

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Efecto de la solución nutritiva en pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo
sin suelo con recirculación

Por:

MIGUEL ÁNGEL MENDOZA LUGO.

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Efecto de la solución nutritiva en pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo
sin suelo con recirculación

Por.

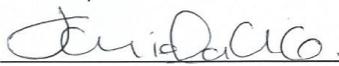
MIGUEL ÁNGEL MENDOZA LUGO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Asesor Principal



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Coasesor



M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2021

AGRADECIMIENTOS.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por brindarme la oportunidad de realizar y concluir mis estudios, por abrirme las puertas durante este tiempo por formarme como persona, agradezco profundamente todo lo aprendido durante este tiempo.

A la **Dr. Daniela Alvarado Camarillo** por darme la oportunidad y confianza de realizar este proyecto de tesis, para concluir con mi formación, por todo el apoyo que me brindo durante el proceso, el tiempo y la dedicación para la revisión del trabajo. Además de todo el conocimiento que me compartió para mi formación profesional.

Al **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** por brindarme el espacio y la confianza para trabajar, por su colaboración, por los conocimientos compartidos y su disponibilidad para la realización del trabajo.

A los amigos que conocí durante este tiempo en la carrera y en los grupos artísticos, a los que continuaron con la carrera y a los que no.

Al Departamento de Suelos y los maestros que me impartieron clase, a todos los maestros de los demás departamentos que me dieron la oportunidad de aprender y completar mi formación.

DEDICATORIA

A mi familia

A mi madre por todo el apoyo incondicional a lo largo de este largo camino y siempre creer en mí, por todos los sacrificios que hizo para que yo estuviera aquí, por darme el ejemplo de la fortaleza y las ganas de salir adelante, este logro es gracias a ella y para ella.

A mi padre por acompañarme y ofrecerme su apoyo en todo este tiempo y que a pesar de la situación sé que estará ahí para mí. Por inculcarme las ganas de salir adelante.

A mi hermana Guadalupe por cuidar de mí y apoyarme siempre. A mis hermanos Octavio, José Antonio, a mi hermano Edgar y su esposa Yessenia, que a pesar de la distancia siempre me han apoyado en todo. Por siempre haber sido un ejemplo para mí y confiar en mí.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	VI
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Hipótesis	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
El cultivo d el pepino.....	6
Generalidades del cultivo	6
Descripción morfológica	7
Manejo del cultivo.....	9
Propagación y trasplante.....	9
Densidad	9
Tutoreo	10
Podas	10
Cosecha y postcosecha.....	12
Antecedentes.....	13
Eficiencia en el uso de agua y fertilizantes y agricultura protegida.....	14
Producción de cultivo de pepino bajo invernadero	16
Cultivo sin suelo	17
Uso de agua y fertilizantes en la solución nutritiva en cultivo sin suelo	19
Sistema de riego por goteo.....	20
Subirrigación.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
Sitio experimental	25
Preparación del espacio y del sustrato, siembra y trasplante.....	25
Descripción y manejo del sistema de riego	27
Diseño de las soluciones nutritivas.....	28
Variables respuesta	29

Diseño experimental	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
Rendimiento por ventanas de producción.	31
Número de frutos en las ventanas de producción	33
Peso seco de planta	34
Diámetro ecuatorial de fruto	35
Índice inferior de fruto	37
CE y pH del sustrato nivel medio y alto	39
V. CONCLUSIONES	42
VI. LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y riego por goteo en ventanas de producción	28
Cuadro 2. Evaluación de variables agronómicas obtenidas, durante el experimento del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo, con diferentes concentraciones de la solución nutritiva a diferentes ventanas de producción	29
Cuadro 3. Rendimiento total (ton ha ⁻¹) de fruto en cada tratamiento en la primera ventana (V1) del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	32
Cuadro 4. Rendimiento total (ton ha ⁻¹) de fruto en cada tratamiento en la segunda ventana (V2), de cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	32
Cuadro 5. Número de frutos en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	34
Cuadro 6. Peso seco total de planta en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	35
Cuadro 7. Diámetro ecuatorial de fruto en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	36
Cuadro 8. Diámetro inferior de fruto en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.	37
Cuadro 9. Índice inferior de frutos de dos ventanas (V1 y V2) de producción en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferentes concentraciones de la solución nutritiva.	38
Cuadro 10. Conductividad eléctrica (CE) (microS/m) y pH del estrato medio y alto del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.	40

Cuadro 11. Largo del fruto (cm) en dos ventanas de producción (V1 y V2) del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva. 41

RESUMEN

La subirrigación también conocida como riego por infiltración; es una técnica que aporta agua y nutrientes en la zona de la raíz de la planta desde el fondo de los contenedores y se absorbe hacia arriba por acción capilar. Por lo que el exceso de solución puede ser recolectado para ser reutilizado. Las ventajas que se genera al usar un sistema de subirrigación son la conservación de agua y nutrientes. Es recomendable el uso de este tipo de sistema para los cultivos para evitar problemas de acumulación de sales en la parte superior del medio de cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar los aspectos relacionados en la producción de pepino bajo un sistema de subirrigación en cultivo sin suelo, utilizando distintas concentraciones de la solución nutritiva en diferentes etapas de fructificación (ventanas), ventana 1 y 2 (V1), (V2). Se trabajó con 5 tratamientos, teniendo un testigo con un riego por goteo con el 100% de la solución nutritiva de Steiner. Para los demás tratamientos se aplicaron concentraciones de 125%, 100%, 75%, 50% de solución nutritiva modificada de Steiner en diferentes etapas de fructificación (ventanas), durante todo el ciclo de cultivo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento y dos plantas por repetición.

En la V1 se obtuvieron rendimientos similares al testigo, en la V2 disminuyeron significativamente para los tratamientos T2 y T3, en donde las variables de calidad de fruto no se vieron afectadas al disminuir la concentración de la solución nutritiva.

El número de frutos fue similar en todos los tratamientos y el testigo; la cantidad de biomasa tampoco se vio afectada por los diferentes tratamientos. Se concluye que en el pepino es posible reducir la concentración de la solución nutritiva a un 75% en la V2 de producción sin que se presente efectos negativos en la producción de fruto.

Palabras clave: subirrigación, pepino, eficiencia de uso de agua y fertilizantes, cultivo sin suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta originaria de las regiones tropicales del sur de Asia. Con los movimientos humanos se extendió poco a poco por el mundo. Es una planta herbácea que pertenece a la familia de Cucurbitáceas. El cultivo de pepino tiene un alto índice de consumo tanto en fresco como industrializado (Casaca, 2005). El pepino es uno de los rubros hortícolas identificados para estudiar su problemática productiva para obtener producciones de alta calidad y rentables (Zamora 2003). El cultivo de pepino juega un papel importante en la economía de México, debido a la gran demanda que tiene el mercado, tanto por la superficie cultivada como por la producción obtenida generando un aporte económico y empleos. (Claridades agropecuarias, 1998).

En México a finales de los años noventa se intensificó la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero; la cubierta más utilizada para la agricultura protegida en México es de 47% con plástico, 50 % malla sombra, 2% vidrio y 1% de otro tipo de material; el cultivo de pepino ocupa el 10 % de la superficie ocupada para agricultura protegida en México (Destenave, 2007).

La implementación de la producción bajo condiciones controladas reduce el riesgo en la producción e incrementa la rentabilidad; disminuye la contaminación y los daños al medio ambiente (Grijalva y Robles, 2003).

La agricultura intensiva pretende producir el máximo en un espacio reducido. Un ejemplo de este tipo de producción es el cultivo bajo invernadero, el cual busca obtener el más alto rendimiento a través de técnicas de climatización y técnicas culturales mejorando la eficiencia del uso de agua, nutrientes y espacio (Antón, 2004).

En materia alimentaria, podemos tener buenas ideas y proponer políticas bien intencionadas para producir granos, forrajes y hortalizas; sin embargo, si no consideramos el factor agua, no podemos producir, por qué este curso constituye el elemento principal para el desarrollo de la agricultura (Lugo, 2008).

La producción en sistemas cerrados promueve mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes. Permiten un control del crecimiento y desarrollo de las plantas ayudando a obtener altos rendimientos. El manejo de sistemas cerrados bajo la

modalidad de cultivo sin suelos, ofrece excelentes perspectivas en la limitación del problema de pérdida de agua y nutrientes además de ofrecer una producción más amigable con el medio ambiente. (Van Lersel, 1999, Rouphael y Colla, 2005). Los sistemas hidropónicos, es decir el cultivo sin suelo, está siendo utilizado cada vez más al ofrecer una mejora en la producción y calidad de cultivos (Van Os et al., 2001). Un riego frecuente y fertilización puede causar contaminación del suelo y de otros recursos hídricos si no se hace uso de un programa de nutrición balanceado (Van Os et al., 1999).

La recirculación de la solución nutritiva, puede ser una alternativa a estos problemas relacionados con un mal aprovechamiento del agua o contaminación por sales fertilizantes. Se han implementado diferentes tipos de sistemas cerrados para cultivos sin suelo. Algunos de estos sistemas son el riego superficial (goteo) y el sistema de subirrigación (Reed, 1996). Sin embargo, los sistemas de subirrigación presentan mayores ventajas; por ejemplo, una reducción de los costos laborales (Hanan 1998) así como la reducción en la incidencia de patógenos (Wohanka, 2000).

Por otro lado, en un sistema de riego por goteo, los nutrientes que no son absorbidos por la planta no se acumulan en la solución nutritiva, sino en el sustrato, principalmente en la parte superior, donde las raíces están menos presentes (Reed, 1996; Santamaria et al., 2003). Esta acumulación de sales en la parte superior es el mayor inconveniente de este tipo de sistema; existen algunas investigaciones que sugieren reducir la concentración de la solución nutritiva hasta un 75%; otros estudios demostraron lograr reducir la concentración hasta 50% sin tener efectos perjudiciales sobre el crecimiento y calidad (Zheng et al., 2004; Rouphael et al., 2008).

El sistema de subirrigación además de las ventajas mencionadas anteriormente en cuanto a la solución nutritiva, permite que el agua se mueva desde un depósito en donde se almacena a una bandeja de aplicación dentro de la cual se encuentran contenedores, manteniendo la solución nutritiva por un tiempo determinado para permitir que se mueva a través del medio de cultivo por acción capilar (Bouchaaba et al., 2015). Después de completar el riego, el restante de

solución nutritiva que no fue absorbida se regresa al tanque de almacenamiento para su reutilización en riegos posteriores (Van Os, 1999; Incrocci et al., 2006; Pinto et al., 2008), para la reutilización es necesario ajustes periódicos al volumen del agua, pH, y la concentración de nutrientes, valorando estos últimos por medio de la CE (conductividad eléctrica) (Cox, 2001; Incrocci et al., 2006). Por lo que un menor requerimiento de nutrientes, agua y un riego uniforme, así como una menor compactación del sustrato y por lo tanto una mejor productividad nos lleva a la reducción en costos de producción y disminución al impacto a los ecosistemas cercanos, son algunas de las ventajas que obtenemos al usar un sistema de subirrigación (Santamaria et al., 2003; Roupael y Colla, 2005). En diversos trabajos de investigación se ha concluido que un sistema de subirrigación presenta diversas desventajas para cultivos ornamentales en invernadero, sin embargo, en la producción de hortalizas se ha prestado menos atención en la aplicación de esta técnica (Martinetti et al., 2008). Por esta razón la aplicación de esta técnica para la producción de hortalizas en invernadero son un amplio campo de estudio e investigación ya que presentan un ciclo cultural largo, alta demanda de agua y nutrientes. (Santamaria et al., 2003; Roupael y Colla, 2005). Con este trabajo de investigación se pretende encontrar una concentración óptima de la solución nutritiva para las diferentes etapas del desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación bajo producción en invernadero en cultivo sin suelo.

