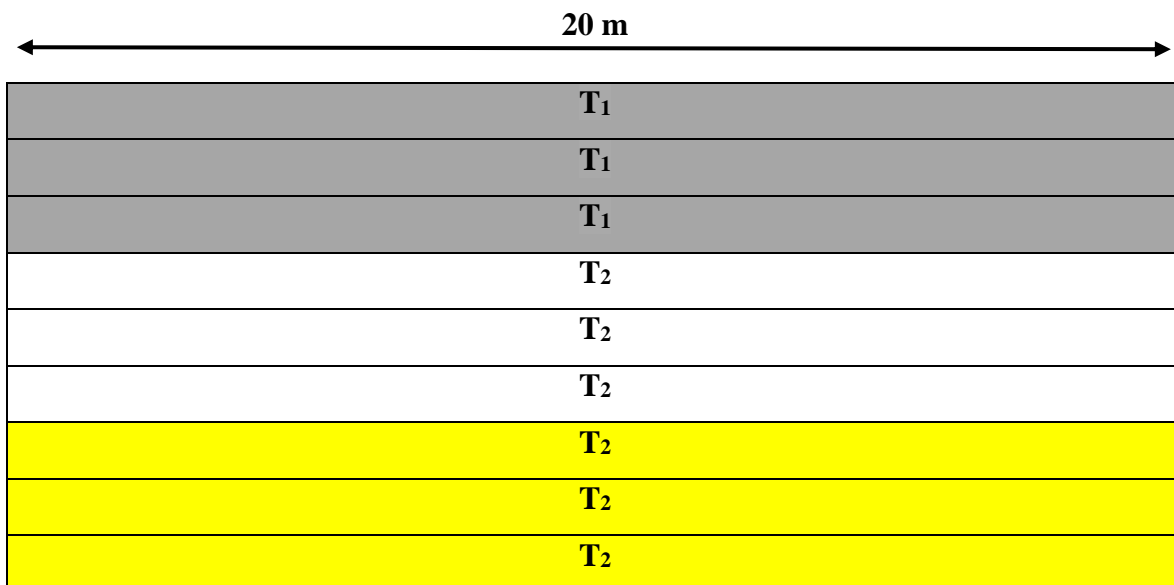
5.6. Uso productivo de agua

De acuerdo con Salazar *et al.*, (2014) se tomó la siguiente fórmula para evaluar la “eficiencia en el uso del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” para conocer el uso de agua en la producción de los 3 tratamientos.

$$Ef. \text{ agua} = \frac{\text{Producción kg}}{\text{Agua utilizada (m3)}}$$

5.7. Descripción de los tratamientos

- Tratamiento 1. El tratamiento fue en el sistema hidropónico cerrado NGS® dando un manejo convencional y ajustando las frecuencias de riego en base a las etapas fenológicas del cultivo, condiciones climáticas y de humedad. Así mismo se renovaba la solución nutritiva semanalmente o cada vez que se terminaba la solución, bajando la C.E. con ácido fosfórico.
- Tratamiento 2. En este tratamiento todo el manejo fue efectuado tradicionalmente como lo realizan los productores de la zona, aplicando riegos con conocimientos empíricos es decir introduciendo el dedo en el suelo y checando los niveles de humedad.
- Tratamiento 3. El tratamiento fue manejado tradicionalmente, pero considerando las frecuencias de riego cada vez que un sensor, que indicaba el nivel de humedad en el que se encontraba el tratamiento, así mismo se ajustaba la concentración de la solución nutritiva a los días en los que tardaba la humedad en el suelo que iban de 3 a 4 días utilizando solo 15 minutos de riego.



5.8. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en el presente experimento fueron de calidad de planta, rendimiento, calidad del fruto. uso de fertilizantes solubles.

5.8.1. Variables vegetativas

Diámetro de tallo. se realizaron medidas cada 2 semanas, de la base del tallo como se presenta en la figura 10.



Figura 10. Evaluación de diámetro de tallo

Altura de planta. Se midió la altura de la planta cada dos semanas para observar la ganancia de altura figura 11.



Figura 11. Evaluación de altura de planta

5.8.2. Variables de rendimiento

Numero de frutos por racimo. Se contabilizaron los frutos por racimo como se observa en la figura 12.



Figura 12. Número de frutos por racimo

Longitud del fruto. Se determino midiendo el fruto desde la base hasta la punta con un vernier digital de la marca Karlen® figura 13.



Figura 13. Longitud de fruto

Diámetro del fruto. La variable fue evaluada midiendo la parte media del fruto con un vernier digital de la marca Karlen® figura 14.



Figura 14. Diámetro de fruto

Peso del fruto. Se pesaron fruto por fruto cuando llegaron a la madurez comercial para posteriormente ser cosechados figura 15.



Figura 15. Peso de fruto

Así mismo se calculó el rendimiento promedio de jitomate por planta con la siguiente formula.

$$RPJP = \frac{(PPJR)(NPJR)(NR)}{1000}$$

Donde:

RPJP= Rendimiento Promedio de Jitomate por Planta.

PPJR= Peso Promedio de Jitomate por Racimo.

NPJR= Numero Promedio de Jitomates por Racimo.

NR= Numero de racimos (repeticiones)

1000= Equivalencia de Kg a g.

5.8.3. Uso eficiente de los recursos naturales

5.8.4. Consumo de agua

Se evaluó el Consumo total de agua durante todo el ciclo productivo que consistió en 18 semanas desde trasplante hasta cosecha, en los tres tratamientos. para tener conocimiento de que tratamiento tuvo un mayor ahorro de agua durante el ciclo.

Para calcular el uso de agua del (T1) se contabilizaron las veces que se vació por semana el agua del tanque donde estaba la solución nutritiva y esto se multiplico por la cantidad de agua que almacenaba el contenedor.

Para calcular el uso de agua del (T2) se contabilizaron los números de riegos por día y el tiempo de ellos para multiplícalos por el volumen de agua que riega la cintilla de riego por hora.

