

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Concentración de la Solución Nutritiva en la Producción del Cultivo  
de Pepino en un Sistema de Subirrigación

Por:

**DEYALEM YAZMIN ADAME ADAME**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Concentración de la Solución Nutritiva en la Producción del Cultivo de  
Pepino en un Sistema de Subirrigación

Por:

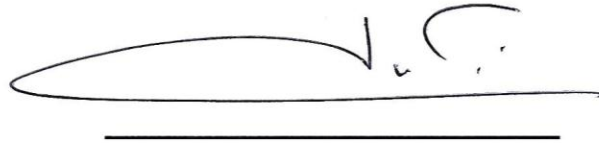
**DEYALEM YAZMIN ADAME ADAME**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

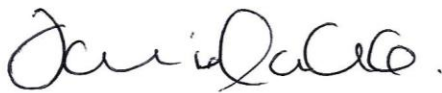
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Coasesor



M.C. Alfonso Rojas Duarte

Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2020



## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios y a la Virgen de Guadalupe**, por darme la fortuna de tener salud y una familia que siempre me apoya, por dejarme concluir mis estudios, además por siempre darme su protección y todas las bendiciones que me dan día a día.

**A mis padres** por darme la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

**A mis hermanos Pablo, Gabriel, Juan y Oscar** los cuales en su momento me brindaron su ayuda y consejos.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad, las herramientas y por todos sus servicios que me brindó durante mi estancia para mi formación.

**Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** por haberme aceptado para llevar a cabo este proyecto para la elaboración de mi tesis, para lograr terminar mi formación, por su apoyo durante su realización y su dedicación para la revisión del trabajo, además por todo el conocimiento compartido durante este periodo.

**A la Dra. Daniela Alvarado** por su colaboración, por los conocimientos compartidos, su dedicación para ser posible el establecimiento del experimento y su disponibilidad para la revisión del trabajo.

**Al M.C Alfonso Rojas Duarte** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

**Al compañero Gil** por su colaboración para establecer y mantener el experimento en buenas condiciones.

**A mis amigas de carrera** Ruth, Susana, Elizabeth R, Estrella, Belén, Edith, Lezly y Marisol gracias por su gran amistad sincera y su compañerismo durante esta etapa tan importante de mi vida.

**A Gabriel Rivera** por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia que me han ayudado a concluir esta etapa final de mi carrera.

## DEDICATORIAS

**A Dios** por ser tan bondadoso y misericordioso conmigo, por darme cada una de las bendiciones presentes en mi vida y ser mi guía, porque sin ti nada de esto hubiera sido posible.

**A mi madre Adelaida** por todos sus sacrificios, por todo su amor, por darme el ejemplo de la fortaleza y la perseverancia.

**A mi padre José** por su amor y por haberme dado el apoyo suficiente para llegar hasta aquí.

**A mis hermanos Pablo, Gabriel, Juan y Oscar** por apoyarme, por todos los consejos que me brindaron.

**A mi compañero de vida especial Gabriel R** por su cariño y paciencia, por ser fuente de calma en momentos difíciles que me ayudo a concluir esta meta.

**A mi abuelita María T y mi tío Gerónimo**, personas que han dejado huella en mi vida.

***“La primera regla del éxito es una buena preparación”***

***George B. Shaw***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                       | 1  |
| <b>Objetivo General</b> .....                                   | 2  |
| <b>Objetivos Específicos</b> .....                              | 2  |
| <b>Hipótesis</b> .....  | 3  |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                             | 4  |
| <b>Pepino en Invernadero</b> .....                              | 4  |
| <b>Generalidades del Cultivo</b> .....                          | 6  |
| <b>Manejo del Cultivo</b> .....                                 | 7  |
| Propagación y Trasplante .....                                  | 7  |
| Densidad .....  | 7  |
| Tutoreo .....   | 7  |
| Podas .....   | 8  |
| Cosecha y Postcosecha .....                                     | 9  |
| <b>Hidroponía</b> .....   | 10 |
| <b>Sistemas Hidropónicos</b> .....                              | 11 |
| Sistema Aeropónico .....  | 12 |
| Cultivo en Agua Profunda .....                                  | 12 |
| Técnica de Película Nutritiva .....                             | 13 |
| Sistema de Goteo .....  | 13 |
| <b>Sistema de Subirrigación (Inundación y Flujo)</b> .....      | 13 |
| <b>Solución Nutritiva y el Efecto de la Concentración</b> ..... | 16 |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                               | 19 |
| <b>Sitio Experimental</b> .....                                 | 19 |
| <b>Material Vegetal</b> .....                                   | 19 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Siembra y Trasplante .....</b>         | <b>19</b> |
| <b>Sistema de Riego.....</b>              | <b>19</b> |
| <b>Tratamientos y Fertilización .....</b> | <b>20</b> |
| <b>Diseño Experimental. ....</b>          | <b>21</b> |
| <b>Variables Evaluadas .....</b>          | <b>21</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>       | <b>23</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                 | <b>34</b> |
| <b>LITERATURA CITADA .....</b>            | <b>35</b> |
| <b>    Citas Electrónicas.....</b>        | <b>48</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1. Solución nutritiva Steiner.....   | 20 |
| Cuadro 2. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino, en el sistema de subirrigación y riego superficial.....                                 | 20 |
| Cuadro 3. Evaluación de variables obtenidas de frutos cosechados en 20 cortes durante el experimento. ....  | 21 |
| Cuadro 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) sobre variables cuantitativas relacionadas a la calidad del fruto de pepino..... | 24 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el índice proximal de fruto de pepino. ....           | 26 |
| Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la firmeza del fruto de pepino. ....                  | 28 |
| Figura 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el número de frutos por planta. ....                  | 29 |
| Figura 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de plantas de pepino. ....             | 32 |
| Figura 5. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la materia seca de hojas de la planta de pepino. .... | 33 |



## RESUMEN

La subirrigación es una técnica de riego hidropónica de ciclo cerrado que proporciona agua y nutrientes mediante la aplicación de una solución nutritiva (SN) por acción capilar al fondo de bandejas de inundación en las que se encuentran los contenedores del sustrato y las raíces de los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del cultivo de pepino, aplicando diferentes concentraciones en la solución nutritiva (SN) con un sistema de subirrigación. Se aplicaron cinco tratamientos, teniendo como testigo un riego por goteo con el 100% de la SN durante todo el ciclo, para los demás tratamientos se aplicaron concentraciones más altas y algunas más bajas (125%, 100%, 75%, 50%) durante todo el ciclo del cultivo aplicándolas por el sistema de subirrigación. El diseño que se utilizó fue bloques completamente al azar con 5 repeticiones por cada tratamiento y dos plantas por repetición. El rendimiento total de la planta aumentó mediante la aplicación de las concentraciones de SN más altas 125% y 100% por subirrigación en comparación con el riego por goteo donde se aplicó el 100% de la solución durante todo el ciclo. El número de frutos por planta también aumentó al aplicar las concentraciones más altas de SN. La mayor materia seca de las hojas se generó al aplicar las concentraciones más altas, sin superar al riego por goteo. La mayor firmeza de fruto se dio al reducir la concentración de SN al 75%. Mientras que el índice proximal aumentó al aplicar una concentración de 100% sin embargo se considera que el rango de un índice proximal aceptable se mantuvo al aplicar concentraciones de SN al 75%. La concentración de SN bajo subirrigación afectó el crecimiento y rendimiento de las plantas aumentándolo a una concentración de SN al 125% y superando al riego por goteo, sin embargo, la calidad de los frutos se mejoró a una concentración de SN al 75% Steiner.

**Palabras clave:** Subirrigación, cultivos de invernadero, hidroponía, concentración, solución nutritiva

## INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un producto hortícola con alta demanda mundial, el cual ha sido utilizado en la medicina tradicional desde tiempos antiguos debido a su contenido químico y potencial terapéutico (Mukherjee et al., 2013). En México, 10% de la superficie total de este cultivo se realiza en invernadero utilizando algún sistema hidropónico (González, 2009). El cultivo en invernadero ofrece las condiciones necesarias para producir fuera de temporada y es una forma rentable de producción ya que los rendimientos y la precocidad de las cosechas aumentan en comparación con la producción a campo abierto (Singh et al., 2017).

Con la agricultura protegida en suelo se puede llegar a producir altos rendimientos y calidad, pero las prácticas de riego que se utilizan generan escorrentía e infiltración y tienen una menor eficiencia del agua (Putra y Yuliando, 2015). Además, los productores aplican generalmente altas cantidades de fertilizantes, incrementando la inversión por los altos costos y el uso excesivo causa contaminación ambiental por los minerales lixiviados al manto freático (Díaz et al., 2015). Ante el contexto creciente de la población en el mundo, la demanda de alimentos y la limitada disponibilidad de agua que cada vez es más severa, se exige un uso eficiente del agua y nutrientes, los sistemas hidropónicos cerrados son una alternativa para el uso eficiente de agua y fertilizantes, donde la solución nutritiva excedente es recuperada, regenerada y reutilizada en el mismo cultivo (De la Rosa et al., 2018).

Los sistemas de riego cerrados reducen la pérdida de nutrientes, aumentan la eficiencia y aplicación del agua. Uno de estos sistemas es la subirrigación con recirculación de solución nutritiva, ya que se ha demostrado que mejora la producción, la calidad, el rendimiento y la rentabilidad de los cultivos de importancia (Fascella y Roupheal, 2015). La subirrigación es una tecnología prometedora para el desarrollo de cultivos con bajo impacto ambiental (Semananda et al., 2018).

Sin embargo, los estudios que existen sobre la subirrigación en contenedores es de plantas ornamentales de maceta, existiendo poca información sobre su efecto en hortalizas, algunos de estos estudios son en referencia al pimiento, lechuga, tomate etc. pero no existen estudios de subirrigación en el cultivo de pepino. En algunos estudios de tomate en subirrigación el establecimiento fue exitoso, con el cual se logró reducir la solución nutritiva a un 30% (Montesano et al., 2010), pero Según García et al. (2017) la aplicación diluida de soluciones nutritivas en etapas tempranas disminuye el rendimiento de la fruta durante el primer mes de cosecha. En otras especies como el frijol verde y el calabacín cultivados en subirrigación al utilizar concentraciones bajas de SN se redujo el rendimiento (Rouphael y Colla, 2009; Youssfi et al.,2012).

Por lo anterior y a la escasa información existente sobre el comportamiento de diferentes especies de hortalizas a diferente concentración de SN, se planteó el presente estudio el cual fue diseñado para evaluar el efecto que tiene un sistema de subirrigación con concentraciones diferentes de solución Steiner en la producción de pepino una de las hortalizas de mayor consumo e importancia económica.

### **Objetivo General**

Evaluar el comportamiento del cultivo de pepino, aplicando distintas concentraciones en la solución nutritiva con un sistema de subirrigación.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto en el crecimiento y rendimiento de plantas de pepino.
- Determinar el efecto en los parámetros de calidad comercial del fruto de pepino.
- Comparar la respuesta del pepino al sistema de subirrigación con el de riego por goteo.

## **Hipótesis**

El crecimiento, rendimiento y la calidad del fruto de pepino será afectado por la concentración de la solución nutritiva aplicada por el sistema de subirrigación.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Pepino en Invernadero**

México es uno de los principales proveedores de importación de hortalizas frescas a Estados Unidos (Borbón et al., 2018) además de que a nivel mundial es un importante productor de pepinos y pepinillos, en el año 2017 ocupó el noveno lugar de producción en esta especie (FAOSTAT, 2018) sin embargo las exportaciones mexicanas se enfrentan a parámetros de calidad, sanidad e inocuidad, rangos que se tienen que cumplir para considerar que los frutos son de calidad (Borbón et al., 2018).

El pepino también es una de las hortalizas de mayor consumo e importancia económica en el mundo, su producción fuera de temporada ha sido posible debido a su establecimiento en invernadero que permite controlar condiciones que afectan el desarrollo de la planta y aumentar los rendimientos (Vladimirovna et al., 2015).

Según las estadísticas, en el mundo se ocuparon 2.144.672 Has para la producción de pepino con un rendimiento promedio de 3.76 kg.m<sup>2</sup>, China es el principal productor mundial con un rendimiento de 5.37 kg.m<sup>2</sup>, el segundo productor es Rusia con 2.9 kg.m<sup>2</sup> y Turquía el tercer productor con un rendimiento de 2.87 kg.m<sup>2</sup> (FAO, 2016).

