



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

SISTEMA AEROPÓNICO E HIDROPÓNICO EN LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA:
JESSICA ARELY GARCIA BELLO

DIRECTOR DE TESIS:
MC. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2023



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

SISTEMA AEROPÓNICO E HIDROPÓNICO EN LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA:

JESSICA ARELY GARCIA BELLO

DIRECTOR DE TESIS:

MC. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

ASESORES:

DR. LUIS ANTONIO DOMÍNGUEZ PERALES

DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2023

La presente tesis titulada: **Sistema aeropónico e hidropónico en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero** y realizada por **Jessica Arely García Bello** ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado Firma

por:

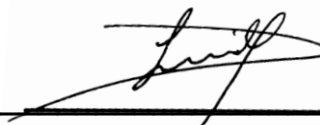
Director: **M.C. Fabiel Vázquez**

Cruz



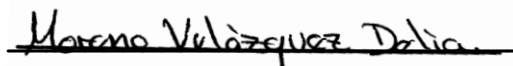
Asesor: **Dr. Luis Antonio**

Domínguez Perales



Asesor: **Dra. Delia Moreno**

Velázquez



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2023.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP-CA-355 Agrobiotecnología y Recursos Naturales** y de la Línea de Investigación: **Biotecnología conservación y protección vegetal**. Dicho trabajo, fue financiado con ayuda de la (VIEP) **Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado** de la (BUAP) **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**.

DEDICATORIA

¡Quiero dedicar esta tesis a mi familia!

A mi madre **Esther Bello Moreno**, por darme la vida, por ser mi acompañante, por darme cariño, por estar siempre pendiente de mí, procurando que nada me faltará, gracias por apoyarme en todo momento en la escuela y en la vida, por nunca dejarme sola, sobre todo por guiarme por un buen camino y enseñarme que debemos de esforzarnos para conseguir las metas que deseamos.

A mi padre **Manuel García** por ayudarme a seguir estudiando, a mis hermanas **Ariadna Ledis García Bello** y **Brenda Denisse García Bello** por ser un buen ejemplo para mí, son mujeres que siempre se han esforzado para conseguir lo que quieren, gracias por ser mis compañeras, amigas, hermanas; son mi ejemplo a seguir.

A mi sobrina **Luna Camila Hilarío García** por siempre estar conmigo en todo momento, siempre me sacas una sonrisa con cada travesura que haces y con eso me alegras mi día; me motivas a esforzarme y a nunca desanimarme.

En especial gracias a mi novio **Pedro Gaspar Alberto** por estar conmigo en toda mi estadía de la facultad, ayudándome en todo con mucha dedicación, gracias por brindarme mucho amor, cariño, apoyo, confianza y sobre todo paciencia.

Los grandes logros en la vida son los que se ganan con esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla** principalmente a la **Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias** por brindarme una buena formación durante los años de estudio que curse, me serán de gran ayuda en el futuro.

A mi director de tesis, **MC. Fabiel Vázquez Cruz** por ayudarme e orientarme durante mi estancia en la facultad, en la realización y revisión de mi experimento; en la presente investigación de tesis, y por la amistad que siempre me brinda como su tesista y como estudiante.

A mi asesora de tesis **Dra. Delia Moreno Velázquez** por sus sabios consejos y asesorías en la realización de mi trabajo de investigación, sobre todo por la gran amistad que me demostró dentro y fuera de las aulas de clases.

A mi asesor de tesis **Dr. Luis Antonio Domínguez Perales** por sus valiosos consejos de cómo mejorar mi investigación, por sus enseñanzas en el salón de clases y por la buena amistad que me brinda durante mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

| Contenido | Página |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE CUADROS..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | .vii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II.OBJETIVOS | .4 |
| 2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| III.HIPÓTESIS..... | 5 |
| IV.REVISIÓN DE LITERATURA..... | 6 |
| 4.1. Generalidades..... | 6 |
| 4.2. Importancia del jitomate a nivel mundial..... | 6 |
| 4.3. Importancia del jitomate a nivel nacional..... | 6 |
| 4.4. Producción de jitomate en agricultura protegida..... | 7 |
| 4.5. Requerimientos..... | 7 |
| 4.5.1.Temperatura..... | 7 |
| 4.5.2.Humedad..... | 8 |
| 4.5.3.Radiación y luminosidad..... | 8 |
| 4.5.4.Suelo y pH..... | 8 |
| 4.5.5.Riego..... | 9 |
| 4.5.6.Fertilización..... | 9 |
| 4.6. Métodos de producción..... | 9 |
| 4.6.1.Siembra en suelo..... | 9 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6.2.Siembra con sustratos..... | 10 |
| 4.6.3.Tezontle..... | 10 |
| 4.6.4.Siembra en contenedores..... | 10 |
| 4.6.5.Sistemas hidropónicos..... | 11 |
| 4.6.6.Sistema aeropónico..... | 11 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 12 |
| 5.1. Localización del sitio experimental..... | 12 |
| 5.2. Manejo del cultivo..... | 12 |
| 5.2.1.Material vegetal..... | 12 |
| 5.3. Sistema hidropónico..... | 13 |
| 5.3.1.Trasplante en el sistema hidropónico..... | 14 |
| 5.3.2.Tiempos de riego del sistema hidropónico..... | 14 |
| 5.4. Sistema aeropónico vertical..... | 16 |
| 5.4.1.Trasplante en el sistema aeropónico..... | 17 |
| 5.4.2.Tiempos de riego del sistema aeropónico..... | 17 |
| 5.5. Fertilización..... | 18 |
| 5.6. Prácticas culturales..... | 18 |
| 5.7. Diseño experimental..... | 18 |
| 5.8. Descripción de los tratamientos..... | 19 |
| 5.8.1.Tratamiento uno..... | 19 |
| 5.8.2.Tratamiento dos..... | 19 |
| 5.9. Variables a evaluar..... | 19 |
| 5.9.1.Altura de planta (cm)..... | 19 |
| 5.9.2.Diámetro de tallo (mm)..... | 19 |
| 5.9.3.Grados días acumulados (GDC), inicio de cosecha..... | 20 |
| 5.9.4.Diámetro polar y ecuatorial..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 5.9.5. Rendimiento promedio por planta y número de frutos por planta | 20 |
| 5.9.6. Longitud de raíz (cm) | 21 |
| 5.9.7. Consumo de agua | 21 |
| 5.9.8. Temperaturas máximas y mínimas | 21 |
| 5.9.9. Color y Firmeza (N) | 21 |
| 5.9.10. Sólidos solubles totales (°Brix), pH y ácido nítrico | 22 |
| 5.10. Análisis estadístico de comparación de medias | 23 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 24 |
| 6.1. Altura de planta | 24 |
| 6.2. Diámetro del tallo | 25 |
| 6.3. Grados días acumulados (GDC), inicio de cosecha | 26 |
| 6.4. Diámetro polar y ecuatorial | 27 |
| 6.5. Rendimiento promedio por planta | 27 |
| 6.6. Longitud de raíz | 29 |
| 6.7. Consumo de agua | 30 |
| 6.8. Temperaturas máximas y mínimas | 31 |
| 6.9. Color y Firmeza | 32 |
| 6.10. Sólidos solubles totales (°Brix), pH y ácido nítrico (%) | 34 |
| VII. CONCLUSIÓN | 37 |
| VIII. LITERATURA CITADA | 38 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Contenido | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1. Tiempos de riego del sistema hidropónico | 15 |
| Cuadro 2. Tiempos de riego del sistema aeropónico | 18 |
| Cuadro 3. Diámetro, longitud y rendimiento promedio por planta | 28 |
| Cuadro 4. Color y Firmeza | 33 |
| Cuadro 5. Determinaciones químicas en frutos de jitomate del tercer racimo | 36 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Contenido | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Localización del sitio experimental..... | 12 |
| Figura 2. Diseño del sistema hidropónico en macetas..... | 13 |
| Figura 3. Diseño del sistema aeropónico..... | 17 |
| Figura 4. Altura de planta en cm de ambos tratamientos; ddt: días después del trasplante..... | 25 |
| Figura 5. Diámetro promedio grosor de tallo en plantas de jitomate..... | 26 |
| Figura 6. GDA; Grados días acumulados; DDT: Días después del trasplante..... | 27 |
| Figura 7. Longitud de raíz en plantas de jitomate..... | 30 |
| Figura 8. Uso de agua durante el ciclo de producción de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en dos sistemas de producción (T1) sistema aeropónico (T2) sistema aeropónico..... | 31 |
| Figura 9. Temperaturas del aire registradas en condiciones de invernadero..... | 32 |

RESUMEN

El jitomate es un cultivo hortícola importante que se requiere durante todo el año, satisfacer la demanda es una tarea difícil utilizando métodos tradicionales de producción debido a factores climáticos que son diversos e impredecibles, las enfermedades recurrentes y las plagas. La aeroponía es una de las técnicas avanzadas para cultivar plantas sin suelo con un consumo mínimo de agua y nutrientes, en la que la solución nutritiva se pulveriza en la zona radicular de la planta con intervalos regulares. Se trata de una tecnología que puede aportar crecimiento vertical a la agricultura. La hidroponía es el arte de la agricultura sin suelo, en la que las plantas crecen en un medio diferente al suelo o en un medio acuático, por lo anterior el objetivo de esta investigación fue establecer un sistema aeropónico e hidropónico en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero. El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Los resultados obtenidos indican que, los mayores rendimientos se presentaron utilizando tezontle como sustrato en el sistema hidropónico, además los sistemas utilizados no presentaron diferencias en la calidad del fruto. El sistema aeropónico es una buena alternativa para la producción hortícola sustentable, debido a que se reduce hasta en un 80 % de agua utilizada, optimizando los recursos hídricos

Palabras clave: Plantas sin suelo, sustratos, solución nutritiva, rendimiento, uso eficiente del agua, tecnologías.