Para calcular el uso de agua del (T3) se contabilizaron los números de riegos cada tres días para multiplicarlo por el tiempo de agua y por el volumen de agua que riega la cintilla de riego por hora.

5.8.5. Consumo de fertilizante

Para calcular el uso de fertilizante del (T1) se sumaron las cantidades de fertilizante que se usaba cada vez que la solución nutritiva se terminaba y aplicando reglas de tres se determinaron las cantidades en kilogramos de elementos nutritivos por unidad.

Para calcular el uso de fertilizante del (T2) se sumaron las cantidades de fertilizante utilizadas diario y para conocer los kilogramos por elemento nutritivo utilizado se calculó a través de reglas de tres.

Para calcular el uso de fertilizante del (T2) se sumaron las cantidades de fertilizante utilizadas diario y para conocer los kilogramos por elemento nutritivo utilizado se calculó a través de reglas de tres.

5.9. Diseño experimental

El modelo lineal propuesto para el diseño experimental completamente al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + t_1 + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t, \quad j=2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ij} = observación de la unidad experimental

μ = media general

t_1 = parámetro que estima el efecto del tratamiento 1

ε_{ij} = valor aleatorio que estima el error experimental

El modelo lineal propuesto para el análisis de regresión lineal simple es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Donde:

Y = Variable dependiente

β_0 = Intercepto u ordenada al origen

β_1 = Pendiente de la recta debido al factor X

X = Variable independiente

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables vegetativas

6.1.1. Altura de planta

En la figura 16 se muestra la ganancia promedio de altura de las 10 plantas de los tres tratamientos evaluados habiendo significancia en la planta 1 donde el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días se mantuvo en la media, El (T1) sistema hidropónico NGS[®] y el (T2) sistema convencional fertilizado diario se mantuvieron ligeramente por arriba de la media, así mismo en la repetición 3, el (T1) sistema hidropónico NGS[®] y el (T2) sistema convencional fertilizado diario tuvieron una disminución y se encontraron por debajo de la media. El (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días se mantuvo ligeramente superior por encima de la media. En la planta cinco, seis y diez el (T1) sistema hidropónico NGS[®] se mantuvo por debajo de la media siendo superiores el (T2) sistema convencional fertilizado diario y el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Barraza *et al.*, (2004), comenta que, en los experimentos al aumentar las densidades de población, se producen plantas más largas, así Favaro y Pilatti (1997) opinan que las plantas de tomate trasplantadas a mayor densidad de población originan en sus estratos inferiores una mayor proporción de luz rojo lejano (730 nm). Este hecho afecta la actividad del fitocromo que se expresa por un incremento en la longitud de los entrenudos y por consiguiente la altura de la planta.

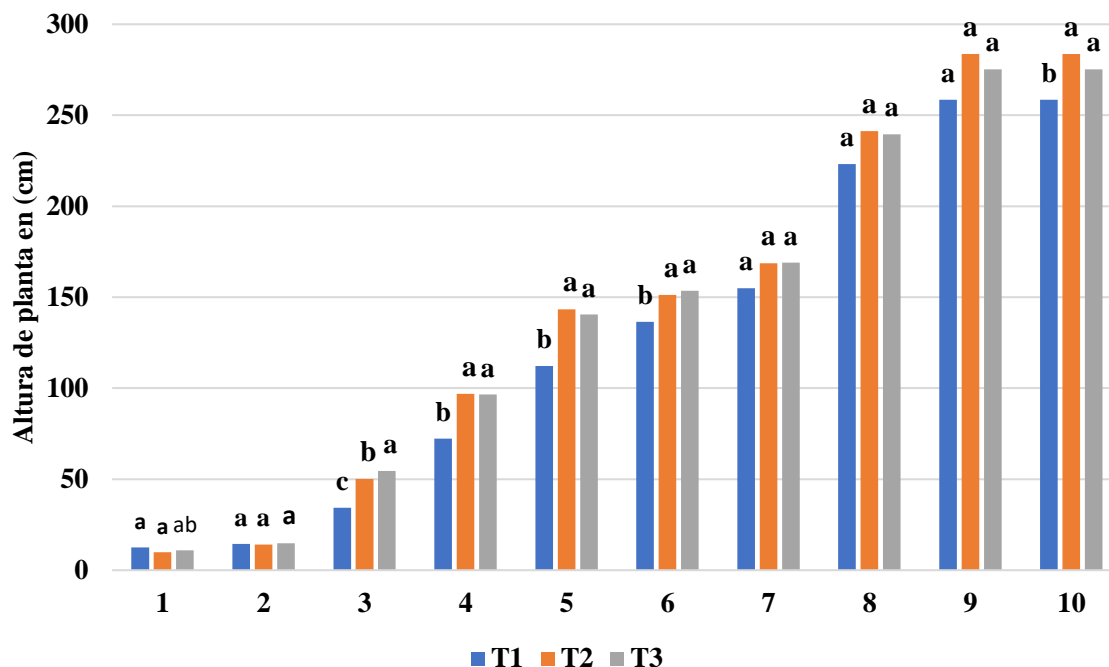


Figura 16. Ganancia de altura promedio de planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS[®] (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Esto significa que el (T1) sistema hidropónico NGS[®] tuvo una menor ganancia de altura como lo describe Beltrano (2015), que en los sistemas hidropónicos se mantiene un porte más bajo de plantas, pero sin afectar la productividad de estas, también menciona que al tener plantas con portes más bajos se facilita el manejo y la distancia entre racimos florales se acorta.

6.1.2. Diámetro de planta

En la figura 17 se muestran los diámetros promedio de las 10 plantas de los tres tratamientos evaluados, habiendo clara diferencia entre el (T1) sistema hidropónico NGS® encontrándose en todas las evaluaciones por debajo de la media.