Ante las variaciones de temperatura, humedad, viento y condiciones climáticas adversas que dañan la calidad de las cosechas a campo abierto, existe una mejor opción que son los cultivos protegidos los cuales resultan ser más eficientes (Kumar et al., 2017).

Para los cultivos protegido existen diversos sistemas de producción y sustratos que se utilizan para el cultivar en invernadero, en un sistema de producción sin suelo se requiere suministrar una solución nutritiva completa al cultivo (Hochmuth, 2015).

La producción de pepino bajo invernadero normalmente se práctica en el norte de Europa, América y México, las variedades se siembran en suelos mejorados o sustratos hidropónicos con una cosecha de 20-30 frutos/planta en un ciclo de 6 a 7 meses (Ortiz et al., 2009).

Generalmente los cultivares de pepino utilizados en invernadero son partenocarpicos y de crecimiento indeterminado (Hochmuth, 2015). Existen varios tipos de pepino partenocárpico producidos bajo invernadero, de los que destaca el pepino americano y Pickle (Kovatch, 2003). Los pepinos americanos, europeos y persas producidos bajo invernadero no requieren de algún polinizador para el amarre de frutos (Koske, 1981).

En México se produce pepino todo el año gracias a la agricultura protegida, su producción mayor es en el ciclo otoño invierno con 68% y el 32% en primavera-verano, entre los principales productores destaca Sinaloa con 44%, Sonora con el 14% y Michoacán 9.8% (SIAP, 2016). En el 2014 aproximadamente se sembraron 1008 Ha de pepino en invernadero con un rendimiento de 110 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015).

De manera comercial el pepino se produce a campo abierto y en invernadero, sin embargo, la producción de forma protegida tiene un menor impacto ambiental, mayor rendimiento y un menor aporte de energía en comparación con la producción a campo abierto (Javad et al., 2019).

Los invernaderos para la producción de pepino incluso tomate, en su gran mayoría son invernaderos hidropónicos de bajo costo para el suministro de agua y nutrientes, en los cuales el agua de drenaje es rica en nutrientes, la cual es liberada al medio ambiente local causando problemas de contaminación (Grewal et al., 2011).

En la última década ha aumentado la preocupación para producir de manera sostenible, ya que los cultivos en invernadero a gran escala, son considerados de alto impacto ambiental, sin embargo, en comparación al campo abierto, puede haber un mayor control para reducir el impacto al medio ambiente (Stanghellini,

2014). En invernadero se puede controlar la temperatura, los niveles de nutrición, se controla la cantidad de agua y aire para las plantas, estos pueden ser diseñados y tecnificados para las necesidades de cada cultivo (Hernández, 2017).

### **Generalidades del Cultivo**

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es originario de Asia, pertenece a la familia de las cucurbitáceas y se ha cultivado desde hace más de 3000 años, su fruto se consume en fresco y también es destinada a la industria para ser procesada (Martínez et al., 2018). Su consumo lo ubica como la cuarta hortaliza de mayor importancia en el mundo, además de su uso para consumo en fresco, también tiene amplio uso en la cosmetología y en productos que aprovechan sus propiedades nutraceuticas (Abu et al., 2013).

Es una planta anual de tallo herbáceo, crecimiento trepador-rastreador, sistema radicular fasciculado y superficial, flores amarillas que se desarrollan en las axilas y con zarcillos (Manjarrez, 2008). Las hojas de esta especie son alternas, de forma acorazonada, de cutícula delgada que no resisten evaporación excesiva (Hidrovo y Vélez, 2016). Fruto de tamaño variable, cilíndrico u oblongo, coloración de verde claro a oscuro, mesocarpo carnoso color blanco a verdoso en un estado inmaduro (Kristkova et al., 2003).

Los cultivares actuales son ginóicos, producen solo flores femeninas, que en poco tiempo se convierten en frutos comerciales, generalmente se produce un fruto por axila (Westerfield, 2014).

El pepino es considerado como una hortaliza sensible a la salinidad, que afecta su crecimiento y productividad, se crea un desequilibrio iónico que afecta la membrana de la raíz (Khodayari et al., 2018).

Es una planta C3, exigente de luminosidad, una alta intensidad de luz estimula de fecundación de las flores, la temperatura óptima para su desarrollo oscila entre 18°C y 25°C, este cultivo no resiste a las heladas (Ruiz et al., 2013). La humedad relativa óptima para el pepino durante el día va de 60 al 70% y de 70 al 90% en

la noche, una humedad mayor favorece al desarrollo de enfermedades fungosas (Torres, 2015).

### **Manejo del Cultivo**

Para la producción comercial de pepino se usan cultivares indeterminados, se cultiva a un solo tallo principal, del que se eliminan las yemas axilares durante todo el cultivo (Mendoza et al., 2018)

#### Propagación y Trasplante

Su propagación comercial es sexual por semilla, se utilizan generalmente semilleros desinfectados, la semilla se coloca a 1cm de profundidad, el trasplante se puede realizar al aparecer las primeras dos hojas verdaderas (Torres, 2015).

Para el trasplante se recomienda utilizar plántulas de pepino compactas y pequeñas, una manera común de obtenerlas es el riego deficitario, otra forma más novedosa es el uso de lámparas LED, utilizar plantas compactas aumenta su supervivencia en la adaptación al trasplante (Qian et al., 2019). El tiempo para producir plántula va de 20 a 30 días, el sustrato al que se trasplanta debe estar húmedo (Karlsson, 2016).

#### Densidad

Una densidad optima de plantación puede maximizar la producción en muchos cultivos, usualmente en pepino el espaciamiento es de 1.5 a 2.0 metros entre hileras y 0.2 a 0.3 metros entre plantas (Oliveira et al., 2010). Según Ayala et al. (2019) en su estudio relacionando a la densidad de plantas y numero de tallos para pepino, se recomienda una densidad de 1.68 a 2.22 plantas/m<sup>2</sup> para invernadero, esta variable está relacionada con la productividad de las hortalizas.

#### Tutoreo

El Tutoreo de las plantas de pepino en invernadero, se lleva a cabo con la finalidad un mejor aprovechamiento de la energía de la luz y una mayor ventilación, promueve menor incidencia a plagas y enfermedades, facilita la cosecha y permite el uso de una mayor densidad de población (Olalde et al.,



2014). Generalmente el apoyo de las plantas se hace con hilo de polipropileno, fijando la planta en el parte basal anudado o con anillos, con tutor de alambre horizontal a una altura mayor de la planta (Grijalva et al., 2010).

### Podas

La diversidad genética de las variedades de pepino y su flexibilidad de manejo mediante podas y tutoreo, permite formar plantas con las características morfológicas deseadas (Ortiz et al., 2009).

Poda de formación descuelgue a un tallo; la planta se forma a un tallo principal, por debajo de los primeros 40 cm se eliminan los brotes, hojas y frutos, posteriormente una poda semanal de brotes laterales, la yema apical solo se elimina aproximadamente a 1 metro antes de tocar el suelo después de haber alcanzado la altura del alambre de tutoreo (López et al., 2013).

Descuelgue a dos tallos es otra poda utilizada en pepino y consiste en la eliminación de los brotes laterales, hojas y frutos desarrollados por abajo de los 40-50 cm del tallo principal, posteriormente solo se eliminan todos los brotes, dejando un fruto por nudo, una vez que una o dos hojas se desarrollan por arriba del alambre, el ápice principal es eliminado, dejando crecer en los extremos superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (Hochmuth, 2001).

El deshoje; La poda de hojas es una práctica habitual, aunque las heridas de la poda también puede ser una vía de propagación de enfermedades si no se realiza cuidadosamente, es importante evitar dejar trozos de peciolo al tallo, esto reduce la incidencia de canchros en el tallo y reduce el uso de pesticidas (Decognet et al., 2010). Se realiza con distintas finalidades como tener un mejor manejo cultural sobre la planta, acelerar la maduración de frutos posteriores, aumentar la exposición a la luz y promover una mejor ventilación evitando los microclimas para el desarrollo de patógenos en las hojas senescentes (Elad y Shtienberg, 1995).

La eliminación de frutos o botones florales se recomienda realizarla hasta los primeros 45 cm de la planta, esto promueve un mayor desarrollo en el crecimiento vegetativo de la planta, debido al desvío de nutrientes a otras partes de la planta, aumentando la actividad fotosintética y por lo tanto generando posteriores frutos de mayor calidad (Suthar et al., 2007; Shivaraj et al., 2018).

#### Cosecha y Postcosecha

Es un cultivo de rápido crecimiento y de un alto índice de acumulación de biomasa, su etapa fenológica de fructificación llega de 45 a 58 días después de la siembra, al momento de corte los frutos deben estar bien desarrollados, tiernos, con la forma y olor característico del pepino (Acevedo et al., 2012).

La longitud y el diámetro de la fruta, varían dependiendo el tipo de pepino cultivado y son variables importantes para determinar la calidad de la fruta, su apariencia genera la preferencia o rechazo de los consumidores (Zhang et al., 2019). López et al. (2015), menciona que el peso de fruto para pepino americano que se obtuvo, estuvo dentro de los estándares de calidad con un peso promedio de 380 g, 25.6 cm de longitud y 5.2 cm de diámetro.

Un fruto de pepino de buena calidad, tiene uniformidad en la forma, firmeza, color verde oscuro, ausencia de malformaciones en su crecimiento y tamaño (Suslov y Cantewell, 2012).

Una vez cosechado el pepino en su madurez comercial, hay cambios de postcosecha a nivel morfológico y metabólico que se ve reflejado en la apariencia del fruto la cual puede ir disminuyendo hasta llegar al consumidor final (Moreno et al., 2013). Los frutos se pueden conservar a una temperatura de 10°C, manteniendo sus propiedades comerciales (Solís, 2016). Se puede mantener a una humedad relativa de 95%, durante al menos 14 días (Suslow y Cantwell, 1997).

En la postcosecha se pueden presentar ataques fúngicos, marchitamiento y pérdida de turgencia en el fruto (Rangel y Siller, 2011). Para reducir o evitar estos problemas se ha desarrollado el uso de hidrocoloides, plastificantes y aditivos

que actúan generando una atmosfera modificada en el fruto, controlando el crecimiento microbiano y manteniendo características deseadas (Quintero et al., 2010).

El encerado de pepino es otra forma de reducir la deshidratación, sella pequeñas heridas, algunos de los mercados exigen el enceramiento ya que asocian el brillo de la fruta con una mejor calidad, entre de los compuestos más utilizados están las resinas, cera de carnauba y otros compuestos orgánicos (Gómez, 2011).

Gómez et al. (2017), menciona que la aplicación de ceras naturales logra reducir la pérdida de agua en pepino, sin que se presenten cambios drásticos en los parámetros sensoriales olor, sabor, y color.

### **Hidroponía**

Las bases de la Hidroponía se remontan a la existencia del océano, gran proveedor de nutrientes inorgánicos para los organismos autótrofos que en el habitan, sus antecedentes en la humanidad surgieron de civilizaciones del medio oriente en el siglo VI antes de Cristo y como técnica como la conocemos ahora nace en el siglo XX (Ramírez, 2017).

Actualmente debido a la expansión de la industria, el uso de las tierras para cultivo ha disminuido, aumentando la demanda de alimento, generalmente los cultivos en suelo llevan más tiempo, se necesita realizar previamente labores de suelo, ante esto la implementación de la hidroponía en el sector agrícola es una buena alternativa (Vidhya y Valarmathi, 2019).

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos sin suelo, gracias a su ahorro de agua, fertilizantes y el no uso de suelo protege el ambiente y es sustentable, se utiliza para producir de manera intensiva en agricultura protegida y ha sido adaptada también al campo abierto (López, 2018). La hidroponía tiene aplicaciones domesticas de patio hasta cultivos de invernadero, en los que se evita la transmisión de plagas, enfermedades de suelo y se elimina algunas prácticas en el manejo de los suelos (Howard, 2015).

Una dificultad que enfrentan los productores para poner en marcha esta técnica es que necesitan inversión inicial alta, en ocasiones se requiere de sustratos importados de alto precio, de equipos completos como tubo PVC, canales, bomba de agua, bomba de aire, equipos de monitoreo y conocimiento sobre el manejo de nutrientes y pH (Steven, 2019). Sin embargo, el cultivo hidropónico de pepino en invernadero se ha desarrollado en diferentes partes del mundo, el interés por los cultivos hidropónicos ha aumentado porque se pueden producir alimentos frescos más cerca de las zonas urbanas y fuera de temporada (Saleem et al., 2019).

