

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Sustitución Parcial de la Fertilización Inorgánica Mediante Productos Orgánicos
en Tomate Subirrigado Bajo Condiciones de Invernadero

Por:

TSUJMEJY GÓMEZ NAVOR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Satillo, Coahuila, México.

Abril, 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Sustitución Parcial de la Fertilización Inorgánica Mediante Productos Orgánicos
en Tomate Subirrigado Bajo Condiciones de Invernadero

Por:


TSUJMEJY GÓMEZ NAVOR

TESIS

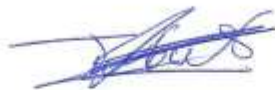
Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Juana Cruz García Santiago
Coasesor



Ing. Gerardo Rodríguez Galindo
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Satillo, Coahuila, México.

Abril, 2018.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y por acompañarme siempre en mi camino, por protegerme e iluminarme, pero sobre todo por darme sabiduría para concluir una meta más en mi vida.

A mi Alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad para formarme como profesionista, por todos los conocimientos adquiridos, por acogerme y cuidarme durante mi estancia en la universidad, y por todas las experiencias vividas. **Buitres por siempre.**

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por haberme ofrecido un proyecto para la elaboración de mi tesis, por la confianza brindada y por su valiosa colaboración en el desarrollo y revisión de literatura del trabajo.

A la Dr. Juana Cruz García Santiago, por su apoyo incondicional y orientación para el desarrollo de este trabajo, por brindarme su amistad, confianza y sobre todo la paciencia que tuvo hacia mí.

Al Ing. Gerardo Rodríguez Galindo, por su colaboración y apoyo en este trabajo.

A mis padres **Pedro Gómez Vásquez y Libia Navor**, por todo su amor, apoyo incondicional y porque son el motor que me impulsa cada día.

A mi gran amiga **María Magdalena Cervantes Zúñiga**, que es una persona muy especial para mí, gracias por haber estado siempre ahí cuando más te necesite, por todos los consejos y apoyos que me brindaste, las risas, tristezas y enojos compartidos.

A todos mis amigos, **Belén Vásquez, Soco Méndez, Fely Pastor, Raymundo Acalco, Lulu Ortiz**, por ser como mi familia durante mi estancia en la universidad, por sus grandes consejos y convivencias inolvidables.

Al equipo de EIIPP 2018, al Dr. Juan Manuel, por todas las convivencias, risas y viajes compartidos.

DEDICATORIA

A Dios y al Señor de Alotepec por bendecirme en todo momento, sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres **Libia Navor y Pedro Gómez Vásquez** por darme la vida, por su inmenso amor, apoyo incondicional, por cuidarme y protegerme, por enseñarme a ser mejor persona cada día con sus grandes y sabios consejos, el impulso que me dan para lograr mis sueños, por estar siempre ahí cuando los necesito, a ustedes que siempre confiaron en mí, que me enseñaron que las cosas buenas se logran con esfuerzo y que jamás hay que darse por vencidos, este logro es de ustedes y gracias a ustedes, ya que con todo su esfuerzo, sacrificio y los obstáculos que han tenido que librar para darme siempre lo mejor y lograr que culmine mi carrera, los amo tanto y les estaré eternamente agradecida.

A mi hermana **Mâtsa Gómez Navor**, por el gran cariño que me brinda, su apoyo incondicional, por sus cálidas palabras y consejos, por cuidar de mí y acompañarme en mis triunfos y fracasos.

A mis abuelos **Isabel Vásquez**, por su cariño y sabios consejos, **Martín Anacleto** que en paz descansa por todo su cariño, amor, consejo y enseñarme hacer una mejor persona creyendo en dios.

A mis padrinos **Javier Máximo Martínez y Aurora Martínez** por estar al pendiente de mí durante mi estancia en la universidad, por todo el apoyo brindado.

A todos mis compañeros y amigos que me apoyaron durante el desarrollo de mi tesis.

Y a todos mis familiares que siempre estuvieron al pendiente de mí durante mi estancia en la universidad.

RESUMEN

La subirrigación es un método de riego que se ha empleado para el uso más eficiente de agua y fertilizantes, lo que contribuye a la reducción de costos de producción y contaminación de mantos acuíferos. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo el sistema de subirrigación, además de conocer las fluctuaciones del pH y conductividad eléctrica (CE) de los sustratos bajo estas condiciones. Se aplicaron tres tratamientos, el primer tratamiento fue la fertilización inorgánica completa (testigo), y en los otros dos tratamientos se realizó una combinación de fertilizantes orgánicos (Phytafish y Fijaflor) e inorgánicos, combinando la concentración de N, P, K y Ca. El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento, cada repetición tuvo dos contenedores con una planta cada una. Los resultados indican que el peso seco del tallo y peso seco total fue mayor al emplear la solución nutritiva (SN) 2. El rendimiento se comportó similar al testigo al emplear la SN 3 (dosis de fertilizantes orgánicos más altos). En cuanto a la variable peso seco de raíz y la relación parte aérea/raíz el mejor tratamiento fue la SN 3. Mientras que el peso seco de raíz, pH y CE se vio influenciado por los tratamientos y estratos evaluados del medio de crecimiento.

Palabras clave: Cultivos hidropónicos, Agricultura sustentable, fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Hipótesis.....	4
II.REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Origen del tomate.....	5
2.2. Importancia del cultivo	5
2.3. Producción nacional	6
2.4. Producción bajo invernadero.....	6
2.5. Problemática del agua en la agricultura	7
2.6. Hidropónia.....	8
2.7. Subirrigación	9
2.8. Comportamiento de la CE y pH del sustrato subirrigado.	11
2.9. Elección del sustrato en subirrigación.	13
2.10. Fertilizantes en la agricultura	13
2.10.1 Fertilizantes químicos	14
2.10.2. Desventajas de los fertilizantes inorgánicos	14
2.10.3. Agricultura sustentable y fertilización orgánica.	15
2.10.4. Combinación de fertilizantes orgánico e inorgánico	17
III.MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación del experimento	18
3.2. Material vegetal.....	18
3.3. Trasplante.....	18
3.4. Sistema de riego	18
3.5. Tratamiento y diseño experimental	19
3.6. Manejo del cultivo	20
3.6.1. Riego	20
3.6.2. Tutorio.....	20
3.6.3. Poda.....	21
3.6.4. Aclareo de fruto.....	21
3.6.5. Cosecha.....	21

3.7. Variables evaluadas	21
3.8. Diseño experimental y análisis de datos	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
V. CONCLUSIÓN	37
VI. LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Composición química de las soluciones nutritivas a aplicar en el experimento.....20

CUADRO 2. Desarrollo radicular y propiedades químicas del sustrato al finalizar el experimento de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado bajo condiciones de invernadero31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de subirrigación.....	10
Figura 2. Diseño del sistema de subirrigación para la producción de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	19
Figura 3. Efecto de la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva en el rendimiento de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon cultivado bajo un sistema de subirrigación.....	25
Figura 4. Efecto de la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) en el peso seco de hoja de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon cultivado bajo un sistema de subirrigación	26
Figura 5. Peso seco de tallo en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon subirrigado.....	27
Figura 6. Peso seco de raíz en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon subirrigado.....	28
Figura 7. Peso seco total en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon subirrigado.....	29

Figura 8. Relación parte aérea raíz en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado.30

Figura 9. Peso seco de raíz de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) bajo sistema de subirrigación.....32

Figura 10. pH de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado.34

Figura 11. CE de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado.....36

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más difundidas en el mundo y la de mayor valor económico (Hernández y Chailloux, 2001), su importancia radica por el número de subproductos que se obtienen de él, además de ser indispensable en la dieta humana ya que aporta diferentes nutrientes como el licopeno, es rico en vitamina A, B, B2 y C, abundante en potasio, y bajo en energía calorífica. En México, además de aportar divisas para el país, proporciona mano de obra a gran cantidad de trabajadores que viven del campo (Santiago *et al.*, 1998).

Actualmente la producción en agricultura protegida ha ido en ascenso, se declara que en México existe 25 mil hectáreas de agricultura protegida que contribuyen con el 5.1% del valor de la producción agrícola y emplea el 0.1% de la superficie sembrada, los rendimientos por ha de tomate y pepino superan de 2.9 a 2.4 veces respectivamente, en comparación a campo abierto (SIAP/SAGARPA, 2016). De la superficie con agricultura protegida, el 66% corresponde a invernaderos, 11 % macro túneles o túneles altos, 10 % casa sombra y 13 % otras estructuras.

Los principales cultivos que se producen en invernadero son tomate 70 %, pimiento 16%, pepino 10% y otros cultivos 4% (SAGARPA, 2014). El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, usualmente esta tecnología se conduce con la hidropónia. El cultivo hidropónico posiblemente sea hoy en día el método más intensivo de producción de cultivos en la industria agrícola (Rivera, 2007).

La producción hortícola bajo invernadero y el uso de sistemas hidropónicos implica rendimientos y calidad de fruto, pero para poder lograr este objetivo se implementa la fertilización a través de soluciones nutritivas que se elaborarán con fertilizantes inorgánicos de alta solubilidad (Muñoz, 2004), también se tiene que incluir riegos frecuentes con el fin de maximizar el rendimiento de los cultivos (Zheng *et al.*, 2004).

Los componentes de la solución nutritiva, cuando se utilizan indiscriminadamente pueden causar efectos nocivos para el medio ambiente (Chan, 2001), más el uso de altas cantidades de agua que no se reutilizan han contribuido a optar por sistemas de riego que sean más eficientes y amigables con el medio ambiente. Además de que se busca minimizar los requerimientos de agua y fertilizante, para poder reducir los costos de producción (Van os, 1999).

La subirrigación es un método de riego que se basa en la acción capilar, es de cero lixiviación, lo que indica que conserva nutrientes y agua, reduciendo así los costos laborales y ayuda al productor a cumplir con las regulaciones ambientales (Ferrarezi *et al.*, 2015). La subirrigación mejora la uniformidad del cultivo, ya que el agua y los nutrientes están uniformemente distribuidos (Neal, 1989), hay mayor humedad en el sustrato, la subirrigación también puede mejorar la salud y la calidad de las plantas, y la incidencia y propagación de las enfermedades foliares se reduce porque las hojas no se humedecen durante el riego (Rouphael *et al.*, 2006).

La fertilización en sistemas de subirrigación deben ser más bajas que por riego de goteo (van Iersel, 1999). Lo anterior se debe a que 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 alta salinidad se produce principalmente en la capa de sustrato superior porque las sales se mueven junto con el flujo capilar. La evaporación del agua en la superficie también influye que las sales se acumulen en la capa superior de sustrato (Incrocci *et al.*, 2006).

Con la creciente población mundial se ha demandado más alimento, por lo que se ha hecho el uso excesivo de fertilizantes químicos, deteriorando los recursos naturales (Velasco-Velasco *et al.*, 2001), además de que la gente hoy en día se preocupa más sobre los alimentos que consumen, los niveles de contaminantes que puedan contener y los problemas que estos causan al medio ambiente (Hernández *et al.*, 2004).

Lo anterior obliga a implementar alternativas que promuevan la agricultura sustentable, optando por la utilización de fertilizantes orgánicos (Hansen *et al.*, 2001), para reducir o suprimir el uso de fertilizantes inorgánicos.

La combinación de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos mejora la absorción de fertilizantes sintético (Pan *et al.*, 2009), más el uso del sistema de subirrigación, permitiría al agricultor tener grandes rendimientos, además de lograr ser más eficiente con el uso de los recursos naturales. Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente trabajo fue determinar los efectos de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate y el comportamiento del pH y CE del sustrato subirrigado.