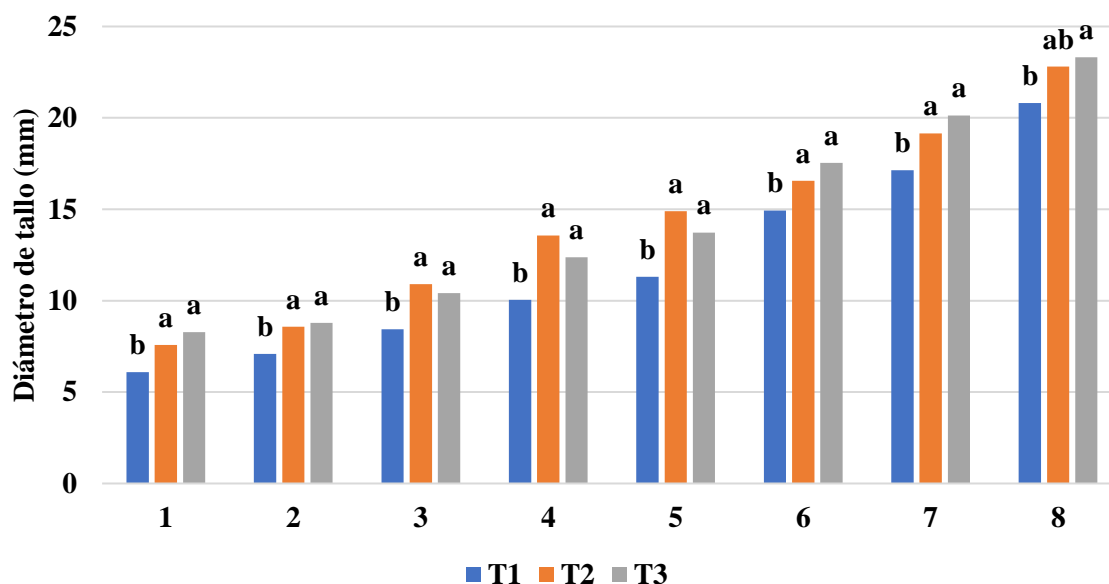


Figura 17. Diámetro de tallo de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.

En el experimento de Sánchez *et al.*, (2009), tuvo resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, por lo que la ganancia de diámetro de tallo no influye en la productividad del sistema hidropónico.

Así mismo Beltrano (2015), describe que el porte bajo y delgado del tallo no influye en los rendimientos de frutos, al contrario, el tallo se vuelve menos quebradizo y se le puede dar un mejor manejo a la planta.

Pérez (2017), no encontró diferencias significativas durante su experimento en tanto a la variable diámetro de fruta, como aseguran los dos anteriores autores el diámetro del tallo no influye en la productividad de la planta.

6.2. Rendimiento

6.2.1. Número de frutos

En la figura 18 se muestra el número promedio de frutos de jitomates por racimo en las diez plantas evaluadas, cabe resaltar que no existió diferencia significativa por parte de los tres tratamientos evaluados, teniendo como valores promedios en el (T1) sistema hidropónico NGS® de 6.06 frutos por racimo, en el (T2) sistema convencional 6.24 frutos de jitomate por racimo y por último el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días obtuvo un promedio de 6.40 frutos por racimo.

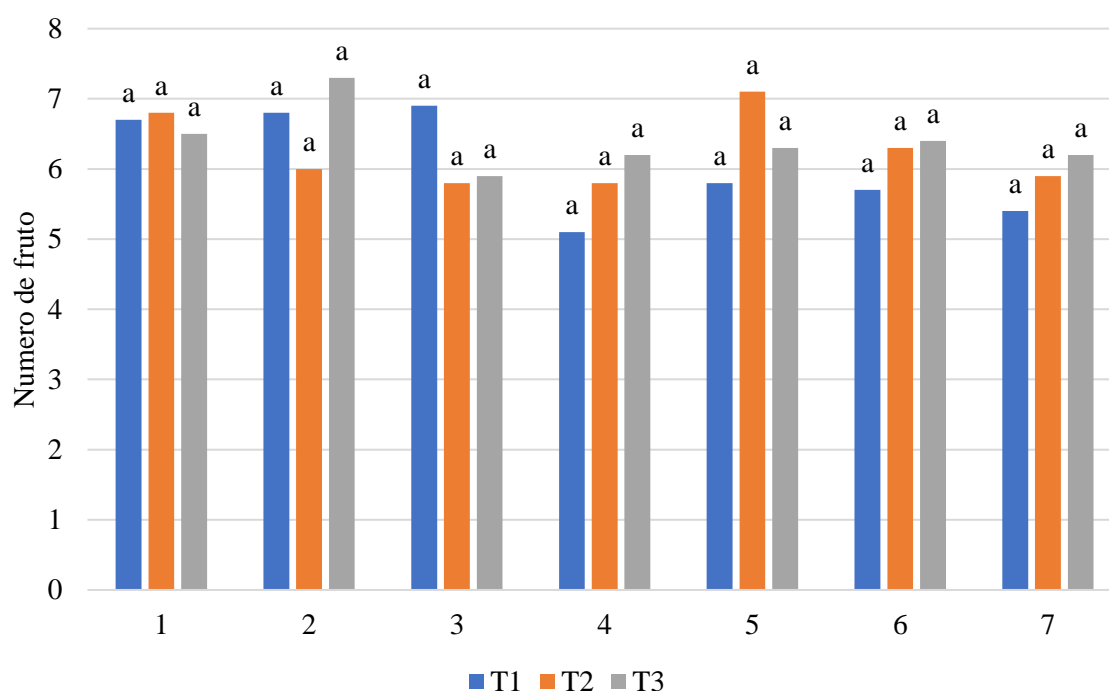


Figura 18. Número de frutos promedio por racimo de jitomate (*solanum lycopersicum* L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Los resultados obtenidos en este experimento concuerdan con los resultados que obtuvo Mendoza *et al.*, (2018) reportando un promedio de frutos de jitomate por racimo de 6.2 variedad Cid F1. así mismo Villegas *et al.*, (2004) reporto similitud en tanto a promedios de 4.7 frutos siendo la variedad evaluada “Gabriela”.