En la hidroponía se utiliza algún material distinto al suelo como medio de crecimiento y anclaje de las raíces, como lo es la fibra de coco, fibra mineral, arena, ladrillos rotos, aserrín, etc. utilizados como sustitutos del suelo (Fennell y Anthony, 2015). Para la elección de sustrato se debe tomar en cuenta las propiedades físicas, químicas, biológicas y el costo, cuando el sustrato no reúne todas las características deseables se realizan mezclas para tener un sustrato con las características ideales (Ortega, 2017). El volumen de contenedor para sustrato afecta el crecimiento y la calidad de las plantas, un volumen pequeño para plantas grandes restringe a la raíz, reduciendo su actividad fotosintética y causando un estrés hídrico (Fascella y Rouphael, 2015).

### **Sistemas Hidropónicos**

El desarrollo actual de los sistemas hidropónicos se basa en el uso óptimo de espacio, consumo de agua, fertilizantes, uso reducido de pesticidas, máxima producción y calidad de cosechas (Beltrano, 2015). Existen diversos sistemas hidropónicos que permiten cultivar plantas utilizando o no un sustrato inerte como medio de crecimiento de las raíces irrigadas con una solución nutritiva, se pueden establecer altas densidades de siembra, aunque esto también implica altos costos iniciales y se necesita de conocimiento sobre el manejo cada sistema (Kotsiras et al., 2016).

Rodríguez y Chang (2017), mencionan que los sistemas hidropónicos tienen alto porcentaje de automatización, altos rendimientos por unidad de superficie, ahorro

de agua, ocupan menos espacio y pueden ser adaptados a terrenos no adecuados; sin embargo, el costo de producción e instalación inicial es alto y los productores pueden tener desconocimiento del manejo agronómico y de las soluciones nutritivas.

Para la implementación de ciertos sistemas hidropónicos se requiere el uso de sustratos, el cual debe tener las propiedades fisicoquímicas adecuadas, debe tener una parte sólida, parte gaseosa que entre ellas transfieran el agua, nutrientes y oxígeno a la raíz (Hernández, 2017). De los sustratos inorgánicos más utilizados se encuentra la lana de roca, perlita, roca volcánica y de los orgánicos son a base de turba o fibra de coco (Carmona y Abad, 2008).

Cada uno de los sistemas tienen diferentes condiciones de manejo dependiendo de la exposición a la solución de nutrientes y la oxigenación del cultivo, la elección y tecnificación del sistema depende de los recursos del productor y el cultivo de interés a establecer (Echeverri, 2016).

#### Sistema Aeropónico.

Es un sistema que permite cultivar vegetales con raíces suspendidas en el aire tiene nutrición vegetal fluida que es nebulizada a las raíces, con condiciones de oxigenación y humedad que permiten la asimilación de nutrientes y el buen desarrollo del cultivo (Gopinath et al., 2017). Este sistema es ideal para el monitoreo del desarrollo de raíces de almacenamiento, permite tener datos sobre la formación de raíces mediante la activación de la proliferación de células secundarias del xilema, encargadas del engrosamiento y volumen de la raíz (Selvaraj et al., 2019).

#### Cultivo en Agua Profunda

Es una técnica hidropónica que suministra directamente a las raíces una solución nutritiva, se encarga de sumergir las raíces de las plantas en agua con nutrientes disueltos y oxígeno, es un sistema altamente oxigenado que utiliza una menor cantidad de fertilizantes y que debe tener un monitoreo en el nivel de agua y el pH (Saaid et al., 2013).

### Técnica de Película Nutritiva

Es un sistema cerrado de los más utilizados, donde la solución nutritiva circula como lámina a través de las raíces, generalmente se utilizan materiales como tubos PVC perforados en donde se colocan las plantas y por medio de una bomba se inyecta la solución nutritiva por presión (Leiva et al., 2018).

### Sistema de Goteo

Es un sistema que incorpora nutrientes disueltos en agua a un sustrato colocado en un contenedor, en el que se desarrollan las raíces del cultivo (Gómez et al., 2018) El riego por goteo proporciona el agua de manera lenta y frecuente en la zona de la raíz (Agossou et al., 2019).

### **Sistema de Subirrigación (Inundación y Flujo)**

El sistema de subirrigación surgió, cuando E.C Green y W.S. Turner intentarán prevenir la podredumbre en lechuga, colocaron las plantas en una caja con una baldosa para aplicar riego sin que se mojara el follaje, el desarrollo de la lechuga fue tan fino, que el experimento se amplió para probar el efecto de este método (Green y Green, 1895). Los estudios posteriores fueron sobre la hidroponía y las técnicas de cultivos de arena (Gericke,1922; Eaton,1931) La subirrigación en contenedores fue descrita en 1950, como técnica mejorada de nutrición, posteriormente los sistemas de flujo y reflujos, se hicieron más conocidos (Biernbaum, 1988; Johnstone, 1950).

Un sistema de subirrigación es una técnica hidropónica de ciclo cerrado en la que se minimizan las pérdidas de agua y fertilizante (Montesano et al., 2010). La subirrigación es una técnica de riego por acción capilar; dentro de los sistemas de riego capilar existen varios tipos como la estera capilar, mecha capilar y el sistema de flujo y reflujos, este último tiene dos diseños; el sistema de bancos inundados y el sistema de canales (Semananda et al., 2018). Las plantas pueden absorber agua de un sustrato hasta la hoja por la evaporación de las hojas que crean una presión de vapor negativa, desencadenando la extracción de agua

desde la raíz hasta la hoja a través de la acción capilar la cual ocurre gracias a las fuerzas de adhesión y tensión del agua (Wu et al., 2017).

El funcionamiento de la subirrigación se da al aplicar la solución nutritiva al fondo de bandejas donde se encuentran los contenedores del sustrato durante un determinado tiempo hasta la saturación del sustrato, la solución restante se drena a depósitos para ser reutilizada en el próximo riego (Ferrarezi y Testezlaf, 2017). Un problema muy frecuente con los bancos inundados se debe a que los niveles de agua aplicados son más altos de lo requerido para que ocurra la acción capilar y se desperdicia energía de bombeo, se debe aplicar el nivel de agua óptimo de agua para reducir los costos de bombeo (Ferrarezi et al., 2016). El tiempo de inundación es otro de los factores más importantes en el sistema de flujo y reflujó, si la acción capilar no se ve afectada es posible que el sustrato absorba hasta el 90% de su capacidad de retención de agua (Li et al., 2018). Para tener un drenaje controlado en el sistema, se requiere que el agua no tenga sedimentos de químicos, productos biológicos u otros compuestos que puedan dañar las tuberías, el drenaje controlado reduce el estrés a corto plazo (Essien, 2016). El filtrado puede evitar la contaminación de compuestos no deseados en la solución y prevenir infecciones futuras (Stewart, 2011).

La subirrigación es una técnica de fácil manejo que también puede ser utilizada en invernaderos de baja tecnología (Bouchaaba et al., 2015). Además de que se ha logrado aumentar la producción agrícola, tiene una eficiencia de aplicación de agua mayor a la de un sistema de superficie (Xinhua et al., 2017).

El costo inicial de este tipo de sistema con un riego automático es alto, sin embargo, se reducen los costos laborales y se ve recompensando por los altos rendimientos y calidad de cosecha que se obtienen (Ferrarezi et al., 2015). Para los riegos de ciclo cerrado la automatización y el control con sensores que monitorean el estado del agua en el sustrato se pueden tomar decisiones objetivas sobre el riego (Van Iersel et al., 2013). El nivel de humedad en el medio de cultivo cambia de acuerdo a la evaporación y el consumo de agua de la planta, los sensores detectan estos cambios (Van Iersel, 2015). El sistema de

subirrigación puede ser conducido de manera automática con un sensor de humedad de sustrato, como lo es el tensiómetro (Frangi et al., 2013).

A diferencia de un sistema de riego por goteo, en este sistema los nutrientes no absorbidos se acumulan en la parte superior del sustrato y no en la solución nutritiva (Santamaria et al., 2003).

Montesano (2015), menciona que para evitar las pérdidas en el uso de agua y escorrentía de nutrientes se utilizó un sistema de subirrigación en el cultivo de tomate de dos cultivares el control de los riegos se realizó con tensiómetros conectados a un TensioSwith electrónico y se demostró que hay mayor optimización del agua, un buen rendimiento y una buena calidad de fruto (Montesano, 2015).

Para mitigar la sequía en el cultivo de maíz (*Zea Mays L*) en el medio oeste de E.U.A, se implementó un sistema de subirrigación, donde el drenaje fue recirculado para evitar la escorrentía del agua, bajo este sistema se obtuvo un rendimiento relativo que varió de 87.3 al 93.2% (Gunn et al., 2019).

En este sistema se puede presentar un problema de sanidad, la diseminación de patógenos a través de la solución nutritiva, sin embargo, se puede aplicar algún método de desinfección (Ferrarezi et al., 2015). Existen filtros de membrana que eliminan patógenos, su costo es alto y requieren de mantenimiento, la solución también puede ser tratada con radiación ultravioleta u ozono para eliminar los patógenos (Stewart, 2011). Después de un tiempo de recirculación, la solución nutritiva se debe renovar, para poder realizar una desinfección de los depósitos y tuberías accesorias las cuales pueden desinfectarse con hipoclorito de sodio al 2% (Rodríguez y Chang, 2017).

Este sistema es más comúnmente utilizado en ornamentales de maceta, que en los sistemas de producción para cultivos de vegetales comestibles (Chidiac, 2017). En los cultivos de vegetales el uso de contenedores de mayor volumen es necesario ya que generan mayor biomasa y el período de cultivo es más largo, es importante determinar la profundidad de la solución de riego y el tiempo de la



inundación lograr una humectación óptima del sustrato y la distribución de nutrientes, esto dependerá en gran medida del tipo de sustrato, recipiente utilizado y el volumen del medio de cultivo (García et al., 2017). La elección del tipo de sustrato debe estar basado en las propiedades físicas del sustrato, como su densidad, tamaño de partícula, porosidad, capacidad de retención de humedad, características necesarias para el movimiento de agua en los contenedores (Oh et al., 2007).

En los sistemas de ciclo cerrado como la subirrigación puede presentarse otro problema como la acumulación de sales en la solución recirculante, aplicar la concentración de solución nutritiva adecuada evitara la rápida salinización del agua, la perdida de agua y fertilizantes (Incrocci et al., 2006). Aunque en la subirrigación puede también tener una acumulación de sal en la capa superior del sustrato, parece no tener efectos perjudiciales sobre el crecimiento de las plantas (Gent y McAvoy, 2011).

En un estudio Macherla y McAvoy (2017), mencionan que para la producción de (*Zinnia elegans*) en un sistema de subirrigación, es recomendable utilizar un riego de ciclo corto, para evitar la rápida salinización, incluso con agua de calidad deficiente la zinnia puede ser irrigada con agua salina hasta 0.5g. L-1 de NaCl, sin que el crecimiento se vea afectado negativamente.

Fascella y Rouphael (2017), demostraron que el sistema cerrado de subirrigación en comparación con un riego por goteo simplifica el manejo de la solución nutritiva y reduce el uso de agua, además el uso de contenedores de mayor volumen indujo un crecimiento vigoroso en *Euphorbia*.

### **Solución Nutritiva y el Efecto de la Concentración**

La solución nutritiva utilizada en sistemas hidropónicos es una solución acuosa con iones inorgánicos de elementos esenciales como el N, P, K, S, Ca y Mg, en algunas ocasiones con compuestos orgánicos como el quelato de hierro, se complementan con micronutrientes (Steiner,1968). La solución nutritiva es la parte más importante de los sistemas hidropónicos, el uso del suelo esta

sustituido por su aplicación, el éxito del cultivo hidropónico depende en gran medida de la formulación y manejo de la solución, junto con la elección de las fuentes minerales solubles (López, 2018).

Un problema frecuente en los sistemas hidropónicos cerrados es el desequilibrio de las soluciones nutritivas conforme se desarrolla el cultivo, a la vez que se incrementa el riesgo de diseminación de enfermedades esto puede causar la disminución del rendimiento y la calidad en el cultivo (Sánchez et al., 2014). Una característica que deben tener las soluciones es que los iones deben estar en formas químicas que puedan ser absorbidas por las plantas, cada nutriente responde de diferente forma a los cambios de pH su regulación y la absorción de nutrientes está relacionado con la productividad de las plantas (Toshiki, 2012).