Objetivo General

Determinar los efectos de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el comportamiento del pH y CE del sustrato subirrigado.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos sobre el crecimiento del cultivo de tomate.
- Determinar el efecto de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de tomate.
- Evaluar el efecto de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos en el pH y CE de los estratos del medio de crecimiento subirrigado.

Hipótesis

La sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos influye en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate subirrigado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, es una planta herbácea (Ruiz *et al.*, 2012). Su origen se remonta en América del sur, en la región Andes, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, pero su domesticación fue llevada en México gracias a los Aztecas. Su nombre proviene del Náhuatl que significa xictli =ombligo y tomatl =tomate que se traduce a tomate de ombligo (SAGARPA, 2010).

2.2. Importancia del cultivo

El tomate, uno de los productos hortícolas considerado de mayor importancia en muchos países del mundo; apreciada tanto por su valor económico, nutricional, superficie cultivada y por las divisas que aporta (Santiago *et al.*, 1998); su demanda aumenta continuamente, debido a los beneficios que trae para la salud, su componente principal es el agua, contiene vitaminas (C y E) y minerales (Fosforo, Potasio y Magnesio), carotenos como el licopeno que hacen ser de este alimento una fuente importante de antioxidantes (Palomo *et al.*, 2010). Según los científicos aseguran que incluir hortalizas como el tomate, en la dieta humana disminuye el riesgo de contraer enfermedades peligrosas, esto se logra gracias a las grandes cantidades de licopeno que ayuda a remover los radicales libres (Cruz *et al.*, 2013).

México se encuentra como el principal exportador mundial de tomate, según la secretaria el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), esto nos convierte en un país potente hortofrutícola (SAGARPA, 2015); en el año 2015 la tasa de exportación creció en promedio anual de un 6.5 %, en comparación con el volumen que hizo a una tasa promedio anual de 4.7 por ciento durante la última década. El volumen exportado fue equivalente a la cantidad de 1.43 millones de toneladas, estos equivalen a un 33.3 % de la producción nacional, la mayor parte de las ventas (99.3 %) se destinó al mercado de Estados Unidos (FIRA, 2016).

El tomate es una hortaliza que se puede consumir de varias formas, ya sea en fresco o procesado es otro de las características que tiene y por la cual es apreciada. En México, es la segunda hortaliza más importante por la superficie sembrada; la más importante por su volumen en el mercado nacional, y la primera en su valor de producción. Además, el cultivo de la misma genera mucha mano de obra (Velazco y Nieto, 2006).

2.3. Producción nacional

De acuerdo con estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el tomate es uno de los cultivos que se desarrolla en climas muy variados, es por eso que en casi todas las entidades del país se presenta, los 5 principales estados productores son Sinaloa, que ocupa el primer lugar aportando el 20 % del volumen nacional, San Luis Potosí con 11%, Baja California 8.2 %, Zacatecas, 6.7 %, y Michoacán, 6.4 %, estos 5 estados aportan un 52 por ciento de la producción nacional (SAGARPA, 2017).

México ocupa el décimo lugar como productor y primer lugar en exportación de tomate a nivel mundial, por lo que la comercialización de este producto, bajo condiciones de invernadero, ofrece grandes bondades. Los Estados que cuentan con el mayor número de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); en estas cuatro entidades se encuentra más del 50% de la producción total de cultivos protegido (López *et al.*, 2011).

2.4. Producción bajo invernadero

La creciente población mundial, ha provocado una creciente demanda en la producción de hortalizas de calidad, por ende los productores se han visto en la necesidad de implementar nuevas tecnologías como son los invernaderos, estas son estructuras que están diseñadas para proporcionar a la planta un ambiente controlado, ya que permite modificar y controlar de forma eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el proceso de crecimiento y desarrollo

de las diferentes hortalizas, ya que se generan microclimas artificiales que permiten aumentar los rendimientos (Al-Adwan y Al-D, 2012).

El invernadero representa un sistema de producción que incrementa la eficiencia del uso del agua, ya que se disminuye las pérdidas por evapotranspiración, esto sucede gracias a que se crea un microclima para mejorar la fotosíntesis de la planta. Las necesidades de agua de los cultivos bajo invernadero son menores que los cultivos a campo abierto. En general, la producción bajo invernaderos incrementa la eficiencia en el uso del agua por tres razones: 1. Se reduce la evapotranspiración (menor radiación, mayor humedad). 2. Incremento de los rendimientos debido a un mejor control de plagas y enfermedades. 3. Técnicas avanzadas de riego (riego por goteo y reúso del agua) (Salazar *et al.*, 2014).

Otra razones más importantes del implemento de los invernaderos, es de tener producción todo el año, producción anticipada o fuera de estación, en comparación a campo abierto ya que se puede controlar las condiciones ambientales, que a su vez conlleva un óptimo desarrollo para la planta, en conclusión, se tiene una mayor productividad (Rivas, 2009). Según López *et al.* (2011) en México, la implementación de invernaderos está en pleno crecimiento y desarrollo. El rendimiento promedio obtenidos en estos sistemas varían de 5 y 8 kg/planta, superando tres veces el que se obtiene a campo abierto (1.5- 2 kg/planta) (Jaramillo *et al.*, 2006), en México aproximadamente se estima que hay alrededor de 42,882.43 ha de cultivos bajo condiciones protegidas.

Los invernaderos y el uso de cultivos hidropónicos han permitido incrementos en rendimientos y calidad de los frutos, ya que los cultivos hortícolas se desarrollan en ambientes pocos restringidos y controlables (Preciado *et al.*, 2011).

2.5. Problemática del agua en la agricultura

El uso total del agua en México, gran porcentaje pertenece a la agricultura (78 %) , mientras que para los fines urbanos es de 11.5 %, 8.5 % para la industria y 2 % para fines pecuarios y la acuicultura (Jimenez *et al.*, 2010) .Si bien se puede

ver que la agricultura es la actividad que más agua utiliza, es por eso que se ha decidido buscar métodos que ayuden a la reutilización y el cuidado de este recurso.

La problemática de agua en México, se encuentra en que principalmente los mantos acuíferos han perdido la calidad del agua para riego, por las diversas contaminaciones que existen hoy en día, esto conlleva a que muchos productores se ven obligados a perforar a grandes profundidades (200-300 m) para poder encontrar agua de calidad, lo que muchas veces resulta a un alto costo que los agricultores no pueden solventar (Bastia *et al.*, 2012).

El ambiente controlado de agricultura e hidropónia parece ser la respuesta a muchas de las dificultades asociadas con la producción de cultivos especiales al aire libre como consecuencia de la degradación continua del suelo, la pérdida de fertilidad, el uso indiscriminado de insumos químicos y, sobre todo, el continuo agotamiento de los recursos hídricos (Sheikh, 2006).

2.6. Hidropónia

La hidropónia significa cultivar sin suelo. Es una técnica donde las plantas se desarrollan con soluciones nutritivas con o sin el uso de un medio o sustrato (orgánico e inorgánico) (Beltrano y Giménez, 2016). Es esencial que la SN tenga la proporción adecuada (de aniones y cationes) necesaria para que las plantas absorban los nutrientes (Sánchez *et al.*, 2014). Los sistemas hidropónicos, se caracterizan de no requerir el uso del suelo para el desarrollo y sostén de la planta, es por ello que ha tenido impacto en el ambiente productivo, también representa una alternativa a desarrollar en lugares donde los suelos han sido muy deteriorados o poco fértil, además de que permite hacer el uso eficiente del agua (Lara, 1999).

La hidropónia es una tecnología que ha resultado en mayor calidad y rendimientos de los cultivos, así como en el uso eficiente del agua, fertilizantes, químicos y pesticidas. En especial los sistemas de hidropónia con recirculación cerrada donde se hace ahorro de agua y energía (Salazar *et al.*, 2014).

Disminuyendo costos de producción y viéndose beneficiado el bolsillo del productor.

Los sistemas de hidropónia sin recirculación, tiene la desventaja de que se desperdicia la SN, debido al exceso que se lixivia como desecho, esto trae como consecuencia una elevación de costos, contaminación de suelo y aguas subterráneas (Sánchez *et al.*, 2014) Por lo que la subirrigación con recirculación de solución nutritiva es una alternativa de solución a esta problemática, además de que ofrece al agricultor la disminución del uso gradual de fertilizantes y agua (Wen-fei *et al.*, 2001).

2.7. Subirrigación

La subirrigación es una técnica de riego que proporciona agua o solución de fertilizantes al fondo de los contenedores (Fig. 1). La acción capilar del sustrato proporciona a las raíces agua y nutrientes. Las secciones de invernadero o bancos con plantas cultivadas en contenedores se inundan periódicamente dentro de un sistema cerrado. La solución de agua o fertilizante es absorbida por el sustrato a través de orificios en el fondo del contenedor (Guttormsen, 1969; Ferrarezi *et al.*, 201; Million *et al.*, 2007). Una vez que se completa el riego, la cantidad que no es absorbida por el medio se drena hacia el tanque de retención para su recirculación y reutilización para el riego posterior (Van Os, 2001).

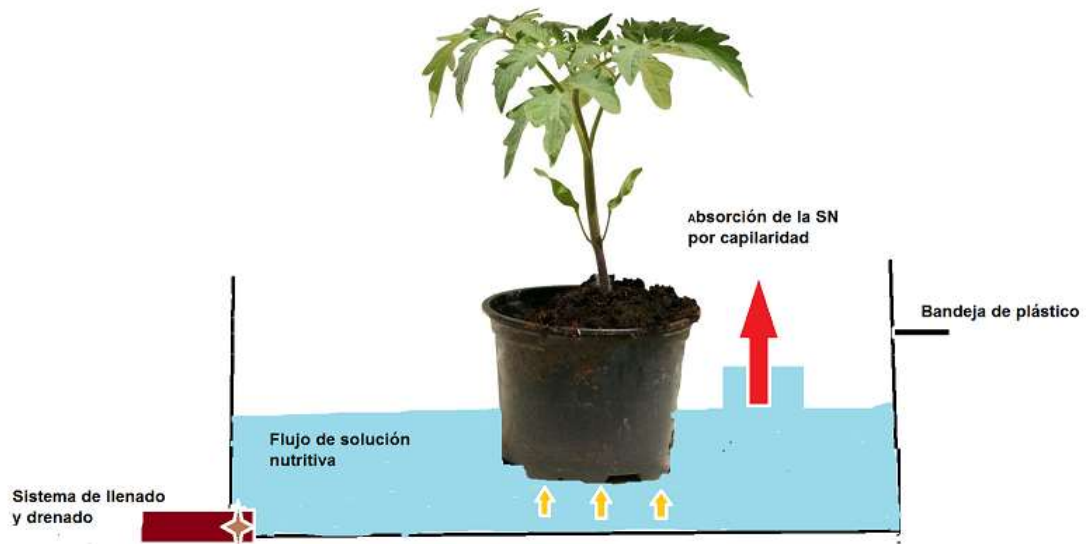


Figura 1. Sistema de subirrigación. Se observa un contenedor con orificio, colocado una bandeja de plástico, a través del cual el sustrato absorbe la SN por capilaridad. El contenedor se inunda periódicamente mediante el sistema de llenado y drenado.

Los sistemas de subirrigación permiten una mayor eficiencia en el uso del agua (Bumgarner *et al.*, 2008), ya que se evitan la pérdida por lixiviación y escorrentía porque el exceso de nutrientes se recoge y almacena para su uso posterior y representa un gran porcentaje en el ahorro de fertilizante (Zheng *et al.*, 2010), las únicas pérdidas que se presentan es través de transpiración y evaporación (Dumroese *et al.*, 2006). Las plantas subirrigadas presentan un mayor crecimiento, mejor uniformidad de cultivo y rendimiento, probablemente debido a la mayor disponibilidad de agua y uniformidad de riego, también porque este tipo de sistemas introduce más nutrientes a la zona de raíz que por el riego superficial (Bumgarner *et al.*, 2008).

