

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos afecta la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y las propiedades químicas del sustrato bajo un sistema de subirrigación

Por:

RAMIRO RANGEL ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo un sistema de subirrigación

Por:

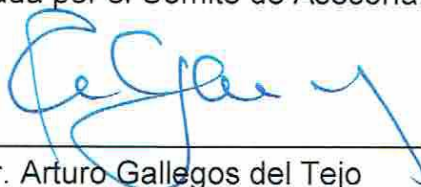
RAMIRO RANGEL ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de.

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría.



Dr. Arturo Gallegos del Tejo
Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez
Coasesor



Dra. Juana Cruz García Santiago
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2018

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** por darme la vida, guiarme por el buen camino y permitir que yo terminara una etapa más en mi vida; que sin el nada de esto fuera una realidad.

A **MI UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"** por abrirme las puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente a lo largo de este tiempo y por dejarme concluir, de todo corazón, muchas gracias bendita universidad. **ALMA TERRA MATER, BUITRES, BUITRES AL ATAQUE.**

A **Dra. Juana Cruz García Santiago** por confiar en mí y asignarme el proyecto de tesis, por su amistad, apoyo incondicional y orientación para el desarrollo de este trabajo, sobre todo la paciencia que tuvo hacia mí, que sin su apoyo el trabajo no hubiera salido. Infinitamente agradecido mi estimada Doctora.

A **Dr. Armando Hernández Pérez** por darme la oportunidad de ser su alumno y abogar por mí para que me dieran el proyecto de tesis ya que no fue fácil pero me lo asignaron. Gracias.

A **Dr. Arturo Gallegos del Tejo** por ser maestro del departamento de suelos e impartir materias que me sirvieron para mi formación, también por ser uno de mis asesores y asignarme la practicas profesionales que fueron todo un éxito ya que demostré de que están hechos los alumnos de la narro y ser un excelente maestro de antemano muchas gracias Doctor.

A lo **Maestros del Departamento de Suelos** y otros Departamentos por darme las herramientas para mi formación de ante mano gracias, queridos maestros.

A **MIS PADRES RAMIRO RANGEL VALENZUELA Y MA. DEL CARMEN ACOSTA HERRERA** por darme la vida y guiarme por el camino de bien con sus concejos.

A **MI ESPOSA VALERIA LILIANA VAZQUEZ GONZALEZ** por brindarme su apoyo incondicional en esta etapa, que no fue fácil pero lo logramos juntos. Con esfuerzo y dedicación.

A **MI HIJA RENATTA RANGEL VAZQUEZ** por ser mi motor de cada día ya que lo que hago es para darle lo mejor.

A **MIS SUEGROS** que me apoyaron cuando estaba estudiando y hasta la fecha.

A **MIS AMIGOS** Octavio, Edgar, Carina, Lupita y Yanel entre otros, que fueron buenos amigos a lo largo de esta etapa en la Universidad.

DEDICATORIA

A **DIOS Y A LA VIRGEN DE SAN JUAN** porque sin ellos nada es posible en esta vida.

A **MIS PADRES RAMIRO RANGEL VALENZUELA Y MA. DEL CARMEN ACOSTA HERRERA** por darme la vida y gracias a su apoyo ahora soy lo que soy. Gracias a ustedes no tengo palabras para agradecerles lo que han hecho por mí, de todo corazón se los agradezco y los amo con todo mi corazón. Gracias padres por sus sabios consejos y hasta la fecha no me han dejado solo en ningún momento de mi vida. Ustedes que siempre confiaron en mí, me enseñaron que las cosas buenas se logran con esfuerzo y que jamás hay que darse por vencido, este logro es de 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 agradecido.

A **MI ESPOSA VALERIA LILIANA VAZQUEZ GONZALEZ** por todo tu apoyo y sacrificios que tuviste que pasar, entre risas, enojos, peleas pero siempre a lado mío cuando te necesite; de todo corazón muchas gracias amor.

A **MI HIJA RENATTA RANGEL VAZQUEZ** que fue mi impulso, siendo mi motivo de cada día y a no darme por vencido nunca, para poder darle un mejor futuro y un estudio como el que mis padres me dieron a mí.