ABSTRACT

The tomato crop is an important horticultural specie that is required all year round, meeting the demand is a difficult task using traditional methods of production due to climatic factors that are diverse and unpredictable, recurrent diseases and pests. Aeroponics is one of the advanced techniques for growing soilless plants with minimal water and nutrient consumption, in which the nutrient solution is sprayed into the root zone of the plant at regular intervals. This is a technology that can bring vertical growth to agriculture. Hydroponics is the art of soilless agriculture, in which plants grow in a medium other than the soil or in an aquatic environment, so the objective of this research was to establish an aeroponic and hydroponic system in the production of tomato (*Solanum lycopersicum*) under greenhouse. The experiment was conducted at the Faculty of Agricultural and Livestock Sciences. The results obtained.

Key words: Plants without soil, substrates, nutrient solution, yield, efficient use of water, technologies.

I. INTRODUCCIÓN

El desafío de producir más alimentos con menos suelo ha llevado a la adopción de la agricultura protegida en muchas partes del mundo, la producción de hortalizas en ambientes protegidos se ha incrementado en los últimos años y de este un porcentaje es producido por hidroponía, en México los orígenes de la hidroponía son los jardines flotantes Aztecas llamados chinampas, las chinampas se construían a partir de cañas y bejucos que flotaban en el lago de Tenochtitlán (México) y además se rellenaban con barro extraído del mismo, las principales hortalizas cultivadas en este sistema de producción se incluyen los tomates, pimientos, pepinos, lechugas, fresas y plantas medicinales, como consecuencia, existe una creciente demanda de sustratos, los cuales son un componente clave en la producción de horticultura protegida (INTAGRI, 2017).

El jitomate es la hortaliza más importante a nivel mundial y la de mayor valor económico, su demanda va en constante aumento y con ello su producción y comercialización, el aumento de la producción en los últimos años se debe principalmente a mejoras en el rendimiento del cultivo, la superficie total sembrada de jitomate en México muestra una tendencia a disminuir año con año debido a problemas de plagas, enfermedades, altos costos de producción, y una limitada disponibilidad de recursos hídricos, además, el cultivo de jitomate es uno de los cultivos que son más susceptibles a los cambios bruscos de temperatura, sin embargo los rendimientos de producción han aumentado gracias a los avances tecnológicos y al uso de la agricultura protegida (Infagro, 2023).

Un sistema es una colección de cosas que están relacionadas entre sí y contribuyen a la creación de un objeto en particular (Rae, 2022).

El sistema de hidroponía es un conjunto de métodos para cultivar plantas en un ambiente sin suelo, en otras palabras sin tierra, una de las ventajas de la hidroponía son cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos, además los costos de producción son reducidos y tiene la independencia de los fenómenos meteorológicos, esto permite cultivar fuera de temporada con menos espacio y capital, para así aumentar el ahorro de agua y fertilizantes que pueden ser reutilizados, además evita el uso de maquinaria agrícola como tractores. Se utiliza un alto porcentaje de automatización que favorece la posibilidad de múltiples colecciones de la misma especie de hortaliza año tras año (Beltrano y Giménez, 2015).

El término de aeroponía proviene de griego *aero* (aire) y *ponos* (trabajo) y fue desarrollado en 1920, la primera persona en utilizar esta técnica fue el Dr. Franco Massantini quien implemento por primera vez las columnas de cultivo y este ofrece el potencial de aumentar la producción y reducir los costos en comparación con otros métodos convencionales u otros métodos hidropónicos sin suelo, la aeroponía utiliza efectivamente el espacio vertical del invernadero y el equilibrio de humedad del aire para mejorar el crecimiento de la planta (Buckseth-Tanuja *et al.*, 2016).

La diferencia entre un sistema hidropónico y aeropónico es que la hidroponía es una técnica que permite proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para su pleno desarrollo sin tener que establecerlas en suelo natural, los sustratos que se utilizan como agentes de anclaje son (fibra de coco, vermiculita, tezontle, lana de roca) o simplemente se sumergen las plantas

con las raíces en agua mezclada con nutrientes, en cambio la aeroponía es un sistema en el que las plantas se desarrollan mientras sus raíces están suspendidas en el aire y se encuentran en un ambiente cerrado, la solución nutritiva se suministra a través de nebulizadores que dispersan gotas de agua creando una atmosfera saturada de humedad en momentos específicos para equilibrar la disponibilidad de agua y oxígeno para las raíces (Smeap, 2022).

Los sustratos son medios sólidos inertes y orgánicos que tienen la función de anclar las raíces, protegerlas de la luz del sol, permitirles respirar y captar los nutrientes que la planta necesita, representan una alternativa para ampliar las posibilidades del agricultor y aprovechar al máximo sus recursos disponibles (López-Alejandro et al., 2015).

En México, la roca volcánica conocida como tezontle es muy utilizada como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo; sin embargo no se ha determinado el efecto del tamaño de las partículas sobre las propiedades físicas, el tezontle tiene las propiedades variables de porosidad obstruida, la cual define como el volumen de poros cerrados que no están conectados con los poros externos y son espacios que no pueden ser ocupados por el agua para que no interfiera con la relación agua-sustrato y aire (Vargas-Tapia, 2008)

Con base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue establecer un sistema de aeroponía e hidroponía en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero.

II.OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Establecer un sistema de aeroponía e hidroponía en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero.

2.2. Objetivos específicos

Contrastar el crecimiento y desarrollo de plantas de jitomate bajo un sistema hidropónico y eropónico.

Describir la calidad de frutos de jitomate producidos en dos sistemas de producción.

III. HIPÓTESIS

La producción de jitomate será más eficiente en un sistema aeropónico vertical que en sustrato y es posible optimizar el recurso agua - suelo

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades

El jitomate es una de las hortalizas más importantes del mundo, México es considerado el centro de domesticación de esta especie y presenta una alta diversidad morfológica de frutos como los tipos cereza, pera y saladette, así como una gran variabilidad genética en su composición química, resistencia a plagas, enfermedades y adaptación a distintas condiciones (Pérez-Díaz *et al.*, 2020)

Sus características taxonómicas son: reino: plantae; subreino: traqueobionta (plantas vasculares); súper división: spermatophyta (plantas con semilla); división: magnoliophyta (plantas con flor); clase: magnoliopsida (dicotiledóneas); subclase: asteridae; orden: solanales (Hanan-Alipi y Mondragón-Pichardo, 2005)

4.2. Importancia del jitomate a nivel mundial

El jitomate es uno de los cultivos más importantes de México y el mundo, tanto por su importancia económica como por ser fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes, los usos del jitomate son infinitos, se puede utilizar para preparar todo tipo de salsas, caldos, guisados, se puede comer crudo, frito o asado (SADER, 2022)

4.3. Importancia del jitomate a nivel nacional

El jitomate es sin duda una hortaliza importante gracias a que México ha desarrollado la industria hortifrutícola, tanto para abastecer el mercado interno como para exportar a estados unidos, la producción de jitomate en México y su orientación

hacia el mercado consumidor estadounidense, es un claro ejemplo del proceso de integración entre ambas economías, ya que la producción mexicana abastece el mercado norteamericano en invierno cuando el principal país productor que es California, no cultiva jitomate (Macías-Macias, 2003)

4.4. Producción de jitomate en agricultura protegida

Actualmente, en México como en otras partes del mundo, la horticultura protegida es uno de los componentes esenciales de la agricultura de alta tecnología (Muñoz, 2003)

Se estima que en todo el mundo se cultivan alrededor de 280,000 hectáreas de frutas y hortalizas en condiciones de invernadero, este tipo de agricultura se desarrolla en diferentes regiones y en diferentes condiciones agroclimáticas, teniendo en cuenta factores como el clima, suelo y agua; además se estima que el 80% de los cultivos se cultivan bajo condiciones resguardadas (Castellanos, 2004)

Alrededor del 70% del área agrícola protegida se cultivan jitomates y un 25% con pepinos y chiles (Sánchez del Castillo *et al.*, 2017)

4.5. Requerimientos

4.5.1. Temperatura

La temperatura promedio para el desarrollo de las plantas de jitomate es entre 20°C y 30°C durante el día y 14°C y 17°C durante la noche, las temperaturas superiores a 30°C e inferiores a 12°C provocan una fertilización defectuosa o nula en variedades de híbridos muy sensibles a este factor (Jasso-Chaverría *et al.*, 2009)

4.5.2. Humedad

La humedad necesaria para un buen desarrollo del jitomate esta entre el 60% y 80%; un nivel elevado de humedad favorece al desarrollo de enfermedades, también dificulta la fecundación de la flor ya que se compacta el polen, el exceso de humedad puede provocar el agrietamiento de frutos, ya sea por humedad del suelo o por riegos abundantes (Infagro, 2002)

4.5.3. Radiación y luminosidad

El jitomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, requiere una buena iluminación; la iluminación limitada conduce a una disminución de la fotosíntesis, lo que afecta el desarrollo y la producción, los valores de radiación total diaria es alrededor de 0.85 MJ m⁻² son valores umbrales que se consideran mínimos para la floración y el cuajado (Jasso-Cheverría *et al.*, 2012)

4.5.4. Suelo y pH

Para el cultivo de jitomate se recomiendan suelos fértiles, profundos, sueltos y de buen drenaje, los jitomates tienen un sistema de raíces profundas, la profundidad de las raíces puede verse afectada por la estructura y textura del suelo, el jitomate es moderadamente tolerante a la acidez del suelo, puede tolerar niveles de pH tan bajos como 5.5 aunque el pH ideal del suelo para el cultivo esta entre 6.0 y 6.8, la acidez severa del suelo puede causar problemas de toxicidad por aluminio y manganeso (Martínez, 2007)