El cultivo de subirrigación recirculante tiene menores requerimientos de nutrientes y agua, proporciona nutrientes de manera uniforme, evita la humectación foliar (prevención de enfermedades), humectación uniforme en el sustrato, ofrece una mayor flexibilidad en el tamaño y el espaciamiento de las macetas (Zheng *et al.*, 2004) . Por lo tanto, un sistema de subirrigación permite a

muchos productores el ahorro de dinero en la utilización de menos fertilizantes (Dumroese *et al.*, 2006).

García *et al.* (2017) sustenta que en subirrigación el diámetro del contenedor afecta el movimiento capilar del agua, y que entre mayor sea el diámetro del contenedor el movimiento del agua a estratos superiores es más lento. La forma y tamaño del contenedor determina la distribución tridimensional del sustrato (Da Silva *et al.*, 1993; Gizas y Savvas, 2007). En hortalizas, las láminas y tiempo de inmersión difieren a la de los ornamentales, debido principalmente a que el contenedor, para la producción de hortalizas es de mayor volumen, pues la lámina así como el tiempo de inmersión ideal para subirrigación dependerá de la especie con el que se trabaje, necesidades hídricas, composición y volumen del sustrato, y de las dimensiones del contenedor (García *et al.*, 2017).

2.8. Comportamiento de la CE y pH del sustrato subirrigado.

En sistemas de subirrigación, el flujo unidireccional de la solución nutritiva en el sustrato, se produce por la acción capilar y al flujo a granel (Reed, 1996). El movimiento del agua se da por evaporación de la superficie del sustrato y es favorecido por la transpiración de las plantas. A través de las raíces, las plantas absorben los elementos de la solución nutritiva, necesarios para su crecimiento. Todo lo que la planta no absorbe, es transportado hacia la parte superior del sustrato, que da como resultado la acumulación progresiva de los elementos minerales, que se traduce a una alta CE (Molitor, 1990; Reed, 1996; Santamaria y Serio, 2001). Esto se ha considerado como una de las desventajas del uso de la subirrigación (Zheng *et al.*, 2010). Más, sin embargo, en los estudios que realizaron Incrocci *et al.* (2006) en tomate bajo subirrigación, sustenta que la mayoría de las raíces crecieron en la parte inferior de los estratos, por lo que no se ve afectado la absorción de nutrientes. Roupael *et al.* (2008) mencionan que es importante mantener una CE favorable en la capa inferior del sustrato para obtener un rendimiento óptimo de los cultivos debido a la presencia de una mayor proporción del sistema radicular a esta profundidad.

El aumento de la CE, también depende de la temporada de crecimiento y la concentración de soluciones nutritivas. En la temporada de primavera, la CE medio de cultivo aumenta mucho más rápidamente con sistemas de subirrigación. Se recomienda que, en temperaturas más altas se debe utilizar soluciones menos concentrada para mantener la CE del medio de cultivo al nivel deseado para evitar las pérdidas en el crecimiento de la planta y la reducción de la calidad (Rouphael *et al.*, 2008). La solución nutritiva se puede reducir en al menos 50 % sin ningún efecto perjudicial sobre el crecimiento de la planta, esto de acuerdo con los estudios que realizaron Zheng *et al.* (2004) con el cultivo de Gerbera.

El pH del sustrato es especialmente importante porque afecta la disponibilidad de algunos de los nutrientes para la planta, se debe de mantener siempre en un rango óptimo. La disponibilidad de la mayoría de los micronutrientes disminuye a medida que aumenta el pH del sustrato. Esto a su vez puede causar deficiencias de micronutrientes (Van Iersel, 2000).

La variación del pH en el sustrato puede darse por diversos factores. Por ejemplo, cuando el pH inicial de un sustrato es mayor y al finalizar el experimento disminuye puede deberse a la extrusión de ion hidrogeno (H^+) cuando la planta absorbe cationes (Voogt, 1995).

La subirrigación puede aumentar la estratificación de los valores de pH debido a la ausencia de lixiviación de iones de hidrógeno asociados con el riego por arriba o la nitrificación de amonio a nitrato. El uso de fuentes de NO_3^- -N puede justificarse para evitar la acidificación del medio de raíz (Molitor, 1990). El amonio juega un papel importante en la disminución de pH, mayores concentraciones de NH_4^+ frente a nitrato en la solución nutritiva, es igual a disminución de pH o viceversa. Durante la absorción de NH_4^+ se intercambia un protón por cada molécula de NH_4^+ tomada en las raíces. El resultado de este intercambio es una disminución neta en el pH del sustrato (Bailey, 1996; Marschner, 2002); En los tratamientos de bajo contenido de nutrientes (NH_4^+), se intercambian menos protones y no se disminuye el pH (Zheng *et al.*, 2004).

2.9. Elección del sustrato en subirrigación.

En este tipo de sistema de riego, unos de los puntos más importantes es la elección del sustrato, para garantizar el suministro continuo de agua y nutrientes a la planta, debe de tener un ascenso suficiente capilar. La magnitud capilar que tenga un sustrato, depende de la distribución de macro y microporos que se tenga, la humedad relativa y la tensión superficial de la SN (Santamaria y Serio, 2001). Se necesita una estabilidad adecuada de los medios, densidad, estructura de partícula y capacidad de retención de agua para permitir el movimiento del agua dentro de los recipientes (Oh *et al.*, 2007). Los sustratos con partículas grandes tienen grandes espacios de poros, reduciendo la acción capilar.

Un sustrato particularmente interesante es la perlita, que tiene la ventaja de absorber mucha humedad. Un estudio realizado entre perlita, piedra pómez, y turba ácida (esta última se mezcló v: v 2: 1, 3: 1 y 4: 1), contenido en vasos de 10 L sin planta, se encontró que después de 5 minutos, la perlita bajo sistema de subirrigación, absorbe el doble comparado con los otros sustratos (Santamaria y Serio, 2001).

Hacer la combinación de sustratos orgánicos e inorgánicos es una práctica común en la producción de ornamentales y hortalizas, es importante recalcar que se busca una característica ideal en cada una. La adición de componentes orgánicos como el turba ácida ayudan a mejorar las propiedades físicas y químicas, tales como capacidad de retención de agua, porosidad de aire, disminución de peso húmedo y mejora en la capacidad de intercambio catiónico (Cabrera, 1999).

2.10. Fertilizantes en la agricultura

Con la creciente población mundial que ha visto en los últimos años, ha causado como consecuencia la necesidad de tener vivienda, vestimenta, pero sobre toda alimentación. La mayoría de la producción alimentaria proviene del campo (Fresco, 2003). Pero esta producción se logra gracias a la implementación de fertilizantes, que proveen de nutrientes a las plantas, incrementando los niveles de producción (Finck, 1998).

Los fertilizantes son productos orgánicos o inorgánicos que contienen al menos uno o más nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo. Según su origen se puede clasificar en fertilizantes Minerales o químicos y Orgánicos (Arévalo y Castellano, 2009).

2.10.1 Fertilizantes químicos

Los fertilizantes químicos, sintéticos o también llamados inorgánicos, son obtenidos principalmente, de los yacimientos mineros (rocas), las cuales, a través de diferentes procesos se van degradando lentamente hasta convertirse en compuestos solubles asimilables por las plantas. Estos yacimientos se encuentran en extensiones relativamente menores, convirtiéndolos en fuentes irrenovables (Cubero y Vieira, 1999; Arévalo y Castellano, 2009). Los fertilizantes químicos en general son solubles. Su solubilidad presenta la ventaja de que los nutrientes tiene una rápida tasa de asimilación para las plantas (Villa *et al.*, 2005).

Las hortalizas cultivadas en hidropónia o en subirrigación, hay que recordar que anteriormente se mencionó que requieren de solución nutritiva, para el crecimiento y desarrollo de la planta. Las soluciones nutritivas son preparadas a partir de los fertilizantes inorgánicos solubles que se diluyen en agua en cantidades y concentraciones optimas (Alvarado *et al.*, 2001). Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, constituyen una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico

Erston (1967), define a la solución nutritiva como una mezcla de solución acuosa que contiene todos los elementos esenciales en concentraciones adecuadas. Las soluciones nutritivas pueden ser modificadas de acuerdo a los requerimientos específicos de cada planta.

2.10.2. Desventajas de los fertilizantes inorgánicos

El uso de los fertilizantes inorgánicos tiene la desventaja de que reducen la materia orgánica contenida en el suelo, el abuso en su utilización tiende a contaminar los mantos acuíferos de la zona (Villa *et al.*, 2005).

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos ha causado muchos problemas en la agricultura, entre ellos se mencionan las más importantes como: contaminación del medio ambiente, fuga de divisas, aumento de costos en la producción y salinización de los suelos (Gómez y Vásquez, 2011). Además, el uso de fertilizantes inorgánicos ha mostrado bajas eficiencias, junto con el aumento de costos y la necesidad de producir orgánicamente ha dirigido a los productores a optar por una agricultura sustentable (Suge *et al.*, 2011).

2.10.3. Agricultura sustentable y fertilización orgánica.

Actualmente el tema de sustentabilidad ha cobrado auge en la agricultura, ya que hoy en día los productores han logrado hacer conciencia del mal uso de los recursos disponibles, que podrían ocasionar graves daños al ambiente y afectar el potencial productivo del mismo. Uno de los recursos más importantes en la agricultura, son el agua y el suelo ya que esto depende su óptimo desarrollo, dado que es necesario generar alimento para cubrir las demandas alimenticias de las crecientes poblaciones en nuestras naciones (Arévalo y Castellano, 2009).

Para disminuir la utilización de fertilizantes inorgánicos, se han desarrollado varias alternativas viables y sostenibles. Por lo que la agricultura sustentable es sinónimo de la utilización de abonos o fertilizantes orgánicos. La agricultura orgánica se ve relacionada con aspectos económicos y los requerimientos de un cierto sector de la población que exigen este tipo de productos, con requerimientos muy específicos y estrictos, la utilización de abonos orgánicos solos o mezclados mejoran las condiciones de crecimiento de las plantas (Villavicencio, 2007).

Ejemplo de ello es la organoconomía, que tiene como base a los abonos orgánicos, ya que no se utilizan soluciones nutritivas con fertilizantes químicos, sino que suministra solución nutritiva de forma orgánica, obtenidos de un proceso de

transformación orgánica a través de biodigestores, compost o lombricompost o producción de ácidos húmicos (Patrón, 2010).

La solución nutritiva de origen orgánico, constituye una fuente de nutrición para las plantas de un sistema intensivo de cultivo sin suelo, obtenida a través de degradación de materia orgánica por vía aerobia o anaerobia. Muchas veces son productos que el agricultor puede conseguir fácilmente de su propia finca a través de la misma producción, con lo que se reducen los costos ocasionados por adquisición de fertilizantes comerciales, así como los daños que éstos pueden provocar a la salud del productor y al ambiente. El propósito de utilizar abonos orgánicos líquidos es el de sustituir la producción convencional, por una agricultura conservacionista (Villavicencio, 2007).

Los fertilizantes orgánicos son aquellos que se producen de la descomposición de restos de materiales vegetales y animales muertos (Cubero y Vieira, 1999).

Al incorporar fertilizantes orgánicos al suelo se aumenta la capacidad para mayor retención de nutrientes minerales que se aplica, mejorando la textura y estructura del suelo (fertilidad), mayor capacidad de retención de humedad (Villa *et al.*, 2005).