A **MIS HERMANOS ERNESTO Y SANJUANITA** por ser unos buenos hermanos y nunca tener problemas ya que siempre me han apoyado en las buenas y las malas de todo corazón, gracias por ser buenos hermanos.

A **MIS ABUELOS AGUSTIN Y CATALINA** por darme crianza desde niño y gracias también a ustedes ahora soy lo que soy por sus consejos y sabiduría que me han servido en esta vida. Gracias mi queridos padres.

A todos mis compañeros y amigos que conocí a lo largo de la carrera. Y a todos mis familiares que siempre estuvieron al pendiente de mí, durante mi estancia en la Universidad.

RESUMEN

La subirrigación es un método práctico y rentable para lograr un ahorro de fertilizantes en la producción de cultivos en invernadero, permitiendo reducir los costos de producción y disminuir contaminación al medio ambiente. El objetivo del presente estudio ha sido el 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 y la concentración de NO_3^- , K, Ca y Na en el sustrato subirrigado. El experimento 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 5 tratamientos, evaluándose cuatro mezclas de fertilizantes orgánicos (Phytafish y Fijaflor) e inorgánicos (combinando la concentración de N, P, K y Ca) y 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. El rendimiento se mantuvo similar al testigo al adicionar fertilizantes orgánicos a la SN. En general, el peso seco radicular, la concentración de NO_3^- , K, Ca y Na, pH y la CE del sustrato fueron influenciados significativamente por el estrato evaluado.

Palabras clave: Subirrigación, Nutrición Inorgánica, Nutrición Orgánica, Sustrato.

ÍNDICE GENERAL

- I. INTRODUCCIÓN**
- II. REVISIÓN DE LITERATURA**
 - 2.1. Origen del tomate**
 - 2.2. Importancia en México y a nivel mundial**
 - 2.3. Producción en sistema protegido**
 - 2.4. Hidropónia**
 - 2.5. Sistemas hidropónicos**
 - 2.5.1. Cultivo en contenedor**
 - 2.5.2. Sistema flotante**
 - 2.5.3. New Growing system (NGS)**
 - 2.5.4. Nutrient Film Technique (NFT)**
 - 2.5.5. Sistema de columnas**
 - 2.5.6. Sistema de subirrigación**
 - 2.6. Requerimiento del sistema de subirrigación**
 - 2.6.1. Concentración de la solución nutritiva en la subirrigación**
 - 2.6.2. Elección del sustrato en subirrigación**
 - 2.6.3. Lámina y tiempo de riego en subirrigación**
 - 2.7. Ventajas del sistema de subirrigación**
 - 2.8. Desventajas del sistema de subirrigación**
 - 2.9. Problemas de contaminación por la actividad agrícola**
 - 2.10. Agricultura sustentable**
 - 2.11. Agricultura orgánica**
 - 2.12. Fertilizantes orgánicos**
 - 2.12.1. Fijaflor®**
 - 2.12.2. Phytafish®**
- III. MATERIALES Y MÉTODOS**
 - 3.1. Ubicación del experimento.**
 - 3.2. Material vegetativo**
 - 3.3. Trasplante**
 - 3.4. Diseño del sistema de riego**

3.5. Tratamientos

3.6. Manejo del cultivo:

3.6.1. Riego

3.6.2. Tutóreo

3.6.3. Podas

3.6.4. Cosecha

3.7. Variables evaluadas

3.7.1 Rendimiento

3.7.2. Biomasa seca

3.7.3. pH, Ce, NO₃⁻, K, Ca y Na del sustrato

3.8. Diseño experimental y análisis de datos

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V. CONCLUSIÓN

VI. LITERATURA CITADA

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas a aplicar en el experimento. (pág. 32)

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. (pág. 38)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del sistema de subirrigación para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (pág. 31).

Figura 2. Biomasa 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. (pág. 36).

Figura 3. Peso seco de raíz de plantas 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. (pág. 38).

Figura 4. Concentración de potasio (K) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 39).

Figura 5. Concentración de calcio (Ca) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 40).

Figura 6. Concentración de sodio (Na) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 41).

Figura 7. Concentración de nitrato (NO_3^-) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 42).

Figura 8. PH de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 43).

Figura 9. CE de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación. (pág. 44).

Figura 10. 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. (pág. 46).

