

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efectos de la Combinación de Fertilizantes Inorgánicos y Orgánicos en el Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo un Sistema de Subirrigación

Por:

MARIA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efectos de la Combinación de Fertilizantes Inorgánicos y Orgánicos en el Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo un Sistema de Subirrigación

Por:

MARÍA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de.

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



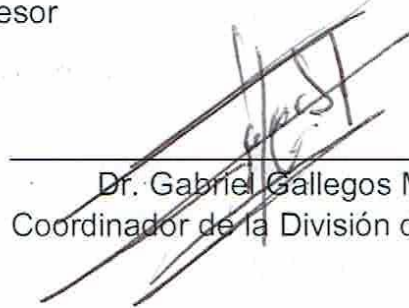
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Juana Cruz García Santiago
Coasesor



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2018

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la dicha de vivir por haberme acompañado en esta etapa de mi vida y ser siempre fiel conmigo.

A **Mi Alma Terra Mater Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura y por darme la dicha de formarme como un profesionalista de bien.

Al **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** por haber confiado en mí y haberme ofrecido un proyecto para la elaboración de mi tesis por apoyarme y brindarme las facilidades pertinentes necesarias para concluir el presente trabajo.

A la **Dra. Juana Cruz García Santiago** siempre estuvo ahí para apoyarme durante todo el transcurso de este trabajo con sus conocimientos y además de brindarme su confianza y guiarme con los consejos necesarios para seguirme formando como profesionalista y como persona.

Al **Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos** por su colaboración para establecer el experimento por formar parte del Comité de Tesis, así como por sus valiosas sugerencias y consejos, en la revisión del presente trabajo.

A **Tsujmejy Gómez Nabor** por ser como mi hermana durante mi estancia en la universidad por haber estado en las buenas y malas conmigo y haber confiado en mí.

A Mis Amigos de la universidad **María Méndez, Fely Pastor, Belén Vázquez, Santos Atilano**. Que formaron parte de mi familia en la universidad, compartiendo con ellos momentos inolvidables dentro y fuera, por su apoyo en todo momento que los necesite desde lo más fácil hasta lo más difícil.

A Mis Amigos de vida estudiantil **Vanessa Velázquez, Eleazar Carrera** por brindarme consejos durante esta etapa y por hacerme participe del grupo de VE.

DEDICATORIA

A Mis Padres. **Victoria Zúñiga Valle y Ascensión Cervantes Cabada** por haber confiado en mí por haber brindado su apoyo incondicional, manteniendo la fe y el anhelo de que siguiera en el camino indicado. A ustedes que estuvieron ahí cuando incluso yo ya no quería estarlo, a ti padre mío por ser la persona que me explico que no todo en la vida es tener fácil las cosas, que toda acción conlleva una responsabilidad y que solo se logra con trabajo y mucho esfuerzo. A ti madre mía porque eres quien me dio la vida, la persona que me abrió las puertas para que yo eligiera mi camino, por enseñarme a tocar el mundo con el más sublime de los sentidos, pero sobre todo por mostrarme ese gran amor incondicional y esa fuerza defensora que llevas dentro. A ustedes quienes recordaré hasta el momento en el que la luz del día abandone el brillo de mis ojos, pues no hay amor más puro, coraje, fuerza o sacrificio que el que ustedes me han demostrado los amare hoy y siempre.

A Mis Hermanos. **Saúl Neftalí Cervantes Zúñiga, Luis Donald Cervantes Zúñiga, Erika Yahajanara Yazmin Núñez Zúñiga** por formar parte de mi vida a quienes me brindaron su apoyo en todo momento y han formado parte de mis sueños. A ustedes les expreso el gran amor que siempre he sentido por ustedes, gracias por confiar en mi los AMO.

A Mis **Abuelos** que siempre me han motivado, estoy muy agradecida por sus buenos consejos y todo lo que me han dado.

A mi Novio. **Rafael Navarro Pérez**, por haberme motivo, apoyado en todo momento sin importar las circunstancias a ti que te convertiste en una persona importante en mi vida gracias por haber estado conmigo siempre.

RESUMEN

La subirrigación es un método práctico para lograr un ahorro de fertilizantes para la producción de cultivos en invernadero, lo que podría ayudar a reducir la contaminación al medio ambiente. El objetivo del presente estudio fué determinar los efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos/orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el comportamiento del pH y CE del sustrato subirrigado. El estudio se estableció en un invernadero de mediana tecnología en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila en junio del 2016. Se aplicaron 3 tratamientos, evaluándose dos mezclas de fertilizantes orgánicos (Phytafish® y Fijaflor®) e inorgánicos (combinando la concentración de N, P, K y Ca): como testigo se empleó una solución Steiner modificada. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con siete repeticiones. Se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p \leq 0.05$) en todas las variables estudiadas excepto para la variable relación parte aérea/raíz. El rendimiento se mantuvo similar al testigo al adicionar fertilizantes orgánicos a la solución nutritiva. En cuanto al peso seco de hojas, tallo y raíz, así como en peso seco total se observó un incremento destacando la solución con mayor contenido de productos orgánicos como el mejor tratamiento. En general, el peso seco radicular, pH y la CE del sustrato fueron influenciados significativamente por el estrato evaluado.

Palabras clave: subirrigación, nutrición inorgánica, nutrición orgánica.

INDICE GENERAL

I.INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen del tomate	4
2.2. Importancia en México y a nivel mundial	4
2.3. Cultivo de tomate en la agricultura protegida	5
2.4. Hidropónia.....	5
2.5. Sustratos	6
2.6. Soluciones Nutritivas	7
2.7. Problemas de contaminación	8
2.8. Agricultura sustentable	10
2.9. Eficiencia del uso del agua.....	11
2.10. Sistema de subirrigación	12
2.12. Fertilizante	14
2.12.1. Fertilizantes inorgánicos	15
2.12.2. Fertilizantes orgánicos.....	16
III.MATERIALES Y METODOS	19
3.1. Ubicación del experimento	19
3.2. Material vegetativo	19
3.3. Trasplante.....	19
3.4. Diseño del sistema de riego	20
3.5. Tratamientos.....	20
3.6. Manejo del cultivo.	22
3.6.1. Riego	22
3.6.2. Tutorio.....	22
3.6.3. Podas	22
3.6.4. Cosecha.....	22
3.7. Variables evaluadas.....	23
3.8. Diseño experimental y análisis de datos	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	25
V.CONCLUSIONES	36
VI.LITERATURA CITADA	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas a aplicar en el experimento.....	20
Cuadro 2. Efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el desarrollo radicular y en las propiedades químicas del sustrato al finalizar el ciclo del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) cv. Clermon.....	30

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Diseño del sistema de subirrigación para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).....19
- Figura 2.** Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de hoja de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish.....24
- Figura 3.** Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de tallo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish.....25
- Figura 4.** Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish.....26
- Figura 5.** Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la relación parte aérea/raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.637$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish.....27

Figura 6. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco total de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF= Fijaflor, PF= Phytafish.....28

Figura 7. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el rendimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.021$. SN= solución nutritiva, FF= Fijaflor, PF= Phytafish.....29

Figura 8. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el PSR en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación SN= solución nutritiva, FF= Fijaflor, PF= Phytafish.....31

Figura 9. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la CE en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermont bajo un sistema de subirrigación SN= solución nutritiva, FF= Fijaflor, PF= Phytafis..... 33

Figura 10. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el pH en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermont bajo un sistema de subirrigación. SN= solución nutritiva, FF= Fijaflor, PF= Phytafish.....34

I.INTRODUCCIÓN

En México, la producción de hortalizas es una de las actividades que genera mayor cantidad de ingresos, teniendo una participación del 3.5% del PIB con un valor de 313,037 millones de pesos, siendo el tomate uno de los cultivos con más rentabilidad y de mayor producción (SAGARPA, 2016).

En México, existen alrededor de 20,000 hectáreas bajo agricultura protegida (SAGARPA, 2014) de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernadero y las otras 8,000 corresponden a malla sombra y macrotúnel, entre otras estructuras. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%).

Sin embargo, la producción de hortalizas en invernadero hace necesario el uso de altas tasas de nutrientes y riegos frecuentes con el fin de maximizar el rendimiento de los cultivos (Zheng *et al.*, 2005).

En la actualidad, la minimización de los requerimientos de fertilizantes y agua para la producción en invernadero se ha vuelto prioritario para los productores debido a que actualmente se enfrentan a costos elevados, a regulaciones gubernamentales y al agotamiento de dichos recursos (Uva *et al.*, 2001; Van Os, 1999). Por lo cual, es necesario adoptar estrategias que proporcionen una nutrición óptima de las plantas con un mínimo uso de fertilizantes y una menor contaminación ambiental, pero que a la vez permitan mejorar los rendimientos del cultivo (Rouphael *et al.*, 2005).

La única posibilidad, tanto para optimizar la fertilización como para mantener bajo control la contaminación ambiental, es adoptar sistemas de cultivo que recolecten y reutilicen el agua extra de riego (sistemas cerrados sin suelo). Por lo tanto, estos sistemas han sido declarados "respetuosos con el medio ambiente" porque mejoran drásticamente la eficiencia de uso del agua y fertilizantes en comparación con los sistemas que permiten el escurrimiento del agua de drenaje (Massa *et al.*, 2008; Rouphael *et al.*, 2004; Van Os, 1999).

La subirrigación es un sistema de riego cerrado de cero lixiviación que ha demostrado consistentemente que reduce el uso general de agua, principalmente porque el exceso de agua se recolecta y se reutiliza (2011; Dumroese *et al.*, 2007; Elliott, 1990). Dumroese *et al.* (2006) encontraron que la subirrigación requiere un 56% menos de agua que el riego superficial. Además, la subirrigación ha demostrado ser eficiente en el uso de fertilizantes, ya que este sistema requiere una concentración menor de fertilizante que el empleado en sistemas superficiales, obteniendo a la vez rendimientos similares o mayores que el obtenido con riego superficial. Montesano *et al.* (2010) demostraron que el rendimiento de tomate subirrigado fue mayor cuando el contenido de nutrientes se redujo en un 30% del recomendado para riego superficial. Así mismo, el sistema de subirrigación ofrece otras ventajas, tales como un aporte uniforme de nutrientes y agua, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, mejor productividad y sobre todo menor gastos de producción (Rouphael *et al.*, 2008).

En la actualidad, la preocupación mundial por reducir la contaminación, el cuidado por la salud, y la disminución de costos por insumos, en especial los fertilizantes dado el alto costo de estos en los últimos años, ha llevado a la búsqueda de sistemas de producción sustentables; razón por la cual productores de diversos países han adaptado prácticas orgánicas al cultivo sin suelo (Inden y Torres, 2005; Grigatti *et al.*, 2007a).