4.5.5. Riego

En las primeras semanas de desarrollo de la planta hasta el momento de la siembra, tanto la masa vegetal como el sistema radicular son pequeños, por lo que el aporte de agua debe ser limitado; se recomienda realizar riegos cortos y frecuentes para ayudar a mantener una humedad suficiente y mejorar el desarrollo radicular a medida que la planta crece, el consumo de agua aumenta hasta que se forman los primeros racimos florales, el jitomate tiene un sistema radicular con el 85% de las raíces concentradas en los primeros 60 cm, pero el mayor porcentaje de absorción de agua se da entre los 25 cm y 50 cm del suelo (Baudoin, 2017)

4.5.6. Fertilización

El jitomate es un vegetal que entre variedades los requerimientos nutricionales son distintos, eso significa que no existen las recetas perfectas para una fertilización, las necesidades nutrimentales del cultivo de jitomate varían entre rangos amplios y la demanda de cada cultivo varia (Intagri, 2017)

4.6. Métodos de producción

4.6.1. Siembra en suelo

El trasplante directo a suelo requiere una cantidad mínima de trabajo inicial, pero a medida que la planta se desarrolla, se les suma una serie de desventajas como enfermedades, insectos, malezas, estos problemas suelen aumentar con el tiempo sobre todo si no se realiza una rotación de cultivos por la resistencia que generan las fitopatologías (IICA, 2016)

4.6.2. Siembra con sustratos

Uno de los principales factores que determina el éxito de un cultivo es el sustrato, ya que es el ambiente en el que se desarrollaran las raíces, las cuales tienen una gran influencia en el crecimiento y desarrollo, los sustratos más utilizados en el cultivo de jitomate son composta de aserrín de pino, composta de estiércol de oveja, tierra local y tezontle rojo (Ortega-Martínez *et al.*, 2010)

4.6.3. Tezontle

Un gran diámetro de partícula del tezontle afecta las variables de crecimiento y la concentración de nutrientes; esto provoca estrés hídrico en las plantas, en cambio el tezontle de 3 mm de espesor es un sustrato viable, si se aumenta la frecuencia de riego, sin cambiar la cantidad total de agua y fertilizantes utilizados el tezontle es un gran sustrato para producir flores y hortalizas (Trejo-Téllez *et al.*, 2013)

4.6.4. Siembra en contenedores

El sistema de contenedores para el alce mecanizado demuestra ser una importante herramienta de trabajo para reducir la cantidad de materia extraña, el cual además es de fácil operación supera el sistema tradicional utilizado en México, el beneficio económico es significativo, ya que principalmente reduce la cantidad de materia extraña que causa pérdidas en la producción y por lo tanto en lo económico (Gómez-Juárez y Sánchez-Ferrer, 2010)

4.6.5. Sistemas hidropónicos

La hidroponía proviene de las palabras griegas Hydro = agua y Ponos = labor o trabajo y traducido literalmente significa trabajo en agua, se trata de una tecnología de producción de cultivos que no requiere el uso del suelo, el cual es remplazado por agua con nutrientes minerales esenciales disueltos en ella, lo que se denomina solución nutritiva y es quizás la parte más importante de cualquier técnica hidropónica, debido a su composición y control de la solución así como una adecuada elección de las fuentes minerales (López-Elias, 2018)

4.6.6. Sistema aeropónico

Al parecer, los primeros informes de aeroponía se remontan a 1922 con manzanos y en 1942 con piñas en Estados Unidos, en los años 90 se realizaron varios trabajos para adaptar esta tecnología al cultivo de papa en corea del sur, en la aeroponía las raíces de las plantas crecen suspendidas en el aire dentro de cajas cerradas llamados módulos y son alimentadas con una solución nutritiva pulverizable y reutilizable, no se utilizan sustratos sólidos para soportar las raíces, lo que mejora su aireación y reduce tanto el impacto ambiental como la producción de costos (Piedra-Andrade *et al.*, 2015)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, ubicado en la localidad de San Juan Acateno en el Municipio de Teziutlán, Puebla (Figura 1). Ubicada a 19.8761 Latitud Norte, -97.3608 Longitud Oeste, a 1617 msnm, la temperatura media anual es de 15°C, con lluvias en verano con una precipitación media de 1609 mm (INEGI, 2023).



Figura 1 . Localización del sitio experimental (Datos obtenidos de Google Earth 2023, elaboración propia).

5.2. Manejo del cultivo

5.2.1. Material vegetal

La variedad de jitomate establecida fue Ramsés F1, las características de este híbrido son frutos de forma ovalada, de un tamaño grande, firmes, la planta es vigorosa de buena adaptación en invernadero y cielo abierto.

5.3. Sistema hidropónico

En el sistema hidropónico se usaron bolsas bicolor negro y blanco, a cada bolsa se le agrego 10 litros de tezontle como sustrato, previamente desinfectado con ANIBAC 580, el ingrediente activo es Cuaternario de amonio (3^a G) + Cuaternario de amonio (1^a G), el sistema de riego se instaló con un tinaco de 450 L de capacidad, con una tubería de PVC de 1 pulgada con un largo de 4 m, (Figura 2), con una válvula de aire al final del tubo, a cada metro del tubo, se le coloco una manguera de polietileno de 16 mm horizontalmente para colocar en ella los goteros con 4 distribuidores los cuales estaban conectados mediante un tubin a una estaca, la cual se le colocó a cada una de las macetas cada 50 cm (Sánchez del Castillo *et al.*, 2014).

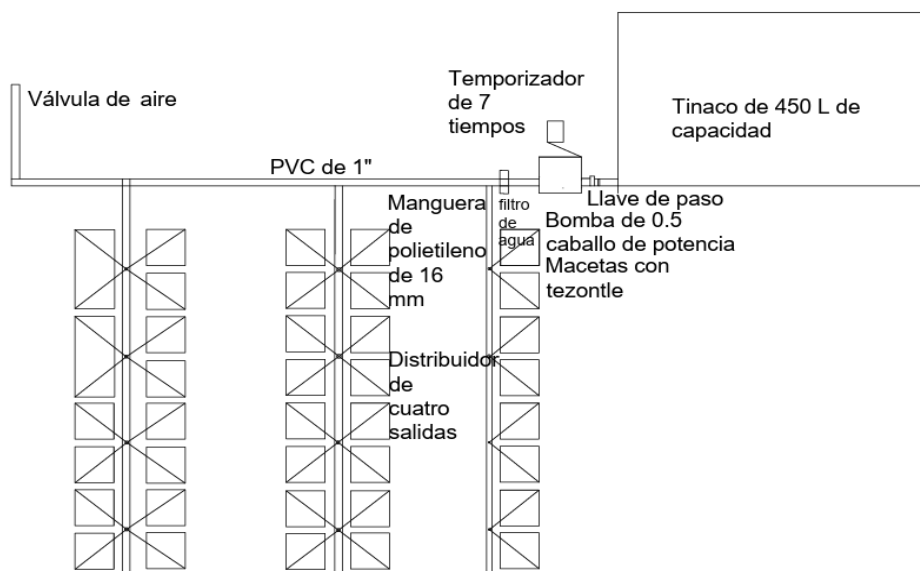


Figura 2 . Diseño del sistema hidropónico en macetas (Elaboración propia) .

5.3.1. Trasplante en el sistema hidropónico

Las plántulas se obtuvieron de un semillero certificado especializado en la producción de plántula de hortaliza, llamado Emprosac productos y servicios agrícolas, al momento de trasplante las plantas tenían aproximadamente 10 cm de altura.

5.3.2. Tiempos de riego del sistema hidropónico

Los intervalos de riego en el sistema hidropónico se ajustó de acuerdo con las temperaturas registradas en el invernadero (Cuadro 1) y etapa fenológica del cultivo, en condiciones interiores de los invernaderos las temperaturas pueden aumentar extremadamente lo que provocan afectaciones en los rendimientos de la eficiencia del agua y de los fertilizantes (Ortega-Martínez *et al.*, 2016)

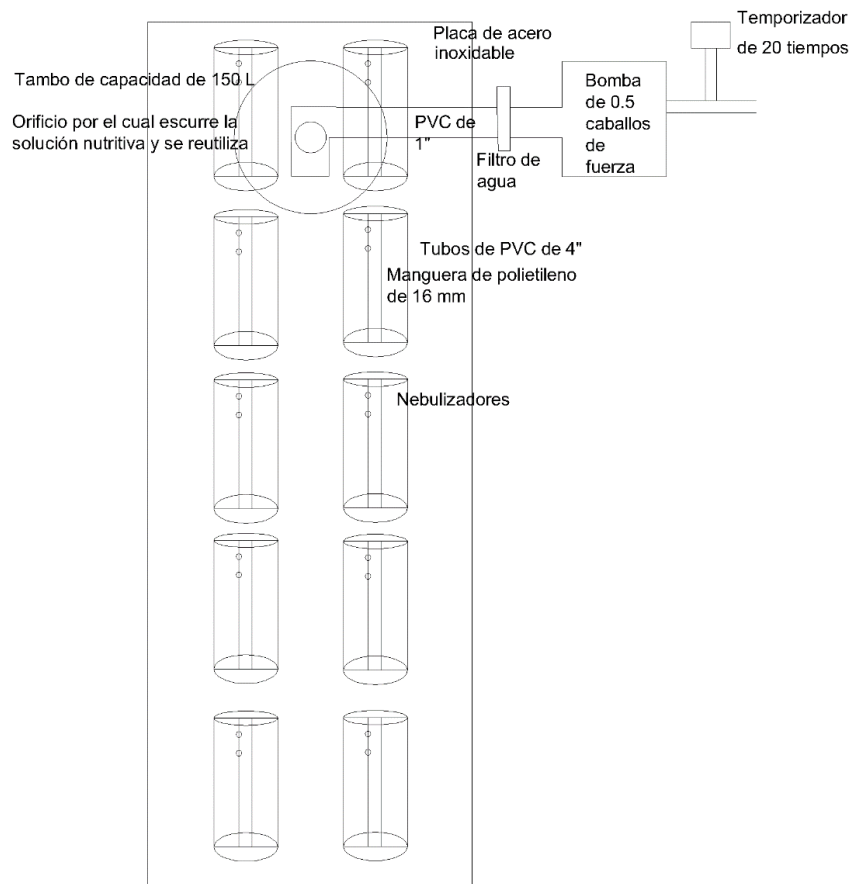
Cuadro 1. Tiempos de riego del sistema hidropónico

| Inicio | Fin |
|---------------|------------|
| 4:00 am | 4:15 am |
| 8:04 am | 8:14 am |
| 9:04 am | 9:14 am |
| 10:04 am | 10:14 am |
| 10:30 am | 10:45 am |
| 11:04 am | 11:14 am |
| 11:30 am | 11:45 am |
| 12:04 pm | 12:14 pm |
| 12:30 pm | 12:45 pm |
| 1:04 pm | 1:14 pm |
| 1:30 pm | 1:45 pm |
| 2:04 pm | 12:14 pm |
| 2:30 pm | 2:45 pm |
| 3:00 pm | 3:10 pm |
| 4:00 pm | 4:10 pm |
| 5:00 pm | 5:10 pm |
| 6:00 pm | 6:10 pm |
| 7:00 pm | 7:10 pm |
| 9:00 pm | 9:10 pm |