I. INTRODUCCIÓN

La subirrigación es un sistema de riego cerrado de cero lixiviación que ha demostrado conscientemente que reduce el uso general de agua, principalmente porque el exceso de agua se recolecta y se reutiliza (Davis *et al.*, 2008; 2011; Dumroese *et al.*, 2007; Elliott, 1990). Dumroese *et al.* (2006) encontraron que 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 similar o mayor 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 productivos y sobre todo se reduce los menos gastos de producción (Rouphael *et al.*, 2008).

La producción bajo invernadero permite controlar parámetros climáticos, con la cual se puede influir artificialmente en el control del balance hídrico, permitiendo así establecer las necesidades de riego, incrementando el uso eficiente del agua, con el auxilio del sistema de riego localizado y de alta frecuencia. La hidroponía, que a nivel mundial ha dado un gran auge, sobre todo en países como México, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Holanda, Japón e Israel (Macías y Lara, 2016), ha demostrado ser un método alternativo para el mejor aprovechamiento del agua. La hidroponía se define como la ciencia que permite el incremento del rendimiento de las plantas sin utilizar suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, perlita, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos necesarios (Resh, 20014). Esto permite incrementar el rendimiento y la calidad de las cosechas.

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 a 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 practicas orgánicas al cultivo sin suelo (Indem y Torres, 2005; Grigatti et al., 2007).

La adopción de nuevos sistemas de producción, como lo es la subirrigacion 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 lo 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).

Partiendo de estas consideraciones, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diferentes combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate subirrigado y en algunas propiedades químicas del sustrato.

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 crecimiento de la raíz, pH, CE y concentración de NO_3^- , K, Ca y Na en los estratos del medio de crecimiento.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el crecimiento del cultivo de tomate de la variedad Clermon
- Determinar el efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de tomate de la variedad Clermon.
- Evaluar el efecto de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el crecimiento de la raíz, pH, CE, NO_3^- , K, Ca y Na de los estratos del medio de crecimiento subirrigado.

Hipótesis

La aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos influye en el crecimiento, rendimiento y las propiedades químicas del cultivo de tomate subirrigado, así como en la distribución de iones en el medio de crecimiento

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 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 % del volumen total de la producción (SAGARPA, 2016).

2.3. Producción en sistema protegido

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 de tomate 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).

En los últimos años, la producción bajo invernadero y la implementación del cultivo hidropónico 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).

2.4. Hidroponia

La hidroponia denominada por W. F. Gericke “*hydro*” (agua) “*ponos*” (lugar o trabajo) en su etimología literalmente es “trabajo en agua”, se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo (Resh, 2001). 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, 2015). La hidropónia es una tecnología que ha resultado en mayor calidad y rendimientos de los cultivos, así como en el uso eficiente de fertilizantes, químicos, pesticidas y agua (Salazar *et al.*, 2014; Chávez y Sánchez, 2014). El uso eficiente del agua de los sistemas hidropónicos se debe a 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).

Otras de las ventajas que ofrecen los sistemas hidropónicos son una mejor 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).

2.5. Sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos más usados actualmente son los siguientes: cultivo en contenedor, sistema flotante, new growing system (NGS), técnica de película de nutrientes (NFT), sistema de columnas y subirrigación.

2.5.1. Cultivo en contenedor

La producción exitosa de plantas de alta calidad en macetas, conocidas también como recipientes o contenedores, requiere de una comprensión del ambiente único encontrado en la maceta y como éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados (Cabrera, 1999). Las características como el volumen, profundidad y forma del contenedor actúan sobre la dinámica de crecimiento de las raíces al limitar la disponibilidad de recursos necesarios para su crecimiento: aire, agua y nutrientes (Landis *et al.*, 1990).

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Dado que el volumen de un contenedor es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento óptimo (Cabrera, 1995). Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes para un sustrato (Ansorena-Miner, 1994; Cabrera, 1995). Esto es debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo. En cambio, las propiedades químicas sí pueden ser alteradas posteriores al establecimiento del cultivo. Por ejemplo, si un sustrato no posee un pH o el nivel nutricional adecuado, éstos pueden mejorarse añadiendo mejoradores o abonos. Similarmente, un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad (Cabrera, 1999).

