

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta Del Pepino (*Cucumis sativus L.*) a Diferentes Concentraciones De
La Solución Nutritiva En Un Sistema De Subirrigación.

Por:

Ana Paulina Almanza Peres

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta Del Pepino (*Cucumis sativus* L) a Diferentes Concentraciones De La
Solución Nutritiva En Un Sistema De Subirrigación

Por:

ANA PAULINA ALMANZA PERES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

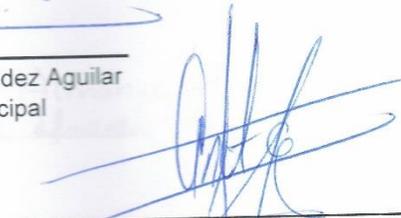
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2021

Declaración de no plagio

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o el autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones gráficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Ana Paulina Almanza Peralta
Paulina Almanza

AGRADECIMIENTOS.

A Dios, por darme salud durante esta etapa de mi vida y poder terminar mi formación profesional de manera satisfactoria.

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional, su motivación y por estar siempre pendientes de mi persona y mis necesidades durante estos años.

A Fernando Becerra, por su paciencia, por apoyarme siempre y acompañarme todos estos años.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme todas las herramientas necesarias para mi formación universitaria.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por haber creído en mi para la realización de este experimento, por compartirme sus conocimientos durante mi formación profesional y durante este trabajo, por su paciencia y dedicación en la revisión del mismo.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo por haber colaborado en este trabajo, por sus conocimientos compartidos durante el mismo, por siempre estar pendiente durante la realización y por su dedicación en la revisión de este trabajo.

Al Dr. José Antonio González Fuentes por formar parte de este trabajo y su dedicación en la revisión del mismo.

A mis amigos de generación, por formar parte de mi historia en la UAAAN.

DEDICATORIAS.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente y siempre creer en mí.

A Fernando Becerra por ser mi compañero de vida y acompañarme en todos los momentos de este camino.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
El cultivo del pepino.....	6
Morfología y fisiología de la planta	6
Fenología.....	6
Floración.....	6
Tamaño y tipo de flor	6
Zarcillos	7
Hojas	7
Fruto	7
Centro de origen.....	8
Distribución mundial	8
Eficiencia en el uso de agua y fertilizantes	9
Para cultivos básicos	11
Para hortalizas.....	12
Alternativas para incrementar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes.	13
Subirrigación.....	15
Ventajas y desventajas.....	16
Nutrición del pepino	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Sitio Experimental.....	22
Material Vegetal.....	22
Siembra y Trasplante.....	22
Sistema de Riego	22
Tratamientos y Fertilización	23
Diseño Experimental.....	23

Variables Evaluadas	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Rendimiento total.....	26
Firmeza.....	28
Peso de Fruto	29
Diámetro e índice superior de futo.....	30
Peso Fresco Total.....	34
CE y pH del sustrato nivel inferior	35
CONCLUSIONES	39
LITERATURA CITADA	40
Citas Electronicas	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Muestra los niveles de fertilización con nitrógeno fosforo y potasio requeridos por las plantas de pepino según varios autores.....	20
Cuadro 2. Solución nutritiva Steiner.....	23
Cuadro 3. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino, en el sistema de subirrigación y riego superficial.....	23
Cuadro 4. Evaluación de variables agronómicas obtenidas de frutos cosechados durante el experimento del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo, con diferentes concentraciones de la solución nutritiva.	24
Cuadro 5. Rendimiento total de cada tratamiento en la ventana 1 (V1) del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>).....	27
Cuadro 6. Rendimiento total de cada tratamiento en la ventana 2 (V2), del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>).....	27
Cuadro 7. Firmeza de fruto en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	28
Cuadro 8. Peso de fruto (g) en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	30
Cuadro 9. Diámetro superior e índice superior de fruto en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.	31
Cuadro 10. Numero de frutos en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.	33
Cuadro 11. Peso Fresco Total del cultivo de pepino (<i>Cucumis Sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo a diferentes concentraciones de la solución nutritiva.	34
Cuadro 12. CE y pH de sustrato nivel inferior del cultivo de pepino (<i>Cucumis Sativus L.</i>) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.	36

RESUMEN

La subirrigación permite tener una mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes en cultivos sin suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del cultivo de pepino al disminuir la concentración en la solución nutritiva en las diferentes etapas de producción en el sistema de subirrigación; se aplicaron cuatro tratamientos y un testigo el cual era riego por goteo con solución Steiner 100% durante todo el ciclo, los tratamientos evaluados fueron T1 (100%), T2 (125%-100%), T3 (125%-100%) y T4 (125%-75%); el medio de desarrollo fue fibra de coco y perlita en una relación 80/20. El diseño utilizado en este experimento fue bloques completamente al azar con cinco repeticiones por cada tratamiento y 2 plantas por repetición. Para el caso de este cultivo, el rendimiento se reportó por ventanas de producción por lo que, en la primera se obtuvieron rendimientos similares al testigo, en la segunda disminuyeron significativamente para los tratamientos T2 y T3 y en donde las variables de calidad de fruto no se vieron afectadas al disminuir la concentración en 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 el pepino es posible reducir la concentración de la solución nutritiva a un 75% en la segunda etapa de producción sin que se presente efectos negativos en la producción de fruto.

Palabras clave: subirrigación, eficiencia en el uso de fertilizantes, hortalizas, pepino, cultivo sin suelo

INTRODUCCIÓN

El pepino se considera originario de la India, siendo domesticado en Asia y de ahí introducido a Europa, para posteriormente ser llevado a América por Cristóbal Colón. Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el del este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003).

La agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, para ello se recurre a una serie de técnicas con el objetivo de forzar la producción. Un ejemplo de este tipo de producción es el cultivo bajo invernadero, el cual busca obtener el más alto rendimiento a costa de aislarlo de las condiciones naturales mediante el forzado del cultivo a través de técnicas de climatización (calefacción, humidificación, iluminación, etcétera) y técnicas culturales (fertirrigación, sustratos, etcétera), rentabilizando al máximo la ocupación del terreno. Esta rentabilidad implica una mejora en el uso de los recursos naturales, agua y suelo (Antón, 2004).

En México, la producción de hortalizas bajo invernadero se ha incrementado significativamente durante los últimos años, siendo importante la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) ocupando el 10% de la superficie.

La demanda de pepino en los Estados Unidos de Norteamérica ha tenido un crecimiento sin precedentes en los últimos años. La importación creció de 441 900 toneladas en 2006 a 594 102 toneladas en 2011; es decir, un incremento del 34.4% en solo cinco años (FAO, 2014). Según datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) México es el principal exportador a Estados Unidos en diversas frutas y hortalizas, en donde el pepino tiene un 83% de participación en el mercado (ASERCA, 2015).

La agricultura protegida por los beneficios que ofrece (altos rendimientos y calidad, mayores niveles de sanidad e inocuidad de los productos obtenidos, seguridad en la producción con cierta independencia del clima, acceso a mejores mercados y potencial de alta rentabilidad económica), está creciendo en México.

Están bajo cubierta 20,000 ha, de las cuales 12,000 son de invernaderos y 8000 de estructuras denominadas casa-sombra (AMHPAC, 2013; Ponce, 2013). En estas condiciones la hidroponía le gana más terreno a la producción en suelo debido a que se logra mayor eficiencia y control del riego y la nutrición mineral, ausencia inicial de plagas, enfermedades y malezas, facilidad de esterilización de los sustratos, posibilidad de usar aguas duras o con mayor salinidad, mayor rendimiento y calidad, y más sanidad e inocuidad, entre otras (Cánovas y Magán, 2003; Alarcón, 2006; Raviv y Lieth, 2008).

Sin embargo, para maximizar la producción, se aplican altas cantidades de fertilizantes y productos químicos, los cuales, por falta de un esquema de irrigación, originan un uso inadecuado del agua y liberan nutrimentos como nitratos y fosfatos a las aguas subterráneas (Klock-Moore y Broschat, 2001)

En la mayoría de los sistemas hidropónicos establecidos se aplica el riego por goteo con una solución nutritiva que contiene fertilizantes disueltos con todos los nutrientes minerales esenciales para las plantas, en concentraciones óptimas para su crecimiento y desarrollo. Para que las plantas de pepino crezcan sin limitaciones nutricionales, la solución nutritiva debe tener un pH entre 5.5 a 6.5, una conductividad eléctrica (CE) entre 1.5 y 3 dS m⁻¹, y los nutrimentos minerales deben estar disociados en proporciones y concentraciones que eviten precipitados y antagonismos (Adams, 2004). La planta modifica el consumo de nutrimentos en función de sus fases de crecimiento y desarrollo, condiciones climáticas, y características de la solución nutritiva como la CE, pH y oxígeno disuelto (Terabayashi *et al.*, 2004; Jones, 2005; Sonneveld y Voogt, 2009).

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 nutrimentos, se le llama sistema cerrado (Alarcón, 2006).