Los fertilizantes orgánicos además de ser amigables con el ambiente, mejoran la capacidad de intercambio catiónico, aumenta la porosidad de los suelos, lo que facilita el crecimiento radicular de los cultivos y lo mejor de todo, son más baratos (Gómez y Vásquez, 2011). Las funciones más importantes que juegan la utilización de abono orgánico, es el suministro de nutrientes y el aumento en el contenido de materia orgánica de los suelos (Suge *et al.*, 2011).

Una desventaja de la producción de cultivos orgánicos es que los rendimientos a menudo son menores en comparación con la producción convencional (Mäder *et al.*, 2002; Dumas *et al.*, 2003).

2.10.4. Combinación de fertilizantes orgánico e inorgánico

La combinación de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos mejora la combinación de la actividad microbiana y una de las más importantes es que mejora la absorción de fertilizantes sintético (Pan *et al.*, 2009).

Estudios realizados por Suge *et al.* (2011) muestran que tanto los fertilizantes minerales como los abonos orgánicos tienen sus propios roles en el manejo de la fertilidad del suelo, pero ninguno puede suministrar únicamente todos los nutrientes y otras condiciones de crecimiento para hortalizas.

La sustitución parcial de los fertilizantes N, P, K (mineral) por un componente orgánico altera la biología del suelo, la combinación de fertilizantes inorgánicos con abonos orgánicos (Tao *et al.*, 2015); la combinación de los fertilizantes produce mayores rendimientos y mejora la calidad de fruto en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) además de que aumenta la biomasa microbiana, reduce el consumo de N mineral en un 40 % (Hernández *et al.*, 2014).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El presente experimento se realizó en el periodo Junio-Diciembre del 2016, en uno de los invernaderos del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuya ubicación geográfica es 25° 23' de latitud norte y 101° 80' de longitud oeste, con una altitud de 1763 msnm. Durante el desarrollo del experimento se registró temperaturas promedio de 21°C (con un promedio máximo de 48°C y mínima de 2°C), Humedad relativa promedio de 72.18% (con un promedio mínimo de 9.36 % y promedio máximo 99.52 %) y una radiación fotosintéticamente activa incidente diurna de 153 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.2. Material vegetal

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo bola cv. Clermon de hábito indeterminado. La siembra de semilla se realizó el 4 de junio del 2016, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, se empleó como medio de germinación turba ácida (Peat moss) con pH de 6.0. Se depositó una semilla por cavidad.

3.3. Trasplante

El trasplante se realizó, cuando las plántulas alcanzaron una altura de 15 cm, seleccionando plantas vigorosas, uniformes y totalmente sanas. Las cuales fueron colocadas en bolsas de polietileno negro con un volumen de 10 L, empleando un sustrato compuesto de una mezcla de turba acida (80 v/v) y perlita (20 % v/v).

3.4. Sistema de riego

Se empleó el sistema de subirrigación con recirculación nutritiva, lo cual se utilizó una bandeja de aplicación de plástico rígido con medidas de 69 cm de largo, por 39 cm de ancho con una altura de 16 cm, dentro de los cuales se colocaron dos contenedores con una planta cada una. Cada bandeja contaba con un sistema de llenado y drenado, compuesto de mangueras de 16 mm y válvulas para el control de suministro y drenado de la SN de cada tratamiento. Además, el sistema

contaba con tanques de almacenamiento de la SN (200 L), colocando un tanque por cada tratamiento a evaluar (Fig. 2). La SN se bombeó a la bandeja de aplicación con ayuda de bombas de $\frac{1}{4}$ de fuerza de caballo (Hp).



Figura 2. Diseño del sistema de subirrigación para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

3.5. Tratamiento y diseño experimental

Se emplearon tres tratamientos para evaluar el impacto del uso combinado de fuentes de nutrientes orgánicos e inorgánicos en la producción de tomate bajo un sistema de subirrigación, combinando la concentración de N, P, K y Ca (Cuadro 1), la combinación de las fuentes minerales se completó con la siguiente SN (meq L⁻¹): 14 N, 2 P, 8 S, 11 Ca, 9 K y 4 Mg; el tratamiento testigo fue la fertilización inorgánica completa.

Para cubrir la demanda de fertilizantes inorgánicos se emplearon las siguientes fuentes de sales y ácidos concentrados: Ca(NO₃)₂·4H₂O, MgSO₄·7H₂O, KN₃, K₂SO₄, KCl, HNO₃ y H₃PO₄. Para realizar la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos se empleó como fuente los siguientes fertilizantes (certificado por la

OMRI); Phytafish®, es un fertilizante líquido soluble de origen marino (4% nitrógeno total, 1% P₂O₅, 1% K₂O) y Fijaflor® fertilizante líquido soluble (8% Ca).

La unidad experimental consistió en dos contenedores con una planta cada uno, y cada tratamiento tuvo siete repeticiones. Cada unidad experimental se colocó en una bandeja de aplicación; los contenedores estuvieron distanciados entre 20 cm y 30 cm entre bandeja.

Tratamiento	N		P		K		Ca		Mg	S
	NO ₃ ⁻	Phytafish	H ₂ PO ₄ ⁻	Phytafish	K ⁺	Phytafish	Ca ²⁺	Fijaflor	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
	meq·L ⁻¹									
Testigo	14	0	2	0	9	0	11	0	4	8
2	12.5	1.5	1.93	0.07	8.89	0.11	6.89	4.11	4	8
3	12	2	1.91	0.09	8.85	0.15	5.52	5.48	4	8

CUADRO 1. Composición química de las soluciones nutritivas a aplicar en el experimento.

3.6. Manejo del cultivo

3.6.1. Riego

La frecuencia de riego varió según las necesidades hídricas de las plantas. En el sistema de subirrigación, cada bandeja de aplicación se llenó con SN con una lámina de riego de 15 cm y se mantuvo por 30 minutos, una vez transcurrido el tiempo de riego, la SN se dejó drenar a un tanque de almacenamiento, y la SN evapotranspirada en cada riego se compenso para el riego posterior, ajustando el pH a 6.0±0.1 antes de cada riego con H₂SO₄.

3.6.2. Tutoreo

El tipo de tutoreo utilizado en el experimento fue el de tipo holandés, se colocaron anillos de tutoreo a los 15 días después de trasplante, haciendo la conducción de la planta con una rafia manejándolo a un solo tallo, con el fin de que crecieran erguidas y así evitar las caídas por el peso del fruto.

3.6.3. Poda

Las podas realizadas fueron de hoja, brotes y chupones axilares, estas actividades se realizaron de forma manual hasta llegar al décimo racimo. La poda de hoja consistió, en eliminar las hojas viejas de los racimos ya cuajados, con el objetivo de mejorar la aireación de la planta, mejorar madurez de fruto y evitar el desarrollo de plagas o enfermedades. Los brotes y chupones axilares se podaron a una medida máxima de una pulgada, esta actividad se realizó por las mañanas para evitar daños a la planta.

3.6.4. Aclareo de fruto

Esta actividad se realizó cuando los frutos ya estaban amarrados, dejando solamente 5 frutos por racimo, para obtener frutos más grandes y uniformes.

3.6.5. Cosecha

Se cosecharon 10 racimos con 5 frutos cada uno. Esta actividad se inició el 29 de septiembre y concluyó el 5 de diciembre. Se efectuó el corte cuando los frutos adquirieron un 80% del color rojo característico de la variedad.

3.7. Variables evaluadas

Para determinar las siguientes variables se tomaron las dos plantas por repetición.

Rendimiento

La variable de rendimiento total se obtuvo, del total de cosecha que se realizó una vez por semana, en el cual se registró el peso fresco de cada fruto por planta.

Peso seco de la hoja

Se recolectaron todas las hojas obtenidas de las podas, guardándola en bolsa de papel, al final de ciclo del experimento se llevaron al horno de secado donde se sometió a una temperatura de 70 °C durante 72 h y posteriormente se registró el peso de la materia seca utilizando una balanza analítica RHINO® (BAPRE3), expresando el resultado en gramos por planta.

Peso seco de tallo

Al final del ciclo de cultivo se hizo una muestra destructiva, donde el tallo de la planta se cortó en pequeñas partes con la ayuda de una tijera, esto con el fin de facilitar su recolección en las bolsas de papel, que estaban respectivamente señaladas con el tipo de órgano que contenía, tratamiento y repetición. Se sometió a secado en un horno a una temperatura de 70 °C durante 72 horas. Al término de este proceso se pesó cada muestra en una balanza analítica RHINO® (BAPRE3), expresando el resultado en gramos por planta

Peso seco de raíz

Para determinar la biomasa radicular, se dividió el contenedor en tres partes (estrato superior, medio y bajo), esto se hizo con la ayuda de un cuchillo. Se retiró las raíces del sustrato, haciendo un lavado con el agua de llave para eliminar el exceso del mismo, se hizo la recolección en bolsas de papel, señalándola con su respectivo tratamiento y estrato. Para el secado y peso de la raíz se siguió el mismo procedimiento de hoja y tallo.

Peso seco total

Esta variable resultó de la suma del peso seco de la hoja, tallo y raíz, expresando los resultados en gramos por planta.

Relación parte aérea y raíz

La relación parte aérea raíz se determinó a través de la suma del peso seco del tallo más el peso seco de la hoja dividido entre el peso seco de la raíz.

Determinación de pH y CE de los sustratos

Se determinó los valores de pH y CE del sustrato en los tres estratos del contenedor (superior, medio y bajo), se sacó una muestra representativa de cada nivel, se colocaron en bolsas de polietileno señalando el tratamiento, repetición y el tipo de estrato, se expuso al sol por 5 días. Posteriormente se preparó una mezcla de sustrato más agua destilada, en una proporción de 1:2 v/v, se agitó

manualmente por 5 minutos y se dejó reposar por 20 minutos. Posteriormente se filtró la mezcla de cada tratamiento y con la solución obtenida se midió el pH y la CE, con la ayuda de un ionómetro portátil Horiba® (LAQUA Twin).

3.8. Diseño experimental y análisis de datos

El diseño experimental fue el de bloques al azar, con siete repeticiones por tratamiento, cada repetición tuvo dos contenedores con una planta cada una. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de LSD ($P \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de rendimiento se encontró diferencia significativa, siendo los mejores tratamientos en el testigo y la SN 3, con rendimientos de 6,184.9 y 6,142.5 g por planta, respectivamente, superando la SN 2 en un 14 % en ambos tratamientos (Fig. 3). Lo anterior significa que la SN 3 logró igualar la producción obtenida con la fertilización inorgánica al 100 % (testigo), poniendo en manifiesto que producir tomate en invernadero bajo el sistema de subirrigación utilizando una mezcla de fertilización orgánica/inorgánica se mantiene considerablemente los rendimientos, lo que contribuye al gran avance de la agricultura sustentable.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2009), los cuales evaluaron el rendimiento de tomate empleando té de compost preparado a partir de estiércol bovino provoca efectos positivos en el desarrollo de tomate, por lo que los fertilizantes orgánicos se consideran una alternativa en la producción de invernadero por contener nutrimentos solubles que puedan suplir la nutrición de las plantas. Sin embargo, nuestros resultados difieren de lo reportado por Preciado *et al.* (2011) quienes trabajaron con diferentes tipos de fertilizantes (Solución Steiner, Té de vermicompost, Té de compost y Lixiviado de vermicompost) en tomate bajo invernadero, reportando un mayor rendimiento al emplear la fertilización inorgánica.