Los sustratos usados en contenedores pueden ser naturales o sintéticos, minerales u orgánicos, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado permitan el anclaje del sistema radicular. El sustrato desempeña, por tanto, un papel de soporte para la planta. Puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el proceso de nutrición (Abad, 1995).

2.5.2. Sistema flotante

La hidroponía en flotación consiste en sumergir el sistema radical en la SN, el vástago de la planta es suspendido sobre la SN con materiales ligeros e inertes, el más utilizado es la placa de unicel. La SN continuamente es aireada. Esta técnica tiene poca aplicación en la producción de tomate. La diferencia entre la hidroponía en flotación y la aeroponía consiste en que en esta última las raíces se asperjan con la SN cada cierto tiempo con el fin de mantenerlas humedecidas. En este sistema las raíces se mantienen colgando en solución nutritiva de la cual absorben lo que necesitan, como no se produce movimiento del agua, los niveles de oxígeno son bajos, lo que se puede remediar añadiendo una pequeña bomba de aire a la reserva de nutrientes (Bosques, 2003).

2.5.3. New Growing System (NGS)

El desarrollo del sistema comenzó en Almería en 1991, este sistema es utilizado en más de 20 países incluyendo Grecia, Francia, Italia y México. El sistema NGS ofrece soluciones prácticas para el productor, reduce las necesidades de agua, utiliza más eficientemente los abonos y elimina la necesidad de desinfectar el suelo. El elemento principal del sistema NGS es la multi-banda. Se trata de una banda de polietileno alargada que proporciona soporte al cultivo a la vez que recoge el agua de riego sobrante en la capa inferior de la banda. La solución nutritiva no absorbida por el cultivo es recogida en el tanque de recirculación, donde se mezcla con agua limpia. Una vez reajustado el pH y CE, esta solución nutritiva puede ser aportada de nuevo al cultivo. Así mismo hay ahorro de fertilizante ya que lo que no ha sido absorbida en primera instancia por el cultivo se recoge y reutiliza. Esto además contribuye a evitar la contaminación de aguas subterráneas con nitratos, fosfatos y otros fertilizantes (Boukalfa, 2000).

2.5.4. Nutrient Film Technique (NFT)

Este sistema tiene como principal objetivo recircular el agua a mínima profundidad sobre canales con una pendiente determinada. Construidos en PVC hidráulico, o bien canales adaptados de madera o concreto (Graves, 1983).

La NFT es relativamente reciente, consiste en mantener en circulación una fina capa de SN en las raíces de las plantas para proveer agua y nutrimentos, entre ellos el oxígeno. Las plantas crecen en canales formados por una película de polietileno, dentro de los cuales se depositan las raíces, se cubre de la luz y se hace fluir la SN. El plástico es completamente opaco en su interior, para evitar el desarrollo de algas, mientras que en su exterior es de color blanco para evitar el calentamiento de la SN y las raíces (Graves, 1983). La longitud del canal es de aproximadamente 20 m, con una pendiente entre 1.5 y 2 %. El flujo de la SN debe ser entre 60 y 120 L h⁻¹ (Jenner, 1980). Las plántulas se desarrollan en cubos de lana de roca, al trasplantarlas se colocan en el canal con todo y cubo (Cooper, 1978).

2.5.5. Sistema de columnas

Las plantas se crecen en columnas verticales construidas con tubos PVC de 6 u 8 pulgadas de diámetro, sacos mangas plásticas colgantes o macetas de polietileno expandido (parecidas a las hieleras) apiladas una sobre otra. Estas columnas perforadas contienen un sustrato liviano, como la pumecita o la perlita solo o mezclado con musgo, cascarilla de arroz o fibra de coco. La solución nutritiva se supe por goteo con mangueras de polietileno negro colocadas sobre las columnas y con micro tubos colocados en diferentes puntos. Todo el sustrato se humedece por gravedad. Está restringido a plantas pequeñas. Se ha desarrollado principalmente en Italia y España donde es muy usado para cultivar fresa y lechugas (Bosques, 2003; Sánchez, 2002).