La CE y pH son parámetros que deben ser monitoreados para regular la nutrición del cultivo y en respuesta tener un desarrollo ideal del cultivo, generalmente para restablecer el pH de la solución se utilizan ácidos comerciales (De la Rosa et al., 2018). La capacidad de amortiguación de la solución nutritiva es casi nula, lo que puede llevar a la deficiencia de nutrientes y toxicidad iónica, por eso se tiene que mantener en un rango óptimo de pH de 5.5 a 6.5 (Wang et al., 2017). Mantener la solución nutritiva en un balance de pH evita el estrés en las plantas causado por la limitación de absorción de nutrientes (Fraile et al., 2017).

En un sistema cerrado hidropónico es fundamental mantener una conductividad eléctrica adecuada de 1.5 a 3.5 dS m<sup>-1</sup>, ya que la planta absorbe más agua que nutrientes y la pérdida de agua evapotranspirada hacen que la concentración de nutrientes aumente la CE de la solución drenada (Sánchez et al., 2014; De la Rosa et al., 2018).

En un estudio de tomate bola y silvestre Martínez et al. (2017), mencionan que se aplicaron tratamientos los cuales consistieron en la solución Steiner a diferentes conductividades eléctricas (2.0, 2.5 y 3.9 dS m<sup>-1</sup>), los cuales no afectaron el rendimiento, pero si las características fisicoquímicas del fruto.

Naturalmente el agua de riego trae consigo nutrientes como Ca, S, Mg y también contiene elementos tóxicos como el sodio y cloro, por esta razón se deben realizar análisis de agua previo para conocer el aporte nutrimental y poder formular una solución nutritiva balanceada (Ortega, 2017).

Resh (2013), menciona que los productores hidropónicos comerciales ajustan su solución nutritiva basados en la concentración de nutrientes (CE), que refleja la concentración total de sales en la solución.

Barraza (2015), menciona que en el estudio de la calidad morfológica y fisiológica de pepino con diferentes concentraciones de solución Steiner (25%, 75%, 125% y 175%) de concentración, se obtuvo una mejor calidad de frutos de pepino en las variables de firmeza, longitud, diámetro, clorofila, luminosidad y color a una concentración de 175%.

García et al. (2019), Menciona que la subirrigación en el cultivo de tomate en contenedor, es un sistema factible que hace más eficiente el uso de agua y fertilizantes, reduciendo la concentración de solución nutritiva al 60%, lo que evita un exceso de concentración de sales en el sustrato.

En otros estudios en cuanto la concentración de las soluciones nutritivas la aplicación diluida de las soluciones durante una etapa temprana del cultivo es perjudicial para el desarrollo de la planta ya que la cantidad de nutrientes acumulados en el medio de cultivo en esa etapa aun no es la necesaria para las demandas nutricionales (García et al., 2017).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio Experimental**

El experimento se llevó a cabo en el periodo de mayo a septiembre del 2019 en Saltillo Coahuila, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, cuyas coordenadas son: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm.

### **Material Vegetal**

Las semillas que se utilizaron para establecer el experimento fueron de pepino híbrido Centauro de crecimiento indeterminado, el cual se adapta a diferentes condiciones de cultivo.

### **Siembra y Trasplante**

Se realizó la siembra el día 8 de mayo de 2019, como sustrato de germinación se utilizó peat moss y perlita en una relación 80:20 volumen/volumen. El trasplante se realizó el día 26 de mayo de 2019, en bolsas de polietileno negras de 10 litros de capacidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de fibra de coco y perlita en una relación 80:20 volumen/volumen.

### **Sistema de Riego**

Se utilizó el sistema de riego por subirrigación con recirculación de SN, se aplicó una lámina de riego o de inundación de 5 cm con un tiempo de riego de 1 hora 30 minutos en las bandejas de aplicación para cada tratamiento, después del tiempo de riego la SN no absorbida se drenó a los tanques de almacenamiento de 200 L, dicha solución fue recirculada en los riegos posteriores, ajustando el pH y la CE, antes de cada riego, para el ajuste de pH se utilizó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, manteniéndolo en un rango de 5.5 a 6.5, la SN fue renovada cada 15 días. Para el tratamiento testigo se utilizó un sistema de riego superficial por goteo con dos goteros por contenedor, con un gasto de 4 LPH cada uno, el volumen de cada contenedor fue de 10 L.

Para la aplicación oportuna de los riegos se instalaron en ambos sistemas de riego tensiómetros de baja tensión de la compañía IRROMETER modelo LT, ideales para medir la humedad del sustrato. Los riegos se aplicaron a cada sistema cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 10 centibares y el drenaje de la SN n se realizó cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 0 centibares, indicando que el sustrato tenía la humedad suficiente

### Tratamientos y Fertilización

La nutrición de las plantas y la aplicación de los tratamientos se realizaron en base a la solución Steiner a diferentes concentraciones, para el sistema de subirrigación y el riego superficial por goteo.

Cuadro 1. Solución nutritiva Steiner.

| Meq L <sup>-1</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |
|---------------------|------------------------------|---|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|
|                     | 12                           | 1   | 4                             | 9                | 7              | 4                |

Cuadro 2. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino, en el sistema de subirrigación y riego superficial.

| Tratamiento        | % Base Steiner |
|--------------------|----------------|
| 1                  | 125            |
| 2                  | 100            |
| 3                  | 75             |
| 4                  | 50             |
| Testigo<br>(Goteo) | 100            |

## Diseño Experimental.

La unidad experimental consistió en dos plantas separadas a 20 cm, cada una en un contenedor individual. Los tratamientos fueron 4 y un testigo, con cinco repeticiones de cada unidad experimental, dando un total de 25 unidades experimentales, los tratamientos y el testigo se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar. Los datos se analizaron con análisis de varianza y la prueba de comparación de medias múltiples de acuerdo a la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión. 9.0.

## Variables Evaluadas

Cuadro 3. Evaluación de variables obtenidas de frutos cosechados en 20 cortes durante el experimento.

| Variable               | Determinación de la medición con:                          | Descripción de la técnica   |
|------------------------|--|---|
| Longitud de fruto (cm) | Cinta métrica  | Se midió del extremo distal al proximal del fruto para determinar la longitud del fruto                                   |
| Diámetro de fruto (mm) | Vernier digital<br>Caliper electrónico<br>calibre 0-150 mm | Medición de 3 lecturas por fruto las cuales se promediaron; (Diámetro distal+ Diámetro ecuatorial+ Diámetro proximal) / 3 |
| Peso de fruto (g)      | Báscula digital<br>SCALE, capacidad de 2000 g X 0.1 g      | Se promedió el peso de los frutos recolectados durante todo el ciclo  |
| Índice distal (mm/mm)  | Diámetro distal /<br>Diámetro ecuatorial                   | Se utilizaron las lecturas del diámetro distal y ecuatorial (mm/mm)   |

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| Índice proximal (mm/mm)     | Diámetro proximal /<br>Diámetro ecuatorial  | Se utilizaron las lecturas del diámetro proximal y ecuatorial (mm/mm)   |
| Firmeza de fruto (lbs)      | Penetrómetro modelo FT-327, puntilla de 8 mm  | Se tomaron 3 lecturas de firmeza, las cuales fueron promediadas (distal, ecuatorial y proximal)   |
| Número de frutos por planta | Número total de frutos/Número de plantas  | Registro del número de frutos por planta<br>Se contabilizo y promedio;  |
| Rendimiento (Kg por planta) | Báscula digital SCALE, capacidad de 2000 g X 0.1 g                                      | Se promedio; Peso total de frutos (kg) /<br>Número de plantas   |
| Materia seca de hojas (g)   | Báscula electrónica AND GF-200 capacidad max.210 g y min 0.02 g.<br><br>Estufa NOVATECH | La materia seca se evaluó de las hojas viejas eliminadas de la planta durante el ciclo, recolectadas e identificadas en bolsas de papel, las cuales se metieron a deshidratar a la estufa a una temperatura de 60°C, durante 24 a 72 horas, hasta tener un peso constante, el cual se midió con una báscula electrónica |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general la concentración de la SN, no afectó significativamente la longitud, el peso, diámetro y el índice distal del fruto, los promedios obtenidos de los tratamientos con subirrigación fueron similares a los obtenidos del testigo con riego por goteo (Cuadro 4).

Lo anterior coincide con el estudio de producción de pepino en invernadero donde tampoco se encontró diferencias significativas en la longitud con un promedio de 21.3 cm y en el diámetro con un promedio de 4.5 cm (López et al., 2017), así mismo la USDA (1997), menciona que el pepino no debe tener una longitud inferior a los 15 cm y no debe pasar de los 6.0 cm de diámetro, esto parece indicar que los frutos obtenidos de este experimento se encuentran en un rango aceptable de calidad en cuanto a su longitud y diámetro.

La clasificación de frutos frescos de pepino según lo menciona la (NMX-ff-023, 1982), se hace en tres grupos para México Extra deben tener un diámetro mínimo de 3.5 cm a 6.0 cm , con una longitud mínima de 16.5 cm, para México No.1 puede tener un grosor < 3.5cm a 5.0 cm y una longitud de < 14 cm a 16.5 cm , México No.2 un diámetro de 5.1 cm a > 6.5 cm y una longitud de 14 a >16.5 cm. Los frutos que se obtuvieron en este trabajo se agrupan en una clasificación de México extra ya que su diámetro no pasa de 6.0 cm y su longitud mínima supera los 16.5 cm.

En cuanto al peso de fruto en este estudio se obtuvo un promedio de 567 g, superando el promedio obtenido en un estudio de pepino variedad Poinset 76 con solución Steiner y lixiviado de lombriz en el cual obtuvieron un máximo peso de fruto de 322 g (Méndez, 2016), esto quizás se debe a la diferencia de variedades y a que al utilizar un sistema de subirrigación la acumulación de nutrientes en el sustrato se da dándole a la planta la cantidad necesaria de nutrientes para el llenado de frutos.

Wang et al. (2019), menciona que la subirrigación genera cultivos uniformes y provoca una acumulación de nutrientes en el medio de cultivo pudiendo tener una



respuesta positiva para el cultivo o también puede llegar a provocar una acumulación demasiado alta de sales en el sustrato afectando de manera negativa el crecimiento y la calidad de la planta. En este trabajo la longitud, Diámetro, Peso de fruto e Índice distal, no se vieron afectados de manera negativa por la concentración de SN y el sistema de riego utilizado, no hubo diferencias entre tratamientos, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran en un rango de calidad aceptable por el mercado.

Cuadro 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) sobre variables cuantitativas relacionadas a la calidad del fruto de pepino.

| Sistema       | Concentración SN (%) | Longitud (cm) | Diámetro (mm) | Peso de fruto (g) | Índice Distal (mm/mm) |
|---------------|----------------------|---------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| Goteo         | 100                  | 28.2          | 56.7          | 548.6             | 0.95                  |
| Subirrigación | 125                  | 29.0          | 56.2          | 586.8             | 0.95                  |
|               | 100                  | 28.7          | 56.8          | 567.3             | 0.99                  |
|               | 75                   | 28.4          | 57.0          | 575.7             | 0.94                  |
|               | 50                   | 27.3          | 57.4          | 556.5             | 0.93                  |
| Anova Pr>F    |                      | 0.191         | 0.376         | 0.778             | 0.517                 |

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Duncan con  $p \leq 0.05$ . ANOVA: análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

En la variable de índice proximal si se obtuvieron diferencias significativas. Se observa en la Figura 1 que el tratamiento de plantas subirrigadas con una SN a una concentración de 100% obtuvo una respuesta significativa con un índice proximal de 1.10 mm/mm; esto se considera un factor desfavorable ya que los frutos presentan una forma cónica, ya que la parte proximal tiene un diámetro mayor a la parte ecuatorial del fruto. Esto es penalizado ya que se considera de menor calidad los frutos de forma irregular.

Barreiro (2018), menciona que un fruto de buena calidad de pepino debe tener una forma alargada y cilíndrica (pepónide); dicha forma tiene diámetros uniformes o parecidos en la parte proximal, ecuatorial y distal del fruto. Para que los frutos sean considerados de mejor calidad deben contar con un índice cercano a 1.0 mm/mm; en el presente estudio, si se obtuvieron resultados favorables al aplicar una SN al 50% y resultados semejantes al 75%, dichos tratamientos obtuvieron un índice proximal cercano a 1.0 (Figura 1). El índice proximal está relacionado con el índice distal, al tener ambos índices con valores cercanos a 1.0, se puede decir que la forma del fruto es regular y cilíndrica, la forma del fruto ideal según Barreiro (2018). Se puede decir que estos tratamientos bajo subirrigación a una concentración de SN de 50% y 75% generaron frutos con una forma ideal al tener en ambos índices proximal y distal un valor cercano a 1.0, así como también una longitud, diámetro y peso de fruto aceptable (Cuadro 4). Por lo anterior, los frutos de mejor calidad en cuanto a la forma se obtuvieron en plantas subirrigadas con 50 o 75% de la SN, aunque no hubo efectos significativos por la concentración de SN (Figura 1).