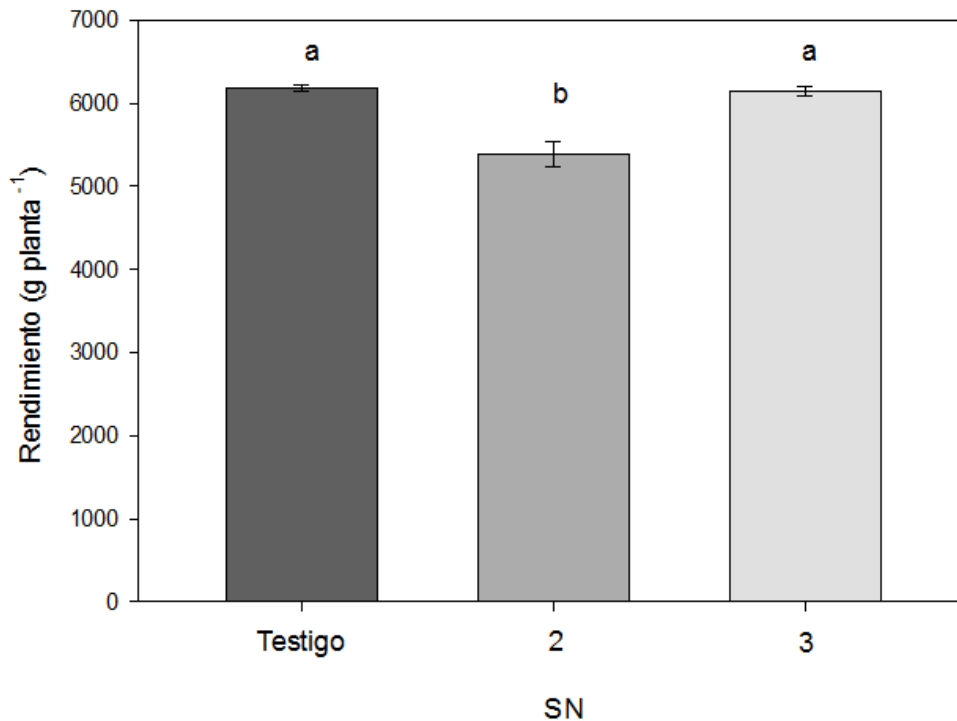


Figura 3. Efecto de la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivado bajo un sistema de subirrigación. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.0193$

Peso seco de hoja

De acuerdo con los resultados estadísticos, no se obtuvo diferencia significativa en la variable de peso seco de hoja (Fig. 4). Esto difiere de Arguello *et al.* (2015) quienes trabajaron con biofertilizante ligado a un soporte orgánico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), obtuvo mayor peso al adicionar fertilizante químico 12.09 g, seguido de la combinación de compost + biofertilizante con 11.18 g

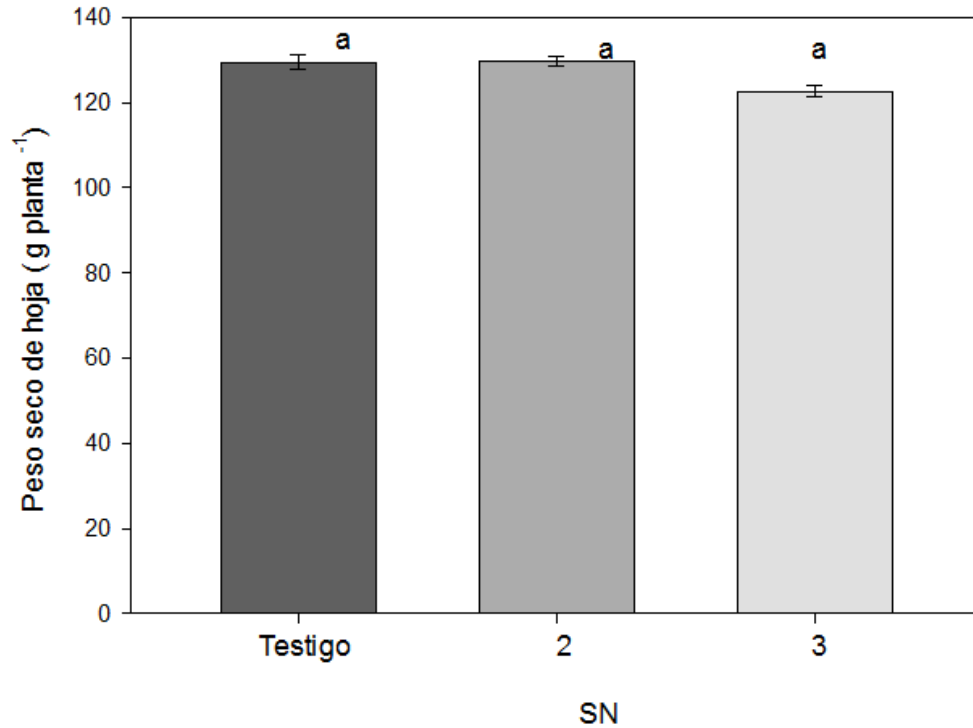


Figura 4. Efecto de la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) en el peso seco de hoja de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivado bajo un sistema de subirrigación. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.223$.

Peso seco de tallo

De acuerdo con el análisis de varianza se encontró diferencia significativa en la variable peso seco de tallo como se puede observar en la Fig. 5, la SN 2 fue el mejor tratamiento, seguido de la SN 3, superando al testigo en un 12 % y 8 %, respectivamente. Esto concuerda con Cervantes (2018) quien trabajo con la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon, donde obtuvo mayor peso seco de tallo al adicionar mayor cantidad de fertilizantes orgánicos.

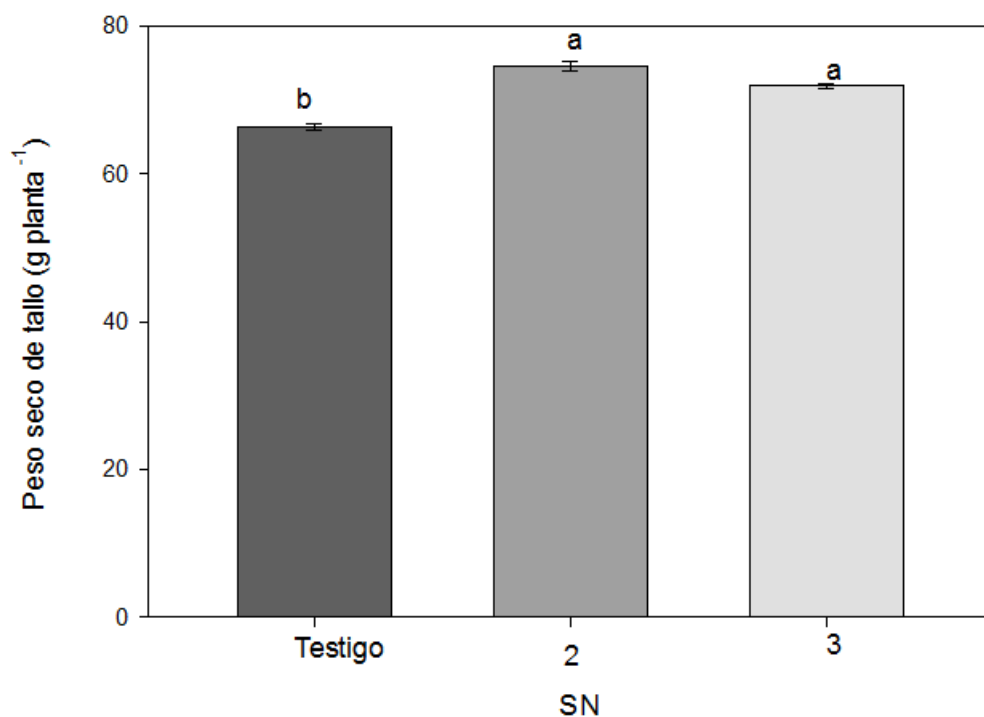


Figura 5. Peso seco de tallo en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.0013$.

Peso seco de raíz

En la variable de peso seco de raíz se encontró diferencia significativa, siendo el mejor tratamiento la SN 3, seguido de la SN 2, ambos superaron al testigo en un 51 % y 29 %, respectivamente (Fig. 6). Resultados similares fueron encontrados por Arguello *et al.* (2015) quienes trabajaron con biofertilizante ligado a un soporte orgánico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), los cuales obtuvieron mayor peso seco de raíz al emplear la combinación de compost más biofertilizante.

El menor peso seco radicular obtenido con el testigo puede atribuirse a que las raíces no desarrollaron bien debido a la alta CE alcanzada al utilizar una fertilización inorgánica al 100 %, como lo señala (Plaut *et al.*, 1997; Degenhardt y Gimmler, 2000), los cuales indican que ciertos cultivos sometidos a alto contenido de sales reducen el crecimiento y longitud de raíz, disminuyendo así la biomasa radicular, debido a que estas se encuentran en contacto directo con el sustrato. Lo anterior se puede verificar en la Fig. 11, donde el testigo tiende a tener la mayor CE, y SN 2 y 3 son las más bajas en cuanto a CE.

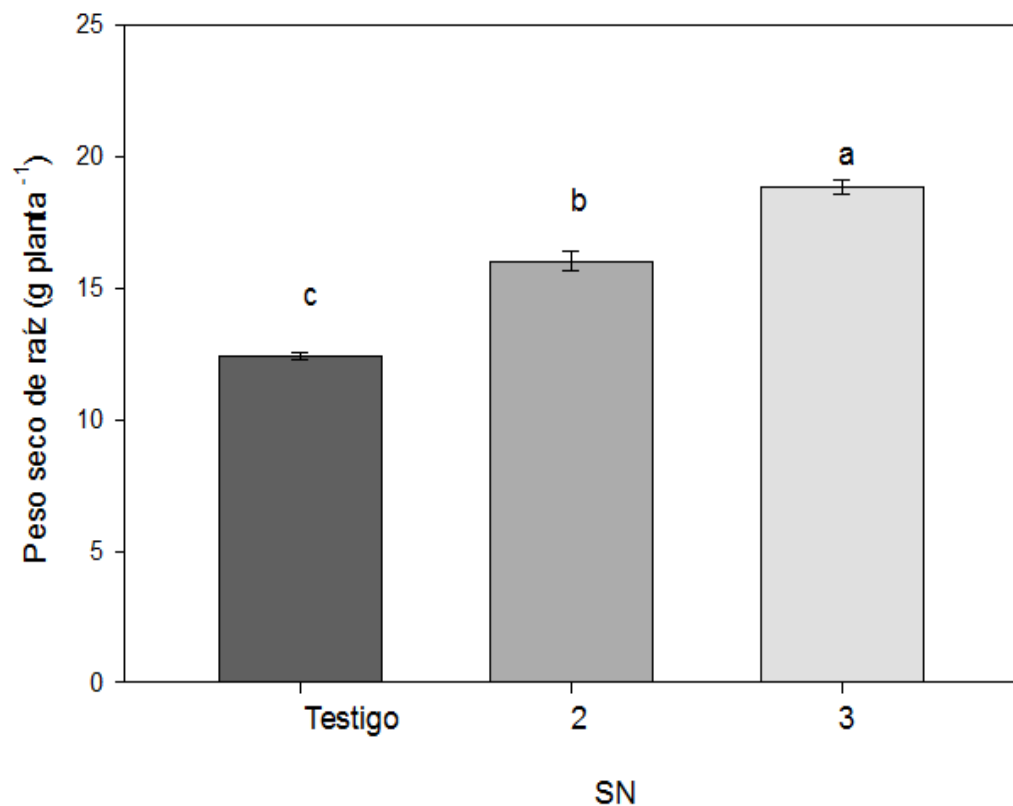


Figura 6. Peso seco de raíz en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.0001$

Peso seco total

De acuerdo a los datos de peso de biomasa total se encontró diferencia significativa, donde el mejor tratamiento fue la SN 2 seguido de la SN 3, superando al testigo por 5 % y 3 %, respectivamente (Fig. 7). Estudios similares fueron encontrados por Anwar *et al.* (2005), en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*), donde encontraron mayor biomasa seca al hacer la combinación de estiércol orgánico con fertilización inorgánica (N, P, K). Estos resultados probablemente se deban que al adicionar fertilizantes orgánicos mejora la eficiencia de fertilizantes inorgánicos (Hernández *et al.*, 2014).