La adopción de nuevos sistemas de producción, como lo es la subirrigación y el uso de fertilizantes orgánicos en combinación con fertilizantes inorgánicos permitirá lograr una mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales en el proceso de producción agrícola. Por tanto, una mejor opción sería ir sustituyendo gradualmente el uso de químicos inorgánicos por abonos orgánicos, hasta lograr un equilibrio que permita cierta rentabilidad, sin disminución de los recursos naturales, es decir, procurar una agricultura más sostenible (Montaño *et al.*, 2009).

Objetivo General

Determinar los efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos y 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 combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el crecimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Determinar el efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Evaluar el efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el pH y CE de los estratos del medio de crecimiento subirrigado.

Hipótesis

La aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos influye en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) subirrigado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del tomate

El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta originaria de Perú, y México es centro secundario de origen, países en donde se encuentran varias formas silvestres. Originalmente el tomate solo se cultivaba como planta de adorno. Fue introducida en Europa en el siglo XVI y a partir de 1900, se extendió el cultivo como alimento humano. Actualmente el tomate se cultiva en casi todos los países del mundo (Rick, 1986).

El origen del género *Solanum* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Probablemente desde allí fue llevado a Centroamérica y México donde fue domesticado y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos y ya habían sido llevados a España y servían como alimento en España e Italia. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de ahí a otros países asiáticos y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (Rick, 1986).

2.2. Importancia en México y a nivel mundial

El tomate es uno de los productos agrícolas con mayor valor económico a nivel mundial. México se ha consolidado como primer exportador de tomate, ya que la producción de esta hortaliza en el país asciende a 3, 349,154.20 toneladas con un valor de producción de \$23,871,403.99, en una superficie de 42,882.43 ha, razón por la cual su producción ocupa el segundo lugar después del cultivo de Chile (SIAP, 2016). Los principales estados productores son Sinaloa, con 551 mil toneladas; San Luis Potosí, 296.8 toneladas; Baja California; 225.9 mil toneladas; Zacatecas, 185.2 mil toneladas, y Michoacán, 178.2 mil toneladas (SAGARPA, 2017).

México es el principal exportador de jitomate fresco a nivel mundial, siendo Estados Unidos, Canadá y algunos países de Europa los principales consumidores; con lo cual las exportaciones ascienden a poco más de 20 mil millones de pesos. El país exporta alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales, que representan entre el 50 y 70 por ciento del volumen total de la producción (SAGARPA, 2016).

2.3. Cultivo de tomate en la agricultura protegida

Las nuevas tecnologías han permitido al hombre cultivar, en menor cantidad de superficie, mayor cantidad de alimentos con mayores ganancias para el agricultor, un ejemplo son los invernaderos, estructuras plásticas que permiten controlar los factores de temperatura, humedad, cantidad de agua, etc., logrando producir en cualquier época del año. El desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de la agricultura protegida, es capaz de generar frutos de excelente calidad, además de cumplir con estándares de inocuidad alimentaria. El sistema de producción de tomate bajo condiciones protegidas en México es relativamente nuevo y de crecimiento constante, generando un impacto importante en los últimos años, por su incremento en superficie cultivada, productividad, rentabilidad y calidad del producto final. En México la producción hortícola bajo condiciones protegidas ha presentado un crecimiento considerable, ya que en el 2003 se cultivaban 950 ha, sin embargo para el 2016 fue de 42,882.43 ha (SAGARPA, 2017), de éstas, el 70% se dedica a la producción de tomate generando oferta del producto durante todo el año. El rendimiento promedio obtenido con este sistema es entre 135 y 216 ton.ha⁻¹, superando tres veces el que se obtiene a campo abierto, que va de 40.5 a 54 ton.ha⁻¹ (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2006).

2.4. Hidropónia

La hidropónia es una ciencia que estudia los cultivos sin suelo. No obstante, existen otros métodos donde se emplea sustratos como perlita, turba ácida, fibra de coco, aserrín, cascarilla de arroz, entre otros, a los cuales se les añade una

solución nutritiva (SN) esencial para el crecimiento de las plantas (Estrada y Romero, 2003). Este sistema es altamente productiva, conservadora de agua, tierra y protectora del medio ambiente.

Los cultivos hidropónicos ofrecen varias ventajas tales como altos rendimientos por metro cuadrado, mejor calidad e inocuidad de los productos, balance adecuado de aire y nutrimentos para la planta en comparación con cultivo en suelo y permite modificar las relaciones entre aniones y cationes según los parámetros que se persiguen (Chávez y Sánchez, 2014).

Utilizar sistemas de producción como la hidropónia bajo estas condiciones para la producción de hortalizas en invernadero es ideal, pues tiene un alto grado de eficiencia en el uso de agua, ya que se reducen las pérdidas por evaporación y se evita la percolación; además es poco el terreno que debe aplicar el riego, porque las raíces no necesitan crecer en exceso para buscar los nutrientes, este método les permite llegar directamente a la raíz en las cantidades necesarias para el óptimo desarrollo de la planta, ya que ésta se encuentra en bolsas de plástico utilizadas como contenedor (Espinoza, 2004).

2.5. Sustratos

El termino sustrato se refiere a todo material solido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que es colocado en un contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular (Samperio, 2004). Además, a los sustratos se les clasifica en químicamente inertes (perlita, lana de roca, etc.) químicamente activos (turbas, corteza de pino, etc.). En el caso de los materiales químicamente inertes, estos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que los químicamente activos actúan en procesos de adsorción y fijación de nutrimentos (Resh, 1997).

El sustrato adecuado para cada caso concreto depende de numerosos factores: tipo de planta, fase del proceso productivo en el que interviene, condiciones climatológicas y lo que es fundamental, el manejo de ese sustrato (Samperio,

2004). Por lo tanto, no se tiene un sustrato ideal, pero si puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe de tener, como son:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Elevada aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.)

En ocasiones el sustrato muestra problemas en la producción hortícola, debido a la inapropiada mezcla de partículas finas y gruesas. Por ello, el uso de sustrato con muy baja proporción de partículas finas ($>0,01\text{mm}$) presenta una baja retención de agua y el cultivo suele sufrir de sequía en las horas de máxima insolación. Por lo contrario, un sustrato con una alta proporción de partículas finas, presentara una alta capacidad de retención de agua, pero sus características de aireación serán pobres (Castellanos y Vargas, 2003).

2.6. Soluciones Nutritivas

La SN es el conjunto de elementos nutritivos requerido por las plantas y disueltos en agua. En los sistemas hidropónicos a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados a través de soluciones nutritivas y son asimilados por las raíces de las plantas, por lo que se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua (Sánchez y Escalante, 2001). El buen manejo de la nutrición mineral es fundamental, pues determina en gran medida la capacidad productiva de las plantas de tomate (Snyder, 2006).

Los factores de la SN que tienen mayor influencia en la producción de tomate en hidroponía son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (CE), la relación NO_3^- : NH_4^+ , el pH y la temperatura (Lara-Herrera, 1999). No existe una SN que sea apropiada para cualquier condición, los cuatro primeros factores dependen de las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo de la planta. El pH para cualquier condición debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0 y la temperatura lo más cercana a 22 °C. Un inapropiado manejo de la SN en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Herrera, 1999).

2.7. Problemas de contaminación

La conservación del agua y la reducción del escurrimiento de las sales de fertilizantes de los sistemas de riego por invernadero son preocupaciones de muchos productores (Elliott, 1990). Sobre todo, tomado en cuenta que la producción de hortalizas en invernadero hace necesario el uso de altas tasas de nutrientes y riegos frecuentes con el fin de maximizar el rendimiento de los cultivos (Reed, 1996; Richards y Reed, 2004; Zheng *et al.*, 2004; 2005).

El riego frecuente y el uso de altas tasas de fertilizantes, así como el uso de retardantes de crecimiento químico y pesticidas, son prácticas comunes en la industria de invernadero. Estas prácticas de producción han conducido a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, y las regulaciones para controlar la contaminación ambiental por el invernadero / vivero están aumentando (Reed, 1996). A fin de reducir la contaminación de nuestros recursos naturales, es posible que sea necesario modificar las prácticas de riego y fertilización (Biernbaum, 1992).

Las aguas residuales descargadas de los viveros representan una amenaza significativa para las aguas subterráneas y superficiales; la principal preocupación es la liberación de nutrientes como resultado del uso regular de fertilizantes solubles en agua. Debido a que la tasa de aplicación de fertilizantes

es más alta en la producción de invernadero que muchas otras formas de agricultura (Molitor, 1990), el escurrimiento de nitratos y fosfatos de los invernaderos puede contaminar los recursos hídricos (Biernbaum, 1992). En un estudio de lixiviación durante la producción de plántulas de coníferas, el 11% al 19% del nitrógeno aplicado (N) y el 16% al 64% del fósforo aplicado (P) se recuperaron en el lixiviado recolectado (Juntunen *et al.*, 2002). Del mismo modo, el 46% al 65% del N aplicado se recuperó en el lixiviado recolectado (como NO₃-N) para experimentos de riego sobre *Ilex crenata* Thumb. 'Compacta' (Fare *et al.*, 1994). El efecto continuo de la alta lixiviación de nutrientes puede convertirse en un problema con el tiempo. Niveles muy altos de N pueden acumularse y persistir en los invernaderos comerciales (McAvoy *et al.*, 1992, Molitor, 1990) que amenazan la calidad del agua subterránea.

Es de importancia creciente reconocer la necesidad de modificar las prácticas de producción de invernadero debido a preocupaciones ambientales, eficiencia de costos y posible aumento de las regulaciones gubernamentales (Todd y Reed, 1998). Se necesitan estrategias para una nutrición óptima de las plantas con un mínimo de uso de fertilizantes y contaminación ambiental.

La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrientes, lo que permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villarreal *et al.*, 2006), esto ha conllevado a la necesidad de aplicar elementos nutritivos en forma racional, ya que, con el paso de los años, se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Rodríguez *et al.*, 2003), por lo que para disminuir problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con mineral (Rinaldi *et al.*, 2007). Sin embargo, para reducir y eliminar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos sobre el medio ambiente, nuevas prácticas agrícolas se han desarrollado en la llamada agricultura orgánica, ecológica y agricultura sustentable (Chowdhury, 2004).

2.8. Agricultura sustentable

El concepto de agricultura sustentable es una respuesta relativamente reciente a la declinación en la calidad de la base de los recursos naturales asociada con la agricultura moderna. En la actualidad, la cuestión de la producción agrícola ha evolucionado desde una forma puramente técnica hacia una más compleja, caracterizada por dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas. El concepto de sustentabilidad, aunque controvertible y difuso debido a la existencia de definiciones e interpretaciones conflictivas de su significado, es útil debido a que captura un conjunto de preocupaciones acerca de la agricultura, la que es concebida como el resultado de la coevolución de los sistemas socioeconómicos y naturales (Reijntjes *et al.*, 1992).