Debido al encarecimiento de los fertilizantes (Huang, 2009) y al impacto negativo en el ambiente (Giuffrida y Leonardi, 2009; Nakano *et al.*, 2010; Massa *et al.*, 2010), en hidroponía se buscan sistemas más eficientes. Por ello los sistemas hidropónicos abiertos empiezan a ser sustituidos por los cerrados (Alarcón, 2006). Éstos últimos presentan ventajas importantes respecto a los primeros: ahorro de agua y fertilizantes, y menor impacto ambiental al evitar que grandes cantidades de minerales contaminen ríos, lagos, mantos freáticos y mares (Giuffrida y Leonardi, 2009; Pardossi *et al.*, 2009; Nakano *et al.*, 2010; Massa *et al.*, 2010).

Una alternativa para reducir los problemas de contaminación de mantos acuíferos y la escasez de agua es cambiar el sistema de riego convencional abierto por un sistema por subirrigación o superficial con recirculación, es decir capturando y usando de nuevo la solución nutritiva (James y van Iersel, 2001). El cambio del sistema modifica la distribución de las sales solubles en el sustrato, en el sistema de subirrigación el flujo de agua y nutrientes en los contenedores de las plantas, es de la parte inferior hacia la parte superior; luego, la falta de lixiviación en el sistema favorece la retención de iones en el medio de crecimiento, estimulándose la acumulación de sales (Cox, 2001). Los excesos de nutrientes no removidos por lixiviación modifican el ambiente de crecimiento de los cultivos, incrementando la conductividad eléctrica (CE) en la solución, y las sales pueden dañar a la planta (James y van Iersel, 2001).

El diseño del sistema de subirrigación parte del principio de que el estrato actúa como una barrera al movimiento vertical del agua, lo cual produce el movimiento lateral de la misma (Renny *et al.*, 2003; Schmal *et al.*, 2011). El ascenso del agua hasta la zona radical por efecto de la capilaridad reduce la cantidad de agua necesaria para el crecimiento de las plantas, permitiendo la utilización de aguas residuales y reduciendo la lixiviación de nutrientes, en comparación con los sistemas tradicionales de riego; además, la subirrigación produce beneficios adicionales como una mayor uniformidad de los cultivos y mejora del rendimiento (Schmal *et al.*, 2011).

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

Objetivo General

Evaluar la respuesta del pepino (*Cucumis sativus L.*) a diferentes concentraciones en la solución nutritiva con un sistema de subirrigación durante su ciclo de producción.

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.
- El sistema de subirrigación y riego por goteo junto a las diferentes concentraciones de la solución nutritiva afecta el rendimiento en la producción en el cultivo de pepino.
- Ya que los rendimientos en pepino se determinan por ventanas de producción este se ve afectado por el sistema de subirrigación y riego por goteo.

Hipótesis

Al menos una de las diferentes concentraciones en la solución nutritiva aplicada con el sistema de subirrigación comparada con el sistema de riego por goteo tendrá un efecto positivo o similar en el rendimiento y parámetros de calidad en el cultivo de pepino.

REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo del pepino

Morfología y fisiología de la planta

El pepino pertenece a la familia *Cucurbitaceae* y su nombre científico es *Cucumis sativus* L. es una planta herbácea, anual y rastrera cubierta de pelos erizados de raíces fasciculadas y desarrollo bastante superficial, encontrándose la mayor concentración de raíces entre los 25 y 30 cm (Weaver y Bruner, 1927). La planta se caracteriza por presentar tallos trepadores en la base, con cuatro ángulos marcados y zarcillos sencillos (Maroto *et al.*, 1995)

Fenología

Al ser una planta anual y cultivada, esta especie presenta variantes en tiempo para la aparición de flores y frutos, lo cual también depende de la variedad que se cultive. En México, generalmente florecen de julio a septiembre y de enero a marzo y fructifican de agosto a noviembre y febrero a mayo respectivamente (Fax México: Pepino; Plants for a future: *Cucumis sativus*).

Floración

Tamaño y tipo de flor

Flores monoicas (algunos cultivares con flores andromonoicas, con flores hermafroditas y estaminadas, ginomonoicas, con flores hermafroditas y pistiladas y ginoicas, únicamente con flores pistiladas); flores estaminadas escasas, en fascículos; pedicelos 0.8 cm largo, pilosos; perianto pentámero; receptáculo 0.5-0.6 cm largo, campanulado, piloso; sépalos 0.45 cm largo, subulados, pilosos; pétalos 2.5 cm largo, campanulada, esparcidamente pilosa por fuera, lóbulos 0.6 cm largo. Flores pistiladas solitarias, junto con las estaminadas; pedicelos 1.0-2.0 cm largo; perianto como en las estaminadas; ovario fusiforme, tuberculado; estilo 0.1-0.2 cm largo; estigma lobado, capitado-esférico (Whitaker, 1931, McGregor, 1976; Nee, 1993; Krístková *et al.*, 2003)

Zarcillos

Son sencillos y no presentan ramificaciones (Valadez, 1998)

Hojas

Son de forma palmeada, con cinco puntos, presentando vellosidades blancas. Valadez, (1998). Son de forma triangular ovaladas con lóbulos no bien formados. Su longitud es de 7 a 20 cm. Son alternas y tienen un color verde oscuro en el has de la hoja y un color grisáceo en el envés. (Tiscornia, 1983).

Fruto

Frutos de tamaño variable, cilíndrico u oblongo, tuberculado, al menos cuando joven, cáscara (epicarpo) con patrones de coloración variables, verde claro a verde oscuro cuando inmaduros, hasta amarillo a anaranjado al madurar, glabros, lisos o ásperos; pulpa (mesocarpo) abundante, carnosos, de coloración blanca a verde claro cuando inmaduro, a amarillo-acuoso cuando madura, sabor ligeramente dulce (Nee, 1993, Krátková *et al.*, 2003).

La forma de poda más usada en pepino bajo condiciones de invernadero consiste en eliminar por abajo de los 40 a 50 cm del tallo principal todos los brotes que salgan, al igual que las hojas y los frutos que se vayan formando. A partir de los 40 a 50 cm, se eliminan todos los brotes laterales que aparecen en el tallo principal, dejando un fruto en cada axila, hasta que este alcance el alambre superior usado para el tutorado de la planta. Una vez que una o dos hojas han desarrollado por arriba del alambre, el punto terminal del tallo principal es eliminado, dejando crecer libremente en el extremo superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (Hochmuth, 2001).

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

Es una planta C3, exigente de luminosidad, una alta intensidad de luz estimula de fecundación de las flores, la temperatura óptima para su desarrollo oscila entre

18°C y 25°C, este cultivo no resiste a las heladas (Ruiz *et al.*, 2013). La humedad relativa óptima para el pepino durante el día va de 60 al 70% y de 70 al 90% en la noche, una humedad mayor favorece al desarrollo de enfermedades fungosas (Torres, 2015).

Centro de origen

Asia y en particular la India es considerado el centro de origen del pepino, debido a la frecuente ocurrencia de especies silvestres de *Cucumis* con número cromosómico n=7, además de la existencia de vestigios del cultivo de hace 3000-4000 años, y aunque algunos autores señalan que el centro de origen es África tropical, la mayoría de los trabajos señalan un origen totalmente asiático (Bisognin, 2002, Krístková *et al.*, 2003).

Distribución mundial

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

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).

Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen que tan bien las plantas o un sistema de producción usan los nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. Entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación (ER). Las definiciones de ER pueden variar dependiendo del compartimiento considerado en la recuperación (toda la planta, biomasa sobre suelo, porción cosechada) y las fuentes de nutrientes tomadas en cuenta (fertilizantes, residuos de corral, mineralización, deposición atmosférica) (Bruulsema *et al.*, 2008). Sin embargo, la ER de un nutriente específico como el N se define a menudo como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman *et al.*, 2002). Se ha estimado que la tasa de utilización (eficiencia de recuperación del cultivo) bajo condiciones favorables para N proveniente de fertilizantes es de 50-70%, para P de 10-25% (15% de promedio) y para K de 50-60% (Isherwood, 1990).

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 nutrimentos, se le llama sistema cerrado (Alarcón, 2006; Sánchez *et al.*, 2017).

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 nutrimentos 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; Roberts 2007)

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, Bruulsema *et al.*, 2008).

Sánchez del Castillo y González Molina, 2014 mencionan que, el reciclar la solución nutritiva significó ahorros importantes de agua y nutrimentos sin afectar el rendimiento. Con recirculación el ahorro fue de 23 % con respecto a los de bolsas sin recirculación, mientras que para cama con recirculación el ahorro fue de 20 % con respecto a la cama sin recirculación. Con recirculación también hubo un ahorro superior a 30 % en nutrimentos (K, N y P), comparado con los sistemas sin recirculación.

Como consecuencia de la reutilización de la solución nutritiva, los sistemas cerrados fueron más eficientes en el uso de agua, con valores de 33.4, 39.2, 41.0 L de agua gastada por cada kg de fruto producido en cama cerrada, raíz flotante y bolsa cerrada, respectivamente, contra 47.3 y 52.3 L kg⁻¹ requeridos en los tratamientos de cama y bolsa abierta, respectivamente, lo cual es consistente con lo reportado por Parra *et al.*, (2009).