6.3. Calidad de fruto

6.3.1. Peso de frutos

En la figura 19 se observa el peso promedio de los frutos de jitomate en los siete racimos evaluados, teniendo diferencias significativas el racimo dos, ubicándose por debajo de la media el (T1) con 82.91 g y manteniéndose en la media el (T2) con 92.9 g, En este racimo el (T3) se mantuvo por encima de la media con un peso promedio de jitomates de 97.41 g. así mismo se encuentran diferencia significativa en el racimo 4 ubicándose por debajo de la media el (T2) con un peso promedio de 75.8 g, manteniéndose por encima de la media el (T1) con 90.54 g y el (T2) con un peso promedio de 93.35. también hay diferencia significativa en el racimo siete encontrando en la media al (T1) con un peso promedio de 77.5 g, el (T3) se ubica por debajo de la media con un peso promedio de 73.48 y el (T2) se mantuvo por encima de la media con un peso promedio de 92.19 g.

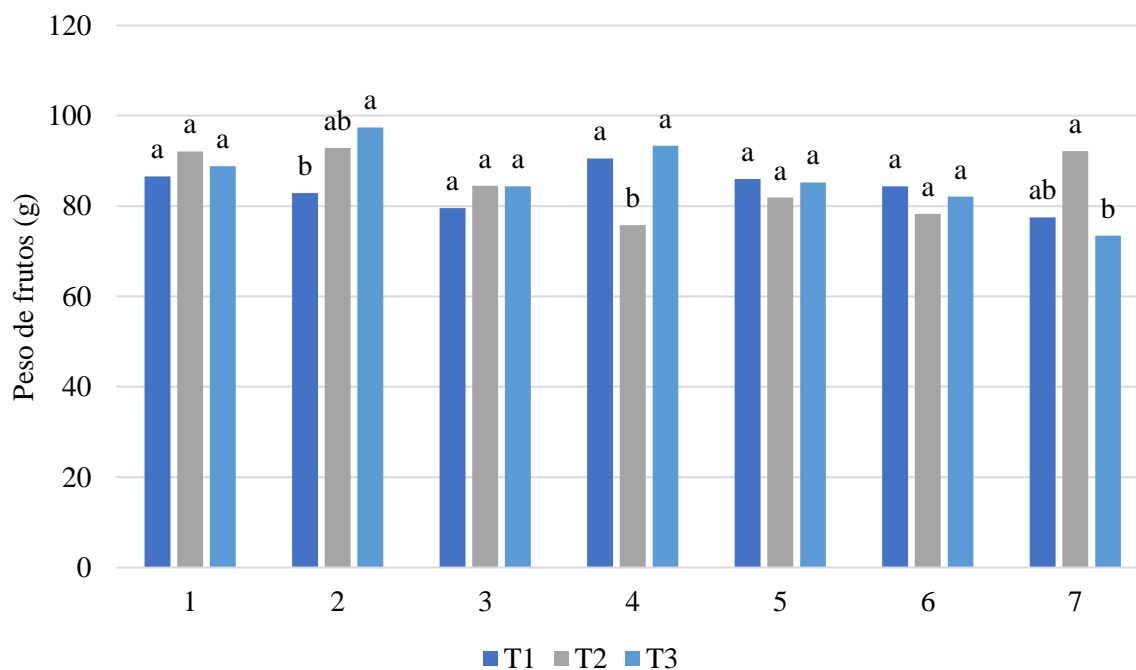


Figura 19. Peso de frutos promedio por racimo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T2) sistema convencional fertilizado cada tres días.

En el cuadro 12, se presenta el rendimiento promedio del cultivo de jitomate en el experimento realizado.

Cuadro 12. Rendimiento promedio de planta.

Tratamiento	Kg
T1	3.61
T2	3.68
T3	3.97

Nuño (2007) reportó que en Mexicali BCS el rendimiento promedio de jitomate es de 3.6 kg de jitomate por planta en suelo autóctono. y en sistema hidropónico cerrado de 2.4 kg por planta. Es decir que los resultados obtenidos son ligeramente superiores a los que reporta este autor cuadro 12, cabe resaltar que en estos resultados pueden variar en base al tipo de manejo agronómico, fenómenos meteorológicos adversos, variedades, densidad de plantación etcétera (Sánchez *et al.*, 2008).

6.3.2. Largo de fruto

En la figura 20 están los promedios del largo de frutos de jitomate en los siete racimos evaluados de las 10 plantas, en esta grafica no hubo mucha diferencia significativa es decir se mantuvieron por encima de la media de los largos de la fruta más que en el racimo 7 el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días tuvo una disminución de tamaño, el (T1) sistema hidropónico NGS® en este racimo se mantuvo en la media. Largo promedio de fruto (mm).