El concepto de sustentabilidad ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de proponer ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla ambientalmente, socialmente y económicamente más viable y compatible. Se han propuesto algunas posibles soluciones a los problemas ambientales creados por los sistemas agrícolas intensivos en capital y tecnología basándose en investigaciones que tienen como fin evaluar sistemas alternativos (Gliessman, 1998). El principal foco está puesto en la reducción o eliminación de agroquímicos a través de cambios en el manejo, que aseguren la adecuada nutrición y protección de las plantas a través de fuentes de nutrientes orgánicos y un manejo integrado de plagas, respectivamente. Los sistemas sustentables tienen el objetivo de satisfacer la alimentación humana, mejorar la calidad del ambiente, hacer un uso eficiente de los recursos no renovables, mejorando la calidad de vida de los agricultores y la sociedad como un todo (FAO, 2015). En la agricultura sustentable, los bioproductos como los insecticidas, son de gran ayuda para la producción agrícola, evitan el uso de plaguicidas sintéticos y fertilizantes químicos, aseguran a la población productos de consumos sanos y de buena calidad. En este rubro, la biotecnología agrícola está enfocada a dar solución a la baja producción y pérdidas económicas de cultivos, es decir, reducir la dependencia de químicos sin afectar e incluso aumentar la productividad del campo.

2.9. Eficiencia del uso del agua

La agricultura representa el principal sistema consumidor de agua en la mayoría de los países. En ella se utilizan fuertes volúmenes para riego tanto en pequeños como en grandes sistemas; sin embargo, normalmente las eficiencias de aprovechamiento son muy bajas y pueden mejorarse con sistemas de control, conducción, distribución y aplicación del riego a los cultivos adecuados (Carvajal y Davidoff, 1990; Kromm y White, 1990).

El uso eficiente del agua en el campo es uno de los factores fundamentales para poder garantizar la producción alimentaria y el trabajo de las familias mexicanas vinculadas con el sector agrícola (Álvarez, 2011). 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). La productividad del agua es un indicador importante en áreas con recursos hídricos esenciales y permite calcular el valor económico del agua de riego que puede ser maximizado y por lo tanto será uno de los prerrequisitos para las políticas de su uso en la producción de alimentos. La producción bajo un sistema protegido, 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. Existen diversos factores determinantes para hacer más eficiente el uso del agua en la agricultura, uno de los principales es el sistema de riego utilizado, ya sea un sistema abierto o cerrado. 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). 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 evaporativa y la producción comercial.

2.10. Sistema de subirrigación

Los sistemas de cultivo sin suelo permiten un control adecuado del crecimiento y el desarrollo de las plantas ayudando a obtener altos rendimientos. Sin embargo, estos sistemas de producción requieren de riego frecuente y altas tasas de fertilización, y cuando se utiliza con drenaje libre (sistema abierto) ocasiona la contaminación de las fuentes de agua subterráneas y superficiales (Van Os, 1999). El manejo de sistemas de cultivo cerrados ofrece excelentes perspectivas en términos de limitar el problema de la pérdida de agua y nutrientes, además de permitir una producción más eficiente y respetuosa del medio ambiente en comparación con los sistemas de cultivo abiertos (Rouphael *et al.*, 2006). Una alternativa prometedora para ser más eficientes en la producción de cultivos de importancia es la adopción del sistema de subirrigación con recirculación de solución nutritiva, también referido como subirrigación de cero escurrimientos (Uva *et al.*, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael *et al.*, 2006).

El desarrollo de la hidroponía durante los años veinte (Gericke, 1921; Gericke, 1922) y las técnicas de cultivo de arena en los años treinta (Biekart y Connors, 1935; Eaton, 1931) ayudaron a establecer los principios subyacentes a los sistemas modernos de subirrigación. También se utilizaron sistemas de subirrigación concebidos de forma independiente en las estaciones experimentales agrícolas de Nueva Jersey y Purdue University durante la década de 1930 (Withrow y Biebel, 1937).

Los sistemas de subirrigación difieren de otros sistemas de riego en la forma en que se aplica agua al sustrato. Este sistema funciona al permitir que el agua se mueva desde un depósito en donde se almacena la SN a una bandeja de aplicación dentro de la cual se encuentran los contenedores, manteniendo la SN por un tiempo determinado para permitir que esta se mueva a través del medio de cultivo por acción capilar (Bouchaaba *et al.*, 2015). Después que el riego se

completa, la cantidad de SN no absorbida por el medio de cultivo, se regresa de nuevo al tanque de almacenamiento para su reutilización en riegos posteriores (Incrocci *et al.*, 2006), para lo cual se necesita realizar ajustes periódicos al volumen de agua, pH y la concentración de nutrientes, valorándose estos últimos generalmente por la medición de la CE (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006).

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 (Rouphael *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2005). Estos beneficios generan ahorros en mano de obra, insumos materiales y pérdidas de producto (Santamaria *et al.*, 2003). Además, el sistema de subirrigación puede facilitar el manejo de la SN 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 SN como lo haría en un sistema de riego abierto (Santamaria *et al.*, 2003; Montesano *et al.*, 2005). 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 (Rouphael *et al.*, 2006). La acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento puede ocurrir si la SN 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 (Yeh *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008).

Davis *et al.* (2011), mencionan que la subirrigación puede ser especialmente beneficiosa en áreas donde la escasez de agua es un problema. En comparación con el riego por arriba, los sistemas de subirrigación han demostrado consistentemente que reducen el uso general del agua, principalmente porque el

exceso de agua se recolecta y se reutiliza (Davis *et al.*, 2011). Por ejemplo, Dumroese *et al.* (2006) encontraron que la subirrigación requiere un 56% menos de agua que el riego por arriba.

2.11. Agricultura orgánica

La agricultura orgánica sistema cultural, aceptado por la Unión Europea y la FAO como sistema alternativo a la agricultura convencional, parece ser un sistema de cultivo ecológico. En términos simples, la agricultura orgánica es un sistema de producción que excluye insumos sintéticos cuando es posible y utiliza entradas externas solo cuando el sistema puede no ser sostenido por el reciclaje interno (Woodward y Lampkin, 1990). Este método de producción evita o reduce en gran medida el uso de insumos químicos sintéticos, como fertilizantes y pesticidas, y tiene como objetivo minimizar efectos negativos sobre el medio ambiente y mantiene la diversidad biológica del suelo (Mäder *et al.*, 2002).

Por otra parte, en años recientes, la demanda de productos desarrollados orgánicamente se ha incrementado, debido a que los fertilizantes orgánicos permiten, cuando se emplean como parte de los medios de crecimiento, mejorar las características cualitativas de los vegetales consumidos por el hombre (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2009).

2.12. Fertilizante

Los fertilizantes aportan los nutrientes que los cultivos necesitan para producir mayor cantidad de frutos y de mejor calidad. El buen manejo de la fertilidad contribuye a lograr alto rendimiento y calidad de fruto en tomate, por lo tanto, pueden ser afectadas por la fertilización y el alto valor relativo del cultivo hace que la mayoría de los productores apliquen grandes cantidades de fertilizante esto con el fin de asegurar una adecuada nutrición, pero esto es un gran error debido a que es un desperdicio económico y contamina considerablemente el suelo (Hartz, 2006).

La cantidad de nutrientes para lograr elevadas producciones constituyen un criterio orientativo de las exigencias nutritivas del cultivo. No obstante, diversos factores intervienen directamente en la demanda de nutrientes y en el ritmo de

absorción, entre los se encuentran las, condiciones climatológicas de cultivo (aire libre o invernadero), material vegetativo (variedades), agua de riego y la técnica de cultivo (Rincón, 2003).

De acuerdo con Escalante *et al.* (2006), la fertilización puede ser de dos tipos orgánica e inorgánica; la orgánica consiste en suministrar nutrientes al suelo o sustrato por medio de materia orgánica, pudiendo ser origen vegetal o animal; la fertilización inorgánica consiste en suministrar los nutrientes por medio de la aplicación de abonos o productos químicos, de tal manera que pueden ser absorbidos por las plantas.

2.12.1. Fertilizantes inorgánicos

Los fertilizantes inorgánicos son sustancias químicas sintetizadas, ricas en fósforo, calcio, potasio y nitrógeno, que son nutrientes que favorecen el crecimiento de las plantas. Son absorbidos más rápidamente que los abonos orgánicos. La característica más sobresaliente de los fertilizantes inorgánicos es que deben ser solubles en agua, para poder disolverlos en el agua de riego.

La fertilización química consiste en alimentar a las plantas directamente mediante la aplicación de abonos producidos industrialmente que reúnen condiciones técnicas de calidad como proveedores de nutrimentos a los cultivos; son sales solubles, altamente concentradas, de fácil y rápida liberación (Gaspar., *et al* 1997).

La fertilización química en el cultivo de tomate ayuda a que los rendimientos sean mucho mayores, un cultivo promedio (90 ton ha⁻¹ de rendimiento de fruto) normalmente tendrá un contenido total de macronutrientes (planta y fruto) de aproximadamente 225-45-360 kg/ha de N, P y K (Hartz, 2006).

Las principales fuentes de cada uno de los elementos nutrientes que forman parte de la SN para la hidroponía son:

El nitrógeno, que es absorbido por las plantas en forma de nitrato NO₃⁻ y en forma de amonio (NH₄⁺) soluble en agua. Las fuentes principales son: nitrato de potasio (KNO₃), de calcio (Ca (NO₃⁻)₂), de sodio (NaNO₃), de amonio (NH₄⁺NO₃⁻), sulfato

de amonio ($(\text{NH}_4^+)_2 \text{SO}_4$), fosfato mono amónico ($\text{NH}_4^+ \text{H}_2\text{PO}_4$), fosfato di amónico ($(\text{NH}_4^+)_2 \text{HPO}_4$), urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) y fosfonitrato de amonio ($(\text{NH}_4^+)_2 \text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$). El fósforo es asimilado por las plantas como ion fosfato (PO_4) $_3^-$. Las fuentes empleadas son: superfosfato de calcio simple y triple ($\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}$), fosfato de amonio, fosfato monoamónico ($\text{NH}_4^+ \text{H}_2\text{PO}_4$), fosforo diamónico, ácido fosfórico (H_3PO_4).