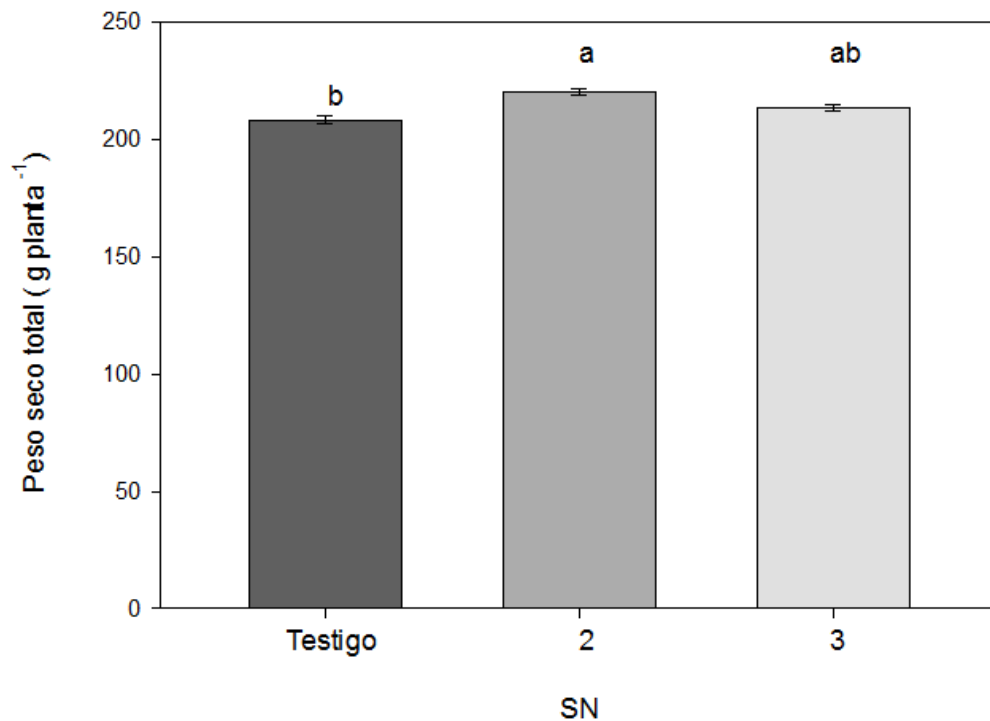


Figura 7. Peso seco total en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.094$

Relación parte aérea/raíz

En la variable de relación parte aérea/raíz se encontró diferencia significativa, donde el testigo resultó con mayor valor en esta variable (Fig. 8). El menor valor obtenido en esta variable al emplear la SN 3 puede deberse al mayor peso seco radicular obtenido, el cual fue favorecido por la baja CE alcanzada con este tratamiento, tomando en cuenta que, con el testigo por cada gramo de raíz se generó 15.79 g de biomasa aérea, mientras que con la SN 3 por cada gramo de raíz se generó 10.35 g de parte aérea. Lo anterior nos indica también que la SN 3 fue la más eficiente en la fotosíntesis, ya que con menor biomasa aérea igualo al testigo en lo que respecta a la variable de rendimiento.

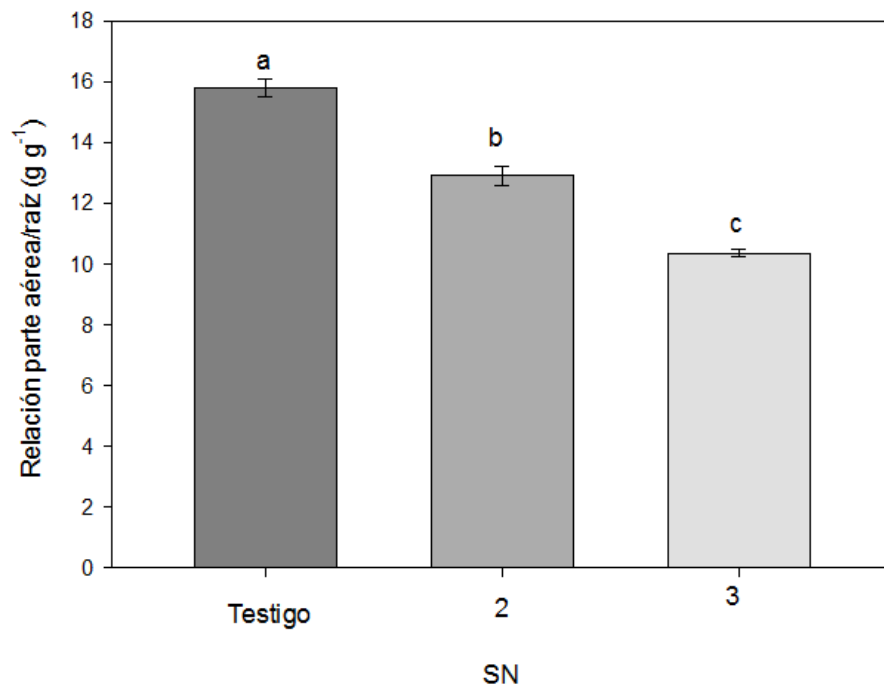


Figura 8. Relación parte aérea raíz en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.0001$

En general, el peso seco radicular, pH y la CE del sustrato fueron afectados por las soluciones nutritivas empleadas (Cuadro 2); así mismo, las variables

anteriormente mencionadas fueron influenciadas significativamente por el estrato evaluado y la interacción de los factores evaluados (Cuadro 2).

CUADRO 2. Desarrollo radicular y propiedades químicas del sustrato al finalizar el experimento de la sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado bajo condiciones de invernadero.

		pH	CE	Peso seco radicular
			dS m ⁻¹	g planta ⁻¹
SN	1	6.45c	4.49a	4.14c
	2	7.10a	2.99c	5.34b
	3	6.97b	3.52b	6.28a
Estrato	Superior	6.77b	5.07a	7.63 a
	Medio	6.94b	3.12b	5.41b
	Inferior	6.81b	2.81c	2.712c
ANOVA	SN	P≤.0001	P≤.0001	P≤.0001
	Estrato	0.0033	P≤.0001	P≤.0001
	interacción	P≤.0001	P≤.0001	0.0979
	CV (%)	2.28	13.28	14.96

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple LSD con $p \leq 0.05$. CE= Conductividad eléctrica. ANOVA= análisis de varianza. CV= Coeficiente de variación.

De acuerdo con la Fig. 9 se observa que el mayor peso de raíz se obtuvo en la SN 3 con un valor promedio de 6.28 g por planta, seguido de la SN 2 con un promedio de 5.34 g por planta, mientras que el testigo fue uno de los peores tratamientos respecto a esta variable con el cual se obtuvo 4.14 g por planta. Este resultado puede estar relacionado con la baja CE alcanzada en el medio de crecimiento con la SN 2 y 3, debido a la adición de fertilizantes orgánicos. El peso

radicular fue mayor en la parte superior del estrato en todos lo tratamiento evaluados (Fig. 9). Estos resultados se le atribuye a que las raíces de la parte superior eran de mayor grosor por efecto tuvo mayor peso seco, caso contrario de las raíces que se desarrollaron en la parte inferior del sustrato, donde se encontró mayor cantidad, pero todas eran fibrosas y de menor diámetro. Resultados similares fueron reportados por Argo y Biernbaum, (1995) y Martinetti *et al.* (2008), quienes señalan que en sistema de subirrigación, la mayor parte de las raíces crecen en el estrato inferior del medio de crecimiento. El mayor volumen de las raíces en parte inferior de los sustratos se le atribuye a la menor CE y la mayor disponibilidad de nutrientes (Davis *et al.*, 2011)

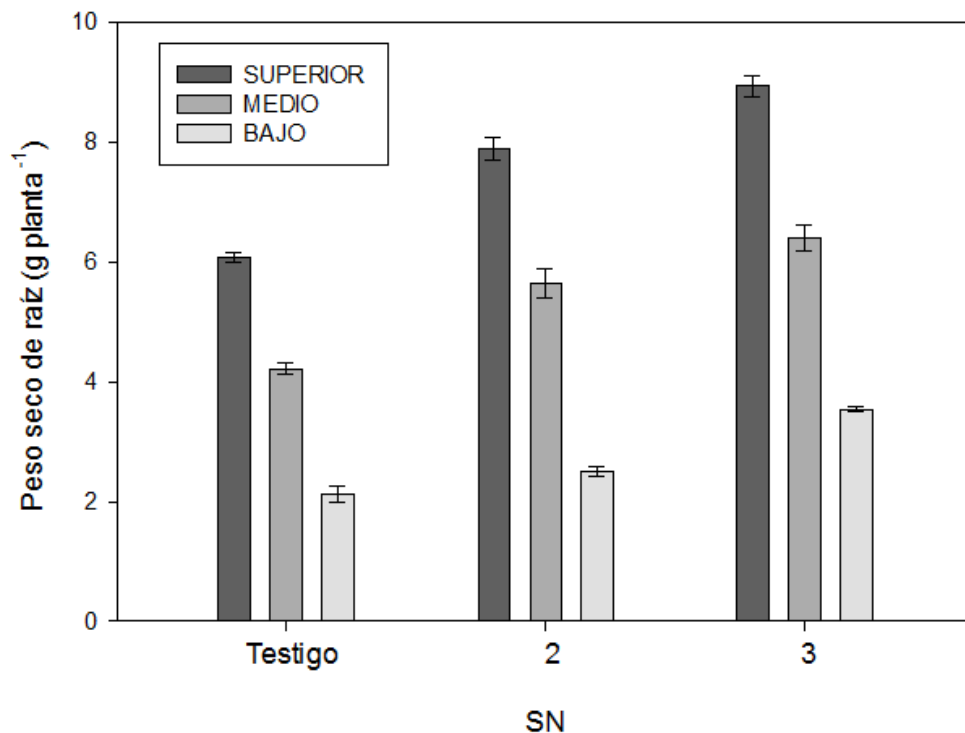


Figura 9. Peso seco de raíz de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) bajo sistema de subirrigación.

pH del sustrato

En lo que respecta a la variable de pH se encontró diferencia significativa, teniendo el mayor pH al emplear la SN 2 que en promedio obtuvo un valor de 7.10, seguido de la SN 3 que en promedio obtuvo 6.97, mientras tanto el testigo obtuvo un pH promedio de 6.45, como se observa en la Fig. 10. Los valores altos de pH posiblemente se deban a la mayor absorción de nutrientes por la planta al emplear la SN 2 y 3, principalmente NO_3^- , ya que según Hernández *et al.* (2014), indican que al adicionar fertilizantes orgánicos se mejora la eficiencia de fertilizantes inorgánicos. Relacionado a lo anterior, Gallegos *et al.* (2000) realizaron algunas evaluaciones relacionadas con la absorción de nitrato y amonio en plantas de nopal en hidróponia, los cuales encontraron que el valor del pH en la zona de raíz es influenciado por la forma nitrogenada (NH_4^+ o NO_3^-) que se utiliza en la fertilización; con fertilización y absorción de NO_3^- el valor del pH se incrementa, mientras que con NH_4^+ el pH se disminuye. Por su parte, Maldonado (1993) explica los cambios de pH a partir de los principios de electroneutralidad de las células de las plantas; la carga total de aniones es igualada a la carga de cationes. La raíz al absorber un catión, un anión también es absorbido o un catión es liberado, así al absorber NH_4^+ puede estar acompañado de la liberación de H^+ y afectar con ello el pH del medio de crecimiento. La absorción de NO_3^- es considerado de tipo activo, su transporte al interior de la célula se reduce considerablemente cuando se inhibe la síntesis de ATP y se acepta que el NO_3^- es cotransportado con H^+ , con una estequiometría de $2\text{H}^+ : 1 \text{NO}_3^-$, lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben NO_3^- ; mientras que Salisbury y Ross (1994) describe que el incremento de pH, se debe a la absorción de NO_3^- , se acompaña de absorción de H^+ o excreción de OH^- para mantener el balance de cargas.