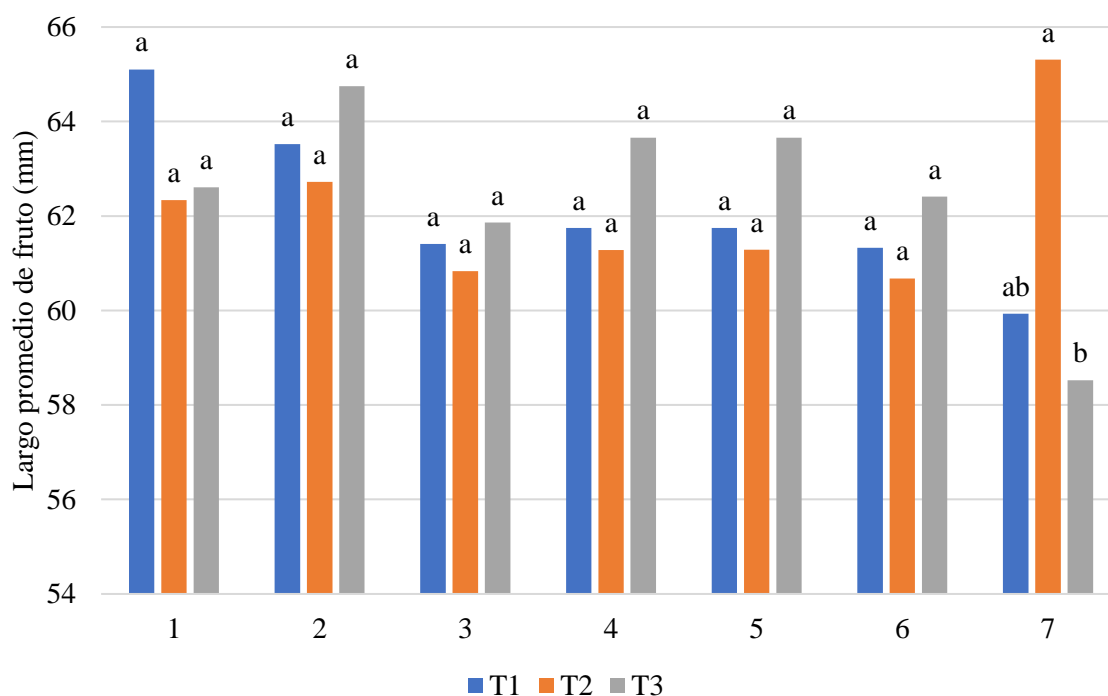


Figura 21. Promedio de largo de frutos (*Solanum lycopersicum L.*) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Pérez (2017) y Hernández *et al.*, (2014) en su experimento no encontró diferencia significativa importes es decir todos los tratamientos fueron iguales en tanto a esta variable, esto se puede deber a que las variedades utilizadas son productivas en el ambiente que se le someta siempre y cuando el manejo sea el indicado, el método de producción ya sea hidropónico o convencional este bien nutrido y haya una óptima polinización ya sea manual o biológica.

6.3.3. Diámetro de fruto

En la figura 22 están los promedios del diámetro de frutos de jitomate en los siete racimos evaluados de las 10 plantas, en esta variable hubo diferencia significativa de tratamientos en el racimo 1 donde el (T1) sistema hidropónico NGS[®] se mantuvo en el promedio y el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días se localizó por debajo de la media (preguntar si se agregan los datos de la gráfica el promedio) así mismo en el racimo 4 el (T1) sistema hidropónico NGS[®] y el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días se mantuvo por encima de la media pero el (T2) sistema convencional con fertilización diaria cayó y se localizó por debajo de la media. Por último, en el racimo 7 el (T2) sistema convencional con fertilización diaria se mantuvo por encima de la media, el (T1) sistema hidropónico NGS[®] se mantuvo en la media y el (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días se mantuvo por debajo de la media.

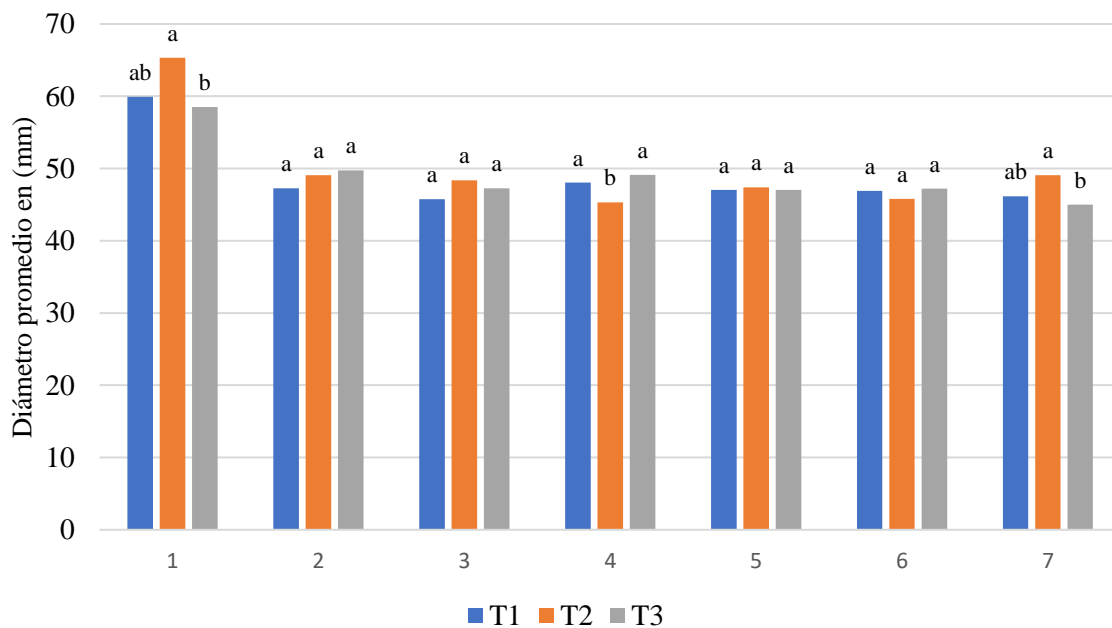


Figura 22. Promedio de diámetros de frutos (*Solanum lycopersicum* L) cosechados bajo invernadero en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS[®] (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Pérez (2017) y Hernández *et al.*, (2014) obtuvo resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, debe existir un diámetro de fruto intermedio es decir ni muy grande ni muy pequeño si se busca que el fruto valla dirigido al mercado nacional debido a que la población busca jitomates de tamaño regular. Ahora que si se prevé que el destino de la fruta sea a mercado internacional hay que cubrir los estándares de calidad de cada país donde los jitomates de mayor preferencia y mejor pagados son los XL brindando al productor un mejor margen de ganancia.

6.4. Optimización de los recursos naturales

6.4.1. Uso de agua

En la figura 23 se muestra el aprovechamiento de agua por tratamiento durante el ciclo en 350 m², el (T1) tuvo una mayor eficiencia de agua al solo consumir un total de 35,200 litros durante todo el ciclo de producción, seguido del (T3) con un consumo total de 101,976 litros y al final el (T2) Con un gasto total de 122,122 litros.