Objetivo General

Evaluar el comportamiento en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) utilizando distintas concentraciones en la solución nutritiva por etapa de producción (ventanas) de fructificación del cultivo, en un sistema de subirrigación.

Objetivos Específicos

- La disminución de la concentración en la solución nutritiva en un sistema de subirrigación permite obtener rendimientos similares a otros sistemas de riego y sin afectar los parámetros de calidad.
- Determinar el efecto en crecimiento y rendimiento de plantas de pepino en un sistema de subirrigación.

Hipótesis

La producción, crecimiento y calidad del pepino en subirrigación será afectado por la concentración de la solución nutritiva y estará en función de la etapa de fructificación del cultivo con una lámina de riego baja.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo d el pepino

Generalidades del cultivo

El pepino pertenece a la familia de las Cucurbitaceae y su nombre científico es *Cucumis sativus* L. (Zamora, 2003). Es una planta anual de tallo herbáceo con un sistema radicular fasciculado y superficial (Manjarrez, 2008). La planta se caracteriza por presentar tallos trepadores muy ramificados en la base con cuatro ángulos marcados y zarcillos sencillos. Las hojas tienen una forma palmeada, son largamente pecioladas, fuertemente cordadas en la base, con el ápice acuminado, en cuyo limbo aparecen de 3 a 5 lóbulos angulados, triangulares y de borde dentado, presentes también vellosidades blancas (Maroto, 1989).

Las flores son unisexuales y de color amarillento (Valdez, 1994), las flores amarillas se desarrollan en las axilas y con zarcillos (Manjarrez, 2008). Las flores femeninas son solitarias, mientras que las masculinas nacen en un grupo. (Valdez, 1994. 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).

Los frutos son de tamaño y forma variables (oblongos, cilíndricos o globulosos), pudiendo alcanzar unas grandes longitudes por fruto, de coloración verde claro a obscuro, mesocarpo carnoso de color blanco a verdoso en un estado inmaduro (Krístkova et al., 2003). Con relativa frecuencia los frutos jóvenes muestran a lo largo de su superficie espinas o verrugas. Estas características se presentan en algunas variedades, mientras que en otras no. Las semillas son alargadas, ovales, aplanadas (Valdez, 1994).

Es una planta C3, exigente de luminosidad ya que la intensidad alta de luz estimula la fecundación de flores, la temperatura óptima de desarrollo oscila entre 18°C y 25°C, con una mala resistencia a heladas (Ruiz et al., 2013). La humedad Relativa óptima para el pepino va de 60% al 70% durante el día y de 70% a 90% durante la noche, una humedad Relativa alta, favorece el desarrollo de enfermedades fungosas (Torres, 2015).

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).

Descripción morfológica

1. Sistema radicular

Consiste en una raíz principal de 1.0 a 1.2 mm de largo ramificando de en todas las direcciones, principalmente ente en los primeros 25 a 30 cm del suelo. (Zamora, 2003). Esta hortaliza posee un sistema radicular muy compacto con la cual aumenta sus requerimientos de humedad en comparación con las demás cucurbitáceas (Valdez, 1998).

2. Tallo principal

Es una guía con zarcillos, con un eje principal que da origen a varias ramas laterales, principalmente en la base principalmente entre los primeros 20 y 30 cm. Pueden alcanzar hasta 3.5 m de longitud en condiciones normales. (Zamora, 2003). De cada nudo parte una hoja y un zarcillo; en la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores; (Bolaños, 1998), los zarcillos ayudan a la planta a sujetarse a la superficie (Zamora, 2003).

3. Flor

Las flores son de pedúnculo corto y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales (Gálvez, 2004).

Se considera monoica al tener flores de ambos sexos. Las flores masculinas tienen un cáliz acorazonado con 5 dientes en forma de oreja, corola adherida al cáliz, en forma de campana, venosa, arrugada y con 5 divisiones. Las flores femeninas tienen corola y el cáliz igual que las masculinas, 3 filamentos estériles, un estilo y 3 estigmas bifidos.

4. Hojas

Las hojas son acorazonadas, alternas, de cutícula que no resisten evaporación excesiva (Hidrovo y Vélez, 2016). Tienen tres lóbulos más o menos pronunciados, el central más acentuado (Casaca, 2005).

5. Fruto

Es considerado como una baya falsa (pepónide), alargado cilindro y su tamaño depende del cultivo y variedad (Zamora, 2003). Su cubierta puede ser lisa o áspera, dependiendo igualmente de la variedad, que cambia de color verde claro a verde oscuro y hasta un color amarillento cuando está totalmente maduro. Sin embargo, su recolección o cosecha se realiza antes de su madurez fisiológica (Casaca, 2005). El punto óptimo de cosecha es en su estadio juvenil que con el tiempo se caen, también presentan espinas falsas de color blanco o negro, cerosas (Zamora, 2003). La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto (Casaca, 2005).

6. Semilla

La semilla es plana de color blanca y mide de 8 a 10 mm de largo y con un grosor de 3.5 mm, dependiendo de la variedad con la que se esté trabajando (Valdez, 1998). Tiene un periodo de germinación de 3 a 4 días en condiciones favorables (Zamora, 2003).

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). El ciclo del pepino es corto y varía de una localidad a otra dependiendo de las condiciones edafoclimáticas del cultivar y del manejo que reciba (Zamora, 2003).

Propagación y trasplante

Su propagación comercial es sexual por semilla, se utiliza generalmente semilleros desinfectados, las semillas se colocan a 1 cm de profundidad (Torres, 2015). El método más común de Propagación es por plántulas, este es el primer paso del ciclo productivo (Vavrina et al., 2020).

Una buena plántula para trasplante debe ser vigorosa, libre de patógenos y con un buen desarrollo radicular. Una vez trasplantada, debe tolerar los cambios ambientales y de manejo para lograr un óptimo desarrollo (Vavrina, 2020). Se recomienda utilizar plántulas compactas, utilizar plantas compactas aumenta su supervivencia en la adaptación al trasplante (Qian et al., 2019).

Densidad

Una densidad óptima de plantación puede maximizar la producción en muchos cultivos, usualmente se utiliza un espaciamiento es de 1.5 a 2.0 metros entre hileras y 0.2 a 0.3 metros entre plantas (Oliveira et al., 2010). El distanciamiento entre plantas en el cultivo de pepino varía de acuerdo al sistema de siembra utilizado; textura del suelo, sistema de riego, ambiente, prácticas culturales. Un estudio relacionado a la densidad de plantas y número de tallos para pepino, se recomienda una densidad de 1.68 a 2.22 plantas/m², esta variable está relacionada con la productividad de hortalizas en invernadero (Ayala et al., 2019). La densidad de la población dependerá de los distanciamientos utilizados (Zamora, 2003).

Tutoreo

El tutoreo de las plantas en invernadero, se realiza con la finalidad de mejorar el aprovechamiento de la luz y una mayor ventilación, promueve menor incidencia de plagas y enfermedades, facilita la cosecha y permite el uso de una mayor densidad de población (Olalde et al., 2014). Esta técnica permite mantener la planta erguida, facilita la realización de las labores culturales, esto repercute en la producción final y calidad del cultivo (Infoagro, 2011). Generalmente el apoyo de las plantas se hace con hilo de polipropileno, fijando la planta a la parte basal anudando o con anillos, con un tutor de alambre horizontal a una altura mayor de la planta (Grijalva et al., 2013). Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor hasta que la planta alcanza el alambre (Infoagro, 2011).

La planta de pepino es una guía que puede extender su follaje libremente, puede trepar con ayuda de los zarcillos. El tutoreo permite conducir las plantas de acuerdo a su hábito trepador y de crecimiento indeterminado. El costo para implementar el costo del sistema de tutoreo se compensa con la cantidad y calidad del producto al obtener mayores ingresos (Zamora, 2017).

Podas

Las podas pretenden mantener las plantas con la vegetación suficiente en sus justos límites, a fin de conseguir precocidad y calidad y obtener una mayor producción. También se pretende con la poda conformar la planta limitando el número de ramas y brotaciones para facilitar las labores culturales, además de favorecer la aireación e iluminación (Mármol, 1996).

La Poda de formación, se dirige principalmente a conformar la planta de acuerdo con el número de brazos con los que se desea trabajar. Hay que procurar distribuir regularmente la savia para que todos los órganos vegetativos la reciban. La poda del pepino se basa en formar la planta a fin de obtener la mayor producción en el tallo principal y anticipar la formación de tallos laterales o de segundo orden (Mármol, 1996).

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, consiste en la eliminación de los brotes laterales, hojas y frutos desarrollados por debajo de los 40-50 cm del tallo principal, posteriormente solo se eliminan 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 caer en los extremos superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (Hochmuth, 2001).

La poda de hojas es una práctica habitual, se realiza para 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 (Elad y Shtienberg 1995). No es recomendable suprimir las hojas estando verdes y funcionales, realizándola únicamente con el objetivo de favorecer el desarrollo de frutos. Cuando las hojas amarillean y se marchitan es aconsejable eliminarlas (Mármol, 1996). Las heridas de la poda también pueden ser una vía de propagación de enfermedades si no se realiza cuidadosamente, evitando dejar trozos de peciolo en el tallo (Deconet et al., 2010).

La eliminación de frutos se recomienda realizarla hasta los primeros 45 cm de la planta, esto promueve un mayor desarrollo en el crecimiento vegetativo, 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). Es conveniente suprimir todas las flores y frutos afectados por daños de plagas y enfermedades, los que aparecen curvados, maduros, abortados o los que sean de interés para beneficiar los frutos que crezcan en el mismo nudo (Mármol, 1996).

Cosecha y postcosecha

Los pepinos se cosechan en diversos estados de desarrollo, cortando el fruto en lugar de arrancarlo. Generalmente se cosechan en un estado ligeramente inmaduro, próximos a su tamaño final pero antes de que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan (Casaca, 2005). Es un cultivo de crecimiento rápido, su etapa fenológica de fructificación que llega de 45 a 58 días, dependiendo de la variedad con la que se está trabajando (Acevedo et al., 2012). Se requiere un manejo cuidadoso durante la cosecha (cortes) para evitar daños mecánicos, el cual puede causar pérdida de agua y desarrollo de enfermedades durante el almacenamiento, hay que transportarlos a un área de empacado lo más pronto posible y protegerlos de la exposición directa a la luz solar, viento y lluvia (Zamora 2017).