El pH de los estratos del medio de crecimiento, tendió a disminuir en los estratos superiores de la SN 2 y 3, probablemente esto puede deberse a la extrusión de ion hidrogeno (H^+) cuando la planta absorbe cationes según Voogt (1995), ya que

los iones de hidrogeno no se liberan, por el tipo de sistema de riego utilizado (cero lixiviaciones), por lo que los iones de hidrogeno (H^+) tienden a migrar hacia la parte de arriba acidificado el medio. Estos resultados concuerdan con Cervantes (2018) que también trabajó con tomate en sistema de subirrigación, quien señala que disminuye el pH en la parte superior de los estratos del medio de crecimiento.

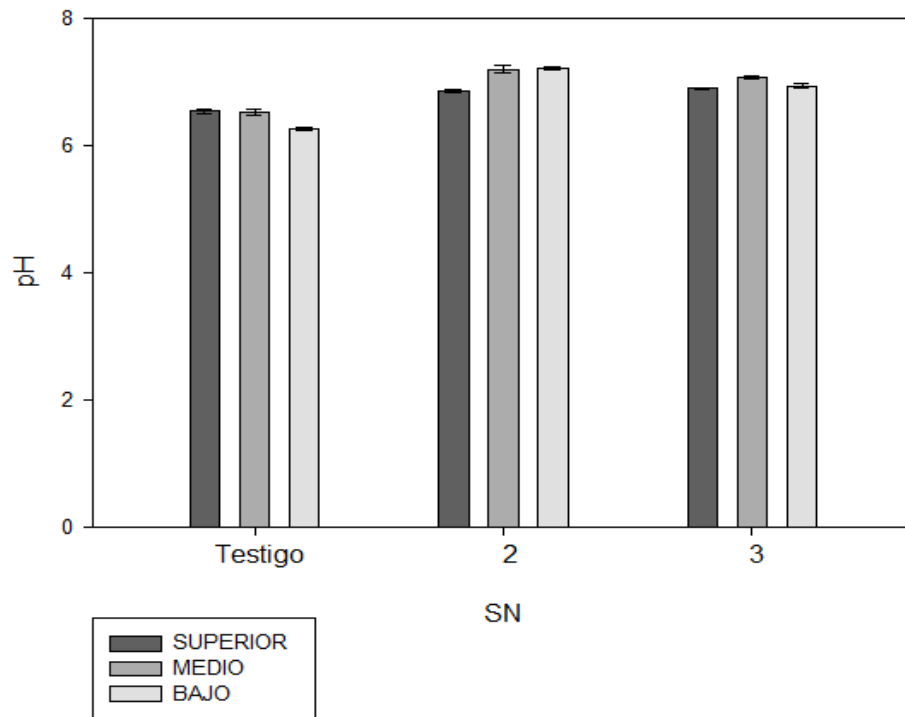


Figura 10. pH de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado.

CE del sustrato.

La CE del medio de crecimiento fue mayor en el testigo, promediando los valores obtuvo 4.49 dS m^{-1} , seguido de la SN 3 con promedio de 3.52 dS m^{-1} de la SN 2 con una CE promedio de 2.99 dS m^{-1} (Fig. 11). Estos resultados posiblemente se deban que al adicionar fertilizantes orgánicos bajan o estabilizan la CE del

medio de crecimiento, porque los nutrientes (N, P, K y Ca) no son liberados rápidamente del compuesto orgánico, comparado con la fertilización inorgánica, todos los nutrientes aplicados están fácilmente disponible por lo tanto incrementa la CE. Esto concuerda con Guerrero (2009) quien trabajó con seis soluciones nutritivas compuestas por humus de lombriz, donde se evitó la concentración de sales en el medio de crecimiento, por efecto una menor CE.

Mientras que la CE por estrato del medio de crecimiento, tuvo una distribución diferente, se encontró la mayor acumulación de sales en la parte superior de los estratos en todos los tratamientos evaluados, siendo el estrato superior 2 veces mayor al valor de la CE de los estratos inferiores, de acuerdo con el promedio de resultados estadísticos. Esto se le atribuye al tipo de sistema de riego que se empleó (subirrigación). Como lo señalan Martinetti *et al.* (2008) al utilizar el sistema de subirrigación en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.), observaron mayor acumulación de sales en la parte superior del sustrato, ya que el agua junto con las sales se mueve ascendentemente favorecido por la evapotranspiración del medio ambiente. Relacionado a lo anterior, Elia *et al.* (2002) indican que las sales minerales no absorbidas por las raíces de las plantas se someten a un lento pero continuo movimiento de agua hacia la capa superior del sustrato, como resultado las sales no utilizadas migran progresivamente hacia las capas superiores, aumentando así la salinidad en la porción superior del sustrato donde no hay crecimiento de la raíz. Resultados similares fueron encontrados por Klock-Moore (2000) quien señala que la acumulación de sales en parte superior del sustrato, es una de las desventajas del sistema de subirrigación.

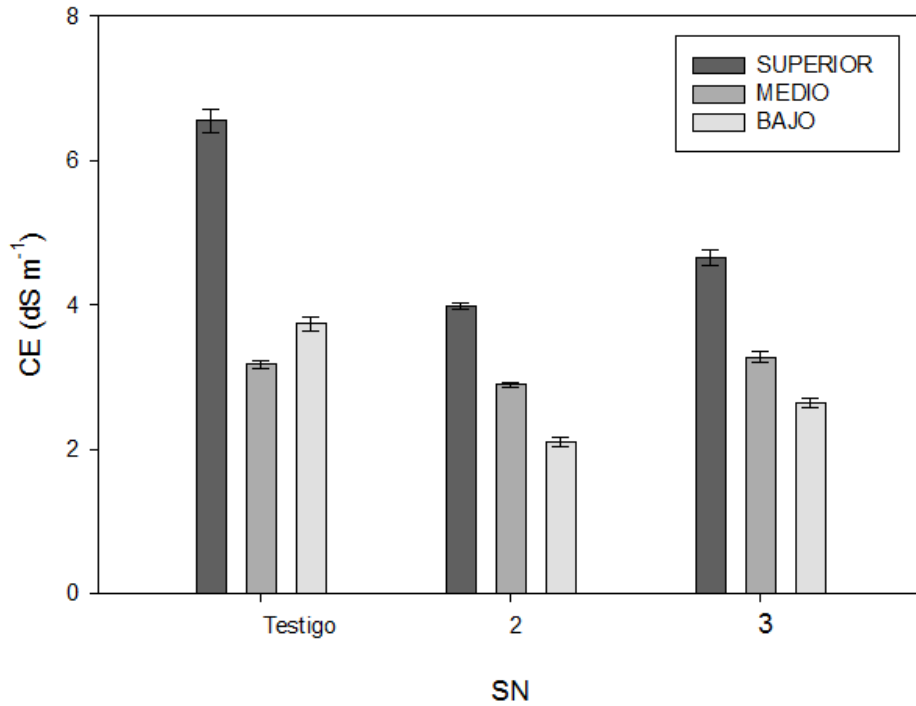


Figura 11. CE de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado.

V. CONCLUSIÓN

La sustitución parcial de la fertilización inorgánica mediante productos orgánicos bajo sistema de subirrigación si influye en el rendimiento, al agregar más dosis de fertilizantes orgánicos se logra igualar el rendimiento con la fertilización 100% inorgánico. Esto hace la producción más sustentable ya que se logra disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos, además de tener ventajas en el ahorro de fertilizantes y el uso eficiente del agua al implementar el sistema de subirrigación.

La combinación de fertilizantes orgánicos/inorgánicos mejora la producción de biomasa seca en el cultivo de tomate, ya que al adicionar fertilizantes orgánicos se mejora la eficiencia de los fertilizantes inorgánicos.

Al hacer la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en sistema de subirrigación, mejora los valores de la CE del medio de crecimiento, porque los nutrientes (N, P, K, Ca) no son liberados rápidamente del compuesto orgánico.

Al emplear el sistema de subirrigación, se presenta mayor acumulación de sales en la parte superior del estrato, sin embargo, esto no influye en el crecimiento y desarrollo de las raíces de tomate, principalmente en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos.

VI. LITERATURA CITADA

- Al-Adwan, I., and Al-D, M. S. 2012. The use of zigbee wireless network for monitoring and controlling greenhouse climate. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2(1), 35-39.
- Alvarado, D., Chávez, F., and Wilhemina, K. 2001 . Lechugas hidropónicas: Seminario de Agro Negocios. *Universidad del Pacífico. Facultad de Administración y Contabilidad Lima-Perú*, 1-8.
- Anwar, M., Patra, D. D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A. A., and Khanuja, S. P. S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(13-14), 1737-1746.
- Arévalo, G., and Castellano, M. 2009. Manual de fertilizantes y enmiendas. *Programa para la agricultura sostenible en laderas de América Central. El Zamorano Honduras* (pp. 31-41).
- Argo, W. R., and Biernbaum, J. A. 1995. The effect of irrigation method, water-soluble fertilization, replant nutrient charge, and surface evaporation on early vegetative and root growth of poinsettia. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(2), 163-166
- Arguello, H. 2015. Evaluation of the effect of a biofertilizer linked to a mineral organic substrate on lettuce grown under greenhouse. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 72-85.
- Bailey, D. A. 1996. Alkalinity, pH and acidification, p. 69–92. In: D.W. Reed (ed.). *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publ., Batavia, Ill.

- Bastia, C. O. A., Sánchez-del Castillo, F., Moreno, P. C. E., Contreras, M. E., 2012. *Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (Solanum lycopersicum L.) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes*. Tesis de licenciatura. Chapingo, México.
- Beltrano, J., and Gimenez, D. O. 2015 . *Cultivo en hidroponia*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Bumgarner, M. L., Salifu, K. F., and Jacobs, D. F. 2008 . Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience*, 43(7), 2179-2185.
- Cabrera, R. I. 1999 . Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11.
- Cervantes, Zuñiga, M. M. 2018. *Efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en tomate Bajo un Sistema de Subirrigación*. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Chan, K. Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity—implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research*, 57(4), 179-191.
- Cruz, Bojórquez, R. M., González Gallego, J., and Sánchez Collado, P. 2013. Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6-15.
- Cubero, D., and Vieira, M. J. 1999 . Abonos orgánicos y fertilizantes químicos; Compatibles con la agricultura. In *XI Congreso Nacional Agronómico y III Congreso Nacional de Suelos. San José, Costa Rica*. 67p.