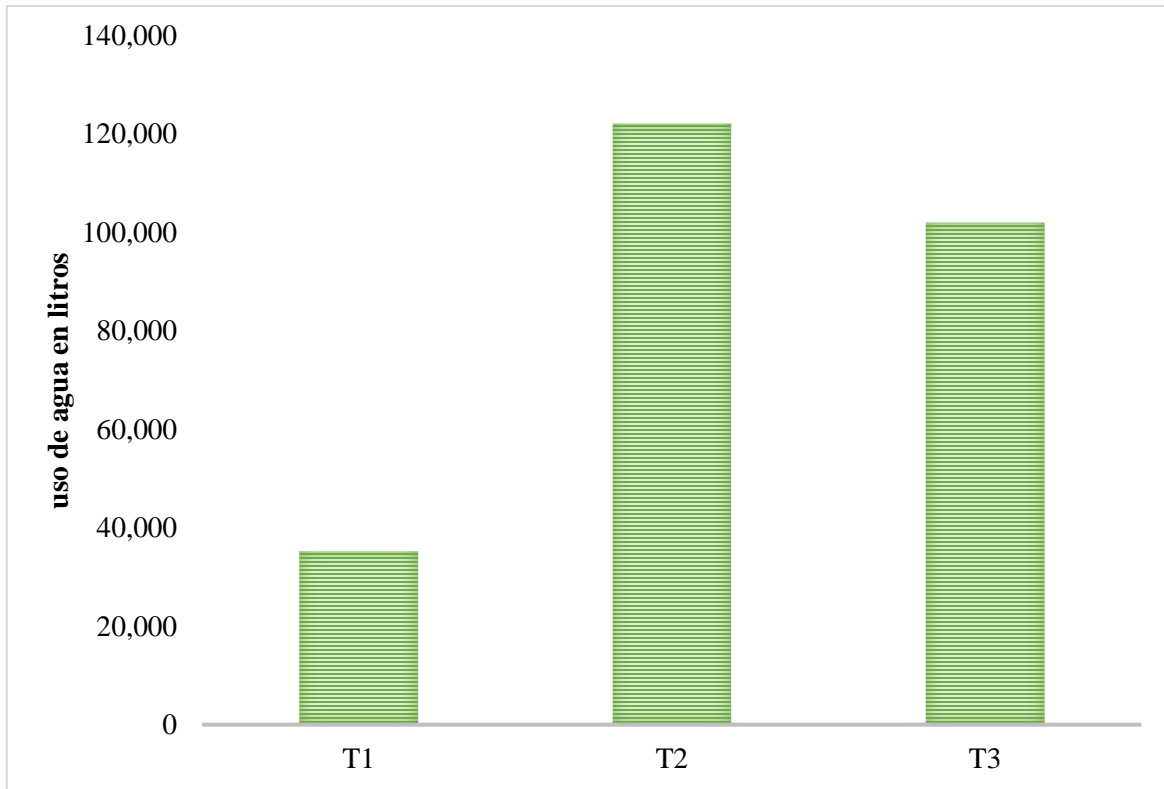


Figura 23. Uso de agua durante el ciclo de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS®(T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

A continuación, en el cuadro 13 se presentan los kilogramos producidos por litro de agua durante el experimento realizado.

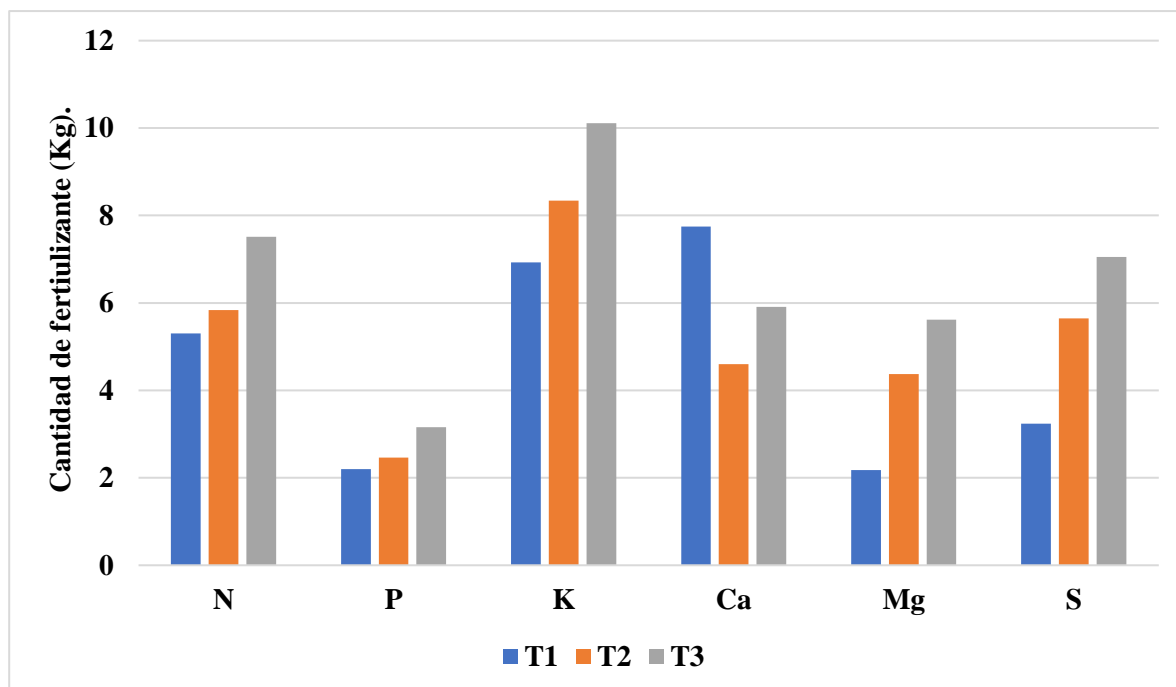
Cuadro 13. Resultados obtenidos de litros utilizados para producir un kilogramo de jitomate.