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). El fruto de pepino de buena calidad, tiene una uniformidad en la forma, firmeza, color, ausencia de malformaciones en su crecimiento y tamaño (Suslov y Cantwell, 2012). Los indicadores en los frutos para cosecha son; madurez fisiológica, forma apropiada, libre de enfermedades y libre de daños.

El pepino es un producto que se puede almacenar satisfactoriamente en periodos relativamente cortos, puesto que fácilmente pierde calidad (Zamora, 2017). Se cosecha durante su madurez comercial, hay cambios de postcosecha a nivel morfológico y metabólico que se ve reflejado en la apariencia del fruto, que puede disminuir hasta llegar al consumidor final (Moreno et al., 2013). La temperatura de almacenamiento más favorable es de 10°C a 12 °C, se puede almacenar a 8 °C pero por un período corto de tiempo para evitar daños por frío. Las manifestaciones de daño por frío son áreas translúcidas y de apariencia acuosa, picado y pudrición acelerada (Zamora, 2017). Los pepinos son muy susceptibles a arrugarse, por lo que la humedad en el almacén debe ser mantenida alta. Los pepinos para el mercado en fresco son usualmente cerrados para reducir pérdidas de humedad (SEP, 1997). Los pepinos plastificados, en un ambiente de

humedad y temperatura normales, pueden conservarse en perfectas condiciones de 15 a 20 días sin necesidad de colocarlos en cámara frigorífica (Valdez, 1998). La selección del fruto se realiza bajo criterios de color, tamaño, forma, grado de madurez y frutos libres de daños tanto mecánicos como físicos causados por plagas, enfermedades o golpes (Rangel et al., 2011). Durante la postcosecha se pueden presentar ataques fúngicos, marchitamiento y pérdida de turgencia en el fruto (Rangel et al., 2011). Para minimizar y evitar estos problemas, se ha desarrollado el uso de hidrocoloides, plastificantes y aditivos que controlan el crecimiento microbiano (Quintero et al., 2010). Los pepinos después de ser cosechados son seleccionados de acuerdo a normas de calidad. Hay una gran variedad de sistemas de embalaje con la finalidad de alargar la vida de anaquel del fruto (Zamora, 2017).

Antecedentes

El pepino es un cultivo que ha sido parte de la alimentación humana desde hace 3,000 años; se considera un cultivo originario de la India siendo domesticado en las zonas tropicales de Asia y de ahí se fue introduciendo a Europa para posteriormente ser llevado a América (Wehner y Maynard 2003); Es una planta que cuenta con características adecuadas para ser cultivado en campo abierto o en un sistema de agricultura protegida ya que posee características que le permite adaptarse a diversas condiciones (Rodríguez, 2013).

El cultivo se fue introduciendo en Europa con ayuda de los romanos en lugares como Francia, Inglaterra y Norteamérica entre el siglo IX y XVI; La planta fue introducida al continente americano con los viajes de colonización de Cristóbal Colón trayendo consigo las semillas, a partir de trabajos de investigación apareció el primer híbrido en 1872 (Gálvez, 2004).

En México el cultivo de pepino es altamente rentable, su importante incremento debe a las exportaciones que ocupan el segundo lugar en importancia en hortalizas exportadas superado únicamente por el tomate. Según datos del departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) México es el principal

exportador a Estados Unidos en diversas frutas y hortalizas, en dónde el pepino tiene un 83 % de participación en el mercado (ASERCA, 2015).

De acuerdo con la FAO, en 2018 se produjeron en el mundo 75,219,440.0 ton, en la categoría de Pepinos y Pepinillos, concentrándose la mayor producción en China aportando 56,240,428.0 ton, lo que representa el 74.7% del total mundial, figurando luego países como Irán, Turquía y Rusia, mientras que México se posiciona en el sexto lugar, produciendo 1,072,048.0 ton

En México el consumo anual per cápita es de 2.4 kg; el constante aumento en la producción y la demanda por parte del mercado de esta verdura se debe a la aportación que tiene la producción bajo invernadero, puesto que es un cultivo que tiene factibilidad para ser reproducido bajo un ambiente controlado. Del total de lo producido el 72.3% se destina a la exportación, siendo el principal comprador Estados Unidos, ya que es el que adquiere el mayor volumen; también figuran países como Canadá, Reino Unido, Costa Rica y Cuba. (SIAP, 2018)

En promedio se siembran poco más de 17,000 ha cada año, observándose un constante aumento en el rendimiento obtenido, la mayor aportación es encabezada por Sinaloa y Sonora, que obtienen en conjunto el 57.2%, con 358,681.1 y 253,842.9 ton, respectivamente; Michoacán, Guanajuato y Baja California también destacan por su producción, distribuyéndose el resto en las otras veinticinco entidades productoras de esta hortaliza. (SIAP, 2018)

Eficiencia en el uso de agua y fertilizantes y agricultura protegida

La agricultura bajo invernadero surge por los factores limitantes para la producción; el clima además las condiciones ambientales. En la actualidad el uso de esta agrotécnica está disponible para la mayoría de los esquemas productivos (Pacheco, 2006). La producción de cultivos en invernadero genera una ventaja sobre los cultivos a cielo abierto al aislar el cultivo de las condiciones ambientales externas creando un microclima interno facilitando el control de plagas, enfermedades y aspectos como temperatura, humedad, etc. En México el uso de

invernaderos para la producción de hortalizas ha aumentado rápidamente, de 721 Ha en 1999 a 3200 Ha en 2005 (Ocaña-Romo, 2008).

En México las hectáreas protegidas han crecido a una tasa mediana de crecimiento anual de 34 %, existiendo diferentes versiones. De acuerdo con la información obtenida en el II Simposio Internacional de Invernaderos 2008, de 8,834 Ha con agricultura protegida (AP), 49 % eran de invernaderos rectificadas y de mediana tecnificación y el 51% de malla sombra. Los invernaderos son diseñados y tecnificados para las necesidades de cada cultivo para controlar la temperatura, los niveles de nutrición, agua y aire para las plantas (Hernández, 2017).

La "eficiencia en el uso del agua (EUA)" o "productividad del agua (PA)" es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada (Fernández y Camacho, 2005).

Dibb (2000) y Lora (1984) mencionan que la eficiencia de la fertilización y la viabilidad económica son parte del sistema total de producción y que cada uno de ellos tiene factores que necesitan ser optimizados para lograr la meta de producción propuesta. Optimizar la eficiencia de uso de los nutrientes conlleva la aplicación correcta de fertilizantes, esto es: dosis correcta, fuente correcta, en el momento correcto y en la ubicación correcta (Ciampitti y Garcia, 2008). Estos cuatro factores interactúan entre sí, con las condiciones edafoclimáticas y las prácticas de cultivo (Buresh y Witt 2007).

Cuando la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero, al sistema hidropónico se le conoce como abierto; por el contrario, si se recoge para volverse a usar en el cultivo, previa esterilización y ajuste de pH, CE y concentración de nutrientes, se le llama sistema cerrado (Alarcón, 2006; Sánchez y Moreno, 2017).

El mejoramiento de la eficiencia de uso de los nutrimentos es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Se debe considerar que un incremento de la eficiencia de fertilización favorece la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción, pues disminuye el impacto de los fertilizantes sobre los medios a los que no va dirigido (Ciampitti y García 2008).

Producción de cultivo de pepino bajo invernadero

En 2014 en México se sembraron 1008 Ha de pepino en invernadero, con rendimiento de 1100 y/ha¹ como media de producción (SIAP, 2015). La producción de pepino en invernadero en el Noreste de México ha Sido un éxito, al obtenerse buenos rendimientos con una sola duración del ciclo, fondo oportunidad a realizar dos siembras al año (Hernández, 2006). Bajo condiciones de invernadero, la producción de pepino es de 2 a 9 veces más que en campo abierto dependiendo del nivel tecnológico y el manejo (SIAP, 2015), obteniendo rendimientos de entre 14 a 16 kg/m² durante el invierno (Grijalva et al, 2013). Actualmente, un gran número de sustratos son utilizados en cultivos de pepino bajo invernadero con el objetivo de dar a la plantas una reserva adecuada de nutrientes; por ejemplo mezclas de turba con perlita o vermiculita o inclusive individualmente cómo fibra de coco (Zamora, 2017).

Normalmente la producción de pepino bajo invernadero se practica en el norte de México en sustratos mejorados en un ciclo de 6 a 7 meses (Ortiz et al., 2009). Gracias a la agricultura protegida se produce pepino durante todo el año en México con una producción mayor en invierno (SIAP, 2016). La producción de forma protegida genera un menor impacto ambiental, mayor rendimiento y menor aporte de energía en comparación con la producción a campo abierto (Javad et al., 2019). Los espacios de producción en su gran mayoría son invernaderos hidropónicos de bajo costo para el suministro de agua y nutrientes, en los fieles el agua de drenaje es rica en nutrientes, la cual es liberada al medio ambiente local causando problemas de contaminación (Grewal et al., 2011).

Generalmente los cultivos de pepino utilizados son pantenocarpicos y de crecimiento indeterminado (Hochmuth, 2015). Existen muchas variedades de pepino producido bajo invernadero, de los que destaca el pepino americano y Pickle (Kovatch, 2003). 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).

Cultivo sin suelo

Cultivo hidropónico en su concepción más amplia, engloba a todo sistema de cultivo en el que las plantas completan su ciclo vegetativo sin emplear suelo, suministrando la nutrición mediante una solución (Jensen, 2001).

El concepto de hidroponía normalmente es asociado a sistemas basados en agua por el origen de la palabra, sin embargo, al aislar el suelo como medio de sostén se adopta el cultivo sin suelo aplicando una técnica hidropónica conocida como subirrigación. Independientemente del medio de producción que se use, la finalidad de estas técnicas es conseguir un cultivo de calidad con altos rendimientos y en un período más corto. Durante años la hidroponía se ha usado para investigación en el campo de nutrición de cultivos. Hoy en día es el método más intensivo de producción; generalmente es de alta tecnología y de gran capital y es aplicada con fines comerciales en países desarrollados (Chávez et al., 2006). Los cultivos sin suelo o cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la agricultura tradicional, eliminando o disminuyendo factores que afectan el crecimiento causados por el suelo al sustituirlo por otros soportes. Con esta técnica se obtiene hortalizas de excelente calidad asegurando un uso más eficiente de agua y fertilizantes (Rodríguez, 2013).

Dependiendo del medio utilizado los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: 1) cultivos en agua (con solución nutritiva), 2) cultivos en aire (aeropónicos), 3) cultivos en sustrato con solución nutritiva (Intagri, 2017). Los sistemas hidropónicos en sustrato se dividen en dos grandes grupos 1)

cerrados y 2) abiertos. Los cerrados son aquellos en el que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continúa los nutrientes que la planta va consumiendo, y los abiertos o a solución perdida, en la que la solución nutritiva se desecha (Mosse, 2004; Alarcón, 2005).

El uso de sistemas hidropónicos optimiza el uso del espacio de trabajo, consumo de agua, fertilizantes, reduciendo el uso de pesticidas además de maximizar la producción y la calidad (Beltrano, 2015). La gran variedad de sistemas que permiten cultivar plantas utilizando o no sustrato inerte como medio de crecimiento de las raíces irrigadas con solución nutritiva, sin embargo, esto implica altos costos iniciales y conocimiento sobre el manejo de estos (Kotsiras et al., 2016). Cada uno de los sistemas tiene diferentes condiciones de manejo, dependiendo de la exposición a la solución de nutrientes y la oxigenación del cultivo, dependiendo de los recursos con los que se cuenta se hace la elección del sistema y la tecnificación (Echeverri, 2016).