Elaboración propia

5.4. Sistema aeropónico vertical

El sistema aeropónico vertical se instaló con tubos de PVC de 6 pulgadas, con un 1 metro de alto, los tubos se forraron con un plástico negro para proporcionar un ambiente oscuro y cerrado a las raíces, las partes superiores de los tubos se cubrieron con placas de unicel, en ellas se realizó un pequeño orificio en el centro de la placa de unicel, en la cual se colocaron las plantas de jitomate sostenidas por una canastilla de plástico de 2 pulgadas (Figura 3), para el funcionamiento del sistema aeropónico vertical se utilizó un tanque de 150 L de capacidad, una bomba de 0.5 caballos de potencia, instalada a un costado del tanque y conectada con tubería hidráulica de PVC con un filtro de malla ubicada en la descarga del sistema, los nebulizadores se colocaron en la parte superior e intermedio del tubo mediante manguera de polietileno de 16 mm, se utilizaron nebulizadores de la marca Green meest con un caudal de 30 litros por hora y una presión de operación de 2 a 5 bar, los tubos de PVC se montaron sobre una placa de acero inoxidable sosteniéndose mediante alambre de acero galvanizado desde la parte superior del invernadero, se colocó una madera en cada hilera de los tubos para que estuvieran firmes, el apagado y encendido del sistema se controló por medio de un controlador digital de 20 tiempos (García-Segura *et al.*, 2021)



**Figura 3 . Diseño del sistema aeropónico
(Elaboración propia)**

5.4.1. Trasplante en el sistema aeropónico

El trasplante de las plantas al sistema aeropónico fue cuando las plantas alcanzaron una altura de 20 cm, con una buena longitud de raíces para que se adapten al sistema.

5.4.2. Tiempos de riego del sistema aeropónico

Los intervalos de riego en el sistema aeropónico se ajustaron de acuerdo con las temperaturas registradas con un termo interior exterior TA338 que media la temperatura dentro de los tubos de

PVC en el invernadero (Cuadro 2) y la etapa fenológica del cultivo (Ruelas-Islas *et al.*, 2022)

Cuadro 2. Tiempos de riego del sistema aeropónico

| Inicio | Fin |
|----------|----------|
| 7:15 am | 7:18 am |
| 8:15 am | 8:18 am |
| 9:15 am | 9:18 am |
| 10:15 am | 10:18 am |
| 4:15 am | 4:17 am |
| 6:15 am | 6:17 am |

Elaboración propia.

5.5. Fertilización

La solución nutritiva aportada fue la propuesta por Sánchez *et al.* (2009), con las siguientes concentraciones en mg L⁻¹: N=250, P=60, K=300, Ca=300, S=200, Mg=75, Fe=3, Mn=0.5, B=0.5, Cu=0.1 y Zn=0.1.

5.6. Prácticas culturales

Dentro de las prácticas culturales que se realizaron se encuentran las siguientes: tutorio de la planta, poda de formación, eliminación de chupones, fertilización, riego, control de plagas y enfermedades, deshoje y cosecha de frutos.

5.7. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y seis repeticiones, la unidad experimental consistió en una planta para cada tratamiento.

5.8. Descripción de los tratamientos

5.8.1. Tratamiento uno

El tratamiento uno consistió en un sistema aeropónico vertical con seis repeticiones, el tamaño del experimento fue de 1.5 m de ancho y 2 m de largo, en la parte posterior del sistema se utilizó una placa de acero inoxidable para interceptar el agua nebulizada y posteriormente se recolectó en un recipiente con capacidad de 150 litros.

5.8.2. Tratamiento dos

El tratamiento dos consistió en el sistema hidropónico con seis repeticiones, el tamaño del experimento fue de 1.5 m de ancho y 3 m de largo, se utilizaron bolsas bicolors con 10 litros de tezontle en cada una.

5.9. Variables a evaluar

5.9.1. Altura de planta (cm)

Se midió la altura de la planta con un flexómetro cada 15 días hasta finalizar el ciclo productivo de las plantas evaluadas de cada tratamiento.

5.9.2. Diámetro de tallo (mm)

Se tomó como punto de referencia el grosor del tallo mediante un vernier digital tomando la lectura hasta el quinto entrenudo de la planta; registrando los valores al final del ciclo del cultivo. El diámetro del tallo es un parámetro que no relaciona significativamente el rendimiento de los frutos en los racimos (Juárez-López *et al.*, 2012).

5.9.3. Grados días acumulados (GDC), inicio de cosecha

Se contabilizó los días que tardaron las plantas en los dos tratamientos para llegar a la madurez de cosecha por lo cual se llevó un registro desde el primer día después del trasplante hasta la cosecha.

Con las temperaturas registradas dentro del invernadero mediante un Datalogger, el cálculo de los GDC (Grados días acumulados) se realizó mediante la fórmula aplicada por Rodríguez-Wbeymar y Flórez-Víctor (2006):

$$\text{GDC} = \left(\frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} \right) - T_{\text{base}}$$

Donde el término $(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{-2}$ es la temperatura media mensual registrada al interior del invernadero, y T_{base} es la temperatura donde el proceso metabólico es mínimo, considerado de 10°C para el tomate (Zatarelli *et al.*, 2009)

5.9.4. Diámetro polar y ecuatorial

El diámetro ecuatorial se determinó midiendo la parte media del fruto con un vernier digital al momento de cosecha.

El diámetro polar del fruto se determinó desde la zona del pedúnculo hasta la zona apical al momento de cosechar mediante un vernier.

5.9.5. Rendimiento promedio por planta y número de frutos por planta

Se evaluó el rendimiento promedio y número de frutos por planta, hasta el quinto racimo, una vez cosechados los frutos, se contabilizaron y se pesaron en una báscula digital.

El rendimiento promedio por planta se determinó mediante el conteo de los frutos y el peso que tuvieron para ver cuantos g obtuvieron y así sacar el promedio.

5.9.6. Longitud de raíz (cm)

La longitud radicular se midió en (cm) con un flexómetro al final del ciclo productivo de ambos tratamientos.

5.9.7. Consumo de agua

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

Para calcular el uso de agua de los tratamientos se contabilizaron las veces que vaciaron los tanques donde estaba la solución nutritiva para cada tratamiento.

5.9.8. Temperaturas máximas y mínimas

Para la medición de las variables se utilizó un Datalogger (Hobo), con el cual se llevó un registro diario de: temperaturas máximas y mínimas.

5.9.9. Color y Firmeza (N)

Con el colorímetro CR-400 Konica Minolta Sensing se tomaron los valores L, a y b en dos zonas opuestas de la región ecuatorial de cada fruto. Con estos valores se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza del color (croma) con las formulas: $Hue = \tan^{-1}(b/a)$; $Croma = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Little, 1975); y la luminosidad (L) obtenido directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color L*a*b* (Minolta, 2007).

La firmeza del fruto se midió con un texturómetro CT3 de la marca brookfield de puntal cónico (8 mm de diámetro), tomando dos lecturas de forma opuesta en la región ecuatorial y polar registrando la resistencia de la piel de cada fruto en newtons (N). Los frutos de jitomate recolectados de un color verde alcanzan la madurez en más días que los recolectados de un color rojo, así; frutos cosechados al 100 % verde de maduración provoca una mayor pérdida de humedad y consecuentemente una pérdida de peso y firmeza (Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño, 2008)

5.9.10. Sólidos solubles totales (°Brix), pH y ácido nítrico

Los sólidos solubles totales (°Brix) se determinó con el jugo de los frutos de jitomate, mediante un refractómetro digital, marca Atago con una escala de 0 hasta 32% y se expresaron en °Brix.

Para obtener el pH se trituró 20 g de pulpa con 40 ml de agua desionizada, se filtró el jugo de los frutos para eliminar los restos de tejido vegetal y en una alícuota de 10 ml se midió el volumen, y posteriormente se determinó el pH, agregando una gota de nuestro jugo a un potenciómetro.

Para obtener el ácido nítrico o ácida titulable se trituro 20 gr de pulpa con 40 ml de agua desionizada, se tomó una alícuota de 10 ml para medir el volumen, lo cual lo dividimos en tres vasos pequeños y a cada uno agregamos 5 ml, en cada vaso agregamos 3 gotas de (NAOH) al 0.1 N.