Esto coincide por los resultados obtenidos por García et al. (2019) en un sistema de subirrigación quien menciona que al reducir la concentración de SN a un 60% en cultivo de tomate se mantuvo el crecimiento y rendimiento. En otro estudio se menciona que la SN puede reducirse hasta un 50% sin efectos negativos en el crecimiento y calidad de las plantas (Rouphael et al., 2008). Estos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo, esto puede deberse a que la subirrigación de basa en el movimiento ascendente del agua por el sustrato, esto causa una estratificación de sales, lo cual puede afectar negativamente el crecimiento y calidad de los cultivos (Bouchaaba et al., 2015; Martinetti et al., 2018).

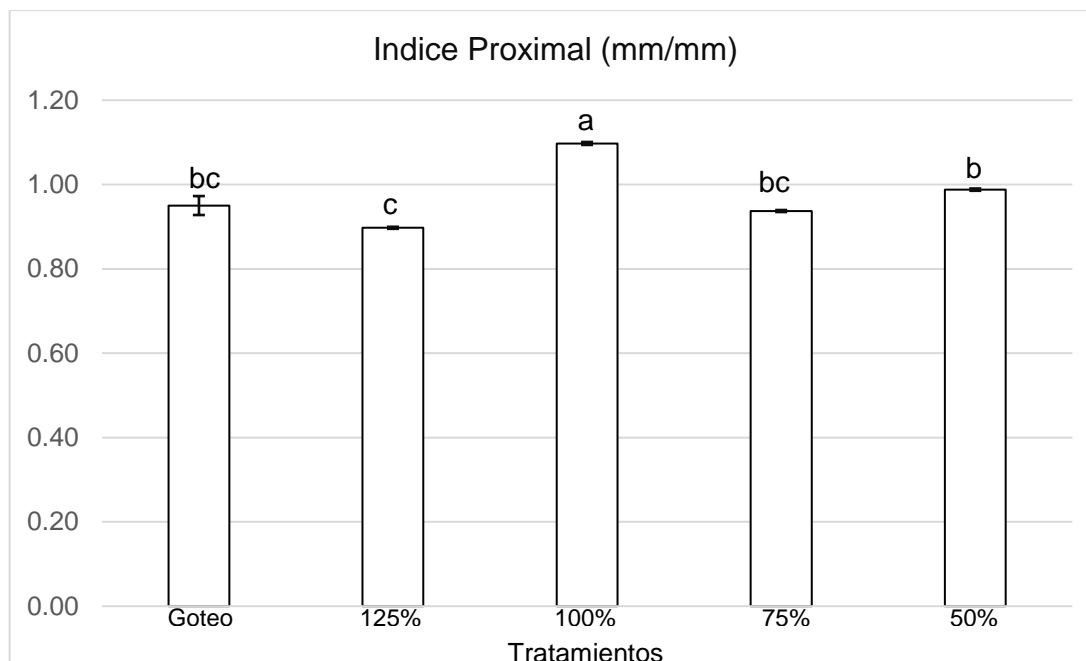


Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el índice proximal de fruto de pepino.

Los frutos de pepino obtenidos de este experimento tuvieron una mayor firmeza de fruto con una concentración de SN de 50% con un promedio de 11.68 lbs, compartiendo resultados semejantes a una concentración de 75%, superando al testigo con riego por goteo el cual tuvo de los valores más bajos de firmeza en frutos con un promedio de 10.66 lbs (Figura 2).

En un estudio diferente se encontraron valores de firmeza en frutos de pepino en un rango de 8.82- 11.02 lbs a temperatura ambiente, dichos valores permitieron una vida de anaquel con una duración de hasta 10 días manteniendo sus características deseables, sin embargo, en este estudio no hubo diferencias significativas al aplicar SN al 100% y 50% (Cruz, 2015).

Por el contrario Barraza (2015), menciona si haber obtenido efectos obteniéndose una mayor firmeza de fruto al aplicar una concentración alta de SN de 175%, con un rango de firmeza de 57.03-65.70 N, equivalente a 12.82-14.77 lbs esta firmeza supera a lo mencionado por Cruz (2015), y a los resultados obtenidos en este trabajo que obtuvieron un rango de firmeza en general de 10.22

a 11.68 lbs sin embargo; estos valores son cercanos a los obtenidos por Cruz (2015), y aunque los tratamientos con menor concentración de SN (50%,75%) aumentaron la firmeza del fruto provocando una mayor vida de anaquel que puede ser de 10 días o más, en los demás tratamientos (100%, 125%) incluyendo al goteo aunque no presentan valores tan bajos de firmeza en comparación a otros estudios, al tener menor resistencia la penetración pudo causar que la senescencia del fruto sea más rápida así como lo menciona Moreno et al. (2013).

Moreno et al. (2013), señala que las pérdidas de calidad visual y sensorial de los frutos se da más fácilmente, debido a que en el fruto se produce tejido esponjoso, por la baja turgencia y la pérdida de agua de las células.

El proceso de senescencia del fruto se da naturalmente sin embargo entre menor sea la firmeza, más rápido ocurre. Valores de firmeza en pepino parecidos a los de este trabajo fueron reportados por López et al. (2011) entre 45.11 y 49.03 N, equivalente a 10.14-11.02 lbs.

La concentración de SN si afecto significativamente la firmeza siendo la SN de 50% y 75% con los más altos valores esto puede deberse a que cuando la concentración de SN es suficiente, se suministran los nutrientes necesarios a las plantas para producir los fotoasimilados que se utilizan para el crecimiento del fruto y los componentes estructurales que dan firmeza a las células confiriendo mayor vida de almacenamiento (Ando et al., 2012; Verheul et al., 2013).

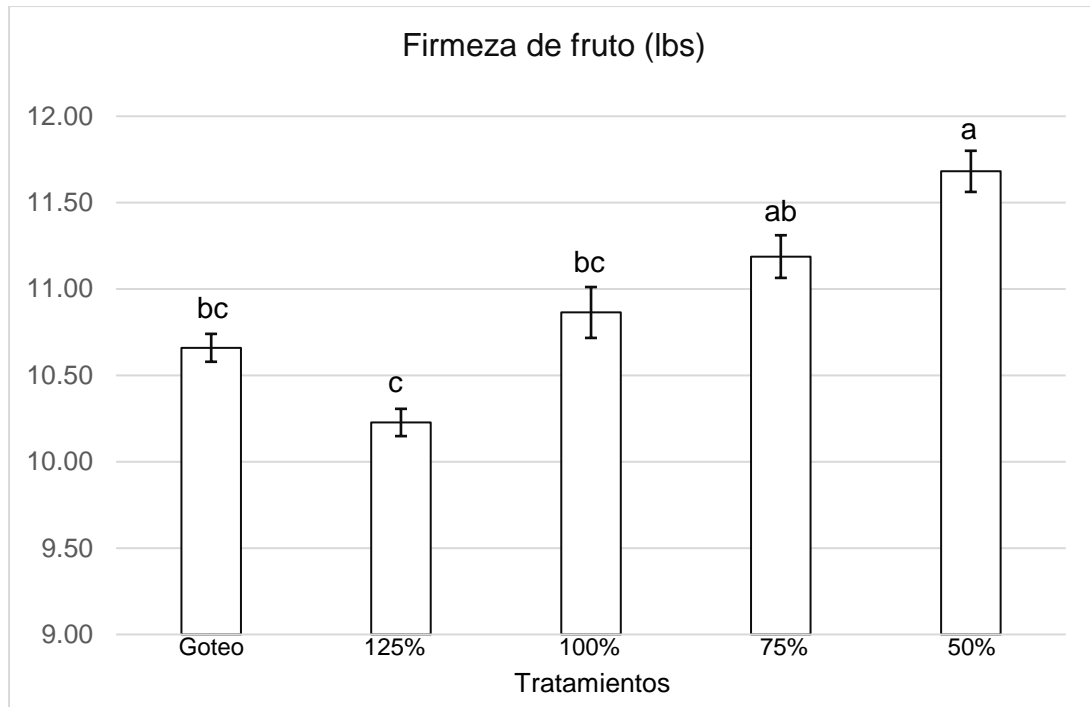


Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la firmeza del fruto de pepino.

En la cantidad de frutos por planta se obtuvieron diferencias significativas (Figura 3). Los tratamientos con una concentración al 125 % y 100 % generaron un mayor número de frutos, con 15 y 14.8 frutos por planta, respectivamente, aunque ambos son estadísticamente iguales, pero superan al obtenido por las plantas testigo con riego por goteo. Lo anterior indica que el cultivo de pepino produce mayor biomasa pues responde a concentraciones mayores de SN, lo cual coincide con lo reportado por Valdiviezo (2015), quien menciona que, en un estudio de cinco diferentes cantidades de nutrientes, se obtuvo un mayor número de frutos con una cantidad mayor de nutrientes. obteniéndose un promedio de 11.13 frutos por planta. En otro estudio de mini pepino fertilizado con SN al 100%, 75%, 50%, y 25%, la mayor cantidad de fruta comercial mayor se obtuvo a concentraciones de 75% y 100% (Maboko y Phillipus, 2017).

Mientras que Tenemaza (2014), menciona que las variedades normales de pepino en hidroponía llegan a producir un promedio de 7.7 frutos por planta. Los resultados del presente experimento superan este promedio cuando se aplicaron concentraciones altas de SN, sin embargo, tomando en cuenta los resultados de

anteriores variables evaluadas en este trabajo, se puede decir que, aunque a mayor concentración de SN se obtuvo más número de frutos, estos no tuvieron la mejor calidad de firmeza e índice proximal, relacionado a la forma del fruto, por lo que la forma de estos frutos no fue las más deseable.

Tomando en cuenta que una producción promedio de pepino es de 7.7 frutos por planta según Tenemaza (2014), se puede decir que al aplicar una concentración de SN más baja de 75% también se obtiene un número de frutos alto con un promedio de 12.2 frutos por planta, aunque este tratamiento tuvo resultados similares al goteo en número por planta, y a su vez lo supera al obtener resultados favorables en cuanto a la firmeza e índice proximal, con un índice distal, longitud de fruto, diámetro de fruto y peso de fruto aceptable.

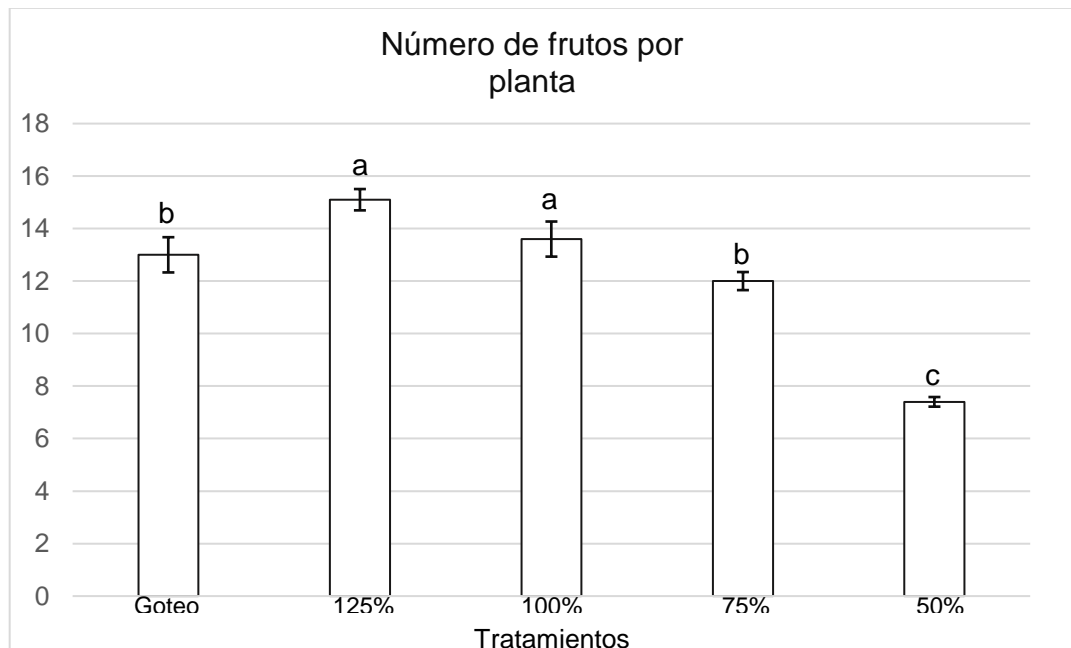


Figura 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el número de frutos por planta.