Una de las técnicas en el cultivo sin suelo es la de subirrigación, esta técnica hidropónica consiste en suministrar una solución nutritiva directamente en las raíces, sumergiendo la raíz de la planta en agua con nutrientes disueltos y oxígeno, este sistema utiliza una cantidad de fertilizantes menor en comparación con otros sistemas hidropónicos, en esta técnica y al igual que en las demás se debe monitorear el pH y en especial en este el nivel del agua (Saaid et al., 2018). El interés por los sistemas hidropónicos se debe a los altos rendimientos y calidad que se puede obtener (1000% más que el cultivo en el suelo) (González, 2006). Estos altos rendimientos y alta calidad generan un aumento en el valor de la cosecha. Las técnicas hidropónicas son estrategias para la obtención de seguridad alimentaria (Solórzano, 2000). El uso de técnicas hidropónicas como sistemas de producción de hortalizas en invernadero, genera altos grados de eficiencia en el uso de agua, por la poca extensión a la que se le debe aplicar riego ya que las raíces no necesitan crecer en exceso para buscar nutrientes, al aplicar las cantidades necesarias que ocupan las raíces (Espinoza, 2004).

Uso de agua y fertilizantes en la solución nutritiva en cultivo sin suelo

El invernadero es una estructura de apoyo en la producción agrícola como parte de un sistema productivo para incrementar la eficiencia en el uso del agua y rendimiento, que impulsan el desarrollo de la agricultura como parte de técnicas aplicadas en la agricultura tecnificada. (Pacheco, 2006.)

Es posible alcanzar una alta eficiencia en el uso del agua en invernaderos a través del control óptimo de parámetros ambientales dentro del mismo, así como por las prácticas culturales; ambos factores generan altos rendimientos y menor uso del agua (Salazar-Moreno et al., 2014)

En cultivo sin suelo, los elementos son aportados exclusivamente a través de fertilizantes disueltos en agua. Por esta razón la formulación y el control de la solución que constituye una de las bases para un éxito en un cultivo hidropónico. (Carrasco; Izquierdo., 1996). Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere una solución nutritiva con características que influyen en el desarrollo de los cultivos (Lara, 2000). Las concentraciones son expresadas generalmente, en partes por millón (ppm), miligramos por litro (kg/l), o gramos por mil litros (g/1000l) (Carrasco y Izquierdo, 1996).

Una solución nutritiva es una solución acuosa con iones inorgánicos de elementos esenciales como N, P, K, S, Ca, y Mg. Que se complementan con micronutrientes (Steiner, 1968). El funcionamiento de la solución se basa en reacciones que producen la formación de complejos y precipitación que provoca que estén disponibles para las raíces de las plantas (De-Rijck y Schrevens, 1998).

La relación mutua entre cationes y aniones; el concepto de relación mutua entre iones se basa en que la solución nutritiva debe estar balanceada en sus macronutrientes: NO_3^- , H_2PO_4^- , y SO_4^{2-} , para el caso de los aniones y para los cationes son K^+ , Ca^{++} y K_g^{++} . El balance no solo consiste en la cantidad absoluto de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por otra parte (Lara, 2000).

La relación entre los diferentes nutrientes de la solución nutritiva, incide en la productividad de los cultivos debido a que la absorción de nutrientes efectuada por las raíces de las plantas es selectiva, y depende de factores climáticos, así como de la etapa de crecimiento (Papadopulus, 2004). Al irrigar las plantas con bajas concentraciones de solución nutritiva puede haber una reducción en el rendimiento de las plantas y a mayores concentraciones se puede producir algunos desbalances nutricionales (Chávez et al, 2006).

Un buen manejo de la solución nutritiva permite aprovechar al máximo, para obtener un mayor rendimiento de los cultivos y una mayor calidad de los frutos. Por lo que es indispensable conocer los aspectos fundamentales para la preparación de una solución nutritiva; el pH, la concentración iónica, la conductividad eléctrica etc. En los sistemas cerrados es necesario dar seguimiento a la concentración de los nutrimentos y renovar o cambiar la solución, debido a que esta no puede renovarse indefinidamente por la acumulación de sales y acumulación de compuestos orgánicos, lo que puede causar presencia de patógenos (Chávez et al., 2006).

Sistema de riego por goteo

Es un sistema relativamente moderno que surgió alrededor de 1930. Este sistema o técnica de riego forma parte del denominado riego localizado ya que localiza en un punto o zona en concreto. El riego por goteo es un sistema que permite distribuir el agua por conductos cerrados. Desde el punto de vista agronómico, se denomina riego localizado por qué humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo (Liotta, 2015). Este sistema incorpora nutrientes disueltos en agua a un sustrato colocado en un contenedor, en el que se desarrollan las raíces (Gómez et al., 2018). En general se diseña de tal manera que las unidades de riego que constituyen una operación estén ubicadas en sectores separados, a fin de equilibrar presiones para emplear un menor diámetro de tuberías (Liotta, 2015).

Subirrigación

El sistema de subirrigación surgió con el trabajo de E.C Green y W.S. Turner, al intentar prevenir la podredumbre en la lechuga, colocando las plantas en una caja con una baldosa para evitar que el follaje se humedeciera con el riego, los resultados de este experimento fueron satisfactorios que se ampliaron las pruebas para este método (Green y Green, 1895). La subirrigación en contenedores fue descrita en 1950, como una técnica mejorada de nutrición, posteriormente los sistemas de flujo y reflujo, de hicieron más conocidos (Biernbaum, 1998; Johnstone, 1950). La subirrigación es una técnica de riego por acción capilar, en el que existen varios tipos como la estés capilar, mecha capilar y el sistema de flujo y reflujo, este último cuenta con dos diseños; el sistema de bancos inundados y el sistema de canales (Semananda et al., 2018).

El sistema de flujo y reflujo está confirmado por un banco elevado y hermético, dónde las plantas son cultivadas, un depósito de solución nutritiva y una bomba (Schmal et al., 2011). El banco es inundado periódicamente con solución nutritiva bombeada desde el depósito, después la solución nutritiva sobrante regresa a través de un drenaje por gravedad (Elliott, 1992). El riego por inundación es un método similar dónde las plantas son colocadas directamente en el suelo y todo el espacio es inundado a través de agujeros en el piso. El suelo tiene una pequeña pendiente para permitir el drenaje al tanque de solución nutritiva. (Ferrarezi et al., 2015a).

Los sistemas de subirrigación están diseñados para ofrecer soluciones de agua y fertilizantes directamente en la zona de la raíz o la parte inferior del contenedor, dónde la solución es absorbida o movida hacia arriba por acción capilar. La solución es colocada en la parte baja del recipiente, dejándola reposar durante el tiempo suficiente para saturar el medio de cultivo por la acción capilar (Ferrarezi et al., 2015a). El restante de la solución que no es absorbida se drena a un tanque de almacenamiento, repitiendo el ciclo cuando el riego es requerido nuevamente sustituyendo la solución conforme se utiliza, evitando la escorrentía (Van Os, 1999; Incrocci et al., 2006; Pinto et al., 2008). En un sistema de subirrigación el crecimiento de las raíces ocurre en el fondo de la maceta, la acumulación de

sales en la parte superior del medio de cultivo normalmente no es perjudicial para la planta. Sin embargo, la acumulación de sales también puede ocurrir en las capas medias si la concentración de fertilizantes es alta. La concentración de nutrientes en las capas medias e inferior del medio de cultivo debe ser lo suficientemente alta para proporcionar a la planta los nutrientes necesarios, pero no tan alta ya que las sales pueden provocar daños en la planta (James y van Iersel, 2001).

Las plantas pueden absorber el agua de un sustrato hasta la hoja por la evaporación de las hojas, que crean una presión de valor negativa, desencadenando la extracción de agua desde la raíz hasta la hojas a través de la acción capilar la cual ocurre gracias a las fuerzas de adhesión y tensión del agua (Wu et al., 2017). Un problema muy frecuente con los bancos inundados se debe a que los niveles de agua aplicados son más altos de los requeridos para que ocurra la acción capilar (Ferrarezi et al., 2016). El tiempo de inundación y de reposo de la solución es otro de los problemas más importantes de este tipo de sistema, si la acción capilar no es afectada, es posible que el sustrato absorba hasta el 90 % de su capacidad (Lo et al., 2018).

Se debe seleccionar un sustrato adecuado para la subirrigación, ya que las propiedades físicas de este pueden afectar la eficiencia de la acción capilar (Ferrarezi et al., 2015a). La densidad, el tamaño de partículas y la capacidad de retención de agua son características esenciales en el sustrato que permite el movimiento del agua dentro de los contenedores (Oh et al., 2007). Los sustratos con un espacio poroso grande reducen la acción capilar, se pueden mezclar sustratos con características similares para que la subirrigación sea más uniforme. La altura es otro factor importante que puede llegar a afectar este método, ya que el agua debe llegar hasta parte superior de contenedores más altos (Bailey et al., 2002). El sistema modifica la distribución de las sales solubles en el sustrato, ya que en subirrigación el flujo de agua y nutrimentos en los contenedores de las plantas es de la parte inferior hacia parte superior, la falta de lixiviación en el sistema favorece la retención de iones en el medio de crecimiento (Cox, 2001). Los excesos de nutrimentos no removidos por lixiviación modifican el ambiente

de crecimiento (James y Van Lersel, 2001). Para tener un drenaje controlado en el sistema, es necesario que no existan sedimentos u otro tipo de compuestos que lleguen a falta las tuberías, el drenaje controlado reduce el estrés a corto plazo (Essien, 2016).

Los problemas de sanidad como la presencia de patógenos se presentan en este sistema, sin embargo se puede corregir por medio de la solución nutritiva (Ferrarezi et al., 2015a). La infestación de las raíces por patógenos en los contenedores es un inconveniente potencial en este sistema (Sanogo y Moorman, 1993; Stanghellini, 2014); van der Gaag et al., 2001; Watanabe et al., 2008). Los omicetos de los géneros *pythium* y *phytophthora* son particularmente problemáticos, ya que producen un gran número de zoosporas acuáticas que afectan el regimiento y calidad de las plantas (Sanogo y Moorman, 1993; Thinggaard y Middelboe, 1989). Después de un tiempo de recirculación, la solución se debe renovar, para poder realizar una desinfección de los depósitos y tuberías (Rodríguez y Chang, 2017). Existen filtros que eliminan patógenos, sin embargo, su costo de adquisición y mantenimiento es elevado. Existen otros métodos de desinfección, como el tratamiento con radiación ultravioleta u ozono para eliminar patógenos (Stewart, 2011).