- Da Silva, F. F., Wallach, R., and Chen, Y. 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. In *Optimization of Plant Nutrition* (pp. 569-576). Springer Netherlands.
- Davis, A. S., Pinto, J. R., and Jacobs, D. F. 2011 . Early field performance of *Acacia koa* seedlings grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants Journal*, 12(2), 94-99.
- Degenhardt, B., and Gimmler, H. 2000 . Adaptaciones de la pared celular a múltiples tensiones ambientales en las raíces del maíz. *Journal of Experimental Botany* , 51 (344), 595-603.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., and Grolier, P. 2003 . Efectos de factores ambientales y técnicas agrícolas sobre el contenido de antioxidantes de los tomates. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura* , 83 (5), 369-382.
- Dumroese, R. K., Pinto, J. R., Jacobs, D. F., Davis, A. S., and Horiuchi, B. 2006 . Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal*, 7(3), 253-261..
- Elia, A., Santamaria, P., Parente, A., and 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* (pp. 161-166).
- Erston, V. and Miller, K. 1967 . Fisiología vegetal. *Hispano Americana*.
- Ferrarezi, R. S., Weaver, G. M., van Iersel, M. W., and Testezlaf, R. (2015). Subirrigation: Historical overview, challenges, and future prospects. *HortTechnology*, 25(3), 262-276.
- Finck, A. 1988 . *Fertilizantes y fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Reverté.

- FIRA. 2016 .Tomate rojo 2016. *Panorama Alimentario*. Fecha de consulta 28 de Febrero del 2018. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf.
- Fresco, L. O. 2003 . Los fertilizantes y el futuro. In: *Conferencia FAO/IFA sobre La seguridad alimentaría mundial y la función de la fertilización sostenible* (pp. 26-28)
- Gallegos-Vázquez, C., Olivares Sáenz, E., Vázquez Alvarado, R., and Zavala García, F. 2000 . Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidropónia. *Terra Latinoamericana*, 18(2),134.
- García-Santiago, J. C., Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Pérez, A., Cartmill, A. D., and Valenzuela-García, J. 2017. Depth and Duration of Flooding Affect Growth, Yield, and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience*, 52(2), 295-300.
- Gizas, G., and Savvas, D. 2007 . Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience*, 42(5), 1274-1280.
- Gómez, D., and Vásquez, M. 2011. *Abonos orgánicos*. PYMERURAL Y PRONAGRO.
- Guerrero-Santa Cruz, B. 2009 . Evaluación de seis soluciones nutritivas compuestas por humus de lombriz (*Eisenia foetida*) y fertilizantes químicos en el cultivo hidropónico del tomate (*Lycopersicon sculentum*). Tesis de licenciatura. UNSM. Tarapoto, Peru.
- Guttormsen, G. 1969. Accumulation of salts in the sub-irrigation of pot plants. *Plant and Soil*, 31(3), 425-438.

- Hansen, B., Alrøe, H. F., and Kristensen, E. S. 2001. Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83(1-2), 11-26
- Hernández, A. F., Gómez, M. A., Pena, G., Gil, F., Rodrigo, L., Villanueva, E. and Pla, A. 2004. Effect of long-term exposure to pesticides on plasma esterases from plastic greenhouse workers. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 67(14), 1095-1108.
- Hernández, M. I. and Chailloux, M. 2001. La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología*, 15(3), 11-27.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., and García, C. 2014 . Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 196, 178-184.
- Incrocci, L., Malorgio, F., Della Bartola, A., and Pardossi, A. 2006 . The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Horticulturae*, 107(4), 365-372.
- Jaramillo Noreña, P. J., Rodríguez, V. P., Gúzman, A., and Zapata, M. A. 2006. *El cultivo de tomate bajo invernadero (Lycopersicon esculentum, Mill)* (No. Doc. 22217) CO-BAC, Bogotá).
- Jiménez, B., Torregrosa, M. L., and Aboites, L. 2010 . El agua en México: cauces y encauces. *Academia Mexicana de Ciencias. México, DF*.
- Klock-Moore, K. A., and Broschat, T. K. 2001 . Effect of four growing substrates on growth of ornamental plants in two irrigation systems. *HortTechnology*, 11(3), 456-460.
- Lara, de la C. E. 2005. Evaluación de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) orgánico bajo condiciones de invernadero en la comarca lagunera. Tesis.Licenciatura. UAAAN U-L. Torreón, Coahuila. México.

- Lara Herrera, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 221-229.
- López, P. J., Montoya, R. B., Brindis, R. C., Sánchez-Monteón, M. A. L., Cruz-Crespo, E., and Morales, R. B. 2011 . Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente Año*, 3(8),21-27-
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. La fertilidad del suelo y la biodiversidad en la agricultura orgánica. *Science* , 296 (5573), 1694 - 1697.
- Maldonado, J. M., Agüera, E., and Pérez Vicente, R. 1993 . Asimilación del nitrógeno y del azufre. *J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid*, 215-236.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. *Academic Press*, New York.
- Martinetti, L., Ferrante, A., and Quattrini, E. (2008). Effect of Drip or Subirrigation on Growth and Yield of *Solanum melongena* L. In Closed Systems with Salty Water. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(5), 467-474.
- Molitor, H. D. 1990 . The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. *Acta Horticulturae*, 272, 165-73.
- Morvant, J. K., Dole, J. M., and Allen, E. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnology*, 7(2), 156-160
- Muñoz, R. J. J. 2004. Formulación de la solución nutritiva. *Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2da ed. Intagri. Celaya, México. pp*, 151-180.

- Murillo, R. A. L., Pérez, J. J. R., Bustamante, R. J. L., Reyes, M., Bermeo, G. M. C., Armijos, C. S., and Travéz, R. T. 2015. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola*, 42(4), 67-74.
- Neal, K. 1989. Subirrigation. *Greenhouse Manager*, 7(12), 83-88
- Oh, M. M., Cho, Y. Y., Kim, K. S., and Son, J. E. 2007 . Comparisons of water content of growing media and growth of potted kalanchoe among nutrient-flow wick culture and other irrigation systems. *HortTechnology*, 17(1), 62-66.
- Palomo, I., Moore-Carrasco, R., Carrasco, G., Villalobos, P., and Guzmán, L. 2010 . El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Idesia (Arica)*, 28(3), 121-129.
- Pan, G., Zhou, P., Li, Z., Smith, P., Li, L., Qiu, D., ... and Chen, X. 2009 . Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131(3-4), 274-280.
- Patrón, I. C. J. 2010 . Sustratos orgánicos: Elaboración, manejo y principales usos. Primer curso nacional de sustratos. Colegio de postgraduados. Texcoco, Estado de México.
- Plaut, Z., Newman, M., Federman, E., and Grava, A. 1997 . Response of root growth to a combination of three environmental factors. In *Biology of Root Formation and Development* (pp. 243-248). Springer, Boston, MA
- Preciado Rangel, P., Fortis Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda Puente, E. O., Esparza Rivera, J. R., Lara Herrera, A., and Orozco Vidal, J. A. 2011 . Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9).

- Reed, D. W. 1996 . Closed production systems for containerized crops. *Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops. Ball Publishing, Inc, Batavia, 3,* 221-245
- Rivera, R. D. 2007. La tecnología de invernadero en el valle del yaqui, una alternativa para el desarrollo regional. In *Octavo Congreso Nacional y Cuarto Congreso Internacional de Red de Investigación y Docencia Sobre Innovación Tecnológica. Culiacán Rosales, Sinaloa México* (p. 1).
- Rodríguez, D., Cano, R., Figueroa, V., Favela, C., Moreno, R., Márquez, H., Ochoa, M., and Preciado, R. 2009 . Use of organic fertilizer in tomato production in greenhouse. *Terra Latinoamericana, 27(4), 319-327*
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., and Colla, G. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agricultural Water Management, 82(1-2), 99-117*
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Colla, G. 2008 . The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Horticulturae, 118(4), 328-337.*
- Ruiz Martínez, J., Vicente, A. A., Montañéz Saenz, J. C., Rodríguez Herrera, R., and Aguilar González, C. N. 2012 . Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Investigación y Ciencia, 20(54),57-63.*
- SAGARPA. 2010 . *Monografía del cultivo de tomate.* Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios.Fecha de consulta 20 de Febrero del 2018. Dispoble en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>

SAGARPA. 2014. Superficie agrícola protegida. Fecha de consulta 03 de abril del 2018. Disponible en http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/superficie_agricola_protegida.aspx

SAGARPA. 2015 . *Se consolida México como primer exportador mundial de tomate.* Fecha de consulta 27 de Febrero del 2018. Disponible en <https://www.gob.mx/presidencia/articulos/mexico-principal-exportador-de-tomate-en-el-mundo>

SIAP/SAGARPA. 2016. Atlas agroalimentario 2016. Fecha de consulta 03 de abril del 2018. Disponible en http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016

SAGARPA. 2017. *Aumenta 35 por ciento producción de jitomate.* Fecha de consulta de consulta 2 de Marzo del 2018. Disponible en http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0055_10.aspx

Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., and López-Cruz, I. L. 2014 . La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177-183.

Sánchez-Del-Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D. C., Contreras-Magaña, E., and Sahagún-Castellanos, J. 2014 . Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(3), 239-251.

Santamaria, P., and Serio, F. 2001 . Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. *Informatore Agrario*, 57(41), 45-49.

- Santiago, J., Mendoza, M., and Borrego, F. 1998 . Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 9, 59-65.
- Salisbury, F. B., and Ross, C. W. 1994 . *Fisiología vegetal* (No. 581.1). Grupo Editorial Iberoamérica.
- Rivas Rodríguez, D. 2009 . Curso de cultivos protegidos. Convenio derivado N° 2 del convenio marco N° 202 entre el SENA y la Fundación Agricultores Solidarios.España.
- Sheikh, B. A. 2006 . Hidropónopía: clave para sostener la agricultura en el agua y el medio ambiente urbano. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences (Pakistan)*,22 , 53-57.
- Suge, J. K., Omunyin, M. E., and Omami, E. N. (2011). Effect of organic and inorganic sources of fertilizer on growth, yield and fruit quality of eggplant (*Solanum Melongena* L). *Archives of Applied Science Research*, 3(6), 470-479..
- Tao, R., Liang, Y., Wakelin, SA, y Chu, G. 2015 . La suplementación de un fertilizante químico con un componente orgánico aumenta la función y calidad biológica del suelo. *Applied Soil Ecology* , 96 , 42-51
- Van Os, E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Science and Technology*, 39(5), 105-112.
- Van Os, E. A., 2001 . New developments in recirculation systems and disinfection methods for greenhouse crops. *Horticultural Engineering*, . 16 (2), 2–5.
- van Iersel, M. 1999. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies. *HortScience*, 34(4), 660-663.

- Van Iersel, M. 2000 . Fertilizer Management in Sub-irrigation Systems. *Retrieved January, 26, 2013.*
- Velazco, H. E., and Nieto, A. R. 2006 . Cultivo de jitomate en hidropónia e invernadero. *Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia, 35-39.*
- Velasco Velasco, J., Ferrera Cerrato, R., and Almaraz Suárez, J. J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana, 19(3).*
- Villa, C. M. M., V. E. Catalán, I. M. Inzunza y L. A. Román. 2005 . Manejo de la fertilización en plántulas de tomate para trasplante. *Agrofaz. 5(3): 1-4.*
- Villavicencio, E. R. G. 2007 . Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Compositae) en hidroponía. Tesis de licenciatura. URL. Guatemala.
- Voogt, W. 1995 . Effects of the pH on rockwool grown carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Acta Horticulturae. 401:327-336.*
- Wen-fei, L., Weiler, T. C., and Milligan, R. A. 2001 . Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the northeast and north central United States. *HortScience, 36(1), 167-173*
- Zheng, Y., Graham, T. H., Richard, S., and Dixon, M. 2004 . Can low nutrient strategies be used for pot gerbera production in closed-loop subirrigation?. In *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys 2004 691, 365-372.*
- Zheng, Y., Cayanan, D. F., and Dixon, M. 2010 . Optimum feeding nutrient solution concentration for greenhouse potted miniature rose production in a recirculating subirrigation system. *HortScience, 45(9), 1378-1383.*