5.10. Análisis estadístico de comparación de medias

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio de una ANOVA y la prueba de comparación de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Altura de planta

La variable altura de planta en los primeros 15 días no presentó diferencias estadísticas significativas, fue hasta los 30 días que las plantas tuvieron diferencias significativas (Figura 4); diferentes autores como (Bender-Ozenc, 2008; Alomran *et al.*, 2010; Asgharipour y Armin, 2010) mencionan que cuando se genera estrés hídrico en el cultivo de tomate, la planta reacciona cerrando sus estomas, la transpiración disminuye por lo que la temperatura de la planta incrementa, cuando una planta transpira no hay estrés hídrico y la temperatura de la planta se mantiene uniforme, López-López *et al.* (2009) indica que las temperaturas muy elevadas pueden reducir la velocidad del desarrollo de la planta. Los resultados obtenidos al final del experimento fueron en promedio de 227.00 cm para el T2 (sistema hidropónico) y 88.667 cm para el T1 (sistema aeropónico); el valor promedio en el T1 (sistema aeropónico) fue de 79.16 cm este valor es superior a los presentados por Macua *et al.* (2003) quienes reportaron una altura máxima de 75 cm a los 60 días después del trasplante (ddt), esta diferencia pudieron ser por el estrés al que estuvo sometido el cultivo. El T2 (sistema hidropónico) por el diseño de la cámara de cultivo estuvo sometido a estrés hídrico en horarios comprendidos entre las 12:00 y 15:00 hrs.

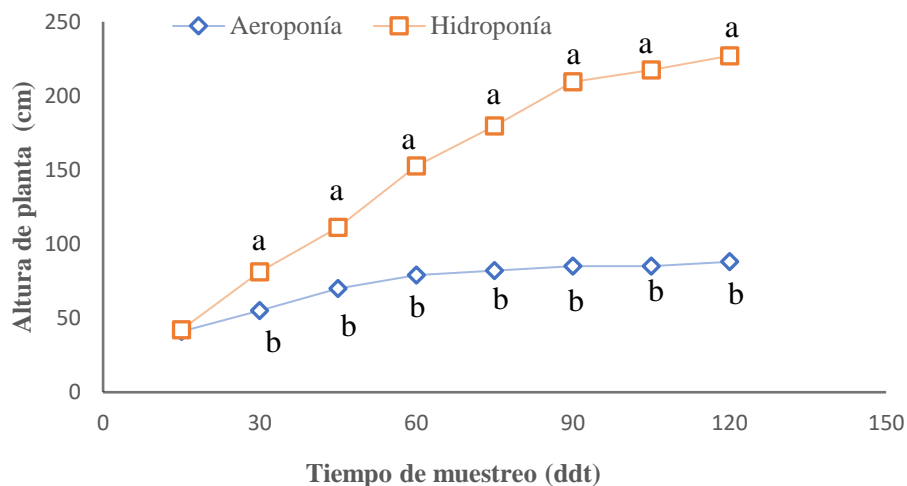


Figura 4 . Altura de planta en cm de ambos tratamientos; ddt: días después del trasplante

6.2. Diámetro del tallo

En relación con el grosor del tallo, la prueba de comparación de medias mostrada en la (Figura 5), indica que los mejores valores se obtuvieron con el T2 (sistema hidropónico). Por su parte, respecto al T1 (sistema aeropónico) registro un valor promedio de 5.785 mm; esto coincide con lo mencionado por (Folquer, 1976) el cual menciona que las temperaturas elevadas (30°C) propician el crecimiento de tallos delgados, las temperaturas registradas en la cámara del sistema aeropónico fueron en promedio de 45.6 °C.

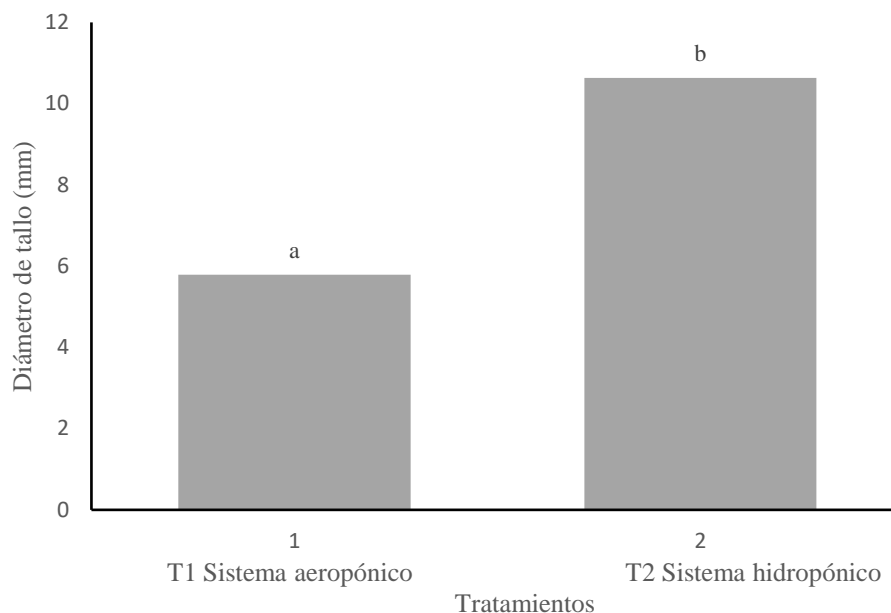
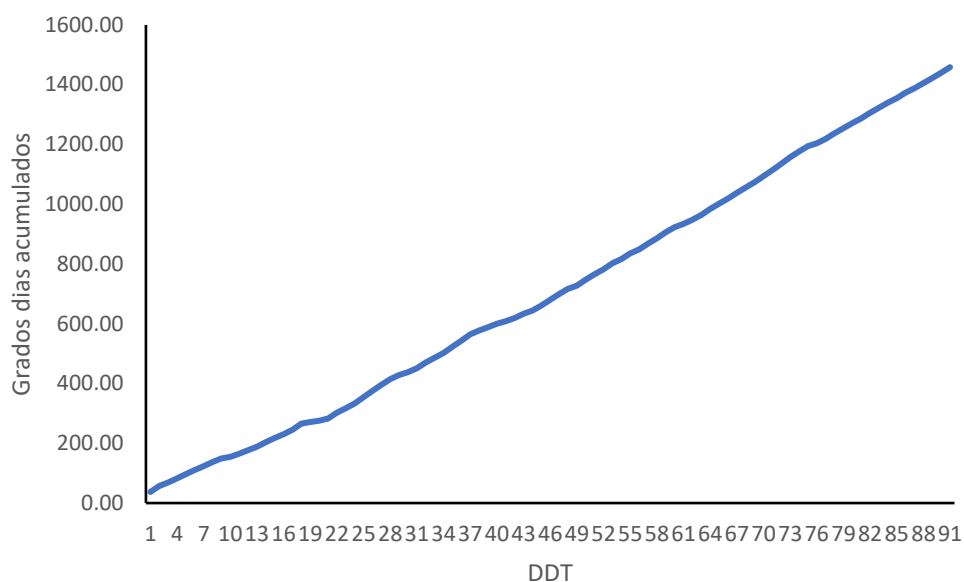


Figura 5 . Diámetro promedio grosor de tallo en plantas de jitomate. Nota: medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

6.3. Grados días acumulados (GDC), inicio de cosecha

Desde el trasplante a inicio de cosecha transcurrieron 92 días y se acumularon 1441 grados días dentro del invernadero (Figura 6), Ardila *et al.* (2011), indican que son necesarios 1398.5 grados días acumulados (GDC) desde el trasplante hasta el inicio de la cosecha. De acuerdo con (Suazo *et al.*, 2023) menciona que en 2020 la primer cosecha de tomate la realizó entre 74 y 76 días después del trasplante de las plantas, por lo que el inicio de cosecha fue 16 días de diferencia con (Suazo-Castro *et al.*, 2023)



**Figura 6 . GDA; Grados días acumulados; DDT:
Días después del trasplante**

6.4. Diámetro polar y ecuatorial

Para el diámetro polar y ecuatorial del fruto se tuvieron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3), siendo los valores más altos en el sistema hidropónico con 61.78 y 47.63 mm, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados por Ayala-Contreras *et al.* (2022) quienes obtuvieron valores promedios de 63.19 y 54.56 mm de diámetro polar y ecuatorial respectivamente al utilizar sustrato. Rosa-Rodríguez *et al.* (2016) indican que obtuvieron frutos con un diámetro de 62.18 mm y una longitud de frutos de 49.97 mm, en un sistema hidropónico.

6.5. Rendimiento promedio por planta

Komosa *et al.* (2011) Obtuvieron rendimientos bajos (6009 g.planta⁻¹) en el sistema aeropónico con solución nutritiva A-3 en comparación cuando utilizaron lana de roca como sustrato; estos valores superan los obtenidos en esta investigación ya que

se obtuvo un rendimiento promedio de 345.2 g por planta en el sistema aeropónico, por otro lado, el sistema hidropónico tuvo un rendimiento de 1540.3 g. Wang *et al.* (2019) menciona que el rendimiento de los frutos del tomate depende en gran medida de la disponibilidad de agua y nutrientes, ya que afectan la fase vegetativa y reproductiva del tomate, por lo que optimizando estos aspectos se puede mejorar significativamente el rendimiento.

El rendimiento en ambos tratamientos se nota que fueron estadísticamente diferentes, el T2 (sistema hidropónico) superando al T1 (sistema hidropónico), lo que influyo en estos datos fue que ambos tratamientos estuvieron en un estrés hídrico en momentos distintos, el riego del T1 (sistema aeropónico) era de 10 minutos por hora, por lo que estaba más propenso a sufrir un estrés hídrico, lo que ocasionaba que los frutos no crecieran y las flores no cuajaran.