La pérdida de agua y nutrientes por debajo de la zona radicular es casi inevitable, con los sistemas actuales de riego y fertilización, debido a su baja eficiencia y la falta de uniformidad en la aplicación. Esta es una de las causas por las que existe una sobre-fertilización en muchos cultivos (Causapé et al., 2002; Pratt, 1984; Sogbedji et al., 2000). En los cultivos de vegetales el uso de contenedores de mayor volumen es necesario ya que generan mayor biomasa y el periodo del cultivo es más largo (García et al., 2017). En Europa, la subirrigación se ha utilizado durante muchos años para ayudar a resolver problemas derivados del riego tradicional. Las investigaciones sobre las tasas de fertilización para las plantas cultivadas en invernadero bajo un sistema de subirrigación es limitado por lo que el sistema de cero lixiviaciones o subirrigación no se ha adoptado de forma extensa. La mayoría de los resultados demuestran que la concentración de fertilizante en subirrigación se puede reducir a 50% de lo recomendado (Haley et

al., 2004). Con el sistema de subirrigación se han observado diferencias en el rendimiento, como mayor tasa de crecimiento y altura de las plantas. Esto indica que en el sistema de subirrigación el acceso a la raíz de los nutrientes, tiene lugar por flujo de masas, se favoreció por el humedecimiento uniforme de la solución nutritiva (Zúñiga et al., 2004).

El sistema de subirrigación ofrece varias ventajas, como un menor requerimiento de nutrientes y sus, proporciona nutrientes de forma uniforme, evita la humectación foliar, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, mejor productividad; reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaria et al., 2003; Rouphael y Colla, 2005; Rouphael et al., 2009; Montesano et al., 2010). Estas ventajas de reflejan como beneficios económicos y estos demuestran que la subirrigación facilita la automatización y reduce el costo de la mano de obra que es el mayor gasto para muchos productores (Biernbaum, 1990; Uva et al., 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo de julio a noviembre de 2020 en los invernaderos del Departamento de Horticultura ubicados en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msm).

Preparación del espacio y del sustrato, siembra y trasplante

La primera actividad que se llevó a cabo fue la limpieza del área de trabajo comenzando el 14 de Julio del año 2020 que debido a la situación sanitaria del país se encontraba en estado de abandono.

Dentro del invernadero el experimento se estableció en la parte posterior del invernadero donde se ubica el sistema de riego; por esta razón lo primero que se hizo fue limpiar el área donde se encontraba establecido el sistema de riego; limpieza de maleza alrededor del lugar de trabajo, limpieza de los equipos a utilizar como las bombas, mangueras, contenedores de las plantas y de las soluciones nutritivas para posteriormente probar el sistema. De esta forma se procedió a identificar los arreglos que se deberían llevar a cabo desde el cambio de bombas, identificación de fugas, pruebas de riego y drenaje, pruebas de mi con las conexiones, comprobación y reparación del funcionamiento de los equipos del invernadero como el calentador, extractor y la pared húmeda; de esta forma teniendo el espacio listo para trabajar.

El invernadero donde se realizó el experimento es un invernadero de mediana tecnología de ventila cenital en batería al tener una nave del lado izquierdo y otras dos del lado derecho, de estructura metálica y cubiertas plásticas. Cuenta con un extractor, pared húmeda, calentador. Las dimensiones del invernadero son 36 m de longitud por 8 m de ancho con una superficie de 1,320.48 m².

Las semillas utilizadas para establecer el experimento fueron pepino híbrido cv. Centauro (Fito F1). Esta variedad es una planta vigorosa muy adaptada a

diferentes condiciones del cultivo con un alto grado de conservación post-cosecha y buena adaptación a condiciones de calor y luminosidad.

El uso de un solo sustrato como sostén de la planta es complicado por las diferentes características con las que cuentan por esta razón se optó por una mezcla de componentes para obtener uno ideal que cumpla con las necesidades del experimento.

Se utilizaron dos mezclas parecidas en dos etapas:

La primera una mezcla de turba (peat moss) y perlita en una concentración de 80%/20%. Esta mezcla se utilizó en la primera etapa del experimento correspondiente a la siembra y germinación de las plantas. La segunda mezcla corresponde a fibra de coco y perlita en una concentración 80%/20% que corresponde a la etapa de desarrollo del cultivo que se utilizaron a partir del trasplante hasta la última etapa de producción.

La siembra se realizó el día 22 de julio del año 2020, utilizando 50 vasos térmicos de unicel que se llenaron con la mezcla de sustrato de turba y perlita después de aplicar un riego pesado se colocaron las semillas a 3 cm de profundidad.

Se alcanzó un nivel de germinación del 99% el día 28 de julio del año 2020 con tallos de un aproximado de 3 a 5 cm en promedio. Se observó un crecimiento acelerado para el día 31 de julio, tallos con un largo de 5 a 7 cm. Finalmente, en el periodo de los días 8 a 10 de agosto del 2020 el 100% de las plantas alcanzaron la altura de trasplante con tallos de un largo de 15 a 18 cm de largo. El trasplante se realizó el día 10 de agosto de 2020 de los vasos térmicos a las bolsas de vivero. Durante el periodo más largo del experimento se utilizó la mezcla de fibra de coco que se encontraba previamente preparada. Por la situación sanitaria del país la mezcla se quedó en estado de reposo y presentó un aumento en la CE, por lo que se le aplicó un lavado de sustrato. Para este lavado se utilizó alrededor de 60 L de un riego pesado por bolsa logrando bajar la CE que se encontraba en un rango de 3.6 a 4.5 dS/ m.

Descripción y manejo del sistema de riego

Se utilizó el sistema de riego por subirrigación con recirculación de solución nutritiva, se aplicó una lámina de riego o de inundación con un tiempo de riego en las bandejas de aplicación para cada tratamiento, después del tiempo de riego la solución nutritiva 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; la solución nutritiva fue renovada cada 3 días.

El riego que se llevaba a cabo por medio de un sistema cerrado de subirrigación consistía en aplicar una lámina de 5 cm que se dejaba durante un período de tiempo que aumentaba gradualmente durante la etapa de crecimiento del cultivo, esta lámina de agua se dejaba “estancada” y ascendía por el sustrato por capilaridad hasta observar la lámina de agua en la parte superior de la bolsa. De esta forma el riego o el agua ascendía de tal forma que llenaba los espacios porosos y el aire restante entre partículas de sustrato. Una vez que la lámina de agua ascendía y se observaba en la superficie de la bolsa se abría la válvula de drenaje para recolectar el restante de la solución de cada caja y se almacenaba para su reutilización separándola por concentraciones.

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 litros.

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 8 centibares y el drenaje de la solución nutritiva se realizó cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 0 centibares, indicando que el sustrato tenía la humedad suficiente.

El experimento simula una técnica hidropónica de subirrigación con recirculación. El trabajo se estableció en 5 líneas o camas; dónde se recuperaba la solución en contenedores plásticos. Las dimensiones de los contenedores para subirrigación fueron de 73 cm de largo por 43 cm de ancho y una altura de 22 cm; dentro de

estos contenedores se colocaron las bolsas de vivero negras de 10 L de capacidad que contenían las plantas previamente con la mezcla del cultivo sin suelo (perlita, peat y fibra de coco)

Diseño de las soluciones nutritivas

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).

Las soluciones con las que se trabajó fue una Steiner modificada al 125%, 100%, 75% y 50%, variando estos porcentajes durante el desarrollo del cultivo en sus diferentes etapas de producción a la que se le definió como “ventanas” (Cuadro 1). Dicha solución se modificaba al cambiar la productividad por ventanas, por lo que se consideraron 2 ventanas de producción para las fases de este experimento.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y riego por goteo en ventanas de producción.

Sistema de riego	Tratamiento	Concentración de la solución nutritiva 1^{er} ventana	Concentración de la solución nutritiva 2^a ventana
Riego por goteo	Testigo	100%	100%
Subirrigación	T1	100%	100%
	T2	125%	100%
	T3	125%	100%
	T4	125%	75%

Variables respuesta

Las variables agronómicas a evaluar durante el desarrollo del experimento de subirrigación de acuerdo a los tratamientos establecidos (Cuadro 1) se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Evaluación de variables agronómicas obtenidas, durante el experimento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo, con diferentes concentraciones de la solución nutritiva a diferentes ventanas de producción.

Variable Respuesta	Materiales y equipo empelado	Metodología
Peso Seco Total	Báscula digital SCALE, capacidadde 2000 g X 0.1 g	El peso fresco se determinó al terminar el experimento pesando la biomasa seca de hojas, tallo y raíz.
CE y pH medio y superior de sustrato.	Sensor de pH y CE	Estas lecturas se tomaron al finalizar el experimento en una muestra del sustrato de la parte media y alta de cada uno de los contenedores, se humedecieron con agua destilada y posteriormente se midió la lectura con los sensores
Longitud de Tallo	Cintra métrica flexible	Se tomó una sola lectura colocando la cinta de extremo a superior a extremo inferior del fruto
Diámetro Ecuatorial e Inferior de Fruto	Vernier digital Caliper	Medición de tres lecturas por fruto y cada una se promedió
Numero de frutos Totales	Número total de frutos	Registro del número de frutos por planta. Se contabilizó y promedió
Rendimiento total	Bascula digital SCALE capacidad 2000 g x 0.1 g	Se promedió peso total de frutos (g) / número de plantas
Índice Inferior del fruto	Diámetro inferior	Se utilizaron las lecturas de los diámetros del fruto (mm/mm)

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y un testigo; se trabajó con cinco repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en dos plantas separadas a 20 cm en los contenedores mencionados anteriormente. Los tratamientos fueron cuatro concentraciones de la solución nutritiva en cada ventana de producción y un testigo (Cuadro 1), dando un total de 50 plantas. 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.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento por ventanas de producción.

En los resultados obtenidos para rendimiento total en la primera ventana (V1) (Cuadro 3), se observa que no existe una diferencia significativa para los tratamientos aplicados, es decir; no hubo un efecto de la concentración de solución nutritiva sobre la producción de pepino.

Para la segunda ventana (V2) se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (Cuadro 4), por lo que se observa que el rendimiento de pepino es afectado por la concentración de la solución nutritiva ya que el tratamiento T3 se ve afectado al disminuir la solución nutritiva de 125% a 100% en esta ventana de producción en comparación con los otros tratamientos y el testigo. Es importante destacar que de acuerdo a nuestros resultados, el rendimiento de fruto no es afectado al reducir la concentración de la solución nutritiva hasta el 75%, con el consecuente ahorro en fertilizantes. Resultados similares fueron reportados por García Santiago (2015) en cultivo de pimiento y por Rodríguez Álvarez (2017) en cultivo de tomate, ambos en un sistema de subirrigación, quienes señalan que tanto en riego por goteo y subirrigación se presentan rendimientos similares, lo cual es debido a las concentraciones de la solución nutritiva en el sistema de subirrigación.

Algunos autores como Barraza (2018) y Nwofia et al. (2015) mencionan que el aumento en la concentración de la solución nutritiva que se traduce en una alta aplicación de nutrientes en un sistema hidropónico se traduce en altos rendimientos.