Como era de esperarse, en el sistema hidropónico se observó una relación directa entre la absorción nutrimental y el rendimiento del cultivo. Las plantas de los tratamientos de raíz flotante y de cama con recirculación fueron las que más rindieron (11.80 y 11.58 kg m⁻², respectivamente), y también tuvieron la mayor absorción nutrimental; en RF se consumieron 26.1, 18 y 6.2 g m⁻² de K, N y P, respectivamente, y para el de cama con recirculación el consumo fue de 18.7,

17.1, 5.2 g m⁻². En contraste, las plantas de los tratamientos con bolsa, con y sin recirculación cuyos rendimientos fueron estadísticamente inferiores, tuvieron un consumo más bajo de estos nutrientes (Sánchez del castillo y González Molina, 2014).

Para cultivos básicos

La fertilización vía riego por goteo, en la actualidad es la práctica más eficiente en la producción de cosechas ya que combina dos de los factores de mayor importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas (nutrientes y agua). La correcta combinación de niveles entre estos dos elementos es importante para lograr altos rendimientos y calidad en las cosechas (Pizarro, 1996; Cadahia, 1998).

La fertirrigación es una técnica que tiene por objeto aprovechar el flujo hídrico para transportar los nutrientes que necesita la planta como complemento a los que le proporciona el suelo (Rincón 1991; Nathan, 1995; Burt, *et al*, 1998). El fertirriego permite aprovechar el agua en zonas donde este recurso es limitado. Esta técnica es susceptible de aplicarse en una amplia gama de situaciones tanto por lo que se refiere a tipos de cultivos como a características de suelo y agua. En todos los casos se aplica en explotaciones intensivas, en las que el agua, como recurso limitado, debe ser utilizado con la mayor eficiencia posible (Pizarro, 1996).

La distribución uniforme del agua de riego es crítica para la uniforme aplicación del fertilizante. Se debe conocer cuánta agua se necesita para recargar la zona radicular durante el riego. La fertirrigación debe planificarse de acuerdo a esto. La sobre irrigación no solamente desperdicia agua, sino que puede provocar lixiviación de los nutrientes (principalmente N) a zonas fuera del alcance de las raíces. Es importante conocer el tipo de equipo de fertirrigación en uso. Algunos equipos inyectan una cantidad uniforme y otros no. Es necesario conocer los requerimientos de lavado del sistema de fertirrigación en uso (Ludwick)

Al comparar los rendimientos de varios cultivos de grano en riego por gravedad y riego por goteo, se encontraron incrementos favorables al riego por goteo: Garbanzo 15%, cártamo 27%, soya 9%, frijol 27%. De manera general, se puede concluir de este estudio que los requerimientos de fertilizante y láminas de riego aplicadas a estos cultivos fueron 70% de los utilizados en el sistema de riego por gravedad (Mendoza, 2003).

En maíz cultivado bajo el sistema de riego por goteo, la aplicación de altas concentraciones de nitrógeno y potasio combinadas con una alta densidad de plantas produjeron un rendimiento de 18.5 t ha⁻¹ de grano, además de disminuir significativamente la lámina total de agua aplicada (Vuelvas, 1999). Por su parte, González *et al.* (1999), reportaron un rendimiento potencial de 7.8 t ha⁻¹ en maíz con fertirrigación y 6.2 ton ha⁻¹ en maíz con fertilización tradicional; en lo que se refiere a rendimiento real, la media con fertirrigación fue de 5.5 t ha⁻¹ y de 3.78 t ha⁻¹ con fertilización al suelo. Bosco (1999), indicó que el riego por goteo en maíz, permitió tener un ahorro de agua de 50% sin afectar el rendimiento del cultivo.

Para hortalizas

En un estudio de fertirriego en cebolla variedad Suprema, probaron 0, 120, 200 y 280 unidades de nitrógeno por Ha 0 y 80 unidades de fosforo por Ha 0y 200 de potasio por ha y 0 y 50 de calcio. Además de varios niveles de la humedad del suelo: 14, 25 y 45 kPa de tensión hídrica. Se obtuvieron rendimientos de cebolla comercial de 102 t/ha y trasplantada a tres hileras por cama.

Se produjeron rendimientos de 83 y 89 t/ha con láminas de agua totales de 32 y 44 cm usando riego por goteo. Del rendimiento total alcanzaron diámetro de bulbo de 3 a 4 pulgadas (Rodríguez, 2008)

En un estudio Vuelvas *et al.*, (1997) evaluaron la frecuencia de riego, colocando la cintilla de goteo de forma superficial y enterrada a 15 cm y, además, probaron tres concentraciones de nitrógeno diluido en el agua de riego: 40,80 y 120 partes por millón, a partir de dos fuentes de fertilizante nitrogenado: Nitrato de amonio y urea. Bajo condiciones de riego por goteo, el nitrato fue mejor fuente fertilizante

para obtener mayor rendimiento y calidad y diámetro de bulbo, respectivamente. Se logró un ahorro de 60.3% en lamina de riego total, pues con goteo se aplicaron 70 cm de agua contra 116 cm usando riego rodado. La productividad fue el doble con fertirriego por goteo comparada con riego rodado, lo que significa que con este sistema de producción se necesita menos de la mitad de agua para obtener un kilogramo de ajo.

Alternativas para incrementar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes.

El invernadero es un sistema de producción que puede incrementar la eficiencia en el uso del agua, creando un microclima para mejorar la fotosíntesis de la planta, reduciendo la evapotranspiración excesiva e incrementando los rendimientos.

Las necesidades de agua de los cultivos bajo invernadero son menores que los cultivos a campo abierto. En regiones con alta radiación solar, un invernadero de plástico puede reducir el uso del agua en un cultivo en 30% (FAO, 1991). Sin embargo, en Almería, España, se reduce el uso del agua entre 40-50% debido a la disminución en la radiación solar y el viento (Fernández y Camacho, 2005). Por otro lado, Antón *et al.*, (2003) mencionan que la evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a la del aire libre.

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. Las técnicas de control climático influyen en la productividad del agua (PA), al modificar la demanda de evaporación y la producción comercial. Se puede monitorear la eficiencia en el uso del agua a través de la transpiración de las plantas y el intercambio de O₂ y CO₂. (Salazar *et al.*, 2014)

La investigación sobre el manejo del agua dentro del invernadero se ha enfocado a identificar la mejor tecnología para satisfacer los requerimientos de agua en las plantas. Los resultados han conducido al desarrollo de técnicas como la

hidroponía, sistema de producción en el que las raíces de las plantas son irrigadas con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que en vez de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o incluso la misma solución. (Salazar *et al.*, 2014)

Entre las ventajas de la hidroponía está el ahorro de agua, ya que las técnicas se basan en la recirculación de agua con nutrientes; no obstante, las técnicas se han adaptado a diversas situaciones, como cultivos al aire libre y en invernadero. (Salazar *et al.*, 2014)

En el sistema hidropónico abierto, el exceso de la solución nutritiva se drena de manera continua, y esto lo hace ineficiente en el uso de agua y nutrientes. En tomate bajo invernadero con hidroponía, el uso del agua puede ir desde 1.5 l (en condiciones experimentales) a 24 l por kilogramo de tomate. Por otro lado, en Suecia, la pérdida promedio de nutrientes en sistemas hidropónicos abiertos es de 850 kg de N, 80 kg de P y 850 kg de K por hectárea (Bergstrand, 2010). Debido a lo anterior, se han introducido técnicas para hacer más eficiente el uso del agua a través de la reutilización del agua de desecho o lechada. (Salazar *et al.*, 2014)

En el sistema hidropónico semicerrado, el exceso de solución nutritiva se colecta en un tanque o fluye directamente al tanque mezclador, el cual se está rellorando de forma continua para reemplazar el agua que es tomada por las plantas. Para evitar que la solución nutritiva esté desbalanceada, se descarga el 10% del agua de desecho de manera continua, y en un determinado tiempo el agua del tanque de mezclado se vacía y es llenado nuevamente con agua fresca y nutrientes; por esta razón se llama sistema semicerrado. (Rojano Aguilar *et al.*, 2014)

El sistema anterior puede ser mejorado de modo notable, restringiendo la descarga para ahorrar agua y nutrientes, conocido como sistema hidropónico cerrado, la solución nutritiva se recircula y el tanque es rellorado con agua y las soluciones nutritivas de manera continua. (Rojano Aguilar *et al.*, 2014)

Subirrigación

La subirrigación es una técnica de riego que proporciona agua y nutrientes a las raíces de las plantas desde el fondo de los contenedores, el agua es absorbida por el sustrato a través de agujeros en el fondo del contenedor, por acción capilar del mismo. Las plantas cultivadas en contenedores se inundan dentro de un sistema cerrado, la cantidad de agua absorbida depende de la sequedad del sustrato y los requerimientos de las plantas (Ferrarezi *et al.*, 2015). La solución nutritiva que no es absorbida por la planta se recircula a los tanques de almacenamiento y es reutilizada para el siguiente riego, reduciendo los costos de fertilizantes para el productor (Bauerle, 1990)

Este sistema se comenzó a utilizar desde 1895, cuando fue descrito por investigadores de la Estación Experimental de Ohio Green y Green.