Para el potasio las fuentes principales son: nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4) y cloruro de potasio (KCl). Las principales fuentes de calcio son: nitrato de calcio ($\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$), superfosfato (simple y triple), sulfato de calcio (yeso) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). El azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfato (SO_4) $_2^{2-}$ se encuentra en: sulfato de amonio y de potasio, superfosfato, sulfato de magnesio (sal de Epson ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)), que proporciona el magnesio necesario. El boro

, zinc, manganeso, cobre, fierro, molibdeno, entre otros son necesarios en dosis muy pequeñas, además pueden reaccionar con sales en el agua y su nivel en exceso puede ser toxico. Las fuentes empleadas son: bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y ácido bórico (H_3BO_3) para el boro, el quelato de zinc y las mezclas de zinc con nitrógeno como fuente del zinc, el sulfato ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), cloruro ($\text{MnCl}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y quelatos de manganeso para el manganeso, el sulfato y cloruro de cobre para el cobre, el sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y quelatos para el fierro. También hay fertilizantes comerciales que incluyen estos micro elementos como el Peters S.T.E.A.M (Soluble Trace Element Mix) (Contreras, 2006).

2.12.2. Fertilizantes orgánicos

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Trinidad y Santos, 2007).

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos ha causado muchos problemas en la agricultura, entre ellos se mencionan la contaminación del medio ambiente,

fuga de divisas, aumento de costos en la producción y salinización de los suelos. Muchos agricultores se han vuelto dependientes de estos productos porque desconocen la eficacia de los abonos orgánicos y sus beneficios (Trinidad y Santos, 2007)

Los beneficios de los abonos orgánicos son muchos, entre ellos: mejora la actividad biológica del suelo, especialmente con aquellos organismos que convierten la materia orgánica en nutrientes disponibles para los cultivos; mejora la capacidad del suelo para la absorción y retención de la humedad; aumenta la porosidad de los suelos, lo que facilita el crecimiento radicular de los cultivos; mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, ayudando a liberar nutrientes para las plantas; facilita la labranza del suelo; en su elaboración se aprovechan materiales locales, reduciendo su costo; sus nutrientes se mantienen por más tiempo en el suelo; se genera empleo rural durante su elaboración; son amigables con el medio ambiente porque sus ingredientes son naturales; aumenta el contenido de materia orgánica del suelo y lo mejor de todo, son más baratos (Trinidad y Santos, 2007).

2.12.2.1. Fijaflor®

El calcio es un elemento nutricional no móvil en la planta. Un continuo flujo es necesario en las etapas de crecimiento, desde su germinación hasta su madurez. Fijaflor® 8% es un fertilizante orgánico con el 8% de calcio derivado de Cloruro de calcio; además este producto está certificado por OMRI (Organic Materials Review Institute) como un fertilizante orgánico. Fijaflor® puede aplicarse a todo aquel cultivo que tenga una deficiencia o que sea afín al calcio.

Fijaflor® 8% es un fertilizante foliar para inducción de floración, amarre y calidad de frutos, induce actividad enzimática en células, desarrollo celular y estructural, hábitos vegetativos y de fructificación, controla la cantidad de agua absorbida por coloide de las células, actúa como filtro protector dentro de la planta, interviene en la producción de azúcares, almidones y proteínas, regulador de la transpiración, específico para corregir la deficiencia de calcio; elemento necesario para un buen crecimiento en la planta y fruto.

2.12.2.2. Phytafish®

Phytafish®, es un fertilizante orgánico en presentación líquida, elaborado a partir de subproductos de origen marino para ser aplicado al suelo especialmente sistemas de riego incluyendo goteo. Elaborado a base de nitrógeno, fósforo y elementos necesarios para un buen crecimiento en la planta, ayuda en el cuajado de los frutos. Phytafish® es un producto orgánico certificado por OMRI (Organic Materials Review Institute). Este fertilizante está compuesto por 4% de nitrógeno total, 1% de P_2O_5 y 1% de K_2O .

III.MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo se llevó acabo en el periodo de junio a diciembre de 2016, en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México; con localización entre los 25° 23´ longitud Norte y 101° 00´ longitud Oeste con una altitud de 1785 msnm. Las condiciones ambientales durante el experimento incluyeron temperatura promedio de 21°C (promedio mínima de 2°C y promedio máxima de 48°C), y una humedad relativa promedio de 72.18% (promedio mínima de 9.36% y promedio máxima de 99.51%). La radiación fotosintéticamente activa incidente diurna fue en promedio de 153 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.2. Material vegetativo

Para la realización del experimento se emplearon plantas de *tomate* (*Solanum lycopersicum L.*) tipo bola cv. Clermon, de hábito indeterminado. Las cuales se sembraron el 4 de junio en una charola de polietileno de 200 cavidades. Como medio de germinación se usó turba comercial (Peat moss) con pH de 6.0. Se depositó una semilla por cavidad.

3.3. Trasplante

El trasplante se realizó el 2 de julio, para lo cual se tomaron las plántulas más vigorosas y uniformes. Para el trasplante se usaron contenedores de polietileno negro con una capacidad de 10 L, los cuales se llenaron con sustrato compuesto de una mezcla de peat moss (80% v/v) y perlita (20% v/v).

3.4. Diseño del sistema de riego

El sistema constó de bandejas de aplicación de plástico rígido con medidas de 16 cm de largo, 39 cm de ancho y 16 cm de altura. El sistema de llenado está basado en mangueras de 16 mm y válvulas para el control de llenado de cada bandeja con cada tratamiento correspondiente. También contó con un sistema de drenado, para el cual se conectó una inicial a la bandeja de aplicación, después de cada inicial se conectó una válvula para controlar el drenado de cada bandeja. El sistema contaba con tanques de almacenamiento de la SN de 200 L, con un tanque para cada tratamiento evaluado. La SN se bombeaba a la bandeja de aplicación con ayuda de bombas de $\frac{1}{4}$ de caballo de fuerza (Hp) (Fig. 1).



Figura 1. Diseño del sistema de subirrigación para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

3.5. Tratamientos

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. Los tratamientos fueron dos combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, combinando la concentración de N, P, K y Ca (Tabla 1), en la combinación de las fuentes minerales se completó 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 compensar los requerimientos de fertilizantes inorgánicos de los tratamientos anteriormente mencionados, se utilizaron como fuente las siguientes sales y ácidos concentrados: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , K_2SO_4 , KCl , HNO_3 y H_3PO_4 . Mientras que, para abastecer las cantidades de fertilizantes orgánicos, se utilizaron dos fertilizantes orgánicos certificados por la OMRI: Phytafish® (4% nitrógeno total, 1% P_2O_5 , 1% K_2O) y Fijaflor® (8% Ca). Se consideró las propiedades químicas del agua de riego para la formulación de la SN.

La unidad experimental consistió en dos contenedores con una planta cada uno, y cada tratamiento con siete repeticiones. Cada unidad experimental se colocó en una bandeja de aplicación (69 cm de largo, 39 cm de ancho y 16 cm de altura); con una distancia entre contenedores de 20 cm y una distancia entre bandejas de 30 cm.

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

Tratamientos	N		P		S	Ca		K		Mg
	NO_3^-	Phytafish	H_2PO_4^-	Phytafish	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Fijaflor	K^+	Phytafish	Mg^{2+}
	meq·L ⁻¹									
Testigo	14	0	2	0	8	11	0	9	0	4
1	13.5	0.5	1.98	0.02	8	9.63	1.87	9.96	0.05	4
2	13	1	1.95	0.05	8	8.26	3.75	8.92	0.1	4

3.6. Manejo del cultivo.

3.6.1. Riego

La frecuencia del riego vario según las necesidades hídricas de las plantas. En el sistema de subirrigación, cada bandeja de aplicación se llenó con la 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 drenó a un tanque de almacenamiento, y la SN evapotranspirada en cada riego se compensó para el riego posterior. El pH de la SN se ajustó a 6.0 ± 0.1 antes de cada riego con H_2SO_4 .

3.6.2. Tutorio

Esta labor se realizó para que las plantas de tomate fueron guiadas a un solo tallo, sosteniendo cada planta con una rafia, dándoles dirección en su crecimiento con la finalidad de tener una planta erguida y evitar que las hojas y frutos queden en contacto con el sustrato. La actividad se llevó acabo en la base de la planta y conforme crecía esta se enredaba a la rafia.

3.6.3. Podas

La poda de la planta se realizó a un tallo, se podaron los brotes y chupones axilares hasta llegar al décimo racimo momento en que se realizó el corte de la yema apical (despuntado), la práctica se manejó de manera manual, también se eliminaron hojas viejas que se encontraban por debajo de los primeros racimos esto para permitir mayor aireación y por tanto un buen desarrollo de los frutos; sin embargo, las hojas podadas se secaron y guardaron para que al final se reportara el peso seco total.

3.6.4. Cosecha

La cosecha 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

Rendimiento

En este experimento se cosecharon 10 racimos por planta. La cosecha se realizó una vez por semana, en el cual se registró el peso fresco de cada fruto con ayuda de una balanza analítica, y al finalizar el ciclo del cultivo se determinó el rendimiento total por planta, expresado en gramos por planta.

Biomasa seca

Al finalizar el experimento se realizó un muestreo destructivo de las plantas, para lo cual se tomó las dos plantas por repetición, a las cuales se separaron los diferentes órganos:

Hoja. Se recolectaron todas las hojas de cada planta cada vez que se realizaban las podas de hoja para ser secadas en un horno a 65°C por 72 h, para posteriormente registrar el peso seco con una balanza analítica, expresado en gramos por planta.

Tallo. Fue destruido el tallo en pedazos con la ayuda de tijeras para podar, posteriormente fue introducido en bolsas de papel para ser secado en un horno de secado a una temperatura de 65°C durante 72 h, al término de este proceso se pesó cada muestra en una balanza analítica, expresado en gramos por planta.

Raíz. Para la determinación de la biomasa radicular, se dividió el contenedor en tres estratos (alto, medio y bajo), se retiró y lavó la raíz contenida en cada estrato con agua de la llave para eliminar el exceso de sustrato, y posteriormente se secó en un horno a temperaturas de 65°C por un periodo de 72 h, para su posterior registro del peso seco con una balanza analítica, expresado en gramos por órgano por planta.

Peso seco total. Esta variable se obtuvo sumando el peso seco de hoja, tallo y raíz, expresada en gramos por planta.

Relación parte aérea y raíz

Para determinar la relación entre la parte aérea y la raíz consideró el peso seco del tallo más hojas dividido entre el peso seco de raíz.

pH y CE del sustrato

Al finalizar el ciclo del cultivo se determinó el pH y CE del sustrato en los tres estratos del contenedor (alto, medio y bajo). Para analizar éstas propiedades químicas del sustrato, se realizó una mezcla de sustrato y agua, en la proporción 1:2 v/v, se agitó manualmente por 5 minutos y dejó reposar por 20 min, posteriormente se filtrará cada muestra y la solución recuperada se utilizó para el análisis de dichas propiedades con ayuda de ionómetros portátiles (Horiba LAQUA Twin).