En la variable de rendimiento se obtuvieron resultados significativos a la aplicación de diferentes concentraciones de SN, se puede observar (Figura 4), que la concentración de SN al 125% y 100% tuvieron un mejor rendimiento con un promedio de 8.6 y 8.2 Kg por planta, respectivamente, superando al riego por goteo. Se ha observado en anteriores estudios que el cultivo de pepino aumentó

su rendimiento cuando se aplicó la cantidad de nutrientes necesarios para su extracción nutrimental.

Barraza (2018), menciona que con la aplicación de diferentes concentraciones de SN (25%, 75%, 125% y 175%) en cultivo de pepino hidropónico con sistema abierto, se obtuvo un mejor rendimiento con la concentración al 175% con un promedio de 8.20 kg por planta. Se puede decir que el cultivo de pepino hidropónico tiene una mejor respuesta para generar mayor rendimiento a concentraciones altas de SN; esto coincide con lo mencionado por Nwofia et al. (2015), quienes señalan que se han encontrado respuestas significativas en cuanto al rendimiento cuando se aumenta la cantidad de nutrientes aplicados. Como se mencionó anteriormente, aunque las concentraciones altas de SN generaron mayor rendimiento, este no es el único factor que se debe tomar en cuenta para evaluar la buena producción de un cultivo, existen también los factores de calidad del producto para poder ser comercializado sin problemas. El tratamiento que mostró un mejor rendimiento después de estas altas concentraciones fue la SN al 75% con un rendimiento de 7 Kg por planta. Cabe resaltar que en este estudio se utilizó un sistema de subirrigación el cual es un sistema cerrado y por ello se ahorra agua y nutrientes, generando un mayor rendimiento de cultivo que un sistema hidropónico abierto (Wan et al., 2019).

Sin embargo, una alta acumulación de sales en el sustrato puede llegar a afectar el crecimiento y calidad del cultivo, es por ello que, en anteriores estudios, la concentración de SN se reduce para obtener o mantener una buena producción, haciendo más eficiente el uso de agua y de nutrientes. Lo anterior coincide por un estudio realizado en tomate en contenedores, donde se evaluó diferentes concentraciones de SN por subirrigación y en donde se logró una mejor respuesta aplicando una SN del 60% Steiner, con esta se logró una eficiencia del uso de agua y nutrientes mayor al de un sistema de goteo, ya que al reducir concentración de SN se mantiene una CE tolerable, se mantuvo la capacidad de retención de agua del sustrato ya que ocurre una menor compactación en comparación al riego por goteo (García et al., 2019).

El aumento de rendimiento del cultivo en este estudio, pudo deberse a que al utilizar un sistema de subirrigación con un alto tiempo de inundación de 1hr 30 minutos, provocó un suministro de SN más uniforme en el sustrato. Algo semejante menciona García et al. (2017), quien tuvo un mayor rendimiento y un mayor número de frutos al aplicar el tratamiento con mayor tiempo de inundación con 30 m y una profundidad de 20 cm, superando a los tratamientos inferiores y al riego por goteo. Estos resultados se atribuyeron a que hubo una mejor distribución de la solución nutritiva en el medio y una mejor captación de nutrientes por parte de la planta al aprovechar la disponibilidad de nutrientes en el medio. Sin embargo, no se evaluaron diferentes concentraciones de SN.

En el presente trabajo no se presentaron problemas en la disminución del rendimiento y número de frutos al aumentar la concentración de SN, pero si afectó negativamente otros factores de calidad en el fruto, por lo que aplicar las concentraciones altas de SN puede no ser del todo favorable para una producción de calidad. Una concentración de SN al 75% mantuvo el rendimiento cerca del promedio normal, así como la calidad de los frutos, es posible que, al tener menor cantidad de fruto en desarrollo, la cantidad de nutrientes fue suficiente para mantener una formación adecuada del fruto, aunque las altas concentraciones tuvieron mayor rendimiento y número de frutos, esta cantidad no fue lo suficiente para que su desarrollo llegara a un fruto de calidad, según Zamora (2016).

La baja calidad de las cosechas y deformaciones en frutos puede ser causado por estrés en la planta esto puede ser provocado por diferentes factores, como un desbalance nutricional o algún problema en el área radicular, causando así la baja calidad de los frutos. Esto también se relaciona con García et al. (2019) quienes estudiaron las propiedades de los sustratos bajo un sistema de subirrigación aplicando diferentes concentraciones de SN, sugiere que se deben aplicar concentraciones de SN de menor concentración para evitar el aumento de la CE, ya que el sustrato tiene mayores propiedades de retención de agua al utilizar un sistema de subirrigación.



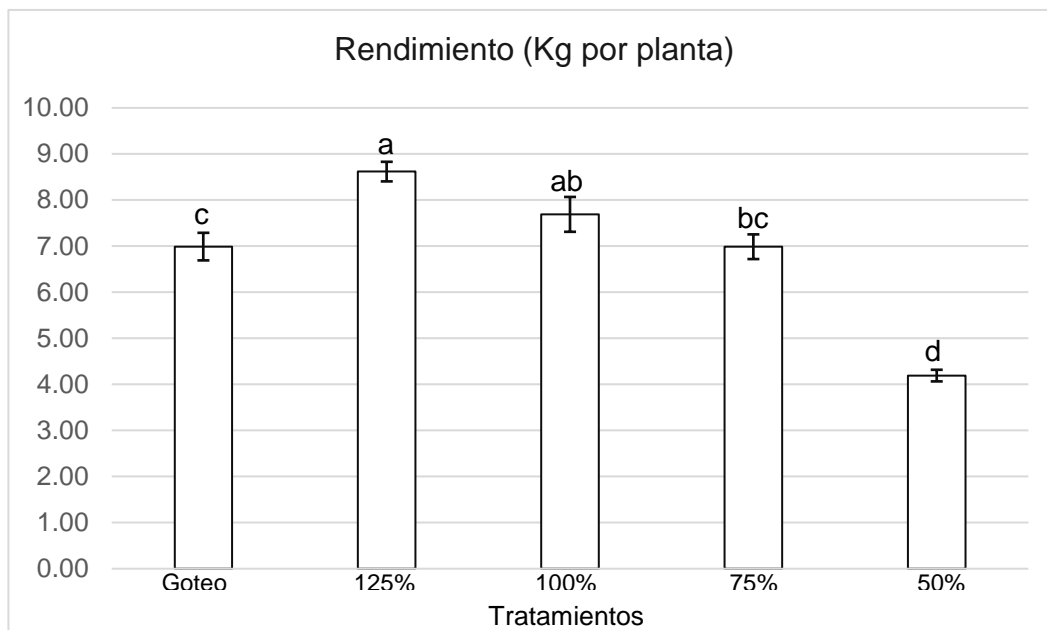


Figura 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de plantas de pepino.

La materia seca de hojas se vio afectada significativamente por las concentraciones de SN (Figura 5); sin embargo, existen 3 tratamientos con resultados similares los cuales no son estadísticamente diferentes. El mayor peso seco de hojas se obtuvo con las concentraciones de SN 100%, 125% y en el testigo con riego por goteo.

Aunque estas concentraciones no mostraron diferencia en la producción de biomasa de hojas, si hubo diferencias en el rendimiento y número de frutos, el goteo produjo una cantidad similar de materia seca en hojas, sin embargo no aumento su rendimiento, esto puede deberse a que hubo un mayor porcentaje de aborto de flores al no tener la cantidad suficiente de nutrientes disponibles para el cuajado de frutos, esto puede ser atribuido que al utilizar un sistema de riego convencional, generó escorrentía de la SN, menor acumulación de nutrientes en el medio causando una menor producción en comparación a la subirrigación, esto coincide con lo mencionado por Ferrarezi et al. (2015) quien dice que un sistema de riego abierto como lo es el goteo tiene desperdicios de

agua y fertilizantes, ocurriendo una lixiviación de nutrientes que no son aprovechados por las plantas.

En un estudio realizado por Maboko y Phillipus (2017), obtuvieron resultados parecidos al obtener mayor cantidad de peso seco y fresco en las plantas de pepino al aplicar las concentraciones de SN más altas al 100%,75% y 50%. La materia seca está relacionada al área foliar asimiladora y a la cantidad de nutrientes asimilados, la cual va decreciendo con la edad de las hojas, las cuales son el órgano fuente de asimilados producidos por la fotosíntesis, los cuales son almacenados y enviados a otros órganos vía floema (Barrientos et al., 2015). Al tener mayor materia seca de hojas en SN de 125%, 100% y goteo, las plantas tuvieron mayor cantidad de asimilados, esto se vio reflejado en una mayor producción en cuanto a rendimiento y número de frutos de estas plantas, sin embargo, los frutos producidos no fueron de la mejor calidad, en comparación a lo obtenidos de la aplicación de SN al 75%.

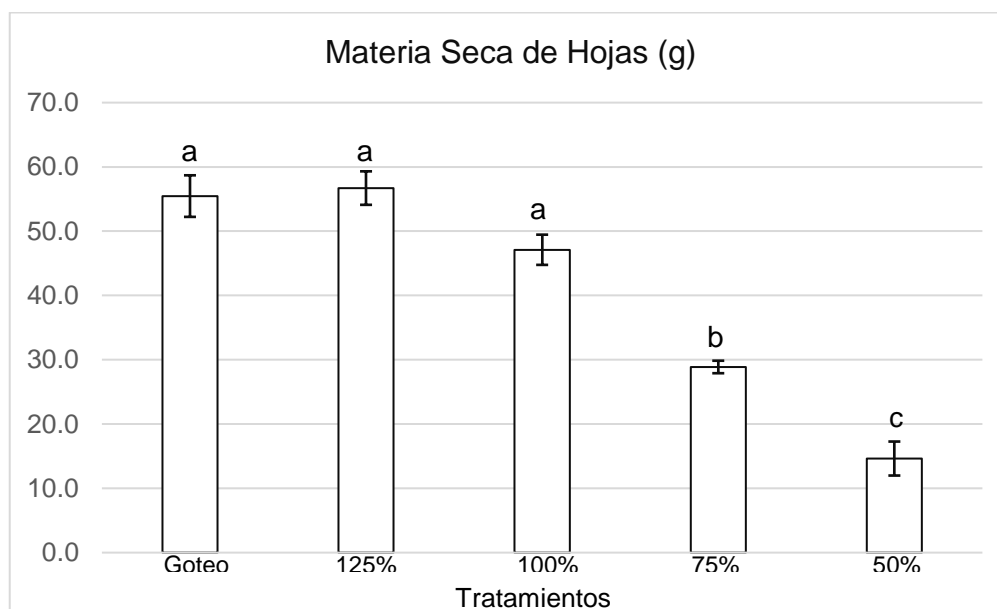


Figura 5. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la materia seca de hojas de la planta de pepino.

## **CONCLUSIONES**

La concentración de solución nutritiva bajo subirrigación afecto el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de pepino, el rendimiento y creciento de la planta aumento a una concentración de la SN al 125%, superando al riego por goteo; sin embargo, la calidad de los frutos se mejoró a una concentración de SN al 75% Steiner.

## LITERATURA CITADA

- Abu, S.; Suwwan M.; Al. 2013. The influence of plant growth regulators on callus induction from hypocotyls of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Adv. Environ. Biol* 7(2): 339-343.
- Acevedo, I.; Marcano, C.; Contreras, J.; Odaliz, J.; Escalona, A.; y Pérez P.2012. Characterization of agronomic crop management of cucumber (*Cucumis sativus* L.) at Humocaro Bajo, Lara state, Venezuela. *Rev. Unell. Cienc. Tec* 30: 36-42.
- Agossou, H.; Bogardi, J., y Tischbein, B. 2019. Soil-water management performance and layout optimization of an innovative bamboo-drip system in West-Africa. *Water Utility Journal* 21:1-15.
- Ando, K.; Carr K.; y Grumet, R. 2012. Transcriptome analysis of early cucumber fruit growth identifies distinct gene modules associated with phases of development. *BMC Genomics* 13:5-18.
- Ayala T.F.; López, C.C.A.; Yañez, J.M.G.; Diaz, V.T.; Velazquez, A.T.J.; y Parra D.J.M.2019. Plant density and stem pruning in greenhouse cucumber production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(1):1-12.
- Barraza, A.F. V. 2018. Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* 12(3):611-620.
- Barraza, A.F.V.2015. Morphological and physiological quality of cucumbers grown in different nutritional concentrations. *Revista colombiana de ciencias hortícola* 9: 60-71.
- Barrientos, L.H.; Del Castillo, G.C.R.; y García, C.M.2015. Functional analysis of growth, biomass accumulation and translocation of dry matter eight vegetables grown in greenhouses. *RIIARn* 2 (1): 76-86.
- Beltrano, J.2015.Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires 1:10.