También se utilizó en New Jersey y la Universidad de Purdue en un experimento agrícola durante los años treinta (Withrow y Biebel, 1937)

La subirrigación con contenedores fue descrita por primera vez en 1950, como una alternativa mejorada y simplificada al cultivo de arena y como técnica de nutrición (Johnstone, 1950). Los sistemas de flujo y reflujo, posteriormente se hicieron populares (Bauerle, 1990) y son los tipos de subirrigación más utilizados en invernadero (Uva *et al.*, 1998). Los sistemas de subirrigación se clasifican como banco de flujo y reflujo, suelo de inundación, bandeja, bandejas holandesas y estera capilar (Elia *et al.*, 2003). El sistema de flujo y reflujo consiste en un banco elevado y hermético donde las plantas son cultivadas, un depósito de solución nutritiva y una bomba (Schmal *et al.*, 2011). El banco es periódicamente inundado con solución nutritiva bombeada desde el depósito, después la solución nutritiva eventualmente regresa a través de un drenaje por gravedad a velocidad lenta para permitir la absorción (Elliott, 1990). La frecuencia de riego puede ser controlado usando temporizadores (Elliott, 1992) Las bandejas holandesas, también conocidas como bandejas móviles, son bancos móviles independientes de flujo y reflujo que se pueden mover fácilmente a través de un invernadero (Barreto *et al.*, 2015). Estas bandejas se fabrican específicamente para uso en

cultivos altamente automatizados (Uva, *et al.*, 2000). Las técnicas de subirrigación para cultivos en contenedores adecuados para el cultivo de hortalizas, son el sistema de banco de vasijas. También se han encontrado resultados interesantes con esta técnica en tomate (Santamarina *et al.*, 2003).

Se debe tener en cuenta que sustrato se va a utilizar para subirrigación, ya que las propiedades físicas pueden afectar la eficiencia de la acción capilar (Ferrarezi *et al.*, 2015). El agua y nutrientes son entregados a las plantas por el movimiento pasivo de agua a través del sustrato debido a capilaridad (Uva *et al.*, 2001). Las características como densidad, tamaño de partícula y capacidad de retención de agua son necesarios para permitir el movimiento del agua dentro de los contenedores (Elia *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2007). Los sustratos con grandes partículas tienen grandes espacios de poros, reduciendo la acción capilar. Sustratos sin suelo son más utilizados y adecuados para uso con subirrigación (Caron *et al.*, 2005; James y van Iersel, 2001; Oh *et al.*, 2007), se pueden mezclar sustratos con características particulares (Martínez y Silva Filho, 2006), para que la subirrigación sea más uniforme. La altura del contenedor es otro factor que también puede afectar la eficacia de la subirrigación, porque el agua debe avanzar hasta alcanzar la parte superior en contenedores más altos (Bailey *et al.*, 2002).

En comparación con el riego superficial, los sistemas de subirrigación han demostrado reducir el uso del agua, principalmente porque el exceso de agua se recoge y se reutiliza (Davis *et al.*, 2008) encontraron que la subirrigación requiere un 56% menos agua en los gastos totales por irrigación.

Ventajas y desventajas

El sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, tales como un menor requerimiento de nutrientes y agua, proporciona nutrientes de una manera uniforme, evita la humectación foliar (prevención de enfermedades), uniformidad de riego, 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; Santamaría *et al.*, 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010).

Estos beneficios generan ahorros en mano de obra, insumos materiales y pérdidas de producto (Purvis *et al.*, 2000; Santamaría *et al.*, 2003). Además, el sistema de subirrigación puede facilitar el manejo de la solución nutritiva ya que mantiene estables los parámetros de la misma, puesto que los elementos que no son absorbidos por la planta se acumulan en la parte superior del sustrato, en lugar de la acumulación en la solución nutritiva como lo haría en un sistema de riego abierto (Reed, 1996; Kent y Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Santamaría *et al.*, 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

Sin embargo, la tendencia de la acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento representa un inconveniente para los sistemas de subirrigación, ya que puede resultar en la reducción del crecimiento de los cultivos, sobre todo en cultivos de ciclo largo y en condiciones ambientales secas y calientes (Kent y Reed, 1996; Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Cox, 2001; Bouchaaba *et al.*, 2015). La acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento puede ocurrir si la solución nutritiva es demasiado concentrada, debido a que el medio de crecimiento no se lixivia durante la producción (Martinetti *et al.*, 2008). Por lo anterior, la concentración de fertilizantes en los sistemas de subirrigación deben ser más bajos que en los sistemas de riego superficial (KlockMoore y Broschat, 1999; Cox, 2001; Mak y Yeh, 2001; Yeh *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008).

La recirculación permite reducir el uso total de fertilizantes debido a que no se pierden nutrientes del sistema. Sin embargo, la subirrigación requiere un manejo cuidadoso de las concentraciones de las soluciones de fertilizantes para producir de alta calidad (Roupael y Colla, 2005; Zheng *et al.*, 2004). Las tasas óptimas de fertilización para los sistemas de riego superficial son bien conocidas, pero hay menos información disponible sobre las concentraciones ideales de solución de fertilizante para subirrigación (Kang y van Iersel, 2000). En general, las

concentraciones de fertilizantes deben ser más bajas con la subirrigación que con el riego por goteo (Kent y Reed, 1996; van Iersel, 1999). Las sales de nutrientes no son lixiviadas del sustrato y pueden acumularse dentro de los recipientes, exponiendo potencialmente a las plantas al estrés osmótico (Morvant *et al.*, 1997). La acumulación de sales en la capa de sustrato superior se ve exacerbada por altas tasas de fertilización (van Iersel, 2000). El manejo eficaz de nutrientes para subirrigación requiere minimizar el riesgo de estrés osmótico, al tiempo que proporciona a las plantas una nutrición adecuada (Zheng *et al.*, 2004). Las concentraciones óptimas de solución de fertilizante varían entre las especies y puede depender tanto de las necesidades nutricionales como de la tolerancia a la sal de un cultivo en particular (Kang y van Iersel, 2002). En algunos estudios realizados, principalmente con ornamentales, demuestran que la concentración de fertilizantes en subirrigación puede reducirse hasta un 50% de la tasa recomendada para riegos superficiales, sin afectar el crecimiento y calidad de la planta (Rouphael *et al.*, 2005; Zheng *et al.*, 2004).

La respuesta a la subirrigación en algunas especies de hortalizas ha sido variada. Rouphael y Colla (2009) han reportado que al reducir 50% la nutrición recomendada para riego superficial, resultó perjudicial sobre el crecimiento, rendimiento y absorción de macronutrientes en plantas de calabaza (*Cucurbita pepo L.*, cv. Afrodite) subirrigadas.

Los sistemas de subirrigación y en cultivos sin suelo, tienen grandes ventajas ya que se ha demostrado que se puede obtener un kilogramo de frutos de tomate con 22 litros de agua, mientras que en riego por goteo se requieren 41 litros (Méndez-Cifuentes *et al.*, 2020). El nitrógeno total aplicado durante el ciclo de cultivo es 75% menos en plantas subirrigadas en comparación a aquellas irrigadas con un sistema de riego por goteo, mientras que el fósforo, potasio, calcio y magnesio fue un 66%, 59%, 70% y 74% menor (Méndez-Cifuentes *et al.*, 2020).

Martinetti *et al.*, (2008) obtuvieron una reducción del crecimiento y rendimiento en berenjena (*Solanum melongena* L.) al subirrigar con una solución completa recomendada para riego superficial.

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) con solución nutritiva preparada con agua salina ha tenido rendimientos de frutas iguales a las plantas con riego por goteo irrigado con la misma solución (Incrocci *et al.*, 2006). En otro estudio demostraron que, el tomate subirrigado, los rendimientos fueron más altos y la acumulación de sal fue mínima cuando el contenido de nutrientes de la solución de riego fue reducido en un 30% (Montesano *et al.*, 2010). La acumulación de sales se encuentra principalmente en la capa superior del sustrato (Incrocci *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

Se utilizaron dos sistemas de riego (superficial y subirrigación), con recirculación de solución nutritiva y tres densidades de siembra (12, 16 y 24 plantas m⁻²) para estudiar el crecimiento, nutrición y producción de chile pimiento (*Capsicum annuum* L). La solución nutritiva se preparó con fertilizantes comerciales y fue diferente en las etapas vegetativa y reproductiva. El número de riegos diarios varió entre sistemas. La tasa de crecimiento, altura y producción de materia seca total de la planta 64 días después de la emergencia (dde) fueron mayores en el sistema de riego por subirrigación, situación que se invirtió al final del cultivo (300 dde). El rendimiento en plantas desarrolladas con subirrigación fue 34.5, y 37.8 kg m⁻² en riego superficial, en este último sistema se obtuvo la mayor cantidad de frutos por m², y los frutos de mayor calidad. Al final de la cosecha la concentración de Ca, Mg, P, Mn y Zn en la materia seca total fue mayor en el sistema de riego por subirrigación. (Zúñiga-Estrada *et al.*,2004).