Tratamiento	(Kg/L)
T1	53 L
T2	143.65 L
T3	11.19 L

Salazar *et al.*, (2014) reportó que para producir 1 kg de jitomate en campo abierto se necesitan de 100 a 300 litros de agua este es el gasto promedio en cualquier ambiente, así mismo menciona que en invernadero sin calefacción se reporta un gasto de agua aproximado de 44 litros de agua para producir 1 kg de jitomate esto en España e Israel donde el nivel de tecnificación, condiciones edáficas y climáticas varían, así mismo menciona que en Holanda en invernaderos de cristal con control avanzado y calefacción, enriquecimiento CO₂ en sistemas hidropónicos cerrados solo se utilizan 4 litros de agua para producir 1 kg de jitomate, cabe resaltar que esto es mucho menor a la cantidad de agua utilizada en este experimento, esto puede ser debido a que la producción Holandesa es más tecnificada, los ambientes más controlados y por ende el aprovechamiento del agua es más visible. Sánchez *et al.*, (2014) también reportó la cantidad de litros utilizados en sistema hidropónico cerrado en México fue de 41 litros de agua esto a los 55 días después del trasplante en el estado de México, esto concuerda con los resultados obtenidos en el experimento realizado.

6.4.2. Uso de fertilizante.

En la figura 24 se muestran los kilogramos de fertilizante utilizados durante el ciclo de producción, en la gráfica se observa que el (T1) sistema hidropónico NGS® tuvo un ahorro en Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Magnesio y Azufre al encontrarse por debajo del (T2) Y (T3). Así mismo este tratamiento tuvo un mayor gasto de calcio encontrándose por arriba del (T2)



y (T3). El (T2) sistema convencional con fertilización diaria fue el segundo tratamiento con menor utilización de fertilizante ubicándose por debajo del (T3). El (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días fue el tratamiento con mayor gasto de fertilizante ubicándose por arriba del (T1) y (T2).

Figura 24. Uso de fertilizante durante el ciclo de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tres sistemas de producción (T1) sistema hidropónico de recirculación NGS® (T2) sistema convencional con fertilización diaria, (T3) sistema convencional fertilizado cada tres días.

Salazar *et al* (2012) en el estado de Puebla reporto una similitud en las cantidades de fertilizantes ocupados (cuadro 14), teniendo rendimientos similares a los rendimientos obtenidos en el presente experimento.

Cuadro 14. Cantidad de fertilizante utilizados para la producción de jitomate en 1000 m².

Nutriente	Kg/1000m ²
N	20
P	60
K	150
Ca	98
Mg	30
S	30

Fuente: Salazar *et al.*, (2012).

Así mismo Terrones (2019) en el estado de Hidalgo, reporto también similitud en la utilización de fertilizantes solubles para la producción de jitomate (cuadro 15). con rendimientos similares a los reportados en el presente experimento. Cabe resaltar que en ocasiones estos datos pueden variar de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas del sitio.

Cuadro 15. Cantidad de fertilizante utilizados para la producción de jitomate en 1000 m².

Nutriente	Kg/1000 m ²
N	46.19
P	50.10
K	132.84
Ca	55.32
Mg	14.07
S	33.02

Fuente: Terrones (2019).

Sánchez *et al* (2014) reportó un ahorro significativo en la utilización hidroponía recirculante esto sin verse afectos los rendimientos del cultivo, calidad y cantidad de frutos. Sin embargo, para obtener buenos resultados en estos tipos de sistemas de producción, hay que mantener muy bien monitoreados los tiempos de riego, cambios de solución nutritiva, así como el PH y la conductividad eléctrica de la misma.

VII. CONCLUSIONES

El sistema hidropónico de recirculación (NGS[®]) es una buena alternativa para una producción hortícola ya que hace más eficientes los dos recursos naturales más importantes dentro de la agricultura en general, debido a que se ahorra hasta un 50% la utilización de agua y se evita el desgaste edáfico al utilizar solo sustratos de fácil adquisición. Cabe destacar que también la utilización de indicadores de humedad es de gran ayuda para la producción agrícola en suelo autóctono, porque indica el momento en el que la planta demanda agua y no se está calculando empíricamente, por ello la optimización del recurso agua es aplicable en este tipo de sistema de producción, ambos optimizan estos dos recursos naturales obteniendo buenos resultados como en calidad de planta como en calidad de frutos.

VI. LITERATURA CITADA

1. Alegre, J. 2015. Recuperación de los suelos degradados en Latinoamérica para mitigar efectos de cambio climático (diapositivas). PE, UNALM. Disponible en <http://www.iica.int/es/eventos/estudios-de-caso-sobre-tecnolog%C3%ADas-para-el-mis-en-alc-0>.
2. Anderlini, R. 1981. El cultivo del tomate. Ediciones mundi-prensa. 3ª edición. Madrid. España.
3. Beltrano J., Gimenez D.O. cultivo en hidroponía, Universidad de la plata 2015. Libro digital en PDF. 1-181.
4. Barraza, Fernando V.; Fischer, Gerhard; Cardona, Carlos E. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia agronomía colombiana, vol. 22, núm. 1, 2004, pp. 81-90
5. Can-Chulim A., Ortega-Escobar H.M., Sánchez-Bernal E.I., Cruz-Crespo E. Calidad de agua para riego en la sierra norte de Puebla, tecnología y ciencias del agua, vol. V, núm. 5, septiembre-octubre de 2014, pp. 77-96
6. Carrasco G., Tapia J., Urrestaraza M. Contenidos de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos IDESIA Chile. Vol. 24, núm. 1, enero-abril 2006. Pp. 25-30.
7. Comisión Nacional del Agua. (2018). estadísticas del agua en México (pp. 25–231). Ciudad de México: Subdirección General de Planeación.
8. Manual de producción de tomate bajo invernadero (2.ª ed., pp. 35–36). (2009). (2.ª ed.) Hugo Escobar. Bogotá Colombia.
9. Fernández L., Gutiérrez M. Bienestar Social, económico y ambiental para las presentes y futuras generaciones. Información tecnológica Vol. 24(2), 121-130 2013.
10. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Mundi-Prensa, Madrid.

11. FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture – managing systems at risk. consultado en: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf> (15-ago-16).
12. Earth, google. (2018). El globo terráqueo más completo. Recuperado 8 de octubre de 2020, de <https://www.google.com/earth/>.
13. Gonzáles, R. A. 1991. Efectos de diferentes sistemas de podas, sobre rendimiento y calidad del fruto de tomate. Tesis de licenciatura. Escuela nacional de agricultura, CHAPINGO, México. 1-51 pp.
14. Hernández-Rodríguez, José; Fernández-Castillo, Antonio; Quinto-Diez, Pedro; Flores-Murrieta, Fernando Enrique; Acosta-Olea, Roberto. Estudio de la cinética de secado de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) Científica, vol. 15, núm. 3, julio-septiembre, 2011, pp. 125-130
15. Infoagro. 2002. el cultivo de tomate en primavera en invernadero. Fuente: documentos técnicos agrícolas. Estación experimental las palmerillas. Caja rural de Almería. www.infoagro.com/hortalizas/tomates. Aspa.
16. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI). 2016. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Tetela de Ocampo, Puebla. 9p.
17. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2016. Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático: sistematización del ciclo de foros virtuales en el marco del Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015 icano de Cooperación para la Agricultura (IICA) sede central. San José, Vázquez de Coronado, San Isidro 11101-Costa Rica, América Central. Pp. 7-13.
18. La calidad e inocuidad en el cultivo de tomate extraído de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/la-calidad-e-inocuidad-en-el-cultivo-de-tomate> esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C recuperado 29 de agosto de 2020, de Intagri website: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/la-calidad-e-inocuidad-en-el-cultivo-de-tomate>

19. Jasso Chaverría C., Martínez Gamiño M.A., Chávez Vázquez J.R., Ramírez Téllez J.A., Garza Urbina E. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en san Luis potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias centro de investigación Regional del Noreste campo experimental San Luis San Luis Potosí, S.L.P. Folleto Técnico No. MX-0-310305-49-03-17-09-44 agosto de 2012.
20. Jasso Ch., C. M.A. Martínez G., J.R. Chávez V. y J.A. Ramírez T. 2011e. Evaluación de cuatro híbridos de tomate saladette de hábito indeterminado en condiciones de malla sombra. XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A.C. (Memorias). Culiacán, Sin., Méx.
21. Labrador J. Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica, 2008
22. Lamz-Piedra A., González-Cepero, M.C. la salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata cultivos tropicales, 2013, vol. 34, no. 4, p. 31-42 octubre-diciembre ministerio de educación superior.
23. Lara Herrera, Al. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía terra tatinoamericana, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, 1999, pp. 221-229 sociedad mexicana de la ciencia del suelo, A.C. Chapingo, México.
24. Macías A. enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales Región y Sociedad, vol. XV, núm. 26, enero-abril, 2003, pp. 103-151.
25. Mendoza-Pérez C., Ramírez-Ayala C., Martínez-Ruiz A., Rubiños-Panta J.E., Vargas-Orozco A.G. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero revista mexicana de ciencias agrícolas volumen 9 número 2 15 de febrero - 31 de marzo, 2018.
26. OCDE/FAO (2013), OCDE-FAO perspectivas agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es

27. Panorama agroalimentario tomate rojo (p. 7 a 10). (2019). Ciudad de México dirección de investigación y evaluación económica y sectorial.
28. Pérez – Rodríguez G. Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Sahael bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Torreón Coahuila. Junio 2017 Pp. 1-95.
29. Pineda-Jaime N, B., Bosque-Sendra J., Gómez-Delgado M., Plata Rocha W. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación, investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía, UNAM, Núm. 69, 2009, pp. 33-52.
30. Portalfruticula. (2020). Recuperado 10 de agosto de 2020, de www.portalfruticula.com website: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/09/20/sistema-hidroponico-ngo-nuevo-sistema-de-cultivo-basado-en-la-oxigenacion-constante-de-las-raices/>.
31. Resh H., M. 1997. Cultivos hidropónicos. 4ta. Edición. Editorial mundi-prensa España. Pp225.
32. Sánchez-del- Castillo F. González-Molina E. C. Moreno-Pérez J., Pineda-Pineda C., Reyes-González E. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 37 (3): 261 - 269, 2014.
33. Salazar-Moreno R., Rojano Aguilar A. López-Cruz, I. L., 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.
34. Salazar-Moreno R., Cruz-Meza P., Rojano-Aguilar A. Eficiencia en el uso de la energía en invernaderos mexicanos revista mexicana de ciencias agrícolas.31 de diciembre, 2012 p. 736-742.

35. Sánchez-del Castillo., E. del C. Moreno-Pérez., E. L. Cruz-Arellanes. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera, *Revista Chapingo serie horticultura* 15(1): 67-73, 2009.
36. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2017). Planeación agrícola nacional (pp. 1–4). Ciudad de México.
37. Seminis los principales sistemas de riego. (2016), website: <https://www.seminis.mx/blog-los-principales-sistemas-de-riego>.
38. Terrones-Cordero, A. producción de jitomate en invernadero en San Juan Tilcuautla, Hidalgo, México producción de jitomate en invernadero en San Juan Tilcuautla, Hidalgo, México revista mexicana de agronegocios, núm. 44, 2019.
39. Vázquez-Vázquez A.R., la producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) saladette en México y su proceso de exportación en el periodo 2003-2013 Buenavista, Saltillo, Coahuila. México Mayo del 2015. Pp. 1-15.
40. Vásquez-Ortiz R., Carrillo-Rodríguez J.C., Ramírez-Vallejo P. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *naturaleza y desarrollo* 8 (2), 2010. Pp. 49-64.
41. Villegas, C. J. R.; González, H. V. A.; Carrillo, S. J. S.; Livera, M. M.; Sánchez del C. F. y Osuna, E. T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidad de población en dos sistemas de producción. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(4):333-338.
42. Vilmorin semillas shamrock internacional S.A. de C.V una empresa de Vilmorin S.A. Celaya, Guanajuato, México. Pp. 2. <https://www.vilmorin.mx/sites/mexique.sam/files/PDF/Brochure%20Tomato%20Mexico%200918%20BD.pdf>.