Aunque algunos autores como García-Santiago et al. (2019) mencionan que las concentraciones altas de solución nutritiva generaran mayor rendimiento, sin embargo, no es el único factor para evaluar la productividad de un cultivo, este factor debe ir de la mano con otros elementos de calidad del fruto que demanda el mercado. Aunque el tratamiento testigo en la V2 (Cuadro 4) es similar estadísticamente al T2 y ambos son superiores al T3, debemos considerar que éste experimento realizado en un sistema de subirrigación al ser un sistema

hidropónico cerrado se está ahorrando agua y nutrientes por lo que estamos ahorrando insumos y reduciendo la contaminación ambiental.

Cuadro 3. Rendimiento total (ton ha⁻¹) de fruto en cada tratamiento en la primera ventana (V1) del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Tratamiento	Rendimiento total V1	
Goteo	66.630	a
T1	64.182	a
T2	65.442	a
T3	78.012	a
T4	57.672	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Cuadro 4. Rendimiento total (ton ha⁻¹) de fruto en cada tratamiento en la segunda ventana (V2), de cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Tratamiento	Rendimiento total V2	
Goteo	75.645	a
T1	75.819	a
T2	58.878	ab
T3	50.262	b
T4	60.750	ab

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Número de frutos en las ventanas de producción

La concentración de la solución nutritiva y su efecto en la producción del cultivo en la V1 y V2 no mostró diferencia significativa en el número de frutos (Cuadro 5), sin embargo, en la V1 el tratamiento testigo (por goteo) supera en pequeño porcentaje a los demás tratamientos, mientras que en la V2 el T3 supera a los demás, por lo que se puede observar se obtiene mayor número de frutos con esta solución en subirrigación (Cuadro 5).

Adame (2020) menciona que a concentración al 125 % y 100 % generaron un mayor número de frutos, con 15.0 y 14.8 frutos por planta, sin embargo, en este trabajo se manejaron por ventanas de producción, lo que concuerda con el T3 con concentraciones en la solución nutritiva de 125% - 100% que supera en número de frutos a los demás tratamientos. Un estudio realizado con una variedad mini de pepino menciona que las plantas que se manejaron con solución nutritiva al 75% y 100% obtuvieron una cantidad mayor de frutos comerciales (Maboko y Phillipus, 2017). Autores como Valdiviezo, (2015) menciona en su estudio donde se trabajó con cinco cantidades de nutrientes diferentes, donde las plantas que contaron con una mayor cantidad de nutrientes, obtuvieron un mayor número de frutos.

Por otro lado, otros estudios como el de García Santiago (2015) reportaron que el cultivo de pimiento bajo un sistema de subirrigación que el número de frutos no se vio afectado por la concentración de la solución nutritiva.

Cuadro 5. Número de frutos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.

Tratamientos	Concentración de la solución nutritiva (%)	Número de frutos V1		Número de frutos V2	
Goteo	100%	4.4000		4.1000	
T1	100%	3.6000	a	4.3000	a
T2	125%-100%	3.8000	a	4.1000	a
T3	125%-100%	4.0000	a	4.6250	a
T4	125%-75%	3.3000	a	4.2000	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Peso seco de planta

La concentración de la solución nutritiva y su efecto en la producción del cultivo no mostró una diferencia significativa en el peso total de la materia seca (Cuadro 6), sin embargo, en el tratamiento testigo donde se manejó una solución nutritiva al 100% por goteo, este supera por un poco el peso total a los demás tratamientos por subirrigación, donde la solución nutritiva se cambió de acuerdo a la etapa de producción.

Rodríguez-Álvarez (2017) menciona que la acumulación de biomasa seca es mayor cuando la concentración de la solución nutritiva se aplica en concentraciones altas a concentraciones bajas de forma gradual, además se observó un efecto negativo en los casos donde se manejó una concentración al 50% de solución nutritiva. Estos resultados coincidieron con los obtenidos en un experimento de plantas de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) bajo subirrigación, donde el peso seco disminuyó cuando la concentración de solución nutritiva se

redujo al 50% (Rouphael y Colla, 2009). Méndez (2020) en su experimento menciona que las plantas subirrigadas con una solución nutritiva al 100% presentaron una mayor producción de biomasa, ya que se obtuvo un mayor peso seco en tallo con respecto a las plantas subirrigadas con una solución nutritiva al 70%, igualmente expone que el peso seco es similar en todas las concentraciones para los sistemas de subirrigación.

Cuadro 6. Peso seco total de planta en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.

Tratamientos	Concentración de la solución nutritiva (%)	Peso seco total (g)	
Goteo	100%	182.20	a
T1	100%	166.16	a
T2	125%-100%	164.96	a
T3	125%-100%	169.34	a
T4	125%-75%	175.30	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Diámetro ecuatorial de fruto

La concentración de la solución nutritiva y su efecto durante la V1 y V2 no mostró una diferencia significativa en el diámetro ecuatorial (Cuadro 7). Sin embargo, durante la V2 los tratamientos de subirrigación presentaron un aumento en el diámetro y un ligero aumento con respecto a los frutos de la V1, aunque fueron de menor diámetro que los obtenidos en el tratamiento testigo por goteo. A pesar de la disminución del diámetro del fruto los resultados obtenidos indican que este parámetro es aún aceptable en el mercado ya que la norma requiere de fruto de 50 mm de diámetro. Estos resultados coinciden con la descripción expuesta por

Barraza (2015), el cual menciona que para considerar a un fruto de buena calidad debe contar con diámetros uniformes o parecidos, de forma alargada y cilíndrica.

Barraza (2015) en un experimento demostró que, al aumentar la concentración de la solución nutritiva de forma gradual de menor a mayor, el diámetro del fruto aumento de igual forma.

Cuadro 7. Diámetro ecuatorial de fruto en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.

Sistema	Concentración de la solución nutritiva (%)	Diámetro ecuatorial V1 (mm)		Diámetro ecuatorial V2 (mm)	
Goteo	100%	57.204	a	54.090	abc
T1	100%	52.695	a	57.805	a
T2	125%-100%	53.892	a	56.945	ab
T3	125%-100%	51.065	a	52.791	c
T4	125%-75%	50.895	a	53.334	c

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Diámetro inferior de fruto

La concentración de la solución nutritiva no mostro una diferencia significativa durante la V1 y la V2 en el diámetro inferior del fruto (Cuadro 8). Al igual que las demás variables de calidad, al no existir una diferencia significativa en el diámetro inferior, los frutos son de buena calidad. En este caso el diámetro de fruto en las plantas subirrigadas es ligeramente menor al de las plantas con tratamiento por goteo. Aunque la diferencia entre cada tratamiento es casi nula, el aumento de este parámetro durante la V2 se presentó un las plantas subirrigadas, al igual que el testigo por goteo. Los valores obtenidos para esta variable en este trabajo de investigación, son superiores o similares a los encontrados en otras

investigaciones, donde se reportan rangos de 43.0 y 60.70 mm bajo un sistema tradicional (Shaw et al., 2000; López et al., 2013; Barraza, 2015). En algunos estudios se menciona que se puede reducir la solución nutritiva hasta un 50% sin causar efectos negativos (Rouphael et al., 2008).

Cuadro 8. Diámetro inferior de fruto en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.

Sistema	Concentración de la solución nutritiva (%)	Diámetro Inferior V1 (mm)		Diámetro Inferior V2 (mm)	
Goteo	100%	52.652	a	56.091	a
T1	100%	52.695	a	53.583	a
T2	125%-100%	53.892	a	54.081	a
T3	125%-100%	51.065	a	53.830	a
T4	125%-75%	50.895	a	52.831	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Índice inferior de fruto

La concentración de la solución nutritiva no mostró una diferencia significativa en el índice inferior del fruto en la V1 y la V2 (Cuadro 9). Se observa que el índice inferior presenta diferencias nulas, concluyendo que la modificación de la concentración en la solución nutritiva resulta casi indistinta, ya que tanto en la V1 y la V2 no existe un efecto importante. La mayoría de los tratamientos presentan valores cercanos a un índice de 1.0, durante la V2 el Testigo por goteo y el T3 presentan un aumento mínimo, sin embargo, estos se encuentran en un valor próximo al 1.0. Todos los valores que se encuentren próximos a 1.0, son considerados frutos de calidad ya que los frutos se consideran de forma cilíndrica, sin terminar en punta en el ápice; esto pudiera deberse a un uso eficiente del

agua y de los nutrientes. De acuerdo con los criterios de calidad mencionados por Barreiro (2018), se considera que un fruto de buena calidad debe contar con dimensiones uniformes o parecidas. Para todos los tratamientos y el testigo los valores se mantuvieron cercanos a un índice de 1.0. Al contrario, Adame (2020) obtuvo resultados que difieren con los obtenidos en este trabajo, al trabajar con una concentración de solución nutritiva al 100%, donde se observa una diferencia significativa con un índice de 1.10, sin embargo en las plantas subirrigadas con concentraciones de solución nutritiva de 50% a 75% se obtuvieron frutos de un índice cercano a 1.0 sin efectos negativos por la concentración baja de solución nutritiva. Al igual que en este trabajo de investigación, el uso de concentraciones bajas como 75% no causó efectos negativos en el cultivo, coincidiendo igualmente con los resultados obtenidos por García et al. (2019) en un sistema de subirrigación donde se redujo la concentración de solución nutritiva en un cultivo de tomate, donde el crecimiento y la calidad no se vio afectada.

Cuadro 9. Índice inferior de frutos de dos ventanas (V1 y V2) de producción en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferentes concentraciones de la solución nutritiva.

Tratamiento	Concentración de la solución nutritiva (%)	Índice Inferior V1 (mm)		Índice Inferior V2 (mm)	
Goteo	100%	0.91136	a	1.03744	a
T1	100%	0.92287	a	0.92748	a
T2	125%-100%	0.92945	a	0.95056	a
T3	125%-100%	0.87615	a	1.01815	a
T4	125%-75%	0.84707	a	0.99056	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

CE y pH del sustrato nivel medio y alto

La concentración de la solución nutritiva y su efecto sobre la CE, en el nivel alto (NA) y nivel medio (NM) no presentó una diferencia significativa (Cuadro 10). Aunque no hay una diferencia significativa entre tratamientos, se puede observar que en el testigo las mediciones de CE arrojan resultados más altos en los niveles medios, a diferencia de los tratamientos de subirrigación, en donde la CE, se observa que en el nivel superior la CE es más alta; esto se debe a que la acumulación de sales en la parte superior del sustrato es mayor que en la parte media. Los datos obtenidos concuerdan con lo que mencionan algunos autores, donde, la mayor concentración se presentó en la parte superior del sustrato (Todd y Reed, 1998; Santamaría et al., 2003; Van Lersel y Nemali y2004; Zheng et al., 2004; Incrocci et al., 2006; Rouphael et al., 2005, 2008). Esta característica se produce debido a que en la subirrigación el flujo del agua y nutrientes ocurre de la parte inferior de los contenedores hacia la parte superior, y la falta de lixiviación favorece la retención de iones y la acumulación de sales (Cox, 2001). Algunos autores, como Mitchell et al. (1991), mencionan que una de las consecuencias de una alta concentración de sales provoca una acumulación de sólidos solubles en frutos y se ha demostrado que al aplicar riego con agua que presenta una mayor concentración de sólidos solubles, se mejoran algunas características en la calidad de los frutos (Del Amor et al., 2001; Fernández-García et al., 2004; Serio et al.,2004; Satti-Sme y López, 1994).