3.8. Diseño experimental y análisis de datos

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con siete repeticiones por cada tratamiento, cada repetición consistió en dos contenedores. 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 DISCUSION

El peso seco de hoja fue superior al emplear el tratamiento 2 seguido del tratamiento 1, ambos superando al testigo en 30% y 11%, respectivamente (Fig. 2). Estos resultados difieren de Hashemimajd *et al.* (2004), quienes señalan que la fertilización orgánica produce una reducción en la producción de biomasa motivada por una deficiencia nutrimental, particularmente de nitrógeno y a la presencia de una alta concentración de ciertos iones (Cl^- , Na^+ , Ca^{2+}).

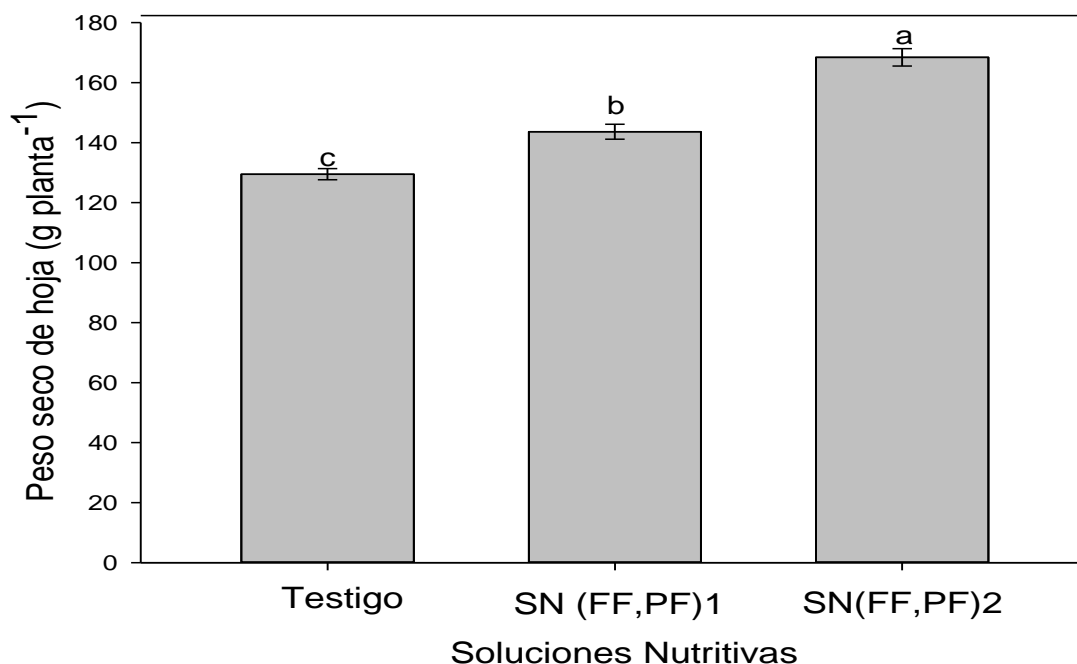


Figura 2. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de hoja de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

Para peso seco de tallo también se encontró diferencia entre las soluciones nutritivas empleadas, destacando la solución nutritiva 2 superando en 13% al testigo (Fig. 3). Lo anterior coincide con lo reportado por Velasco *et al.* (2001)

quienes obtuvieron un mayor peso seco al utilizar fertilizantes orgánicos, y difiere de Hashemimajd *et al.* (2004), quienes señalan que la fertilización orgánica produce una reducción en la producción de biomasa.

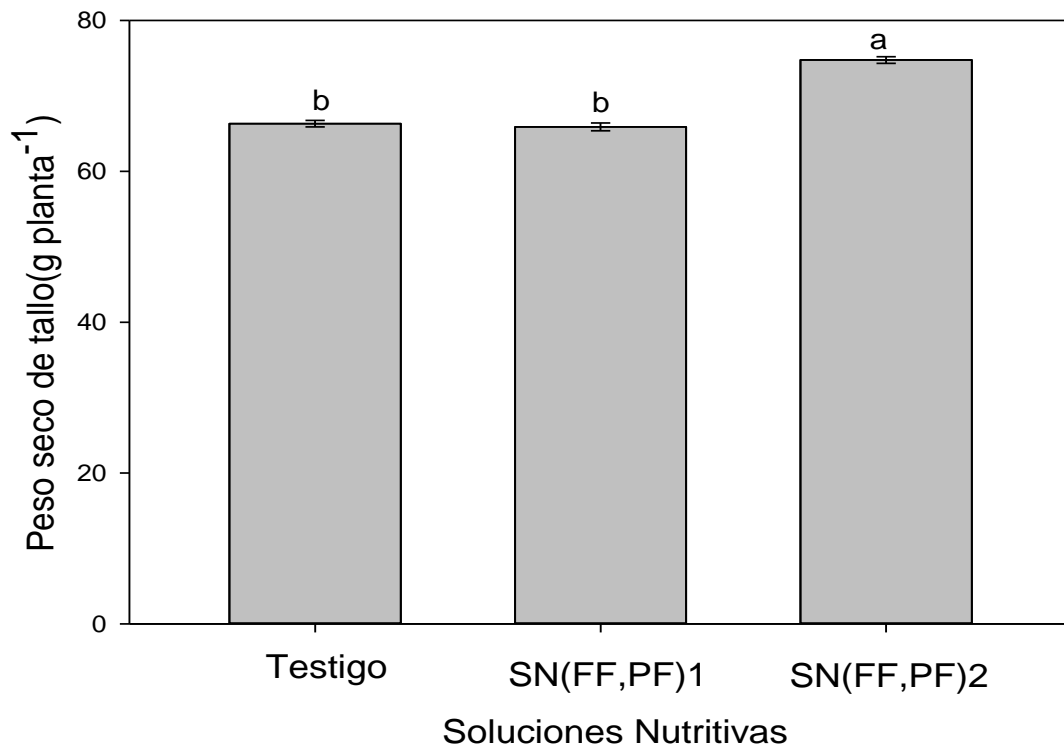


Figura 3. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de tallo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

En cuanto al peso seco de la raíz se encontró diferencia significativa entre soluciones empleadas, observándose que con la solución nutritiva 2 se obtuvo mayor biomasa radicular, superando al testigo en 26% (Fig. 4). Resultados similares fueron reportados por Galindo *et al.* (2014) quienes mencionan que el peso seco de la raíz se vio favorecido al adicionar fertilizantes orgánicos a la SN.

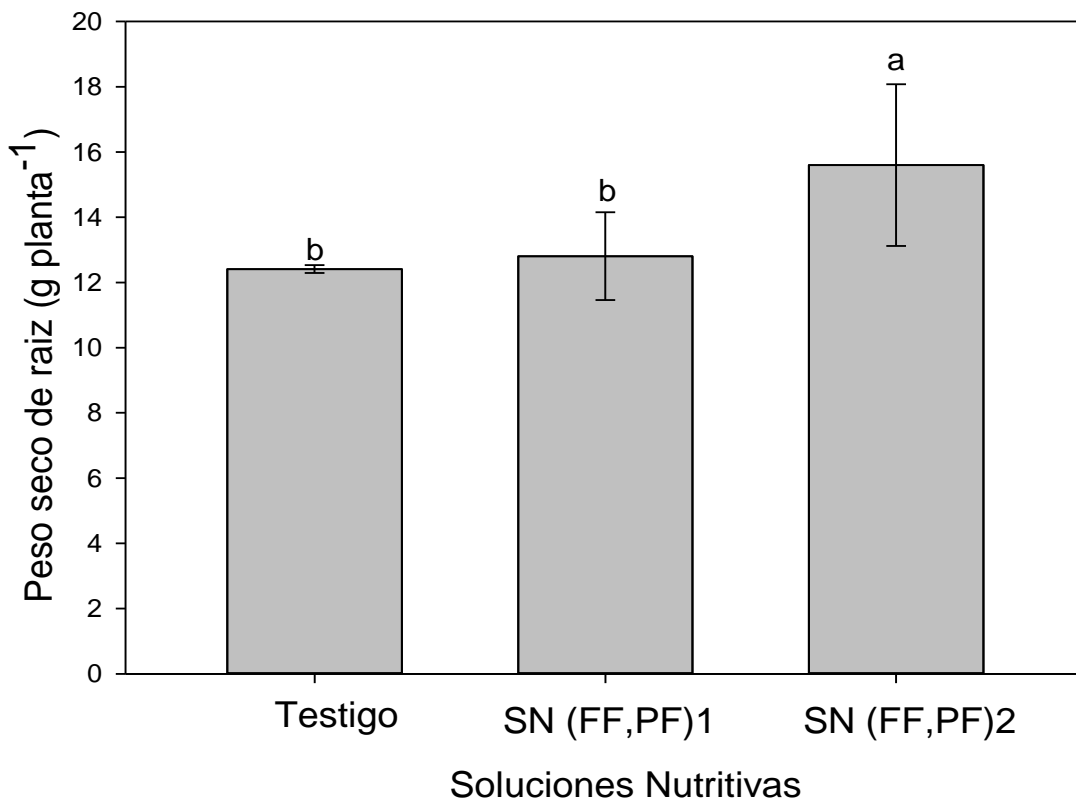


Figura 4. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

Mientras que en la relación parte aérea/raíz no se encontró diferencia significativa entre tratamientos (Fig. 5).

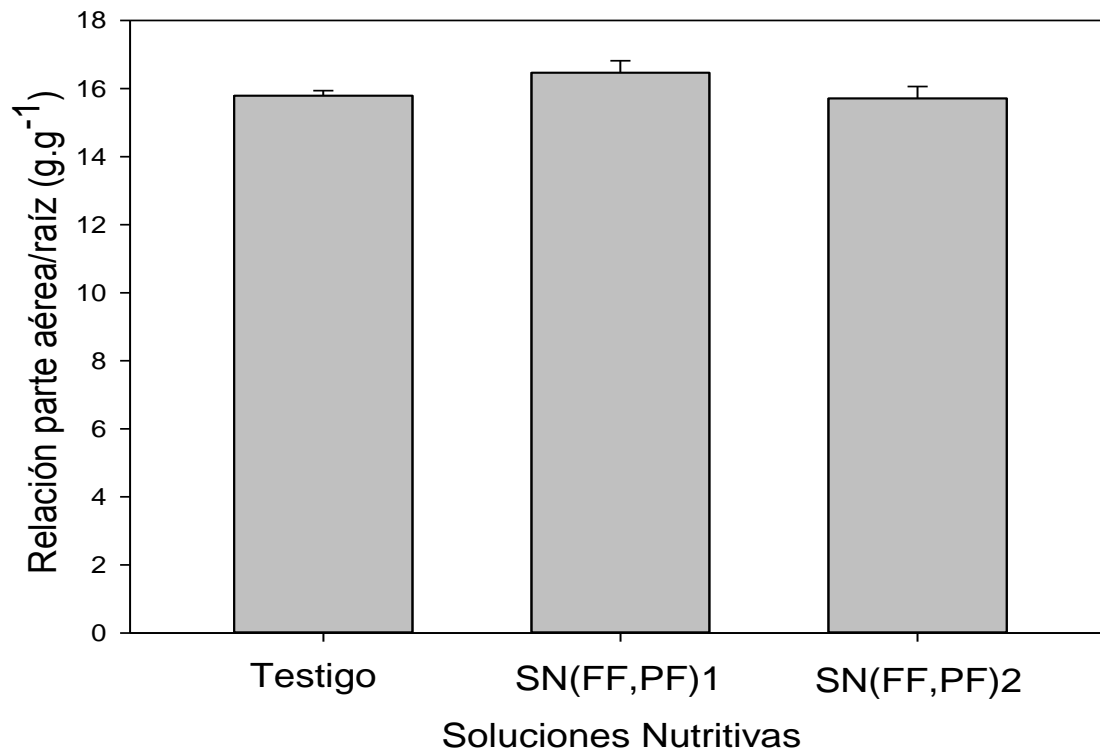


Figura 5. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la relación parte aérea/raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.637$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