Nutrición del pepino

Para que las plantas de pepino crezcan sin limitaciones nutricionales, la solución nutritiva debe tener un pH entre 5.5 a 6.5, una conductividad eléctrica (CE) entre 1.5 y 3 dS m⁻¹, y los nutrimentos minerales deben estar disociados en proporciones y concentraciones que eviten precipitados y antagonismos (Adams, 2004).

La planta modifica el consumo de nutrimentos en función de sus fases de crecimiento y desarrollo, condiciones climáticas, y características de la solución nutritiva como la CE, pH y oxígeno disuelto (Terabayashi *et al.*, 2004; Jones, 2005; Sonneveld y Voogt, 2009).

El Cuadro 1. Muestra los niveles de fertilización con nitrógeno fosforo y potasio requeridos por las plantas de pepino según varios autores.

Fuente	Elemento extraído en kg/Ha y método de cultivo			
	Condición	Nitrógeno	Fosforo	Potasio
Casaca <i>et al.</i> , 2005	Cultivo en suelo	57	43	86
López, 2003	Cultivo en suelo	130	120	130
UAF, 2013	Cultivo invernadero (absorción semanal)	28	5	40

La solución nutritiva para pepino según Sánchez del Castillo y Escalante; (1988) (en mg L⁻¹) es de: N = 140, P = 40, K = 175, Ca = 140, Mg = 40, S = 140, Fe = 1.5, Mn = 0.5, B = 0.5, Cu = 0.1, y Zn = 0.1

Igual se ha reportado que la mayor absorción de nutrientes en pepino ocurrió con la solución nutritiva al 175% de concentración, la cual contiene: N 13,055; P 5,730; K 15.143; Ca 37281 y Mg 9 (Barraza, 2018)

Egea *et al.*, (2000) señala que, para un cultivo de pepino sobre sustrato inerte, los valores óptimos propuestos a partir de los 40 días de desarrollo de las plantas son: 1,5 litros de agua y 23-27 mmoles de nitratos por planta y día, 12-15 mmoles de potasio por planta y día, 5-7 mmoles de calcio por planta y día, 3-4 mmoles

de fosfatos por planta y día, 2,0-2,2 mmoles de amonio por planta y día, 1,4-1,6 mmoles de magnesio por planta y día y 2-3 mmoles de sulfatos por planta y día.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El experimento se llevó a cabo en el periodo de julio a noviembre de 2020 en Saltillo Coahuila, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, cuyas coordenadas son: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm.

Material Vegetal

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

Siembra y Trasplante

Se realizó la siembra el día 22 de julio de 2020, como sustrato de germinación se utilizó peat moss y perlita en una relación 80:20 volumen/volumen. El trasplante se realizó el día 10 de agosto de 2020, en bolsas de polietileno negras de 10 litros de capacidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de fibra de coco y perlita en una relación 80:20 volumen/volumen.

Sistema de Riego

Se utilizó el sistema de riego por subirrigación con recirculación de solución nutritiva, se aplicó una lámina de riego o de inundación de 5 cm con un tiempo de riego de dos horas en las bandejas de aplicación para cada tratamiento, después del tiempo de riego la SN no absorbida se drenó a los tanques de almacenamiento de 200 litros, 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.

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 SN se realizó cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 0 centibares, indicando que el sustrato tenía la humedad suficiente.

Tratamientos y Fertilización

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

Cuadro 2. Solución nutritiva Steiner.

Meq L ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
	12	1	4	9	7	4

Cuadro 3. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino, en el sistema de subirrigación y riego superficial.

Sistema de riego	Tratamiento	Concentración de la solución nutritiva
Riego por goteo	Testigo	100%
Subirrigación	T1	100%
	T2	125%-100%
	T3	125%-100%
	T4	125%-75%

Diseño Experimental

La unidad experimental consistió en dos plantas separadas a 20 cm, cada una en un contenedor individual. Los tratamientos fueron 4 y un testigo, con cinco repeticiones de cada unidad experimental, dando un total de 25 unidades experimentales, los tratamientos y el testigo se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar. Los datos se analizaron con análisis de varianza y la prueba de comparación de medias múltiples de acuerdo a la prueba de

Duncan ($P \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión. 9.0.

Variables Evaluadas

Rendimiento se determinó a través de las ventanas de producción de pepino, las cuales se definieron como ventana 1 (V1) y ventana 2 (V2). Las variables evaluadas se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Evaluación de variables agronómicas obtenidas de frutos cosechados durante el experimento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de subirrigación y goteo, con diferentes concentraciones de la solución nutritiva.

Variable	Determinación de la medición	Descripción de la técnica
Peso fresco total	Báscula digital SCALE, capacidad de 2000 g X 0.1 g	El peso fresco se tomó al terminar el experimento pesando cada planta incluyendo raíz.
CE y pH bajo	Sensor de pH y CE	Estas lecturas se tomaron al finalizar el experimento, se tomó una muestra del sustrato de la parte baja de cada uno de los contenedores, se pusieron en agua destilada, posteriormente se tomó la lectura con cada uno de los sensores
Firmeza	Penetrometro modelo FT-327, puntilla de 8mm	Se tomaron 3 lecturas de firmeza las cuales se

		promediaron (distal, ecuatorial y proximal)
Diámetro superior	Vernier digital Caliper	Medición de tres lecturas por fruto y cada una se promedió
Numero de frutos V1 y V2	Número total de frutos / número total de frutos por ventana	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 superior	Diámetro distal / diámetro ecuatorial	Se utilizaron las lecturas de los diámetros (mm/mm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento total

En los resultados obtenidos del rendimiento total de fruto por ventana de producción, como se puede observar, no se detectaron efectos significativos en esta respuesta, lo que sugiere que la producción de pepino no es afectada por la en la concentración de la solución nutritiva (Cuadro 5). Para la V2 se puede observar diferencias significativas entre tratamientos; se puede decir que la producción de pepino se ve afectada ligeramente al disminuir la concentración de la solución nutritiva (Cuadro 5). Los tratamientos que más disminuyeron su rendimiento fueron T2 y T3 (Cuadro 5 y 6)

Resultados similares han sido reportados en otros estudios; por ejemplo, producción de pimiento bajo sistemas de subirrigación es factible ya que los rendimientos son similares a los obtenidos cuando se cultiva con riego superficial. (García Santiago, 2014)

Igualmente, Rodríguez Álvarez (2017) obtuvo resultados similares en un trabajo realizado en tomate, pues señala que; el rendimiento total de las plantas irrigadas con riego por goteo y subirrigación fueron similares, sin embargo, esta respuesta depende de las concentraciones de las soluciones nutritivas en subirrigación.

En otro trabajo, Barraza Álvarez (2012) menciona que con la solución nutritiva al 175% se obtuvo mejor expresión del crecimiento a través de mayor acumulación de materia seca y rendimiento de 8,20 kg por planta, que superó en 59%, 22% y 15% a lo obtenido con las concentraciones de la solución del 25%, 75% y 125%, respectivamente, lo que muestra la respuesta del cultivo de pepino al manejo diferencial del suministro de nutrientes, ya que con la solución nutritiva al 25% de concentración se presentaron valores más bajos de rendimiento y de acumulación de materia seca total y de órganos de la planta.

Sánchez (2017) menciona que; en los tratamientos de contenedores con recirculación también hubo un ahorro superior a 30 % en nutrientes (N, P y K), comparado con los sistemas sin recirculación. Los sistemas cerrados fueron más

eficientes en el uso de agua, con valores de 29.9, 25.5 y 24.4 g de fruto fresco producido por cada litro de agua usada en sistema cerrado, raíz flotante y bolsa cerrada, respectivamente, contra 21.1 y 19.1 g de fruto por litro de agua en los tratamientos de cama y bolsa sin recirculación, respectivamente.

Cuadro 5. Rendimiento total de cada tratamiento en la ventana 1 (V1) del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*)

Rendimiento total V1		
Goteo	2221.1	AA
T1	2139.4	AA
T2	2181.4	AA
T3	2600.4	AA
T4	1922.4	A

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

Cuadro 6. Rendimiento total de cada tratamiento en la ventana 2 (V2), del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*)

Rendimiento total V2		
Goteo	2521.5	AA
T1	2527.3	AA
T2	1962.6	AB
T3	1675.4	BB
T4	2025	AB

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

Firmeza

Los frutos con mayor firmeza en el presente experimento fueron los obtenidos en el T2, el cual inició con una concentración de la solución nutritiva de 125% y terminó 100% (Cuadro 7); seguido por el T3 (125%-100%), pero no superando significativamente al testigo (goteo). Estos datos sugieren que en subirrigación no se afecta la firmeza de fruto al disminuir la concentración de la solución nutritiva.