Cuadro 3. Diámetro, longitud y rendimiento promedio por planta

| Tratamientos | Diámetro polar del fruto (mm) | Diámetro ecuatorial fruto (mm) | Rendimiento promedio por planta |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| T1 sistema aeropónico | 46.49 b | 30.19 b | 345.2 b |
| T2 sistema hidropónico | 61.78 a | 47.63 a | 1540.3 a |
| CV | 4.41 | 6.17 | 29.91 |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); CV: coeficiente de variación

6.6. Longitud de raíz

Los análisis estadísticos indicaron que la longitud del sistema radical entre ambos sistemas no presentó diferencias significativas (Figura 7), el T1 (sistema aeropónico) presentó una longitud de raíz de 39.66 cm, en cambio el T2 (sistema hidropónico) presentó una longitud de 43.83 cm. Lazcano-Bello *et al.* (2021) obtuvieron una longitud de raíz utilizando tezontle como sustrato de 8.997 cm. Rajatha *et al.* (2019) obtuvieron 36.7 cm en longitud de raíz al utilizar un sistema aeropónico con la solución universal Steiner, que consiste en agua con oxígeno disuelto, nutrimentos esenciales en forma iónica y compuestos orgánicos como los quelatos de hierro, aplicando distintas concentraciones en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, a temperaturas menores que 22°C, este oxígeno disuelto es suficiente para abastecer la demanda de cada la planta, el requerimiento es mínimo debido a los procesos fisiológicos como la respiración, disminuyendo con ello la adsorción de nutrimentos y por ende el crecimiento de la planta y la raíz, a temperaturas mayores que 22°C inducen grandes cantidades de oxígeno por la planta, las cuales no son suficientes por la solución nutritiva. La solución utilizada en el experimento fue la misma de Steiner; esta diferencia puede ser debido a las altas temperaturas donde se encontraba el experimento ya que las más altas eran de aproximadamente 46.8°C, y también por los diferentes tiempos de riegos aplicados a los tratamientos.

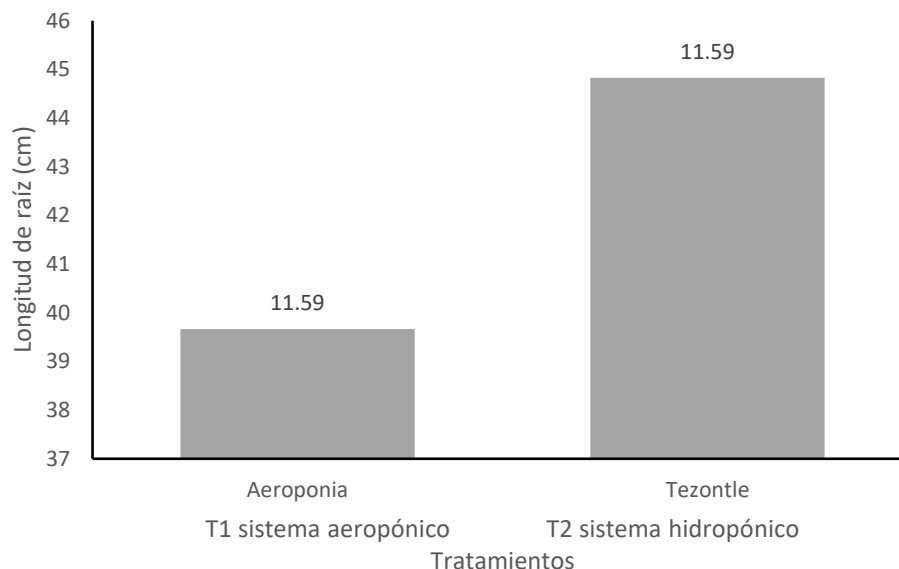


Figura 7 . Longitud de raíz en plantas de jitomate. Nota: valores sobre columnas indican los coeficientes de variación (%).

6.7. Consumo de agua

En la (Figura 8) se muestra el aprovechamiento de agua por tratamiento durante el ciclo del cultivo el T1 (sistema aeropónico) tuvo una mayor eficiencia de agua al solo consumir un total de 1,350 litros durante el experimento en cambio el T2 (sistema hidropónico) tuvo un consumo total de 7,200 litros. (Ruelas-Islas *et al.*, 2022) indican que a medida que incrementan los números de tallos en las plantas de jitomate aumenta la evapotranspiración de la planta y por lo tanto incrementa el requerimiento de agua en las plantas, todo esto depende de las temperaturas del ambiente en donde se establezcan las plantas, y también varía con el manejo que le proporcionemos al cultivo en sus distintas etapas (Flores *et al.*, 2007) indican que el volumen

acumulado de agua en un sistema hidropónico con tezontle rojo como sustrato fue de 13,200 L.

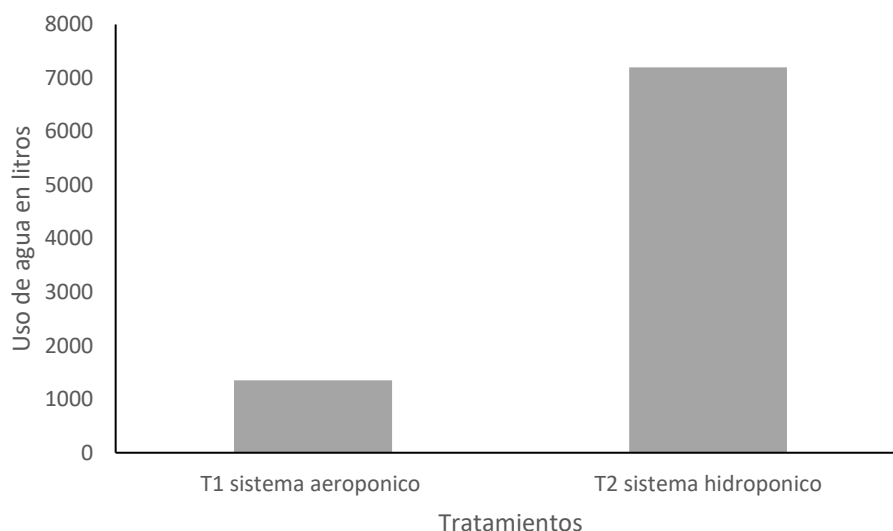


Figura 8 . Uso de agua durante el ciclo de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en dos sistemas de producción (T1) sistema aeropónico (T2) sistema aeropónico.

6.8. Temperaturas máximas y mínimas

La temperatura es uno de los factores que determinan el desarrollo en el cultivo, existiendo un rango favorable para su crecimiento. Durante el experimento el comportamiento de las temperaturas fue diferencial registrándose un promedio de 21.82 °C (Figura 9), condición que estuvo dentro del rango óptimo reportado para jitomate, Los rangos de temperatura reportados para el tomate oscilan entre 22 a 26 °C durante el día y de 13 a 16 °C por la noche (Tesi, 2001; Castilla-Prados, 2007).

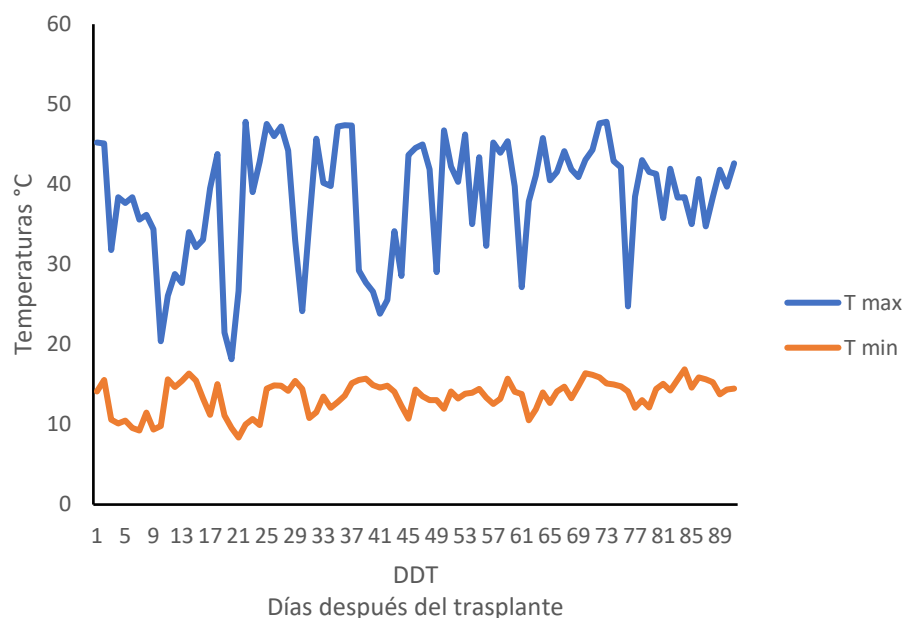


Figura 9 . Temperaturas del aire registradas en condiciones de invernadero. Teziutlán, primavera 2023; DDT: Días después del trasplante

6.9. Color y Firmeza

Durante el periodo de fructificación, la temperatura promedio osciló de 12 a 45 °C y esto puede afectar el color del fruto, esto debido a que si la temperatura excede los 30 °C, el contenido de licopeno disminuye (Brandt *et al.*, 2006). Las temperaturas menores a 12 °C impiden fuertemente la biosíntesis de licopeno y las temperaturas mayores a 32 °C paran el proceso (Dumas *et al.*, 2003).