En cuanto a la acumulación de materia seca en planta, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, observando que la solución 2 presentó un mayor peso seco total, superando al testigo por 26%

(Fig. 6). Lo anterior, difiere con lo reportado por Pavlou *et al.* (2007) quienes mencionan que la producción de biomasa en el cultivo de lechuga fue la más alta al utilizar solo fertilizante inorgánicos

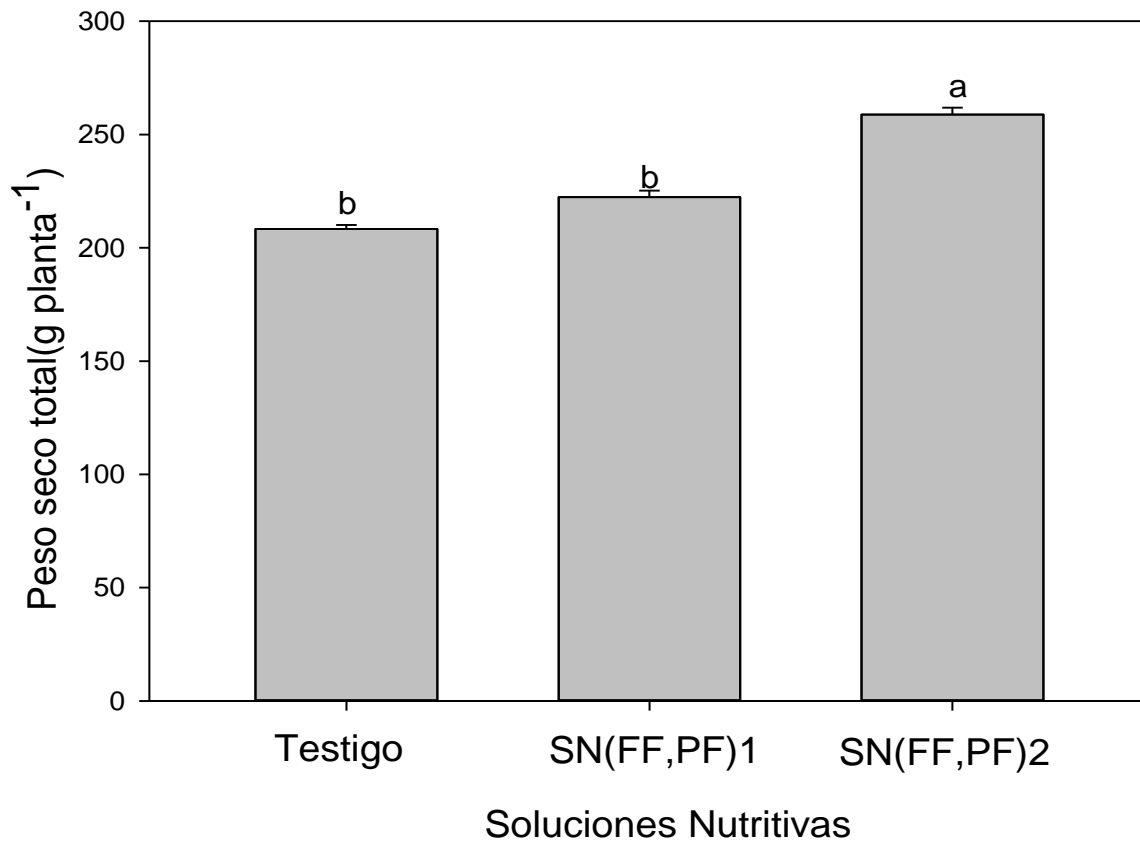


Figura 6. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el peso seco total de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

El mayor rendimiento se obtuvo con el testigo y al emplear la solución 2, a pesar de que este último fue una mezcla de fertilizantes inorgánicos y orgánicos

(Phytafish® + Fijaflor®) (Fig 7). Resultados diferentes fueron reportados por Ochoa *et al.* (2009) al obtener mayor rendimiento en el cultivo de tomate hidropónico con fertilización inorgánica que con fuentes orgánicas de fertilización y Heeb *et al.* (2006) quienes mencionan que en el cultivo de tomate los rendimientos de las plantas orgánicamente fertilizadas fueron significativamente más bajos (1.3-1.8 kg.planta⁻¹) que los rendimientos de las plantas que recibieron fertilizante mineral (2.2-2.8 kg. planta⁻¹). Los resultados anteriores se deben a que las plantas obtienen los nutrientes más eficientemente cuando se emplea una solución balanceada y en las formas iónicas que ellas pueden aprovechar (Ikeda *et al.*, 2002; Ramos *et al.*, 2002). Por ello, es necesario encontrar fertilizantes orgánicos donde, además de aportar los nutrientes necesarios para los cultivos (Arancon *et al.*, 2004), éstos se encuentren en una forma iónica y equilibrada en la solución aplicada.

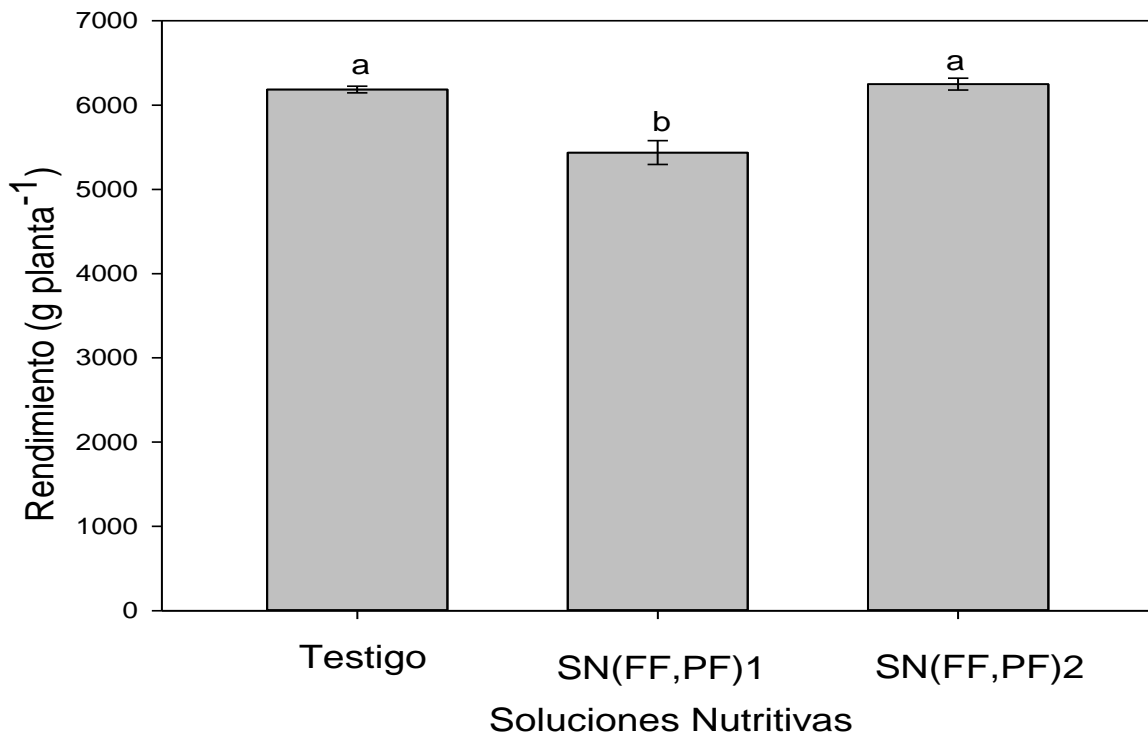


Figura 7. Efecto de la utilización combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el rendimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivadas bajo un sistema de subirrigación. Medias con las mismas

letras en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de LSD con ($\alpha \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.021$. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

En general, el peso seco radicular, pH y la CE del sustrato fueron afectados por las soluciones nutritivas empleadas (Tabla 2); así mismo, las variables anteriormente mencionadas fueron influenciadas significativamente por el estrato evaluado y la interacción de los factores evaluados (Tabla 2).

Cuadro 2. Efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el desarrollo radicular y en las propiedades químicas del sustrato al finalizar el ciclo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon.

		Peso seco radicular	pH	CE
		gr planta ⁻¹		dS m ⁻¹
SN	Testigo	4.14 b	6.45 b	4.49 a
	1	4.27 b	6.37 b	3.88 b
	2	5.20 a	7.27 a	2.84 c
Estrato	Superior	6.49 a	6.61 b	5.24 a
	Medio	4.76 b	6.79 a	3.02 b
	Inferior	2.35 c	6.69 ab	2.95 b
ANOVA	SN	0.001	0.0001	0.0001
	Estrato	0.001	0.035	0.0001
	interacción	0.032	0.006	0.0001
	C.V.(%)	17.95	3.09	11.96

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

En el peso seco radicular por estratos, se observó que esta variable fue mayor en el estrato superior (Fig. 8). Lo anterior difiere de los reportado por Todd y Reed (1998), quienes reportaron menos peso seco de la raíz de *Impatiens hawker* Bull en la parte superior de los contenedores al someter este cultivo al sistema de subirrigación. El menor peso seco radicular que se obtiene en los estratos superiores son atribuidos a la alta concentración de sales (CE) alcanzado al subirrigar (Morvant *et al.* (1997). Por su parte, Elia *et al.* (2003), van Iersel (2000),

Morvant *et al.* (1997) y Kent y Reed (1996) mencionan que la alta CE del estrato superior del estrato subirrigado puede tener poco efecto sobre el crecimiento radicular, ya que la mayoría de estas crecen normalmente en el fondo del recipiente. En el presente trabajo, el mayor peso radicular en el estrato superior puede ser atribuido a que en este estrato se localizaban raíces de mayor diámetro; mientras que en los estratos inferiores se observó un mayor número de raíces de menor diámetro, lo que pudo relacionarse con el menor peso seco obtenido en estos estratos. Davis *et al.* (2011) y Morvant *et al.* (1997) reportaron un mayor volumen de raíces en los estratos inferiores del medio de crecimiento, indicando que esto es debido a la menor CE y a la mayor disponibilidad de agua presente en estos estratos. Sin embargo, el mayor peso seco radicular en los tres estratos evaluados fue mayor al emplear la SN 2, lo que pudo deberse a la baja CE alcanzado en el medio de crecimiento al emplear dicha SN.