Biernbaum, J.A. 1988. Evaluation of Subirrigation systems for interior plants. HortScience 23:752.

Borbón, M.C.G.; Arvizu A.M.; García, F.A.; y Robles, P.J.2018. Ventajas comparativas del pepino mexicano de exportación hacia estados unidos. Revista Mexicana de Agronegocios 43:3-6.

Bouchaaba, Z.; Santamaria, P.; Choukr, A. R.; Lamaddalena N.; y Montesano F. F. 2015.Open-cycle drip vs closed-cycle subirrigation: effects on growth and yield of greenhouse soilless green bean. Sci. Hortic 182:77-85.

Carmona, C.E. y Abad, B.M.2008.Compostaje adaptado al nuevo plan general de compatibilidad: Aplicación de viveros y semilleros. Mundi-Prensa 397: 424.

Chidiac, J.2017. Shallow Aggregate Ebb-and-Flow System for Greenhouse Lettuce Production. University of Arkansas, Fayetteville.1-57.

Cruz G.B.A.2015. Efectos de aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli (acetato de vinilo-co-alcohol vinílico) sobre la calidad y vida postcosecha de pepino (*Cucumis sativus* L). Centro de investigación en química aplicada 1:75.

Deconet, V.; Ravetti, F.; Martin, C.; y Nicot, P.C.2010. Improved leaf pruning reduces development of stem cankers caused by grey mould in greenhouse tomatoes. Agronomy for Sustainable Development 30(2): 465-472.

De la Rosa, R.R.; Lara, H.A.; Padilla, B.L.E.; Avelar, M.J.J.; y España, L.M.P.2018. Proportion of drainage of the nutritive solution in the yield and quality of tomato in hydroponics. Rev. Mex. Cienc. Agríc 20:4343-4353.

Díaz, F. A.; Grageda, O. A.; y Lozano, C. M. G. 2015. Effectiveness of selected microbial strains on the growth of sweet sorghum. México. Agricultural Sciences 6:772-777.

Eaton, F.M. 1931. A large sand culture apparatus. Soil Sci 31:235–241.

Echeverri, G. S. N. 2016. Technology and implementation of three hydroponic cultivation methods: water culture, EBB & FLOW (flow and drain) y drip system recovery. Pontificia Universidad Javeriana 1:9.

Essien, M.M.2016. The economics of controlled drainage with sub-irrigation and field drainage in Quebec. Macdonald University Montreal 1:1-115.

Fascella, G. y Roupheal, Y.2017. Influence of container volume and irrigation system on photosynthesis, water productivity and growth of potted *Euphorbia x lomi*. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 16(3):163–171.

Fascella, G. y Roupheal, Y.2015.Growth and water use efficiency of potted *Murraya paniculata* as affected by irrigation system and container size. Hort 80(2):81–86.

Fennell, P. y Anthony, B. 2015. Calcium and Chemical Looping Technology for Power Generation and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Capture reviews the fundamental principles, systems, oxygen carriers, and carbon dioxide carriers relevant to chemical looping and combustion. ELSERVIER 466:5-8

Ferrarezi, S.R. y Testezlaf, R.2017. Automated ebb-and-flow subirrigation for citrus liners production. I. Plant growth. Agricultural Water Management 192:45-57.

Ferrarezi, S.R.; Van Iersel, W.M.; y Testezlaf, R.2016. Plant growth response of subirrigated salvia 'Vista Red' to increasing water levels at two substrates. Horticultura Brasileira 34.202-209.

Ferrarezi, S.R.; Weaver, M.G.; Van Iersel, M.W.; y Testezlaf, R.2015. Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. HortTechnology 25:1-16.

Fraile, R.R.D.; Álvarez, H.J.G.; Reyes, M.A.J.; Álvarez, H.O.F.; y Fraile, R.A.L.2017. Evaluation of the growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a closed recirculating hydroponic system. Agronomía Colombiana 35: 216-222.

Frangi, P.; Piatti, R.; Faoro, M.; y Amoroso, G.2013.Evaluation of different sub-irrigation systems for containerized nursery production. *ActaHorti* 990:43.

Gámez, E.M.; Rodríguez, M.I.; Henry, G.Y.; Ochoa, M.L.C.; García, R.J.M.; Mercado, R.J.N.; y Báez, S.R.2017. Physicochemical and sensory quality of waxed organic cucumber fruits (*Cucumis sativus* L) *Centro de investigación en alimentación y desarrollo* 1:4-8.

García, S.J.C., Valdez, A.L.A.; Cartmill, A.D.; Cartmill, D.L.; Juárez, L.P.; y Díaz, P.J.C.2019. Subirrigation of Container-Grown Tomato I: Decreased Concentration of the Nutrient Solution Sustains Growth and Yield. *Water* 11:2064.

García, S.J.C.; Valdez, A.L.A.; Cartmill, D.; Cartmill, A.D.; Juárez, L.P.; y Alvarado, C.D .2019. Subirrigation of Container-Grown Tomato II: Physical and Chemical Properties of the Growing Medium.*Water* 11: 2211.

García, S.J.C, Valdez, A.L.A.; Hernández, P.A.; Cartmill, A.D.; y Valenzuela, G.J. 2017. Depth and Duration of Flooding Affect Growth, Yield and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience* 52:295-300.

Gent, M.P.N. y McAvoy, R.J. 2011. Water and nutrient uptake and use efficiency with partial saturation ebb-and-flow watering. *HortScience* 46:791-798.

Gericke, W.F. 1922. "Magnesia injury" of plants grown in nutrient solutions. *Bot. Gaz.*74:110–113.

Gómez, C.J.C.; Rodríguez, M.D.; y Diaz, C.J.J.2018. Irrigation control system with monitoring functions for hydroponic crops based on the demand tray method. *REDIB* 40 (130):1-15.

Gómez, E. 2011. Recubrimientos para frutas y hortalizas. V curso internacional de tecnología postcosecha y procesado mínimo. ETSIA-UPCT, Cartagena, España .1-33.

González, N. J. F. 2009. La agricultura protegida. *Horticultivos*. Editorial Agro Síntesis SA. de CV. México 1:1-6.

Gopinath, P.; Vethamoni, P.I.; y Gomathi, M. 2017. Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. Chemical Science Review and Letters. 6(22): 838-849.

Green, W.J.; y Green, E.C.1895. Sub-irrigation in the greenhouse. Ohio Agricultural Experiment Station 61:1-24.

Grewal, H.S.; Basant, M; Sophie, H, y Parks, S.E.2011. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. Agricultural Water Management 98 (5). 841-846.

Grijalva, C. R. L.; Macías, D. R; Grijalva, D. S. A.; y Robles, C. F. 2013. Evaluación de densidades y arreglos de plantación en tomate bola en condiciones de invernadero en el noroeste de Sonora. Biotecnia 12(2): 20-28.

Gunn, K.M.; Alfred, W.J.B.; y Brown, L.C.2019. Investigating maize subirrigation strategies for three northwest Ohio soils. Journal of soil and water conservation 74(2): 111-125.

Hernández, R.R.J.2017. Study of the viability at the physicochemical and physical level of different compost of agroindustrial origin for use as culture media. EPSO 1: 84.

Hidrovo, Á y Vélez, V.2016.Agronomic behavior of four cucumber hybrids (*Cucumis sativus* L) under the edafoclimatic conditions of the Polytechnic Campus of Spain. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador.34

Hochmuth, R.C.2001.Greenhouse cucumber production. Florida greenhouse vegetable production Handbook. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences 3.1-7.

Hochmuth, R.C. 2015. Greenhouse Cucumber Production - Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook. Horticultural Sciences Department, University of Florida 3:1-8



Howard, M.R.2015. Hydroponics for the Home Grower. Crc Press of Taylor y Francis group13:321.

Incrocci, L.; Malorgio, F.; Bartola, D.A.; y Pardossi, A.2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Horticulturae* 107(4):365-372.

Javad, Z.M.; Navad, K.Z.; y Marzban, A.2019. Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(3):249-255.

Johnstone, G.R. 1950. Simplified equipment for subirrigation experiments in plant nutrition. *Plant Physiol* 25:185–186.

Karlsson, M. 2016. Growing Cucumbers in Greenhouses. Cooperative Extension Service of Alaska Fairbanks University 430.

Khodayari, S.; Abedini, F.; y Renault, D.2018. The responses of cucumber plants subjected to different salinity or fertilizer concentrations and reproductive success of *Tetranychus urticae* mites on these plants 75(1):41-53.

Kotsiras, A.; Vlachodimitropoulou, A.; Gerakaris, N.; y Bakas, D. 2016. Innovative harvest practices of Butterhead, Lollo rosso and Batavia green lettuce (*Lactuca sativa* L.) types grown in floating hydroponic system to maintain the quality and improve storability. *Sci. Hortic* 201:1-9.

Koske, J.T. 1981. Cucumbers. *Vegetable Gardening Tips*. LSU AgCenter Research & Extension. Louisiana State University.1.

Kovatch, J. 2003. Cucumber. *Master Gardeners Journal*. UW Extension. Milwaukee County 60:932.

Krístkova, E.; Lebada, A.; Vinter, V.; y Blahousek, O.2003. Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description. *Horticultural Science* 30:1-9.

Kumar, S.; Varsha, C.; Saravaiya, S.N.; y Raj, D.2017. Potentiality of greenhouse cucumber cultivars for economic and nutritional realization. *International Journal of Farm Sciences* 7(1):1-7.

Leiva, E.S.T.; Román, P.A.; Vilca, V.N.C.; y Neri, C.J.C. 2018. Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Rev. de investig. Agroproducción sustentable* 2(1):50-56.

Li, M.; Wang, X.; Zhang, J.; Huang, D.; y Ming, L.C.2018. Effects of plug tray immersion time on nitrogen leaching and mini Pakchoi growth under ebb and flow irrigation system. *Horticulture International Journal*.Vol.2(6).325-330.

López, J.E.2018. Hydroponic production of crops. *Idesia, Arica* 36 (2):139-141.

López, J.E.; Garza, O.S.; Huez, L.M.A.; León J.J.; y Rueda, P.E.O.2015. Produccion de pepino (*cucumis sativus* L.) En función de la densidad de Plantación en condiciones de Invernadero. *European Scientific Journal* August 11(24) .1857 – 7881.

López, J.E.; Huez, L.M.; Rueda, P.E.O.; Jiménez, L.J.; Garza, O.S.; Cruz, B.F.; y Rodríguez, J.C.2013.Evaluación de dos sistemas de poda en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero.XVI Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas.1-6.

López, J.; Rodríguez, J.C.; Huez, M.A.; Garza, S.; Jiménez, J.; y Leyva, E.I. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA-Chile*, 29(2):21-27.

Maboko, M.M.; y Phillipus, D.P.C.2017. Yield and Mineral Content of Hydroponically Grown Mini-Cucumber (*Cucumis sativus* L.) as Affected by Reduced Nutrient Concentration and Foliar Fertilizer Application.*HortScience* 52(12): 1728-1733.

Macherla, K.; y McAvoy, R.J.2017. The Effect of Salinity on the Growth and Nutrient Status of Zinnia Grown Under Short- and Long-cycle Subirrigation Management.HortScience.52(5): 770-773.

Manjarrez, W.2008. Application of four types of vermiliquids in the cultivation of cucumber (*Cucumis sativus* L.), in the area of Vices. Vices.ITAV 1:1-5.

Martínez, T.R.; Braatz, E.F.; y Ademar, H.C.2018. Germination of cucumber in aquaponic system. Mostra Nacional de Iniciacao Científica y Tecnológica Interdisciplinar.1-5.

Martínez, D.M.T.; Cruz, A.O.; Rodríguez, P.E.J.; Colinas, L.M.T.; y Góngora, C.M.A.2017. Yield, physicochemical quality, and antioxidant capacity of "beef" and wild tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) as a function of the electrical conductivity of the nutrient solution. Agron.Colomb 35(3).