La firmeza es uno de los aspectos más importantes de cualquier fruto, los datos de firmeza registrados en los frutos de jitomate se observaron que en el T2 (sistema hidropónico) obtuvo datos más altos como 0.863 N que el T1 (sistema aeropónico) con 0.770 N, lo que nos indica que los frutos del T2 son más

firmes (Cuadro 4) esto pudo haber influido en el momento de cosecha, debido que unos frutos presentaban una maduración más excesiva que otros o también que al tener temperaturas muy elevadas las plantas presentaban un estrés hídrico por lo tanto presentaban frutos menos firmes. La firmeza y el color son los factores más importantes que determinan la calidad de los jitomates, se han propuesto dos posibles límites mínimos para la dureza de los frutos de jitomate para la venta al consumidor y para el uso en el hogar, todas las frutas 100% comercializadas deben presentar un valor de dureza superior a 1.45 N y los valores de dureza de los jitomates en la etapa de uso doméstico deben tener valores superiores a 1.28 N (Batu, 2004). Martin-Hernández et al. (2012) registran datos de firmeza de 1.52 N, a 1.66 N

Cuadro 4. Color y Firmeza

| Tratamientos | Ic | Hue | Croma | Firmeza (N) |
|------------------------------------|-----------|------------|--------------|--------------------|
| T1. Sistema aeropónico | 31.29 b | 180.66 b | 27.48 a | 0.770 a |
| T2. Sistema Hidropónico | 26.92 a | 181.98 a | 25 b | 0.863 a |
| CV | 16.72 | 0.272 | 6.98 | 0.21 |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey; CV: Coeficiente de variación, Ic = índice de color; Hue: ángulo de tono; Croma: pureza del color

6.10. Sólidos solubles totales (°Brix), pH y ácido nítrico (%)

El contenido de sólidos solubles totales registrados en los frutos de jitomate, no fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) al utilizar los sistemas aeropónico e hidropónico; sin embargo, los cultivados en el T1 (sistema aeropónico) presentaron el valor más alto con 7.82 y el T2 (sistema hidropónico) tuvo un valor de 7.49 (Cuadro 5). Diversos autores como (Rodríguez-Rodolfo *et al.*, 2018; Rivas *et al.*, 2012; Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012) reportan en jitomate valores entre 4.5 y 5.9; este último valor en frutos de jitomate híbrido Cid, tipo saladette, en un sistema hidropónico; además, Macua-Juan *et al.* (2007) menciona que los jitomates tipo Cherry son los que presentan el mayor contenido de sólidos solubles totales entre 6 y 7.2. Cabe mencionar que los valores obtenidos y los encontrados en literatura no son los mismos y puede haber sido debido a que los frutos de ambos tratamientos (sistema aeropónico e hidropónico) estuvieron congelados por más de un mes y los datos de la literatura mencionan frutos a temperatura ambiente.

El pH de los frutos de jitomate no fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) al utilizar el sistema aeropónico e hidropónico; sin embargo, los frutos cultivados del sistema aeropónico presentaron un valor más alto con un pH de 4.14 en comparación con el sistema hidropónico, con un pH de 4.07 (Cuadro 5), los frutos al momento de poscosecha tenían grados de maduración distintos y posteriormente ambos tratamientos estuvieron en refrigeración por más de un mes, y al descongelarlos se tomaron las muestras para el pH, esa sería una opción que influyera en el cambio de pH en ambos tratamientos.

Los valores fueron menores comparados con Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) que registraron un pH de 5.33, al presentar menos

ácidez, las frutas tienden a presentar un sabor más dulce y son más agradables de consumirlas en un estado fresco. Aguayo *et al.* (2004) señalan que los mejores valores en tomates de calidad para esta variable están entre 4 y 5. Lo que resalta que los frutos de jitomate de ambos tratamientos (sistema aeropónico y sistema hidropónico) entran en ese rango de 4 y 5 de pH.

Los datos registrados no fueron muy distintos a Peña *et al.* (2013) ya que mostro un pH de 4.4 a 4.5 en la producción de jitomate en hidropónia. Los datos de pH que registramos no tuvieron mucha diferencia con Berrospe-Ochoa *et al.* (2018) ya que ellos presentaron un pH mínimo de 4.43 y un pH máximo de 5.27 en distintos frutos híbridos y nativos

El contenido de ácido cítrico de los frutos de jitomate, presentaron diferencias estadísticamente ($P \leq 0.05$) el sistema aeropónico presento 0.47% y el sistema hidropónico 0.30 % de acidez titulable (Cuadro 5), los frutos de ambos tratamientos se refrigeraron por más de un mes, lo cual pudo influir en las diferencias entre los valores obtenidos. Gómez-Perla y Camelo-Andrés (2002) mencionan que la acidez titulable en sistema hidropónico registra valores de 0.39 a 0.46 eso indica que la acidez titulable del sistema aeropónico entro en esos rangos de Gómez-Perla y Camelo-Andrés (2002). Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) indica que el jugo de frutos de jitomate con menor acidez tiene mayor aceptación, ya que así resalta más su sabor dulce y es agradable al consumirlo en fresco.

Cuadro 5. Determinaciones químicas en frutos de jitomate del tercer racimo

| Tratamiento | SST (%) | pH | Ac. Cítrico (%) |
|--------------------------------|----------------|-----------|------------------------|
| T1. Sistema aeropónico | 7.82 a | 4.14 a | 0.47 a |
| T2. Sistema hidropónico | 7.49 a | 4.07 a | 0.30 b |
| CV | 15.82 | 5.93 | 10.36 |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, SST: Sólidos Solubles Totales; CV: Coeficiente de variación.

VII. CONCLUSIÓN

Los mayores rendimientos se presentaron utilizando tezontle como sustrato en el sistema hidropónico, además los sistemas utilizados no presentaron diferencias en la calidad del fruto.

El sistema aeropónico es una buena alternativa para la producción hortícola sustentable, debido a que se reduce hasta en un 80 % de agua utilizada, optimizando los recursos hídricos.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguayo E., y Artés F. 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. In: A, Namesny (Coord.) Tomates. Producción y comercio. Compendios de horticultura 15. (Cap. 11: 121-133pp). Ediciones de horticultura S.L. Reus (España).
- Ardila G., Fischer G., y Balaguera L. H. 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en tiempo fisiológico bajo invernadero. Revista colombiana de Ciencias Hortícolas 5(1):81-90.
- Asgharipour M. y Armin M. 2010. Crecimiento y acumulación elemental de plántulas de tomate cultivadas en suelo de residuos sólidos compostados modificado. Revista Americano-Eurasiática de Agricultura Sostenible 4(1):94-101.
- Ayala-Contreras C.A., González-Fuentes J.A., Zermeño-Gonzales A., Benavides-Mendoza A., Peña-Ramos F.M., y Hernández-Mauriri J.A. 2022. Respuesta fisiológica y productiva de tomate en un sistema NTF modificado tipo carrete. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2)
- Alomran A., Harbi-Al A.R., Allanh-Wahb M.A., M. E. Nadim A. 2010. Impacto de la calidad del agua de riego, los sistemas de riego, las tasas y las enmiendas del suelo en la producción de tomate en suelos arenosos calcáreos. Revista Turca de Agricultura y Silvicultura 34:59-73.
- Baudoin A. 2017. Aporque, Riego, Poda y Tutorado. In: Manual técnico de producción de tomate con enfoque de buenas prácticas agrícolas. Baudoin, Arturo. (ed). Bolivia. pp:84-87.
- Batu A. 2004. Determinación de valores aceptables de firmeza y color de tomates. Revista de ingeniería de alimentos 61(3):471-475.

- Beltrano J., Giménez D. O. 2015. Cultivo en Hidroponía. 1ra. Ed. Editorial Universidad Nacional de Plata (EDULP), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Buenos Aires, Argentina. 181p.
- Bender-Ozenc D. 2008. Crecimiento y transpiración de plántulas de tomate cultivadas en abono de cascara de avellana bajo estrés por déficit de agua. Ciencia y utilización del compost 16(2):125-131.
- Berrospe-Ochoa E.A., Saucedo-Veloz C., Ramírez-Guzmán M.E., y Saucedo-Reyes D. 2018. Componentes del sabor y contenido de ácido ascórbico de jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos e híbridos comerciales. Agrociencia 54(2):623-638.
- Brandt S., Pek Z., Barna E., Lugasi A. 2006. Contenido de licopeno y color de tomates maduros afectados por las condiciones ambientales. Revista de Ciencias de la Alimentación y la Agricultura 88(4):568-572.
- Buckseth-Tanuja A.K., Sharmab A.K., Pandey K.K., Singh B.P., y Muthurajc R. 2016. Método de producción de semilla de papa prebásica con especial referencia a la aeroponía. Scientia Horticulturae 204: 79-87.
- Castellanos J.Z. 2004. Manejo de la fertiirrigación en el suelo. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2da edición. INTAGRI. México
- Casierra-Posada F., y Aguilar-Aguilar O.E. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. Agronomía Colombiana 26(2):300-307.
- Castilla-Prados N. 2007. Invernaderos de Plástico: Tecnología y Manejo. 2da Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 462 p.

- Dumas Y., Dadomo M., Lucca G. D., y Grolier P. 2003. Efectos de los factores ambientales y las técnicas agrícolas sobre el contenido de antioxidantes de los tomates. *Revista de ciencias de la alimentación y la agricultura* 83(5):369-382.
- Flores J., Ojeda-Bustamante W., López I., Rojano A., y Salazar I. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Tierra Latinoamericana* 25(2): 127-134.
- Folquer F. 1976. El tomate. Estudio de la Planta u su Producción. 2da ed. Edit. Hemisferio sur. Buenos aires, Argentina 104p.
- García-Segura D. R., Valdez-Aguilar L. A., Ramírez-Rodríguez H., Zerdeño-González A. y Cadena-Zapata M. 2021. Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco. *Tierra Latinoamericana* 39:1-10.
- Gómez-Juárez I.A., Sánchez-Ferrer M.E. 2010. Sistema de contenedores, una opción para reducir materia extraña en el alce mecanizado de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(1):63-69.
- Gómez-Perla A., Camelo-Andrés F. L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmosferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20:38-43.
- Hanan-Alipi A.M., Mondragón-Pichardo J. 2005. *Lycopersicon esculentum* P. Mill. Categorías taxonómicas superiores. En línea:
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm#9.%20Referencias>.
Consultado: 30/10/2023
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2016. Sistematización del Ciclo de Foros Virtuales en el marco del Año Internacional de los Suelos. In: Manejo Integrado de Suelos para una Agricultura Resiliente al Cambio Climático. (IICA) ed. San José, Costa Rica. 29p.

INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). 2017. La Industria de los Cultivos Hidropónicos. Serie Horticultura Protegida. Núm. 31. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 4p.