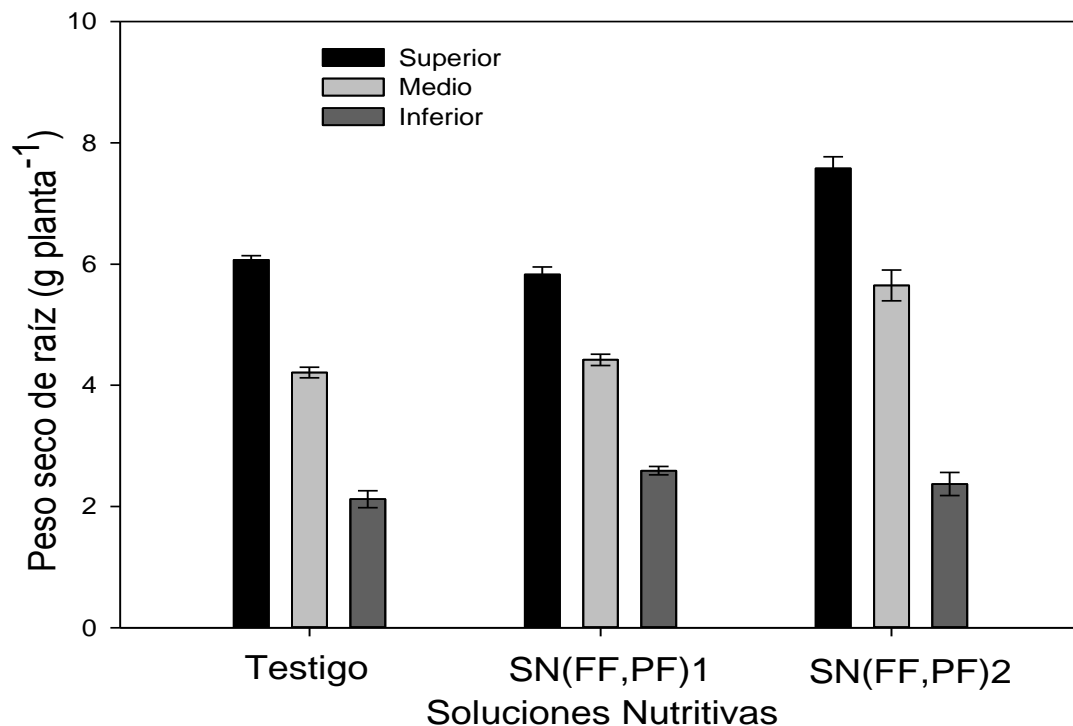


Figura 8. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el PSR en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación SN=solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

La CE del medio de crecimiento fue mayor al subirrigar con la SN del testigo (Fig. 9). Observándose también que la CE fue mayor en el estrato superior del contenedor al emplear cada una de las soluciones nutritivas, sin embargo la CE de este estrato fue mayor con el testigo alcanzando una CE de 6.55 dS m^{-1} , seguido de la SN 1 con 5.23 dS m^{-1} y de la SN 2 con 4.10 dS m^{-1} (Fig. 9). La menor CE alcanzada con la SN 2 puede deberse a la cantidad de fertilizantes orgánicos aplicados en combinación con fertilizantes inorgánicos, lo cual concuerda con lo reportado por Ochoa-Martínez *et al.* (2009) quienes encontraron que la adición de fertilizantes inorgánicos favoreció que los valores de CE de la SN disminuyeran gradualmente a valores cercanos al óptimo mientras que la CE al solo utilizar fertilizantes inorgánicos presentó valores más altos y tuvo un comportamiento similar a lo largo del ciclo. Santamaría *et al.* (2003) y Scoggins (2005) mencionan que el sistema de subirrigación determinan una diferente estratificación de sales en el medio de cultivo, las cuales se concentran en la parte superior, y dependiendo de la especie, estos niveles pueden o no pueden plantear problemas. Kent y Reed (1996) al utilizar un sistema de subirrigación confirmaron que la CE se mantuvo baja en las capas media e inferior, mientras que el estrato superior fue de 2 a 5 veces mayor que los estratos inferiores. Argo y Biernbaum, (1990) indican que en un sistema de subirrigación la CE del estrato fue más alto en la capa superior del estrato y más baja en la parte inferior de este lo que es normal para las plantas subirrigadas.

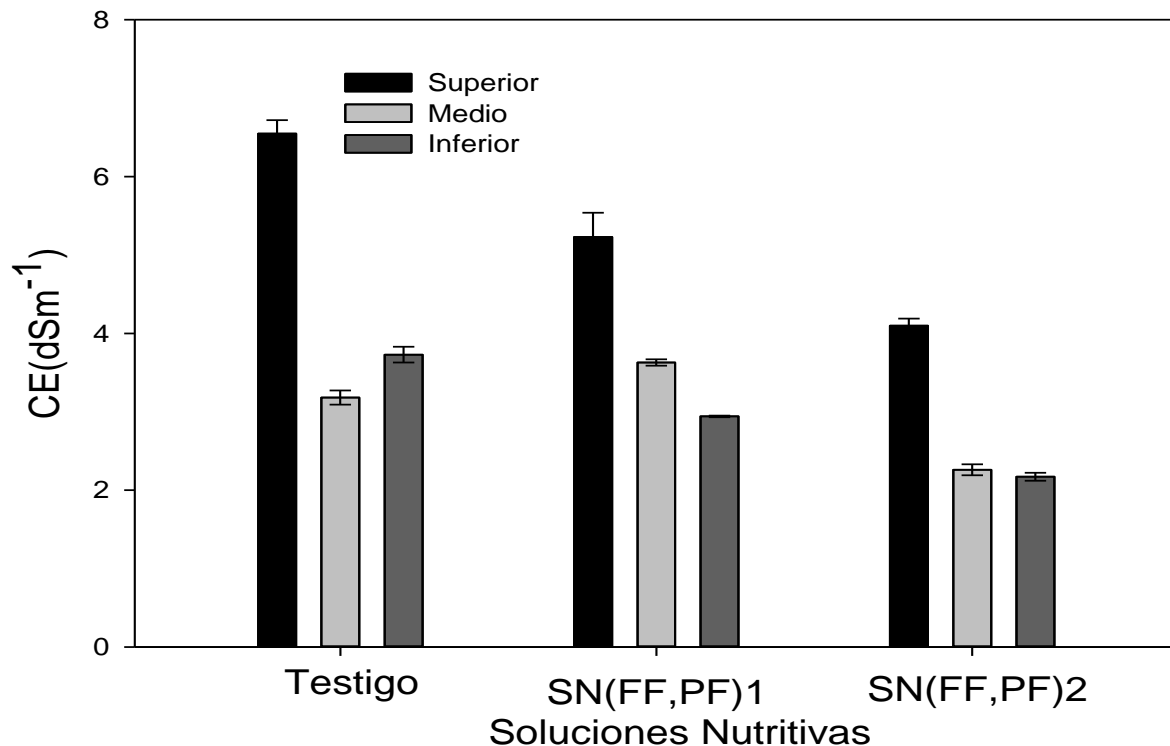


Figura 9. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la CE en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermont bajo un sistema de subirrigación. SN= solución nutritiva, FF=Fijafior, PF=Phytafish

El pH fue mayor al emplear la SN 2 con un pH promedio de 7.27, mientras que el pH del medio de crecimiento fue similar al emplear la SN del testigo y la SN 1 con un pH promedio de 6.45 y 6.37, respectivamente. El pH del sustrato con la SN 1 y 2 tendió a disminuir conforme se eleva la altura del estrato, esto concuerda con Martinetti *et al.* (2008) quienes reportaron que con subirrigación el pH fue más ácido en la capa superior del sustrato. Bumgarmer *et al.* (2008) utilizando un sistema de subirrigación en la producción de plántulas de *quercus rubra*. mencionan que este sistema aumenta la CE y disminuye el pH en la parte superior del estrato.

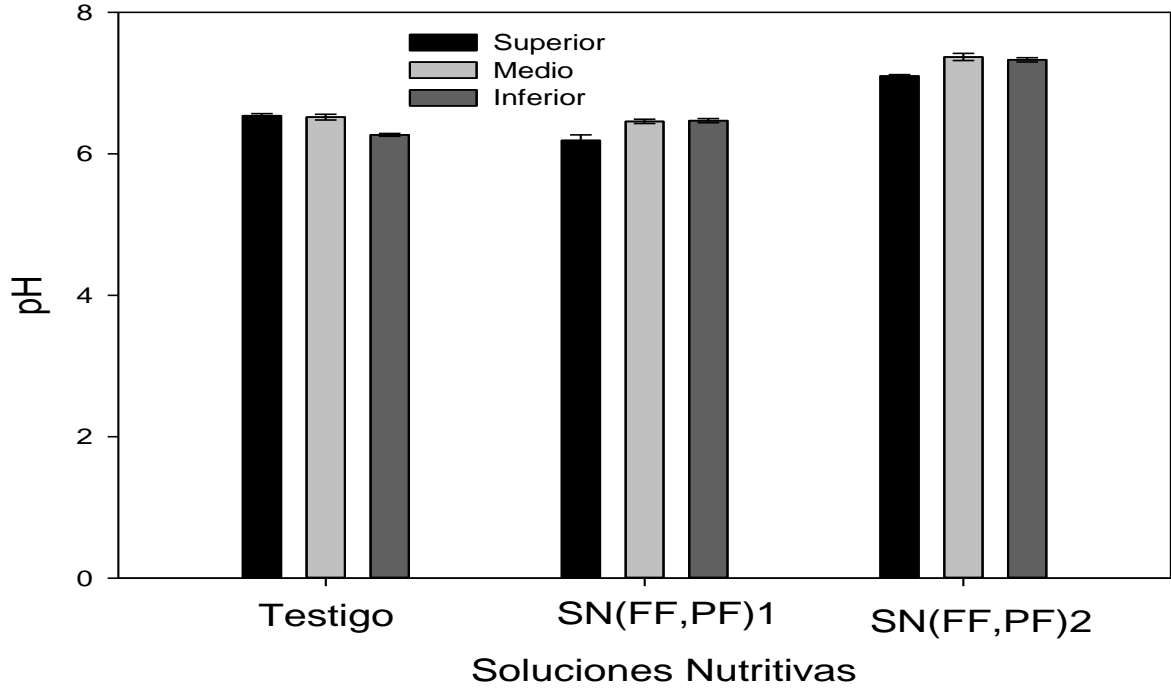


Figura 10. Efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el pH en los diferentes estratos del sustrato utilizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermont bajo un sistema de subirrigación. SN= solución nutritiva, FF=Fijaflor, PF=Phytafish

V.CONCLUSIONES

Al aplicar una combinación de fertilizantes orgánicos/inorgánicos se puede mejorar la producción de biomasa seca.