Méndez, P.A.2016. Evaluación de la producción de pepino (*Cucumis sativus* L) con porcentajes de lixiviado de vermicompost en invernadero. UAAAN-UL.64

Mendoza, P C.; Ramírez, A.C.; Martínez, R.A.; Rubiños, P.J. E.; Trejo, C.; y Vargas, O. A. G. 2018. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. Rev. Mex. Cienc. Agríc.9(2): 355-366.

Montesano, F.F.; Serio, F.; Mininni, C.; Signore, A.; Parente, A.; y Santamaria P.2015. Tensiometer-Based Irrigation Management of Subirrigated Soilless Tomato: Effects of Substrate Matric Potential Control on Crop Performance.Frontiers in Plant Science.1-20.

Montesano, F.F.; Parente, A.; y Santamaria, P.2010. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be use for soilless tomato production in saline conditions. Scientia Horticulturae 124:338-344.

Moreno, D.; Cruz, W.; García, E.; Ibáñez, A.; Barrios, J.; y Barrios, B. 2013. Cambios fisicoquímicos postcosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Rev. Mex. Cienc. Agríc 4(6): 909-920.

Mukherjee, P. K.; Nema, N. K.; Maity N.; y Sarkar, B. K. 2013. Phytochemical and therapeutic potential of cucumber. *Fitoterapia* 84:227-236.

Nwofia, G.E.; Amajuoyi A.N.; y Mbah E.U. 2015. Response of three cucumber varieties (*Cucumis sativus* L.) to planting season and NPK fertilizer rates in lowland humid tropics: sex expression, yield and Inter-relationships between yield and associated traits. *Int. J. Agric* 5(1): 30-37.

Oh, M.M.; Y.Y.; Cho K.S.; Kim P.; y Son.J.E. 2007. Comparisons of water content of growing media and growth of potted kalanchoe among nutrient-flow wick culture and other irrigation systems. *HortTechnology* 17: 62–66.

Ortega, T.A.E.2017. Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino en sustrato de fibra de coco y acrilato de potasio. Universidad Autónoma de Querétaro.1-58.

Ortiz, C.J.; Sánchez C.F.; Mendoza C.M.C.; y Torres, G.A.2009. Desirable Traits For Cucumber Plants Grown Under Greenhouse And Hydroponics At High Plant Densities. *Rev. Fitotec. Mex.* 32 (4): 289-294.

Olalde, G. V. M.; Mastache, L. A. A.; Carreño, R. E.; Martínez, S. J. y Ramírez, L. M. 2014. El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido *Interciencia* 39(10):712-717.

Oliveira, A.P.; Silva J.A.; Oliveira A.N.P.; Silva D.F.; Santos R.R.; y Silva N.V. 2010. “Produção do maxixeiro em função de espaçamentos entre fileiras e entre plantas”. *Horticultura Brasileira*.Vol.28:344-347.

Putra, P. A.; y Yuliando, H.2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*.3.283-288.

Qian, M.; Rosenqvist, E.; Flygare, A.M.; Kalbina, I.; Teng, Y.; Jansen M.A.K y Strid, A.2019. UV-A light induces a robust and dwarfed phenotype in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) without affecting fruit yield. *Scientia Horticulturae* 263: 109-110.

Quintero, J.P.; Falguera, V.; y Muñoz, J.A. 2010. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga* 5:93-118.

Rangel, D.; Siller, J.; Díaz, J.; y Valdés, B. 2011. Effect of storage conditions and waxing on the water status and post-harvest quality of table cucumber. *Rev. Mundo Alimentario* 7:19-27.

Ramírez, G.G.A. 2017. "Sistema de producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L)". UNALM. Lima, Perú. 1-64.

Rouphael, Y.; and Colla G. 2009. The influence of drip irrigation or subirrigation on zucchini squash grown in closed-loop substrate culture with high and low nutrient solution concentrations. *HortScience* 44:306–311.

Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E.; Colla, G. 2008. La influencia del sistema de riego y la solución nutritiva concentración en la producción de geranio en maceta en diversas condiciones de radiación y temperatura. *Sci. Hortico* .345

Ruiz, M.J.; González, I.G.; Flores, H.; Ortiz, C.; Byerly, K.; y Martínez, R. 2013. Requerimientos Agroecológicos del Cultivo del pepino. Sagarpa. 2.

Saaïd, M.F.; Yahya, N.A.M.; Noor, M.Z.H.; y Megat, M.S.A. 2018. A Development of an Automatic Microcontroller System for Deep Water Culture (DWC). *International Colloquium on Signal Processing and its Applications* 9: 8-10.

Saleem, S.M.; Batool, S.T.; Akbar, F.M.; Raza, S.; y Saleem, S. 2019. Efficiency of botanical pesticides against some pests infesting hydroponic cucumber, cultivated under greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 1-7.

Sánchez, C. F.; Moreno, P. E. C.; Pineda, P. J.; Osuna, J. M.; Rodríguez, P. J. E.; y Osuna, E. T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 2(48).185-197.

Sánchez, C.F, González, M. L.; Moreno, P.E.C.; Pineda, P.J.; y Reyes, G.C.E.2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex* 37 (3):261-269.

Santamaria, P.; Campanile, G.; Parente, A.; y Elia, A. 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol* 78 (3): 290-296.

Selvaraj, G.M.; Montoya, P.M.E.; Atanbori, J.; French, P.A.; y Pridmore T.2019. A low-cost aeroponic phenotyping system for storage root development: unravelling the below-ground secrets of cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Methods* 15: 131.

Semananda, N.P.K.; Ward, J.D.; y Myers, B.R.I.2018. A Semi-Systematic Review of Capillary Irrigation: The Benefits, Limitations, and Opportunities. *Journal Horticulturae* 4(23):345-356.

Shivaraj, D.; Lakshminarayana, D.; Prasanth, P.; y Ramesh, T.2018. Studies on the Effect of Pruning on Cucumber cv. Malini Grown Under Protected Conditions. *Int.J. Curr.Microbiol. App.Sci* 7(3): 2019-2023.

Singh, M.C.; Singh, J.P.; Pandey, S.K.; Mahay, D.; y Shrivastva, V.2017. Factors Affecting the Performance of Greenhouse Cucumber Cultivation-A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(10): 2304-2323.

Stanghellini, C.2014. Horticultural production in greenhouses: efficient use of water. *Acta Hort* 1034:25-32.

Steiner, A.A.1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy.324-341.

Steven, G.2019. Chemical contents of hydroponic plants. *International Journal of Chemical & Material Sciences* 2(1): 14-17.

Stewart, W.S.M. 2011. Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: Their detection and management. *Irrig. Sci.*29:267-297.

Solis, M.M.G.2016. Evolution of the quality parameters in fruits of sweet cucumber (*Solanum muricatum* Ait.) During the growth, maturation and post-harvest phases. Universidad politécnica de valencia, España.34

Suslov, T.; y Cantwell M. 2012. Cucumber: Recommendations for maintaining postharvest quality. *Postharvest.ucdavis*.13.

Suslow, T. y Cantwell, M.1997. Cucumber Recommendations and Maintaining Postharvest Quality. Department of Sciences, University of California, Davis.

Suthar, M.R.; Arora, S.K.; Bhatia, A.K.; Singh, V.P.; y Malik, T.P. 2007. Effect of pruning and ethereal Application on flowering behavior of Cucumber (*Cucumis sativus* L) under polyhouse conditions. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*.36:135-138.

Temenaza, P.2014. Incidencia del riego por goteo en el cultivo de pepino (*Cucumis Sativus* L) en santo domingo de los Tsáchilas en sistema hidropónico. Universidad estatal de Quevedo. Ecuador 2:34.

Toshiki, A.2012.Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches.*IntechOpen*.244

Torres, F.2015.Agronomic behavior of the `diamond`à`amanda` and` jaguar hybrid cucumbers in three population densities in the Babahoyo area. Babahoyo: UTB

USDA. 1997. United States Standards for grades of cucumbers. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch.7

Valdiviezo, P.D.J.2015. Efecto de 5 dosis crecientes de solución en el rendimiento de *Cucumis sativus* L. Variedad Marketmore en sustrato hidropónico en Trujillo-la libertad. UNT.79

Van Iersel, M. W. 2015. Modern strategies for irrigation management in protected environments. *Proceedings Book of Abstracts* 1: 127-130.

Van Iersel, M. W.; Chappell, M.; y Lea, C.J.D. 2013. Sensors for improved efficiency of irrigation in greenhouse and nursery production. *HortTechnology* 23:735-746.

Verheul, M.J., R. Slimestad, T.; y Johnsen L.R. 2013. Physicochemical changes and sensory evaluation of slicing cucumbers from different origins. *Europ. J. Hort. Sci* 78(4): 176-183.

Vladimirovna, M.; Yurievna, L.O.; Semenovna, R.E.; Esaulko A.N, y Sosyura, A.E. 2015. Effect of Growth Factors on the Metabolism of Cucumber Crops Grown in a Greenhouse. *Biosciences Biotechnology Research Asia*.12(2): 1397-1404.

Vidhya, R. y Valarmathi, K. 2019. Automatic Monitoring of Hydroponics System Using IoT. *COMET, Notas de conferencia sobre ingeniería de datos y tecnologías de comunicaciones* 35: 641-648.

Wang, L.; Chen, X.; Guo, W.; Yinkun, L.; Yan, H.; y Xue, X. 2017. Yield and Nutritional Quality of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) as Influenced by Hydroponic Nutrient Solutions with Different pH Adjustments. *International journal of agriculture & biology* 19: 635-642.

Wan F.; Ross-Davis, A.L.; Shi W.; Weston, C.; Song, X.; Chang, X.; Davis, A.S.; Liu, Y.; y Teng, F. 2019. Subirrigation Effects on Larch Seedling Growth, Root Morphology, and Media Chemistry. *Journal Forests* 10(1): 38

Westerfield, R. 2014. Pollination of Vegetable Crops. UGA Extension. University of Georgia. Circular 934.

Wu, X.; Chen, G.Y.; Zhang, W.; Liu, X.; y Xu, H. 2017. A Plant-Transpiration-Process-Inspired Strategy for Highly Efficient Solar Evaporation. *Advanced Sustainable Systems* 1(6):34-46.



Xinhua, J.; Thomas, F.S.; Dean, D. S.; y Thomas, M. D.2017. Subirrigation System Performance and Evaluation in the Red River Valley of the North. Applied Engineering in Agriculture 33: 811-818.

Zamora, E.2016. Algunas fisiopatías de frutos, tallos y hojas en cultivos protegidos. Universidad de Sonora. Departamento de agricultura y ganadería. Hermosillo, Sonora, México.15

Zhang, T.; Li, X.; Xiao, G.Y.Y.; Xiangyu, D.Q.F.; y Chen, S.2019. Genetic analysis and QTL mapping of fruit length and diameter in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) recombinant inbred line (RIL) population. Scientia Horticulturae 250: 214-222.

### **Citas Electrónicas**

FAOSTAT. 2018. Cultivos. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>; Consultado 01/02/2020.

FAO.2016. Alimentación y agricultura. En: <http://fao.org/faostat/es/home>; consultado (14/01/2020).

Norma Mexicana-FF-023.1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca (*Cucumis sativus*) especificaciones. Secretaria de comercio y fomento industrial. En: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/1982/nmx-ff-023-1982.pdf>. Consultado (02/02/20).

SIAP. 2015.Márgenes de comercialización del pepino. En: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71326/MargenesComer\\_Pepino\\_Feb2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71326/MargenesComer_Pepino_Feb2015.pdf). Consultado (17/01/20).

SIAP.2016. Servicio de Información Agrolimentaria y Pesquera. SAGARPA. Atlas agrolimentaria pepino.128-129.[http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones-siap/pag/2016/Atlas-Agrolimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones-siap/pag/2016/Atlas-Agrolimentario-2016). Consultado (27/01/20).

Resh, H.M.2013.Hydroponic Food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7th ed. CRC Press Boca Raton FL. En: <https://www.crcpress.com/Hydroponic-Food-ProductionADefinitiveGuidebookfortheAdvancedHome/Resh/p/book/9781439878675>. Consultado (27/12/19).

Rodríguez, A.: y Chang, M. 2017. Curso Práctico de Hidroponía - Centro de Investigación De Hidroponía y Nutrición Mineral. UNALM.16. [http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/cursos/curso\\_practico](http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/cursos/curso_practico). Consultado (18/12/19).