Cuadro 7. Firmeza 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 SN (%)	Firmeza V1(lb)		Firmeza V2 (lb)	
Goteo	100%	6.54	AB	6.78	BC
T1	100%	6.55	AB	6.49	BC
T2	125%-100%	7.48	AA	7.42	AA
T3	125%-100%	6.01	BB	6.98	BA
T4	125%-75%	5.98	B	6.4	C

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

Los resultados de este trabajo no concuerdan con los obtenidos por Adame (2020); quien menciona que; los frutos de pepino obtenidos en su experimento tuvieron una mayor firmeza de fruto con una concentración de la solución nutritiva de 50% con un promedio de 11.68 lbs, compartiendo resultados semejantes a una concentración de 75% y, superando al testigo con riego por goteo el cual tuvo de los valores más bajos de firmeza en frutos con un promedio de 10.66 lbs

En un estudio con resultados diferentes, Barraza Álvarez (2015) menciona que la firmeza mostró un incremento a través del tiempo y presentó mayores valores con el aumento de la concentración de la solución nutritiva, de manera que con el 175% la firmeza de los frutos fue superior en grado significativo con respecto a los tratamientos al 25%, 75% y 125%

Una de las consecuencias de la poca firmeza de los frutos de pepino, es la rápida pérdida de calidad visual y sensorial, manifestada en primera instancia en marchitamiento (Suslov y Cantwell, 2012; Moreno *et al.*, 2013; Barraza Álvarez *et al.*, 2015), así como alta susceptibilidad a pudriciones, amarillamiento y deshidratación, las cuales se caracterizan por el desarrollo de tejido esponjoso y menor turgencia. Esto es debido a la mayor pérdida de agua de las células por transpiración, producto de la plasmólisis y la menor acumulación de azúcares en las paredes celulares (Verheul *et al.*, 2013; Barraza Álvarez *et al.*, 2015).

Grimaldo (2020) señala que la textura (firmeza externa e interna) es una característica de los frutos de pepino que no fue modificada por efecto combinatorio o individual de condición de la planta y grado de salinidad sometido.

Peso de Fruto

En los resultados obtenidos sobre el peso del fruto, no se detectaron efectos significativos para esta variable (Cuadro 8), indicando que el peso del fruto no se ve afectado al disminuir la concentración de la solución nutritiva.

Cuadro 8. Peso de fruto (g) en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) en un sistema de subirrigación y goteo con diferentes concentraciones en la solución nutritiva.

Sistema	Concentración SN (%)	Peso de fruto (g)	
Goteo	100%	516.35	AA
T1	100%	483.43	AA
T2	125%-100%	482.41	AA
T3	125%-100%	469.35	AA
T4	125%-75%	447.93	A

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

En un trabajo realizado por Grimaldo (2020), se menciona que, el peso promedio de fruto varió por la concentración de salinidad, condición de la planta y por el efecto combinado de ambos factores ya que el peso del fruto disminuyó 40.3 y 76.2 g al aumentar la conductividad a 4.5 y 6.0 dS m⁻¹, respectivamente. Probablemente la no significancia en el presente estudio se debe a que las conductividades eléctricas de las diferentes soluciones nutritivas no fueron tan altas como las empleadas por Grimaldo (2020).

Diámetro e índice superior de futo

Los resultados obtenidos para la variable diámetro superior de fruto no muestran diferencias significativas (Cuadro 9), lo que resulta favorable, por lo que tendremos frutos con forma uniforme, aun disminuyendo la concentración de la solución nutritiva y con una mayor eficiencia en el uso de agua.

Para la variable de índice superior de fruto, no se muestran diferencias significativas (Cuadro 9), lo que indica en principio que es indistinto utilizar soluciones nutritivas de menos concentración, ya que los posibles resultados a

obtener serán similares. En este experimento todos los tratamientos están muy cerca de un índice de 1.0, lo cual resulta favorable ya que para que un fruto sea considerado de calidad debe tener un índice cercano o igual a 1.0, ya que ello implica que los frutos son de mayor calidad al tener un diámetro uniforme a lo largo de los mismos, haciendo un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes.

Cuadro 9. Diámetro superior e índice superior 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 SN (%)	Diámetro superior (mm)		Índice superior (mm)	
Goteo	100%	52.046	AB	0.99047	AA
T1	100%	52.982	AA	0.9819	AA
T2	125%-100%	51.487	AB	1.02236	AA
T3	125%-100%	49.515	AB	0.94022	AA
T4	125%-75%	47.993	BB	0.93398	A

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

Este parámetro es importante en cuanto a los criterios de calidad en pepino, ya que el mercado exige frutos rectos y que la parte distal del mismo no sea mucho más pequeña que el diámetro ecuatorial.

Los resultados de este estudio para estas dos variables cumplen con la descripción de Barreiro (2018), quien señala que un fruto de pepino para que sea considerado de buena calidad debe tener una forma alargada y cilíndrica con diámetros uniformes o parecidos en la parte proximal, ecuatorial y distal del fruto.

Por el contrario, Adame (2020) obtuvo resultados diferentes en otro estudio realizado en pepino, quien menciona que; el tratamiento de plantas subirrigadas con solución nutritiva al 100% obtuvo una respuesta significativa con un índice de 1.10 mm/mm, lo que considera desfavorable ya que los frutos presentaron una forma cónica. Lo que es considerado de menor calidad.

Barraza (2015), en un experimento realizado en pepino señala que, a medida que aumentó la concentración de la solución nutritiva aumentó también el diámetro de fruto con diferencias significativas a una concentración de 175% ya que se obtuvieron mayores diámetros de fruto.

Suslov y Cantwell (2012) mencionan que; la buena calidad de los frutos de pepino está principalmente representada en la uniformidad de la forma, firmeza, color verde oscuro del exocarpo, tamaño y ausencia de defectos de crecimiento o manejo.

Espinosa (2015), en un experimento realizado en tomate obtuvo un mayor diámetro de fruto utilizando una concentración en la SN de 75% con medias de 5.73 y 4.41 cm, respectivamente, los cuales corresponden a frutos de tamaño mediano de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-031-1997-SCFI (1992).

Numero de frutos

Los resultados para la variable de numero de frutos, no muestran diferencias significativas (Cuadro 10), sin embargo, el T3 (125%-100%) superó en un pequeño porcentaje a los demás tratamientos y al testigo obteniendo un promedio de 4.6 frutos, por lo que, se puede decir que se obtiene un numero de frutos similar con subirrigación utilizando diferentes concentraciones de la solución nutritiva.

Cuadro 10. Numero de frutos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.

Número de frutos		
Goteo	4.1	AA
T1	4.3	AA
T2	4.1	AA
T3	4.625	AA
T4	4.2	A

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

Estos resultados coinciden con los reportados por García Santiago (2014), en un experimento realizado en pimiento, ya que, señala que, en comparación con el riego superficial el número de frutos no fue afectado por los tratamientos de subirrigación.

Méndez (2020) menciona que, en un trabajo realizado en tomate se obtuvo los siguientes resultados respecto al número de frutos por racimo; utilizando diferentes concentraciones de la solución Steiner el rendimiento por racimo fue mayor en plantas subirrigadas con solución nutritiva al 100% cuando se cosechó el segundo y cuarto racimo, siendo 75% y 48% más alto que el rendimiento en tales racimos en plantas subirrigadas con la solución nutritiva al 120%, respectivamente.

García Santiago (2019) en un estudio realizado en tomate reporta que, el rendimiento más alto fue en plantas subirrigadas con solución Steiner al 100%, mientras que al ir disminuyendo la concentración se presenta una reducción en la producción de fruto.

Méndez (2020) menciona que al aplicar una concentración mayor al 100% en tomate, pero esto no resultó favorable ya que detectó una disminución de 18%, cuando aplicó una concentración de 120%.

Peso Fresco Total

Los resultados obtenidos para la variable de peso fresco; no muestran diferencias significativas; respecto al testigo (goteo 100%) (Cuadro 11), el cual generó una mayor biomasa, estando por encima de la mayoría de los tratamientos con subirrigación. Numéricamente el T1 (100%) es el que presentó la mayor biomasa, seguido del T2 y T3, a excepción del T4, el cual presentó la menor biomasa. Se puede concluir en esta variable que, la solución nutritiva no afecta el peso fresco total de las plantas de pepino subirrigadas a pesar de disminuir la concentración.

Cuadro 11. Peso Fresco Total del cultivo de pepino (*Cucumis Sativus L.*) en un sistema de subirrigación y goteo a diferentes concentraciones de la solución nutritiva.

Peso fresco total (g)		
Goteo	977	AA
T1	1015.8	AA
T2	927.6	AA
T3	945	AA
T4	884.4	A

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

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Rodríguez Álvarez (2017), ya que en un experimento en tomate señala que se obtuvo un efecto positivo en la acumulación de biomasa en el sistema de subirrigación.

En un trabajo realizado por Sánchez del Castillo (2014), señala que, la acumulación de biomasa observada en las plantas se atribuyó a que en este sistema no hay limitaciones de agua para la raíz y se mantiene más estable la concentración de nutrientes en la rizosfera, ya que los cambios en concentración ocurren lentamente por la gran cantidad de solución nutritiva presente por planta.

Ramírez (2018) en un trabajo realizado en pepino, utilizando la solución nutritiva universal Steiner (100%) observó que el contenido de N, P y K acumulado fue

mayor en la fracción comprendida por el follaje, de igual manera el Ca y Mg se acumularon mayormente en la porción del follaje para todos los cultivares.