El sustrato de los tratamientos de subirrigación presenta un ligero incremento en los tratamientos donde la solución se comenzó desde 125% y se redujo gradualmente. Los restos de nutrientes que no son removidos por acción de la gravedad modifican la CE en la solución, por lo que alteran los medios de crecimiento (James y Van Irsel, 2001); sin embargo, se considera que la acumulación de sales en la parte superior no afecta el crecimiento de las plantas, ya que el desarrollo de raíces se lleva a cabo en la parte inferior del sustrato, por lo que las raíces no están expuestas directamente a la alta concentración de sales (Morvant et al., 1997).

La concentración de la solución nutritiva y su efecto sobre el pH, en el NA y NM no presentó efectos significativos (Cuadro 10). Al analizar los datos podemos observar que, en el testigo, por goteo las concentraciones más altas se pueden observar en el NM, mientras que en los tratamientos de subrogación donde se comenzó trabajando con una concentración de solución nutritiva al 125% las lecturas más altas se observan en el NA. Los resultados obtenidos en este trabajo difieren completamente con los expuestos en el estudio de Voogt (1995), quien menciona que el pH inicial de sus sustratos era de 6.1, este valor se fue modificando conforme el experimento, resultando en una acidificación del mismo. En este trabajo los datos resultantes nos indican que el pH del sustrato se mantuvo en un mismo rango a lo largo del experimento, teniendo una nula diferencia entre cada nivel. Sin embargo, estos datos coinciden con lo reportado por Martinetti et al. (2008) que en subirrigación obtuvo pH ácidos en la capa superior del sustrato mientras que en riego por goteo el pH se mantiene en un mismo rango en los diferentes niveles del contenedor.

Cuadro 10. Conductividad eléctrica (CE) (microS/m) y pH del estrato medio y alto del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.

Tratamiento	Concentración (%)	CE Medio* y alto**		pH Medio* y alto**	
Goteo	100%	1779.0*	a	7.1667*	a
		1683.3**	ab	6.9000**	a
T1	100%	1476.3*	a	7.2333*	a
		1507.0**	b	6.9333**	a
T2	125%-100%	1755.3*	a	7.2333*	a
		2508.0**	a	6.8333**	a
T3	125%-100%	1352.0*	a	7.1667*	a
		1879.3**	ab	7.2333**	a
T4	125%-75%	1096.0*	a	7.1667*	a
		1794.3**	ab	7.2000**	a

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Duncan con $p < 0.05$

Largo del fruto

La concentración de la solución nutritiva y su efecto en la producción del cultivo no afectó de forma significativa el largo del fruto en la V1 y la V2 (Cuadro 11). En los parámetros relacionados con la calidad del fruto no se vieron afectados por las concentraciones de solución nutritiva. Durante la V1, el testigo por goteo presentó una ligera diferencia con respecto a la subirrigación. Durante la V2 sucede lo contrario ya que aquí en algunos tratamientos los frutos resultaron con un aumento en la longitud con respecto a los frutos del testigo.

Estos datos coinciden con los obtenidos en el estudio de producción de pepino bajo invernadero, en este de igual forma no se encontraron diferencias significativas con frutos de una longitud promedio de 21.3 cm (López et al., 2013). Igualmente, otros autores (Roblero, 2007) en otros trabajos de investigación, no encontraron diferencias significativas entre las longitudes del fruto 21.4 cm. A diferencia de estos trabajos, la longitud obtenida en este trabajo es superior, sin embargo, debemos tomar en cuenta que este parámetro puede variar de acuerdo al material vegetal utilizado.

Cuadro 11. Largo del fruto (cm) en dos ventanas de producción (V1 y V2) del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.

Tratamiento	Concentración de la solución nutritiva (%)	Largo del fruto V1		Largo del fruto V2	
Goteo	100%	26.058	a	24.7836	a
T1	100%	24.535	a	25.6130	a
T2	125%-100%	25.466	a	25.3346	a
T3	125%-100%	25.283	a	23.6856	a
T4	125%-75%	24.535	a	23.9346	a

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, en un sistema de subirrigación si es posible disminuir la concentración de la solución nutritiva sin que afecte la calidad de los frutos y el rendimiento, siendo la más conveniente comenzar la primera etapa con 125% y en la segunda etapa disminuirla a 75%; una segunda opción sería, mantener el cultivo a una concentración en la solución nutritiva de 100% ya que ambos tratamientos mostraron rendimientos muy similares respecto al testigo. La subirrigación estuvo asociada con un incremento en la CE en el estrato más alto del sustrato, pero la longitud, diámetro y forma de los frutos no fue afectada.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo, I.; Marcno, C.; Contreras, J.; Odaliz.; 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.
- Adame A. D. Y. 2020. Efecto de la Concentración de la Solución Nutritiva en la Producción del cultivo de Pepino en un sistema de subirrigación. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Alarcón, V. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones y diagnostico en cultivo sin suelo. Rev. Tecnoagro 6: 16-19.
- Alarcón. A. L. 2006. Nutrición y riego en los viveros. Extra 1: 42-64
- Antón, M.A. 2004.Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. España.
- Atilano A. S. D. 2019. Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la concentración de la Solución Nutritiva en un Sistema de Subirrigación. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Ayala, T. F.; López, C. C. A.; Yañez, J. M. G.; Diaz, V. T.; Velzquez, A. T. J.; y Parra D. J. M. 2019. Densidad de plantas y poda de tallos en la producción de pepino en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(1):1-12.
- Bailey, D.A., W.C. Fonteno, and P.V. Nelson. 2002. Undated. Greenhouse Substrates and Fertilization. 4 Dec. <www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ghsubfert.pdf>.
- Barraza A. F. V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 9 (1):60-71
- 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.
- Beltrano, J.2015. Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires 1:10.
- Biernbaum, J. A. 1990. Get ready of subirrigation. GreenHouse Grower 8:130-133.
- Biernbaum, J. A. 1998. A New Slant on subirrigation systems for interior plants. HortScience 23:752.
- Bolaños, H. A. 1998. Introducción a la Olericultura, Editorial, Universal Estatal a Dsitancia, San José, C.R.

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.

Buresh. R.J y Witt. C. 2007 Site specific nutrient management. International Rice Institute.

Carrasco. G.; Izquierdo. J. 1996. MANUAL TECNICO. La empresa Hidroponica de Mediana Escala: La Tecnica de la Solución Nutritiva Recirculante. Editorial Universidad de Talca. Chile.

Casaca. A. 2005. El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* 15) 15: 2-3.

Causapé, J.; Isidoro, D.; Quílez, D. & Aragües, R. 2002. Water and nitrogen management in the irrigation district nº V of Bardenas (Zaragoza, Spain) and environmental impact on water resources. In: F. J. Villalobos & L.

Chávez, E. F.; Rangel. P. P.; Mendoza. B. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. UAAAN. Saltillo, México.

Ciampitti. I.A y García. F.O. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A.* 4 (18): 22-28

Claridades agropecuarias; 1998. Revista bimestral. El Pepino Mexicano, un nicho en el mercado estadounidense. Agosto.

Cox DA. 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. USA. *Journal of Plant Nutrition* 24:523–533. DOI: 10.1081/PLN-100104977.

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.

Del Amor. F. M. Martínez, V.; Cerda, A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience.* 36 (7):1260-1263.

De-Rijck G. and E. Schrevens (1998) Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to precipitation reactions. *Journal of Plant Nutrition* 21.

Destenave, J.C. 2007. La producción de cultivos en invernaderos la mejor alternativa para invertir en México. *El campo avanza. Órgano Informativo de la Secretaria de Fomento Agropecuario.* 2:9.

Dibb, D.W. 2000. The mysteries of nutrient use efficiency. *Better Crops* 84(3):3-5.

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.

- Elad, Y.; Shtienberg, D. (1995). *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables: chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration. *Integrated Pest Management Reviews*, 1(1).
- Elliott, G. C. 1992. A pulsed subirrigation system for small plots. *HortScience* 27:71-72.
- Essien, M. M. 2016. The economics of controlled drainage with sub-irrigation and field drainage in Quebec. *Macdonald University Montreal* 1:1-115.
- Fernández, R.E. y Camacho. F. Eficiencia en el uso del agua. *Revista Viveros. Universidad de Almería en España*, 2005, pp. 86-89
- Fernández- Garcí, N., Martínez, V., Cerda, A., Carvajal, M. 2004. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *Journal of horticultural Science and Biotechnology*. 79 (6): 995-1001
- Ferrarezi, R.S., G. M. Weaver, M. W. Van Iersel, y R. Testzlaf. 2015a. subirrigation: Historical Overview. Challenges, and Future Prospects, *HorTechnology* 25: 262-276.
- Ferrarezi, R.S., M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2015b. Monitoring and controlling ebb-and-flow subirrigation with soil moisture sensors. *HortScience* 50:447– 453.
- Ferrarezi, S. R.; Van Iersel,W. M.; y Testezalf, R. 2016. Plant growth response of subirrigated salvia “Vista Red”. To increasing water levels at two substrates. *Horticultura Brasileira* 34.202-209.
- Gálvez, F. 2004. El cultivo de pepino en invernadero, *Editor Manual de Producción hortícola en invernadero*, 2ª Edición. P. 282-293.
- García, S. J.C., Valdez, A. L. A.; Carmill, D.; Cartmil, A. D.; Juárez, L. P.; y Alvarado, C. D. 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., Robledo. T. V., Mendoza. V. R y Hernández. P. A. 2015. La subirrigación como sistema de producción de pimiento (*Capsicum annuum. L*) en cultivo sin suelo. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 6 (12)
- García-Santiago, J. C, L. A. Valdez-Aguilar, A. Hernández-Pérez. A. D. Cartmill, J. Valenzuela-García. 2017. Depth and Duration of Floodig Affect Growth, Yield and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience*. 52:295-300.
- González, N. J. F. 2006. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. *Hortalizas, frutas y flores*. Editorial Agro Síntesis S.A. de C. V. México D.F.: 8-11.
- 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 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 noreste de Sonora. *Biotechnica* 12(2):20-28.

Grijalva, R.L; Robles, F. 2003. Avances en la producción de hortalizas en invernaderos. Publicación Técnica No.7. INIFAP-CECAB. Caborca, Sonora. México.

Haley, T. B. and Reed, D. W. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating sub_irrigation for selected greenhouse crops. *HortScience*, 39(6), 1441-1444.

Hanan, J. J., 1998. Water. In: *GreenHouse Advanced Technology for Protected Horticulture*, CRC press, LLC, USA, pp. 271-385.

Hernández, G. 2006. Manejo del pepino en invernadero. En *Diplomado Internacional en Agricultura Protegida. Módulo 5. Cd. Obregón, Sonora, México. P.49.*

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. *EPSO1*: 84.

Hidrovo, Á. y Vélez, V. 2016. Agronomic behavior of four cucumber hybrids (*Cucumis sativus* L) under the edaphoclimatic 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. University of Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. USA. 3: 7.

Incrocci L., Malorgio F, Della BA, Pardossi A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Italy. Scientia Horticulturae* 107: 365-372.

Intagri. 2017. *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.*

James, E. C., y M. W. Van Iersel. 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience*. 36(1): 40-41.