Es rentable cultivar tomate bajo invernadero utilizando una combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en un sistema de subirrigación, con el cual se obtienen los mismos rendimientos que al aplicar únicamente fertilizantes inorgánicos, además que tiene otras ventajas como el ahorro de agua y fertilizantes que se aplican durante el ciclo del cultivo, también al utilizar fertilizantes orgánicos ayudamos a conservar los recursos naturales, así como de aumentar la fertilidad de los suelos y mejorar la calidad de los productos.

Al utilizar una mezcla de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en sistema de subirrigación permite mantener una CE baja en el medio de crecimiento, lo cual favoreció en la obtención de un mayor crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate.

VI.LITERATURA CITADA

- Álvarez, R. Conagua da Impulso al Desarrollo del Campo [en línea]. *Planeta Azul*, 2011. Disponible en *World Wide Web Disponible en:* <http://www.planetaazul.com.mx/site/>.
- Biekart, H. M. and Connors, C. H. (1935). Greenhouse culture of carnations in sand.
- Biernbaum, J. A. (1990). Get ready for subirrigation. *Greenhouse Grower*, 130–133.
- Biernbaum, J. A. (1992). Root-zone management of greenhouse container grown crops to control water and fertilizer use. *HortTechnology*. 127–132.
- Burton, M. (2010). *Irrigation management: Principles and practices*. CABI North American Office, Cambridge, MA. 375.n
- Castellanos, J. Z y Vargas T. P. (2003). El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: manual de producción de horticultura en invernaderos. Intagri 2ª edición, 124-150.
- Carvajal, A. and Davidoff B. (1990). California Agriculture Irrigation Efficiency and Distribution Uniformity, Proceedings of the Conserv 90, Phoenix, Arizona, EUA. 27-29.
- Contreras, M. E. (2006). Manejo de la nutrición en cultivos hidropónicos. Memorias (cd). Curso teórico-práctico “Producción de Cultivos en Sistemas Protegidos en el Trópico Húmedo”. Villahermosa, Tabasco, México.27.
- Cox, D. A. (2001). Growth, nutrient content and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *Journal of Plant Nutrition*. 523–533.

- Davis, A. S., J. R. Pinto, and Jacobs, D. F. (2011). Early field performance of *Acacia koa* seedlings grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants Journal*. 94–99.
- Dumroese, R. K., Pinto, J. R. Jacobs, D. F. Davis, A. S. and Horiuchi, B. (2006). Sub-irrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal*. 253.
- Eaton, F. M. (1931). A large sand culture apparatus. *Soil Science*.235–241.
- Elliott, G. (1990). Reduce water and fertilizer with ebb and flow. *Greenhouse Grower*. 70-75.
- Espinoza, C. (2004). Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah. México. Octubre 13, 14 y 15 del 2004. Consultado 10 febrero 2018. http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03Prod_tomate_invernadero.pdf.
- Estrada F. y Romero, E. (2003). Hidroponía. Disponible online: <http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/7635//Hidroponia/main.html>.
- FAO.(1991) Protected Cultivation in the Mediterranean Climate. Plant Protection Paper, 90-317. [on line].*Consultado 13 febrero 2018. Disponible en:* http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072001000400010&script=sci_arttext
- FAO. (2015). Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles.12-13.
- FAOSTAT. (2017). Consultado 10-02-2018 Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Fare, D. C., Gilliam, C. H. and Keever, G. J. (1994). Cyclic irrigation reduces container leachate nitrate–nitrogen concentration. *HortScience*, 1514–1517.

- Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. Á., y Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus L.*) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1219-1232.
- Gericke, W. (1921). Root Development of Wheat Seedlings. *Botanical Gazette*. 72.
- Gericke, W. (1922). Magnesia Injury of Plants Grown in Nutrient Solutions. *Botanical Gazette*. 74.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press, Michigan. 14-17.
- Grigatti, M., Giorgioni, M. A., Cavani, L. and Ciavatta, C. (2007). Vector analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Hort Science*, 448-455.
- Hartz, T. K. (2006). Manejo de fertilizantes para la producción de tomate de alto rendimiento. Instituto de investigaciones agropecuarias. 32.
- Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A. and Shariatmandari, H. (2004). Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. *Plant Nutrition*. 1107-1123.
- Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G., and Ericsson, T. (2006). Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Plant Nutrition and Soil Science*, 535-541.
- Ikedo, H., Koohakan, P., Jaenaksorn, T. (2002). Problems and countermeasures in the re-use of the nutrient solution in soil-less production. *Acta Hort*. 213-219

- 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. *Hort Science*. 365–372.
- Inden, H. and Torres, A. (2005). Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *Acta Horticulture*. 205-210
- Jaramillo-Noreña. J., Rodríguez, V.P., Guzman-A. Miriam., Zapata, M. A. (2006). El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicon esculentum Mill.*) Boletín Técnico 21 Centro de Investigación La Selva, Rionegro (Antioquia, Colombia). 48.
- Juntunen, M. L., Hammar, T. and Rikala, R. (2002). Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. *Environmental Quality*. 1868–1874.
- Kent, M. K. and Reed, D. Wm. (1996). Nitrogen nutrition of New Guinea Impatiens “Barbados” and Spathiphyllum “Petite” in a subirrigation system. *American Society for Horticultural Science*. 816-819.
- Lara-Herrera, A. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 221–229.
- Kromm, D. E. y White S. E. (1990). Conservation Water in the High Plains, Kansas State University, EUA. 24-25.
- 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. *Biology Science*. 467-474.
- Massa, D., Mattson, N.S. and Lieth, H. (2008). An empirical model to simulate sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. *Hort Science*. 228–235.

- Molitor, H. D. (1990). The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. *Acta Horticulture*.165–174.
- Montaño, N., Simosa, J. y Perdomo, A. (2009). Respuesta de tres cultivares de berenjena (*Solanum melogena* L.) a diferentes combinaciones de fertilizante orgánico y fertilizante químico. *UDO Agrícola*, 807-815.
- Montesano, F. F., Parente, A. and Santamaria, P.(2010). Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Hort Science*. 338–344.
- Montesano, F., Ferulli, C., Parente, A., Serio, F., Santamaria, P. (2005). NFT versus Subirrigation. II. Tomato fruit quality grown in closed soilless systems under salinity or water stress. *Hort Science*, 1011.
- 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*, 156–160.
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., y Rodríguez-Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 245-250.
- Pavlou, G. C., Ehaliotis, C. D., & Kavvadias, V. A. (2007). Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 319-325.
- Reed, W. M. (1996). Closed production systems for containerized crops: Recirculating subirrigation and zero leach systems. *Water, Media, and Nutrition for greenhouse crops*, 221-245.
- Reijntjes, C. B., Haverkort and Waters-Bayer, A. (1992). Farming for the future.12-13.
- Resh, H. M. (1997). Cultivos hidroponicos. 4ª edición. Editorial Mundi-Prensa. España.26-31.

- Rick, C. M. (1986). Genetics and Breeding. 35-109.
- Richards, D. L. and D. W. Reed. (2004). New Guinea Impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system. *HortScience*. 280–286.
- Rodríguez, S. (2003). Forraje verde hidropónico. Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.8-11.
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Favela-Chávez, E., Moreno-Reséndez, A., Márquez-Hernández C., Ochoa-Martínez, E. y Preciado Rangel, P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Revista Terra Latinoamericana*. 319-327.
- Rouphael, Y., Colla, G., Battistelli, A., Moscatello, S. and Rea, E.(2004). Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and soilless culture. Italy. *Journal of horticultural science & biotechnology*. 423-430.
- Rouphael, Y. and Colla, G. (2005). Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. Italy. *Scientia Horticulturae*. 177-195.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Battistelli, A., Colla, G. (2006). Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agriculture Water Manage*. 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*. 328–337.
- Samperio, R. G. (2004). Un paso más a la hidroponía. 65.

- Sánchez, C. F y Escalante, R. E. R. (2001). Hidroponía, Principios y métodos de cultivos. UACH. 3ra. Edición. 194.
- Sánchez, C. F. y Escalante, R. E. R. (2001). Hidroponía, Principios y métodos de cultivos. UACH. 3ra. 194.
- Santamaría, P. and F. Serio. (2001). Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta. *Informatore Agrario*, 45-49.
- Santamaría, P., Campanile, G., Parente, A. and Elia, A. (2003). Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. United Kingdom. *Journal Horticultural Science and Biotechnology*. 290-296
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2014) Consultado 05-03-2018 en http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/su_perficie_agricola_protegida.aspx
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2016) Consultado 05-12-2017 en <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2016/Paginas/2015B466.aspx>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2017) Consultado 05-12-2017 en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC0351-17.aspx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). Consultado 05-12-2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Scoggins, H. L. (2005). Determination of optimum fertilizer concentration and corresponding substrate electrical conductivity for ten taxa of herbaceous perennials. *HortScience*. 1504-1506.

- Snyder, R. G. (2006). Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. 24.
- Todd, N. M. and Reed, D. W. (1998). Characterizing salinity limits of New Guinea impatiens in recirculating subirrigation. *Journal American of Society Horticulture Science*. 156–160.
- Trinidad-Santos, A. (2007). Abonos orgánicos. Sistema de Agronegocios Agrícolas, 1–7. Consultado 15 enero 2018. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos_organicos.pdf
- Uva, W. L., Weiler, T. C., Milligan, R. A. (2001). Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the northeast and north central United States. *HortScience*. 167–173.
- Van Os, E. A. (1999). Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Science Technology*. 105-112.
- Velasco Velasco, J., Ferrera Cerrato, R., & Almaraz Suárez, J. J. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra latinoamericana*, 19.
- Withrow, R. B. and Biebe, J. P. (1937). Nutrient solution methods of greenhouse crop production. *Hort Science*. 232.
- Yeh, D. M.; Hsu, P. H. and Atherton, J. G. (2004). Growth and flowering response of *Canna x generalis* to nitrogen supplied to the growing medium via top- or sub- irrigation. *Journal of Horticultural Science Biotechnology*. 511-514.
- Zheng, Y., Graham, T., Richard, S. and Dixon, M. (2005). Can low nutrient strategies be used for pot gerbera production in closed-loop subirrigation. *Acta Hort*. 365–372.

Zheng, Y., Graham, T., Richard, S. and Dixon, M. (2004). Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience*, 1283-1286.