Moreno (2017) reporta que; encontró que con la solución nutritiva al 50 % de concentración, se tuvo menor cantidad de biomasa que con las concentraciones del 75 y 100 %; en las otras variables evaluadas, no hubo ninguna diferencia estadística entre tratamientos

El resultado de este experimento contrasta con los obtenidos por Méndez (2020) en un estudio realizado en tomate, ya que señala que; las plantas subirrigadas con SN al 100% exhibieron mayor producción de biomasa respecto a plantas subirrigadas con solución nutritiva al 70%.

CE y pH del sustrato nivel inferior

La CE del nivel inferior del sustrato se muestran diferencias significativas, siendo el Testigo (goteo) el que presenta una CE mayor, seguido por T2 y por ultimo T3 y T4 con una CE similar. La CE es un parámetro muy importante a considerar ya que se debe evitar niveles elevados para que no haya estrés en la planta por exceso de sales, por lo tanto, T3 y T4 presentan una condición de desarrollo más óptimo por su baja CE.

Cuadro 12. CE y pH de sustrato nivel inferior del cultivo de pepino (*Cucumis Sativus L.*) en un sistema de subirrigación y goteo a diferente concentración de la solución nutritiva.

Sistema	Concentración (%)	CE		pH	
Goteo	100%	1.614.7	AA	6.9667	B
T1	100%	1.070.7	BC	7.6667	AA
T2	125%-100%	1.281	AB	7.1667	BB
T3	125%-100%	0.756.7	C	7.033	BB
T4	125%-75%	0.780.3	CC	7.333	AB

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

Los resultados obtenidos se deben a que disminuyen la concentración de la solución nutritiva en los diferentes tratamientos, se ocasionó una menor acumulación de sales en el sustrato, reflejándose así en una menor CE.

Atilano (2019), en un estudio realizado en tomate menciona que los rendimientos se vieron afectados por la CE del medio de crecimiento, señala que, obtuvo mejor rendimiento con una CE de 0.67 dS/ m^{-1}

Méndez (2019) en un experimento realizado en tomate, menciona que el rendimiento de fruto no se vio afectado en el primer racimo, sin embargo, en el segundo y tercer racimo se obtuvo mayor rendimiento cuando se aplicó una solución nutritiva 100%, lo cual estuvo relacionado a una CE cercana a 0.5 dS/ m^{-1} , en plantas subirrigadas con una SN al 120% nunca se obtuvieron racimos con mayor rendimiento debido a que la CE del sustrato alcanzó hasta 2.83 dS/ m^{-1}

García (2015), menciona que en un trabajo realizado en pimiento la CE se incrementó conforme se elevó la altura de los estratos del contenedor, siendo

superior en el estrato de 2128 cm; sin embargo, en el sustrato de plantas subirrigadas con láminas de 15 cm durante 30 min, la CE fue mayor en todos los estratos que en los restantes tratamientos de subirrigación o en las plantas con riego superficial.

Bouchaaba *et al.* (2015) mencionan que la salinidad excesiva que se produce en el sustrato puede tener efectos dramáticos sobre el crecimiento de las raíces de las plantas que son particularmente sensibles al estrés salino por la presencia de posible estrés osmótico debido a la mayor salinidad alcanzado en sustratos subirrigados.

Rodríguez (2017), en un estudio realizado en tomate menciona que, en las tres etapas del cultivo se obtuvieron resultados muy parecidos al irrigar las plantas con una concentración de la solución nutritiva de 120% se tienen los valores más altos de CE del sustrato, mientras la acumulación de sales fue menor cuando se utilizaron concentraciones en la solución nutritiva de 70% y 50%

Los resultados de este estudio concuerdan con los de (Incrocci *et al.*, (2006) y; Montesano *et al.*; (2010), quienes mencionan que la acumulación de sales en un sistema de subirrigación se encuentra principalmente en el estrato superior del sustrato. Esto se debe a que en subirrigación el flujo de agua y nutrimentos va de abajo hacia arriba y la falta de lixiviación en el sistema provoca la acumulación de iones en la parte superior del sustrato (Cox, 2001).

Los resultados para la variable de pH en el nivel inferior del sustrato, no se muestran diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, el Testigo (goteo) fue el que tuvo un pH menor (6.9), los tratamientos de subirrigación se encuentran en un rango de 7.0-7.6.

Los resultados de este trabajo no coinciden con los obtenidos por García, (2015) en un experimento en pimiento ya que menciona que; el pH tendió a aumentar conforme se eleva la altura del estrato, siendo más alto en el estrato superior, lo que sugiere que en la parte más baja del contenedor, la más acidificada y en la que se acumula una mayor cantidad de raíces, la absorción de nutrimentos fue

más intensa. Menciona también que, obtuvo un comportamiento opuesto al subirrigar con láminas de 10 cm durante 20 min y 15 cm durante 30 min ya que el pH tendió a disminuir en los estratos más elevados, lo que sugiere que la mayor actividad de absorción de nutrimentos se llevó a cabo en la parte más alta del sustrato, esto podría coincidir con los resultados obtenidos en este estudio.

Los resultados del presente estudio podrían coincidir con lo mencionado con Martinetti *et al.*, (2008), quien menciona que, en un sistema de subirrigación el pH es más ácido en la capa superior del sustra

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 SN de 100% ya que ambos tratamientos mostraron rendimientos muy similares respecto al testigo.

LITERATURA CITADA

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. 23-28

Adams, P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. Tratado de Cultivo sin Suelo: 81-111.

Alarcón. A. L. 2006. Nutrición y riego en los viveros. Extra 1: 42-64

AMHPAC, Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A. C. 2013. Mexico boasts nearly 21 thousand hectares under protected agriculture.

Antón, M.A. 2004. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya.

Atilano A. S. D. 2019. Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum L.*) a la concentración de la Solución Nutritiva en un Sistema de Subirrigación 17-21

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. 2018. Extracción de Fe, Mn, Zn, Cu y B en cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*). Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas 12(3):611-620.

Barraza A. F. V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 9 (1): 60-71

Barraza A. F. V. 2012. Acumulación de Materia Seca del Cultivo de Pepino (*Cucumis Sativus L.*) en invernadero, Temas Agrarios, 17 (2): 12-29

Barreto, C.V.G., R.S. Ferrarezi, F.B. Arruda, and R. Testezlaf. 2015. Growth and physiological responses of rang pur lime seedlings irrigated by a prototype subirrigation tray. HortScience 50:123–129.

- Bauerle, B. 1990. Keep an open mind about closed loop. *Greenhouse Grower* 8:53–58.
- Bergstrand, K.J. Approaches for Mitigating the Environmental Impact of Greenhouse Horticulture. Doctoral Thesis. *Acta Universitatis Agriculturae. Swedish University of Agricultural Sciences, Sueciae*, 2010.
- Bisognin, D. 2002 Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciencia Rural*. 32 (5)
- Bosco, G. M. J. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. *Tecnologías llave en mano*. INIFAP. México, D. F. 13-14 pp.
- 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.
- Bruuselma, T.C., Witt, F., Garcia, S., Li, T., Rao, S., Chen, F y Ivanova, S. 2008. A global framework for fertilizer BMP. *Better crops*. 92 (2): 13-15
- Buresh, R.J y Witt, C. 2007 Site specific nutrient management. *International Rice Institute*.
- Burt, C., O'Connor, K y Ruehr, T. 1998. Fertigation. The irrigation training and reseach center. *California Polytechnic State University*. San Luis Obispo, CA, USA. 295 p.
- Cadahia, C. 1998. *Fertirrigacion en cultivos hortícolas y ornamentales*. 475p
- Cánovas, F. y Magán, J.J. 2003. Cultivos sin suelo. En: *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. F. Camacho (Ed.) Instituto de Estudios de Cajamar. Almería: 407-453.
- Caron, J., Allaire, S., Menard, C. y Dorais, M. 2005. Posibles reemplazos de la lana de roca como sustrato para tomate en invernadero. *Canadian Journal of soil science*. 85

Chavarria V. A. E. 2013. Eficiencia de tres fuentes fertilizantes sobre la producción de chile dulce (*Capsicum annum*) c.v. Natali y sus curvas de absorción, en la producción de chile dulce en invernadero. Revista Ingeniería Agrícola. 3: 29-39

Cassman. K., Vltousek. P., Cleveland. C., Crews. T., Field. C., Grimm. N. B., Howarth. R. W., Marino. R., Martinelli. L., Rastetter. E.B y Sprent. J. I. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. Biogeochemistry. 58: 1-45

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

Coveña. C. L. R. 2015. Evaluación de tres híbridos de Pepino (*Cucumis Sativus L.*) con dos poblaciones de siembra bajo el sistema de hidroponía. 17-22

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.

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

Davis, A.S., D.F. Jacobs, R.P. Overton, and R.K. Dumroese. 2008. Influence of irrigation method and container type on northern red oak seedling growth and media electrical conductivity. Native Plants J. 9:4–12.

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

Egea. C., Madrid. R., Alarcón. A. L. y Sánchez. F. J. 1997. Nutrición hídrica y mineral en el cultivo de pepino (cv Alaska) sobre lana de roca. Interrelación iónica. ITEA 93 (2) 104-115

Elia A, Santamaria P, Parente A, Serio, F. 2002. Some aspects of the trough bench system and its performance in cherry tomato production. In VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate. Product and Process Innovation 614: 161-166.