Infoagro (Información agronómica). 2023. Importancia económica del Tomate en México. Infagro. En línea: <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/>. Consultado: 2/11/2023

Infoagro (Información agronómica). 2002. El cultivo de tomate en primavera en invernadero. En línea. <https://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>. Consultado: 2/11/2023

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2023. Directorio Nacional de Unidades Económicas. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/Default.aspx?idee=3481882>. Consultado: 30/10/2023

Jasso-Chaverría C., Martínez-Gamiño M. A., Chávez-Vázquez J. R., Ramírez-Téllez J. A., Garza-Urbina E. 2012. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. (INIFAP) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 5. INIFAP. Campo experimental San Luis San Luis Potosí. México. 54 p.

Jasso-Chaverría C., Alpuches-Solís A. G., Martínez-Gamiño M. A., y Garza-Urbina E. 2009. Evaluación de sustratos e híbridos en jitomate en 39 condiciones de invernadero. Folleto Científico No.4. INIFAP-CIRNE- Campo Experimental San Luis Potosí. México. 29p.

- Juárez-López P., Castro-Brindis R., Colinas-León T., Sandoval-Villa M., Ramírez-Vallejo P., Reed D., Cisneros-Zevallos L., y Stephen K. 2012. Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mil) cultivados en hidroponía. Revista Chapingo. Serie horticultura 18(2):207-216.
- Komosa A., Pirog J., Kazimierz-Weber Z., Markiewicz B. 2011. Comparación del rendimiento, cambios en la solución nutritiva y estado nutricional de tomates de invernadero cultivados en sistemas de solución nutritiva con y sin recirculación. Revista de nutrición vegetal 34(9-11):1473-1488.
- Lazcano-Bello M. I., Sandoval-Castro E., Tornero-Campante M. A., Hernández-Hernández B. N., Ocampo-Fletes I., y Díaz-Ruiz R. 2021. Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas 12(1):61-76.
- Little A.C. 1975. Nota de investigación sobre una tangente. Revista de ciencias de los alimentos 40:410-411.
- López-Alejandro A., López-Collado C.J., Barois-Boullard I., Palafox-Caballero A., y Quiñones-Monfil E. 2015. Evaluación de la lombricomposta y tezontle en jitomate (*Lycopersicon esculentum* mil.) bajo invernadero. Revista mexicana de ciencias agrícolas 6(5):967-975.
- López-Elías J. 2018. La producción hidropónica de cultivos. Idesia 36(2):139-141.

- López-López R., Arteaga-Ramírez R., Vázquez-Peña M.A., López-Cruz I.L., Sánchez-Cohen I., y Ruiz-García A. 2009. Índice de estrés del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot*). Revista Chapingo. Serie Horticultura 15(3): 259-267.
- Macías-Macías A. 2003. Enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales. Región y sociedad 15(26):104-151.
- Martínez S. 2007. Conjunto tecnológico para la producción de tomate, suelo y preparación del terreno. Universidad de puerto rico. En línea: <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Suelo-y-Preparaci%C3%B3n-del-Terreno-v2007.pdf>. Consultado: 3/11/2023
- Martín-Hernández C.S., Ordaz-Chaparro V.M., Sánchez-García P., Colinas-León M.T., Borges-Gómez L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Agrociencia 46(3):243-254.
- Macua J.I., Lahoz I., Garnica J., Calvillo S., Zuñiga J., y Santos A. 2007. Tomate de industria: Resultados de la campaña, novedades y perspectivas. Instituto Técnico de Gestión Agrícola. Navarra, España. 14p.
- Minolta K. 2007. Precise color communication, color control from perception to instrumentation. En línea: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf. Consultado: 2/11/2023

- Muñoz R.J. 2003. La producción bajo invernadero en México. In: Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. En línea. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/monitoreo-nutritional-de-cultivos-bajo-invernadero>. Consultado: 3/11/2023
- Mucua J.L., Lahoz L., Arzoz A., y Garnica J. 2003. La influencia del tiempo de corte de riego en el rendimiento y calidad del tomate de procesamiento. *Acta Horticulturae* (613):151-153.
- Ortega-Martínez L.D., Sánchez-Olarte J., Ocampo-Mendoza J., Sandoval-Castro E., Salcido-Ramos C.A., Mnzo-Ramos F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* mil) bajo condiciones de invernadero. Universidad autónoma Indígena de México. *Raximhai* 6(3):339-346.
- Ortega-Martínez L.D., Martínez-Valenzuela C., Ocampo-Mendoza J., Sandoval-Castro E., Pérez-Armendáriz B. 2016. Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7(3):643-653.
- Pérez-Díaz F., Arévalo-Galarza M. de L., Pérez-Flores L.J., Lobato-Ortiz R., Ramírez-Guzmán M.E. 2020. Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista fitotecnia mexicana* 43(1):89-99.
- Peña M., Casierra-Posada F., Monsalve O.I. 2013. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(2):217-227.

- Piedra-Andrade J.L., Kromann P., y Otazú V. 2015. Manual para la producción de semillas de papa usando aeroponía: Diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Centro Internacional (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Quito, Ecuador. 267p.
- Rae (Real academia española) (2022). Sistema. En línea: <https://dle.rae.es/sistema>. Consultado: 29/10/2023
- Rajatha K.D., Prasad R., y Nethra N. 2019. Evaluation of different nutrient solution in aeroponics for performance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(6):2015-2019.
- Rivas M.P., Albarracín M., Moratinos H., y Navas F.Z. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. Rev. Facultad de Agronomía 29(3):395-412.
- Rodríguez-Rodolfo de la R., Lara-Herrera A., Padilla-Bernal L.E., Avelar-Mejía J.J., y España-Luna M.P. 2018. Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía. Revista mexicana de ciencias agrícolas 9(20):4343-4353.
- Rodríguez-Wbeymar E., y Flórez-Víctor J. 2006. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. Agronomía Colombiana 24(2):238-246.

- Rosa-Rodríguez R. de la R., Lara-Herrera A., Lozano-Gutiérrez J., Padilla-Bernal L.E., Avelar-Mejía J.J., y Castañeda-Miranda R. 2016. Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abiertos y cerrados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (17):3439-3452.
- Ruelas-Islas J. del R., Rubiños-Planta J.E., Peinado-Fuentes L.A., Mendoza-Pérez C., Martínez-Ruiz A., y Escobosa-García I. 2022. Consumo de agua de tomate en invernadero en Función del número de tallos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13(28):137-147.
- Sánchez del Castillo F., Durán P.M.G., Moreno P.E.D.C., y Magdaleno V.J.J. 2017. Variedades y densidades de población de frijol ejotero bajo invernadero e hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(5):1187-1193.
- SADER (Secretaría de Agricultura y de Desarrollo Rural) 2022. El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. Gobierno de México. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es#:~:text=El%20jitomate%20es%20uno%20de,B1%2C%20B2%2C%20y%20C>. Consultado: 30/10/2023
- Sánchez del Castillo F., Moreno-Pérez E. del C., Pineda-Pineda J., Osuna J.M., Rodríguez-Pérez J.E., y Osuna-Encino T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48(2):185-197.
- Sánchez del Castillo F., Moreno-Pérez E. del C., y Cruz-Arllanes E.L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema dosel en forma de escalera. *Revista de Chapingo Serie Horticultura* 15(1):67-73.

Smeap (Sociedad mexicana de especialistas en agricultura protegida). 2022. Tipos de sistemas hidropónicos cultivos en agua y aire). En línea: <https://smeapmexico.org/tipos-de-sistemas-hidroponicos-cultivos-en-agua-y-aire/>.

Consultado: 1/11/2023

Suazo-Castro B.R., Martínez B.S., Puig L.M., Maiale J.S., y Garbi M. 2023. Periodo de cosecha y producción de tomate (*solanum lycopersicum* L) injertado y conducido a más de un eje, bajo invernadero. Chilean journal of agricultural y animal sciences 39(1):23-24.

Tesi R. 2001. Medios de Protección para la Hortoflorofruticultura y el Viverismo. 1era ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 288 p.

Trejo-Téllez L.I., Ramírez-Martínez M., Gómez-Merino F.C., García-Alvarado J.C., BCA-Castillo G.A., Tejeda S.O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. Revista nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (2):863-876.

Urrieta-Velázquez J.A., Rodríguez-Mendoza M. de las N., Ramírez-Vallejo P., Baca-Castillo G.A., Ruiz-Posada L. del M., Cueto-Wong J.A. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de castilla (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo serie hortícola 18(3):371-381.

Vargas-Tapia P., Castellanos-Ramos J.Z., Muñoz-Ramos J. de J., Sánchez-García P., Tijerina-Chávez L., López-Romero R.M., Martínez-Sánchez C., Ojodeagua-Aarredondo J.L. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle en Guanajuato, México. Agricultura técnica en México 34(3):323-331.

Wang L., Baldwin E., Luo W., Zhao W., Brecht J., y Bib J. 2019. Compuestos volátiles clave Del tomate durante la maduración poscosecha en respuesta a tratamientos térmicos de enfriamiento y preenfriamiento. Science Direct 154:11-20.

Zatarelli L., Dukes M.D., Scholberg J.M.S., Carpena M.R., y Icerman J. 2009. Acumulación de nitrógeno en tomate y eficiencia en el uso de fertilizantes en un suelo arenoso, afectada por la tasa de nitrógeno y la programación del riego. Science Direct 96(8):1247-1258.



BUAP

Oficio No. FCAyP/697/2023

Jessica Arely García Bello
Egresada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por el M.C. Fabiel Vázquez Cruz (**Director de Tesis**), Dr. Luis Antonio Domínguez Perales (**Asesor**) y Dra. Delia Moreno Velázquez (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la impresión de la tesis titulada:

Sistema aeropónico e hidropónico en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agrohidráulica.

Sin otro particular por el momento, me despido reiterando a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

San Juan Acateno Teziutlán, Pue., a 29 de Noviembre de 2023.

Dr. Armando Ibáñez Martínez

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario
Dr. AIM/mlsm

Facultad de Ciencias
Agrícolas y Pecuarias

Av. Universidad s/n San Juan Acateno
Teziutlán, Pue., C.P. 73965
01 (231) 31 2 29 33 y 01 (233) 31 8 00 17