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* 107 (4): 249-255.

Jensen, M. 2001. Publicación Trimestral de Red Hidropónica. Boletín Informativo No. 12 Julio/Agosto Año 2001. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Depto. De Biología. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

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

Jones. B. 2005. *Practical Hydroponics and Greenhouses*.124: 42-44

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., 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.

Kovatch, J. 2003. Cucumbers. *Vegetable Gardeners Journal*. UW Extension. Milwaukee County 60:930.

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

Liotta M. Tec Hidráulico. Rsp Riego y Drenaje INTA. 2015. Manual de Capacitación: Riego por Goteo. Argentina.

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

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.

Lora. R.1984. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp 418

Lugo, G. L. 2008. Desarrollo de un sistema experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas aidas. Subordinación de tecnología apropiada e industrial, coordinación de hidráulica. México.

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

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

Mármol. J. R. 1996. Poda de Hortalizas en invernadero (Calabacín, melón, pepino y sandía). Hojas Divulgadoras Núm. 1-2/95 HD. Madrid, España.

Maroto, B. J. V 1989. Horticultura Herbacea y Especial. Ediciones Mundiprensa 3ª edición. Revisada y ampliada. Madrid, España.

Martinetti. L., Ferrante. A. y Quattrini E. 2008. Effect of dripp or subirrigation on Growth and yield of *Solanum melongena* L. of closed systems with salty water. Research Journal of Biological Sciences. 3 (5): 467-474

Méndez, C. A. (2020), Evaluación de un sistema de subirrigación para cultivos hortícolas para optimizar el uso de agua y fertilizantes. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

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.

Mitchell, J. P.; Shennan, C.; Grattan. R. S.; May, M. D. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 116: 215-221.

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

Moreno, D.; Cruz, W.; Garcia, E.; Ibañez, 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.

Morvant, JK, Dole JM. Allen E. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. HortTechnology 7: 156-160. DOI:10.21273/HRTTECH.7.2.156.

Nwofia, G.E.; Amajuoyi A.N.; and 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, and J.E. Son. 2007. Comparisons of water content of growing media and growth of potted kalanchoe among nutrient-flow wickculture and other irrigation systems. HortTechnology 17:62–66.

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 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.

Ortiz, C. J.; Sánchez C. F.; Mendoza C. M.; 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.

Pacheco, J. A., 2006. Memoria Producción de hortalizas bajo invernadero. Sinaloa, México.

Papadopulus, T. 2004. Manejo del ambiente y los factores nutricionales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos. Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2004. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chih. México.

Pinto, J. R., Chandler, R. A y Dumroese, R. K. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. HortScience. 43(3): 897-901.

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.; Valdés, B. 2011. Effect of stronge conditions and waxing on the water status and post-harvest quality of table cucumber. Rev. Mudo Alimentario 7:19-27.

Reed, D.W., 1996. Closed production systems for containerized crops. In: Reed, D.W. (Ed.), Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops. Ball Publishing, Inc, Batavia Ill. Pp. 221-241.

Roblero, R. S. 2007. Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en sustrato orgánico bajo condiciones de invernadero.

Rodríguez- Álvarez (2017). Efecto de la concentración de la solución nutritiva y la etapa de fructificación en tomate en un sistema de subirrigación. Tesis. MC en horticultura. UAAAAN.

Rodríguez, A. y Chang, M. 2017. Curso Práctico de Hidroponia – Centro de Investigación De Hidroponia y Nutrición Mineral. UNALM.16.

Rodríguez, J.C 2013. Evaluación de dos sistemas de poda en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. IDESIA-Chile, 29(2):21-27.

Rouphael Y. y Colla G. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. Scientia Horticulturae 105: 177–195. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.01.025

Rouphael, Y. and G. Colla. 2009. The influence of drip irrigation or subirrigation on Zucchini squash grow 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. Hortic. 345
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperatura. Sci. Hortic. 118:328-337.
- Ruiz, F.S., Meléndez. O. F., Castellanos. L. J., Ortiz. G.L y Estrada . O.J. 2013. Alternativas ecológicas para el control de *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. y Curt.) rostop en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de casas de cultivo protegido. Agrotecnia de Cuba. 37: 44-55
- 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.
- Salazar-Moreno, R., Rojano. A. A.Y López-Cruz. I. 2014. Water Use Efficiency in Controlled Agriculture. Tecnología en ciencias del agua. 5 (2): 177-183
- Sánchez, C. F. y Moreno. P. E. C. 2017. Rendimiento y ahorro de agua y fertilizantes en cultivos hidropónicos de jitomate, pepino y lechuga con recirculación de la solución nutritiva. III Congreso Nacional COMEII
- Sanogo, S. and G. W. Moorman. 1993. Transmission and control of pythium aphanidermatum in an ebb-and-flow subirrigation system. Plant Dis. 77:287-290.
- Santamaria P., Campanile G, Parente A, Elia A. 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 78: 290–296. DOI: 10.1080/14620316.2003.11511620.
- Santamaria. P., Campanile, G., Parente, A., 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless growth and yield of tomato. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25 (15-16): 2807-2823.
- Satti-Sme, López, M. 1994. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. Commun. Soil sci. Plant Anal. 25 (15-16): 2807-2823
- Schmal, J.L., Dumroese R.K., Davis. A.S., Pinto. J.R y Jacobs, DF. 2011. Subirrigación para producción de plantas nativas en viveros — Conceptos, conocimientos actuales e implementación. Plantas nativas J.128-193
- Semananda, N. P. K.; Ward, J. D. y Myers, B. R. I. 2018. A semi-systemtic Review of Capillary Irrigation: The Benefits, Limitations, and Opportunities. Journal Horticulturae 4(23): 345.356.
- SEP, 1997. Cucurbitáceas. 3ª Edición. Editorial Trillas. México D.F.

- Serio, F. G., L. Lucía, S. Pietro. 2004. Influence of an increased NaCl concentration on yield and quality of cherry tomato grown in posidona (*Posidonia oceánica* L.) Delile). 14: 1885-1890.
- Shaw, N.L., D.J. Cantliffe, J.C. Rodriguez, S, Taylor y D.M. Spencer 2000. Beit Alpha cucumber: an exciting new greenhouse crop. Proc. Flor. State Hort. Soc. 113, 247-253
- 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
- Solórzano, J. 2000. Notas Técnicas. Huertos Hidropónicos como una alternativa de Producción de hortalizas y vegetales en las escuelas. INCAP. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala, Guatemala.
- Stanghellini, C. 2014. Horticultural production in greenhouse: 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.
- Stewart-Wade, S.M. 2011. Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: Their detection and management. Irrig. Sci. 29:267-297.
- Suslov, T.; y Cantwell M. 2012. Cucumber: Recommendations and Maintaining postharvest Quality. Postharvest. Ucdavis. 13.
- 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.
- Thinggaard, K. and A. L. Middelboe, 1989. Phytophthora and Pythium in pot plant cultures grown on ebb and flow bench with recirculating nutrient solution. J. Phytopathol. 125:343-352.
- Todd, N. M. y Reed, D. W. 1998. Characterizing salinity limits of New Guinea Impatiens in recirculating subirrigation. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123 (1), 156-160.
- Torres, F. 2015. Agronomic behavior of the diamond amanda and jaguar hybrid cucumbers in three population densities in the Babahoyo area.
- Uva, W, Weiler T, Milligan R. 2001. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the northeast and north central United States. HortScience 36: 167-173.
- Valdez L. A. 1998. Producción de hortalizas. Noriega editores. México. D.F.
- Valdez, L. 1994. Producción de hortalizas. Noreg editores, México DF.pp.258-269.

- 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. 1999. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies. HortScience 34:660-663
- Van Iersel, M.W., y K.S. Nemali. 2004. Drought stress can produce small but not compact marigolds. HortScience 39:1298-1301
- Van Os, E. A., 2001.New developments in recirculation systems and disinfection methods for greenhouse crops. Hortic. Eng. 16(2),2-5.
- Van Os, E.A., 1999. Closed soilless growing systems: sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. Water Sci. Technol.
- Vavrina, C. 2020. An Introduction to the Production of ContainerzaedVegetableTransplant.HS849. Horticultural Sciences Departament. Flroida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences Florida: University of Florida.
- Voogt, W. 1995. Effects of the pH on rockwool grow Carnation (*Dianthus caryophyllus*). Acta Hortic. 401:327-336.
- Wehner. T.C.; Maynard. D.N. 2003 Cucumbers, melons, and other cucurbits. Volume 1. Encyclopedia of food and culture. New York, USA. 474-479.
- Westerfield, R. 2014. Pollinitation of Vegetable Crops. UGA Extension. University of Georgia. Circular 934.
- Wohanka, W.,2000. Preventing disease in closed irrigation system. Flower Technol. 3, 17-20.
- Wu, X.; Chen, G. Y.; Zhang, W.; Liu, X.; y Xu, H. 2017. A Plant-Transpiration-Process-Insired Strategy for Highly Efficient Solar Evaportation. Advanced Sustainable Systems 1(6):34-46.
- Zamora, C. M. 2003. El Cultivo del Pepino. CENTA
- Zamora, E. 2017. El cultivo de pepino europeo (*cucumis sativus* L.) bajo cubiertas plasticas. Universidad de Sonora, Departamento de agricultura y ganadería. Sonora. México
- 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 (*Cucumber sativus* L). recombinant inbred line (RIL) population. Scientia Horticulturae 250: 214-222.
- Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richard. D, and M. Dixon. 2004. Potted Gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions HortScience 39: 1283-1286.

Zúñiga-Estrada. L., Martínez. H.J., Baca. C. J., Martínez. G. A., Tirado. T. J y Koashi. S.J. 2004. Bell pepper production in two irrigation systems under hydroponics conditions. *Agrociencia* 38: 207-218.

CITAS ELECTRONICAS.

FAO, 2018

<http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13954329605800/cadena.pdf>

SIAP. 2018. Resumen nacional de producción agrícola. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado 17 enero 2021)

SIAP. 2015. Márgenes de comercialización del pepino. En: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71326/MargenesComer_Pepino_feb2015.pdf. Consultado (20 enero 2021).

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA.atlas agroalimentaria pepino.128-129. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones-siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016. Consultado (15 enero 2021).

ASERCA, 2015 http://www.aserca.gob.mx/Paginas/def_ault.aspx

Ocaña-Romo, C. R. 2004. Hidroponía: Cultivos sin suelo. En Línea: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_pague=pague&id=10.

Espinoza, C. 2004. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y producción. Torreón, Coah. México. Octubre 13, 14 y 15 del 2004.

http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memohort04/03Prod_tomate_invernadero.pdf.Página visitada el 10 enero 2010.

Lara,H. A. 2000. Manejo de solución nutritiva en la producción de Tomate en Hidroponía <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17art221-229.pdf> consultado: 20 enero 2021.

Mosse F. 2004. Hidroponía: Cultivos sin suelo. En línea: <http://anposo.com/monografias/hidroponia/>. Consultado el 17 de febrero del 2021.

Infoagro. 2011. El cultivo del pepino. Consultado el 2 de enero de 2021. Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pimiento_parte_i_.asp