Elliott, G.C. 1990. Reduce water and fertilizer with ebb and flow. Greenhouse Grower 8:70–73.

Elliott, G.C. 1992. A pulsed subirrigation system for small plots. HortScience 27:71– 72.

Espinosa. P.B., Cano, R. P., Salas, P. L., Sáenz. M. J. y Reyes. C. J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, 21 (3): 100-107

Fernández. R.E. y Camacho. F. Eficiencia en el uso del agua. Revista Viveros. Universidad de Almería en España, 2005, pp. 86-89

Ferrarezi, R.S., M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2015a. Monitoring and controlling ebb-and-flow subirrigation with soil moisture sensors. HortScience 50:447– 453.

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. S. J.C., Valdez. A. L. A., Cartmill. D. L., Cartmill. A. D., Juárez. L. P. y Alvarado. C. D. 2019. Subirrigation of container grow tomato II: Physical and chemical properties of the growing médium. Water 11: 1-13

Giuffrida F, Leonardi C. 2012. Concentración de solución nutritiva en pimiento cultivado en un sistema cerrado sin suelo: rendimiento, calidad del fruto, eficiencia hídrica y nutritiva. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sección B-Ciencia del suelo y las plantas* 62: 1-6.

González. F. J. A., Lozano. C. C. J., Preciado. R. P., Troyo. D. E., Rojas. D. A. y Rodríguez. O. J.C. 2021. Fertilización Orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Tierra Latinoamericana*, 39: 897

Green, W.J. and E. Green. 1895. Subirrigation in the greenhouse. *Ohio Agr. Expt. Sta. Wooster, OH, Bul.* 61.

Hochmuth. R.C. 2001. Greenhouse cucumber production- Florida greenhouse vegetable production handbook. University of Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. USA. 3: 7.

Huang, W. Y. 2009. Factors Contributing to the Recent Increase in U.S. Fertilizer Prices, 2002-08. *Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington, DC. 21 p

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.

Isherwood, K.F. 1990. IFA, 5th AFA International Annual Conference, 1999, Cairo, Egypt.

James. E.C y Van Lersel. M. W. 2001. La concentración de fertilizantes afecta el crecimiento y la floración de las petunias y begonias de regadío. *HortScience*. 36: 5

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

Jones. B. Sistema hidropónico ideal. 2005. Practical Hydroponics and Greenhouses.124: 42-44

Kang JG, van Iersel MW. 2002. Nutrient solution concentration affects growth on subirrigated bedding plant. Journal of Plant Nutrition 25: 387–403.

Kent, M.W. and D.W. Reed. 1996. Nitrogen nutrition of New Guinea impatiens 'Barbados' and spathiphyllum 'Petite' in a subirrigation system. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:816–819.

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

Kloock-Moore. K y Broschat. T. K. 1999. Differences in Bedding Plant Growth and Nitrate Loss with a Controlled release Fertilizer and Two Irrigation Systems. HorTechnology 9 (2): 206-210

Kloock-Moore. K y Broschat. T. K. 2001. Irrigation Systems and Fertilizer Affect Petunia Growth. HorTechnology 11(3): 416-418

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.

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

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

Maroto. J.V., San Bautista. A., López. S., Pascual. S y Alagarda. J. 1995. Respuesta de pepino (*solanum muricatum* ait.) a las aplicaciones de ethephon. ISHS Acta Horticulturae 412

Martínez. H.E.P. y Silva Filho. J.B. Introdução ao cultivo hidropônico de plantas. Viçosa. UFV. 2006.

Massa, D., L. Incrocci, R. Maggini, G. Carmassi, C. A. Campiotti, and C. A. Pardossi A. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless culture of greenhouse tomato. Agric. Water Manage. 97: 971-980.

Méndez. C. A., Valdez. A. L. A., Cadena. Z. M., González. F. J. A., Hernández. M. J. A. y Alvarado. C. D. 2020. Relación entre la concentración de la solución nutritiva y la conductividad eléctrica del sustrato en tomate subirrigado.

Mendoza. R. J. L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. Folleto técnico núm. 18. INIFAP. 38 p.

Mejia. V. R. 2010. Comparación del método de siembra de pepino (*Cucumis sativus L.*) con dos tipos de acolchado plástico y riego por goteo. 53-60

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

Nathan. R. 1995. La fertirrigación combinada con el riego. Notas del curso asociación israelí de Cooperación Internacional. Ministerio de agricultura Estado de Israel. 51 p.

Nee. M. 1993. Cucurbitaceae A.L. Juss. Instituto de Ecologia. Vol. 74

Neutzling. C., Nogueira. P. R. M., Borges. S. C., Grolli. P. R. y Perin. L. 2018. Reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* tras el cultivo de tomate para la producción de híbridos de pepino de conserva (*Cucumis sativus L.*) en

sistema de recirculación de lixiviado. Revista colombiana de ciencias hortícolas, 12 (3): 02-610

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 wick culture and other irrigation systems. HortTechnology 17:62–66.

Parra. T.S., Baca. C. G., Tirado. T.J., Villareal. R. M., Sánchez. P.P y Hernandez. V. S. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. Terra Latinoam. 27 (2)

Pizarro, F. Riegos Localizados de Alta Frecuencia ; Goteo, Microaspersión, Exudación, Ediciones Mundi-Prensa: Madrid, España, 1996; pag. 513.

Ponce. C. P. 2013. Panorama de la agricultura protegida en México.

Purvis. P., Glen. L. Y Taurins. L. 2000. Riego por inundación de *euonymus* y *thuja* cultivados en contenedores afectados por la tasa de fertilizante y el sustrato. Revista de horticultura ambiental (2000) 18 (1): 13-17.

Raviv. M y Leith. J.H. 2008. Soilless culture: theory and practice. Elsevier. 587 pp.

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 III, pp. 221–245.

Renny, B.; Arteaga, A., Florentino, A., y Amaya, G., 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersion en suelos cultivados con palma aceitera. Revista UDO Agrícola. 3:39-46.

Rincón. S. L. 1991. Fertirrigación en cultivos hortícolas In: el agua y los fertilizantes. Consejería de agricultura, Ganadería y Pesca. Murcia, España. 223-229 pp.

Rodríguez. G. A. 2008. Problemática del agua de riego en Guanajuato y producción de hortalizas con fertirrigación. XXV Semana internacional de agronomía.

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

Ruiz. F.S., Melendez. O. F., Castellanos. L. J., Ortiz. G.L y Estrada . O.J. 2013. Alternativas ecológicas para el control de *pseudoperonospora cubensis* (berk. y curt.) rostrata en pepino (*Cucumis sativus L.*) bajo condiciones de casas de cultivo protegido. *Agrotecnia de Cuba*. 37: 44-55

Salazar-Moreno. R., Rojano. A. A. y Lopez-Cruz. I. 2014. Water Use Efficiency in Controlled Agriculture. *Tecnología en ciencias del agua*. 5 (2): 177-183

Sánchez. C. F., González. M. L., Moreno. P. E. D. C., Pineda. P. J. y Reyes. G. E. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. 2014. *Revista fitotecnia mexicana*, 37 (3)

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

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.

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

Serrano. C. G. 2017. Productividad del agua con subirrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de Nabo (*Brassica naphus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata. Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica, 3 (2): 529-537

Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM) Proyecto GEF-CIBIOGEM de Bioseguridad. CONABIO Cucumis Sativus. 1-27

Sonneveld. C y Voogt. W. 2009. Nutrición vegetal de cultivos de invernadero; Springer: Nueva York, pag. 423.

Stewart. W. M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. IPNI 1-10

Terabayashi. K., Sugiura. M y. Nagasaki. 2005. Desarrollo de un método de fertilización simplificado y altamente eficiente en nutrientes mediante el uso de fertilizante de liberación controlada en el cultivo de tomate. ISHS Acta Horticulturae 10-34

Tiscornia. 1983. Hortalizas de hojas. Editorial Albatros. 7 p.

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.

Valadez. L. A. 1998. Producción de Hortalizas.

Van Iersel MW. 2000. Post-production leaching affects the growing medium and respiration of subirrigated poinsettias. HortScience 35: 250–253.

Vuelas. C. M. A. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. Memorias Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. 57-64 pp.

Weaver. J.E y Buner. W. E. 1927. Root development of vegetable crops.

Whitaker. T.W. 1931. Proporción sexual y expresión sexual en las cucurbitáceas cultivadas. Revista estadounidense de botánica. 19 (5): 359-366

Wehner. T.C.; Maynard. D.N. 2003 Cucumbers, melons, and other cucurbits. Volume 1. Encyclopedia of food and culture. New York, USA. 474-479.

Withrow. R. B. y Biebel. J. P. 1937. Métodos de solución de nutrientes para la producción de cultivos de invernadero.

Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richard, 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 Electrónicas.

FAO, 2014

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

ASERCA, 2015

<http://www.aserca.gob.mx/Paginas/default.aspx>