2.5.6. Sistema de subirrigación

El sistema de subirrigación con recirculación de solución nutritiva, también referido como subirrigación de cero escurrimiento (Uva *et al.*, 2001; Santamaría *et al.*, 2003; Rouphael *et al.*, 2006) ha sido utilizada desde al menos 1895, cuando fue descrita por investigadores en la estación experimental de Ohio (Green and Green, 1895). El desarrollo posterior de la hidroponía durante los años veinte (Biekart y Connors, 1935; Eaton, 1931) ayudó 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 durante la década de 1930 (Withrow 1937). Este sistema funciona al permitir que el agua se mueva desde un depósito en donde se almacena la solución nutritiva (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 (van Os, 1999; Incrocci *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2008), 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).

En Europa, la subirrigación se ha utilizado durante muchos años para ayudar a resolver problemas con los métodos tradicionales de riego de efecto invernadero (Molitor, 1990). Sin embargo, los EE.UU. no han adoptado la subirrigación tan extensamente. Un factor que contribuye es que hay poca información disponible para la aplicación del sistema de subirrigación en hortalizas es escasa, ya que son pocos los estudios publicados que reporten las prácticas culturales óptimas para el uso del sistema de subirrigación para la producción de cultivares en condiciones controladas (Haley *et al.*, 2004; James y van Iersel, 2001).

2.6. Requerimientos del sistema de subirrigación

2.6.1. Concentración de la solución nutritiva en la subirrigación

La recirculación permite reducir el uso total de fertilizantes debido a que no se pierden nutrientes del sistema. Sin embargo, la subirrigación requiere un manejo cuidadoso de las concentraciones de las soluciones de fertilizantes para producir cultivos de invernadero de alta calidad (Rouphael y Colla, 2005; Zheng *et al.*, 2004). Las tasas óptimas de fertilización para los sistemas de riego superficial son bien conocidas, pero hay menos información aplicada disponible sobre las concentraciones ideales de solución de fertilizante para subirrigación (Kang y van Iersel, 2001). En general, las concentraciones de fertilizantes deben ser más bajas con la subirrigación que con el riego por goteo (Kent y Reed, 1996; van Iersel, 1999). Las sales de nutrientes no son lixiviadas del sustrato y pueden acumularse dentro de los recipientes, exponiendo potencialmente a las plantas al estrés osmótico (Morvant *et al.*, 1997). La acumulación de sales en la capa de sustrato superior se ve exacerbada por altas tasas de fertilización (van Iersel, 2000). El manejo eficaz de nutrientes para subirrigación requiere minimizar el riesgo de estrés osmótico, al tiempo que proporciona a las plantas una nutrición adecuada (Zheng *et al.*, 2004). Las concentraciones óptimas de solución de fertilizante varían entre las especies y

pueden depender tanto de las necesidades nutricionales como de la tolerancia a la sal de un cultivo en particular (Kang y van Iersel, 2002).

2.6.2. Elección del sustrato en subirrigación

El aporte de agua en la parte inferior de la maceta condiciona las propiedades físicas que deben reunir el sustrato utilizado. Las propiedades físicas del sustrato pueden afectar la eficiencia del aumento capilar. 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 por capilaridad (Elia et al., 2003; Oh et al., 2007). Es necesario, además que el sustrato tenga una capacidad de aireación suficiente para cubrir las necesidades de aireación de la parte radical de la planta después de la aplicación del riego (Reed, 1996). La elección adecuada del sustrato junto con las instalaciones apropiadas proporciona una elevada uniformidad del riego que se refleja en uniformidad del cultivo y en consecuencia en la calidad de planta. 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 del sustrato (Samperio, 2004, Reed, 1996).

2.6.3. Lámina y tiempo de riego en subirrigación

Según Reed (1996), para llevar a cabo el riego con sistema de subirrigación, como regla general se debe inundar alrededor del 20 a 25 % de la altura del contenedor, y el tiempo de riego debe ser de 10 a 15 minutos para evitar daños por anegamiento; sin embargo, tanto la lámina 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., 2015). Relacionado a lo anterior, García et al. (2015) mencionan que para el adecuado crecimiento y rendimiento de chile pimiento, se debe usar una lámina de riego de 15 cm y un tiempo de riego de 20 min al emplear un sustrato compuesto por una mezcla de turba ácida y perlita (80:20 v/v), mientras al producir pimiento emplear un sustrato compuesta por una mezcla de turba ácida: fibra de coco: perlita (40:40:20

v/v) es adecuado emplear una lámina de riego de 15 cm y un tiempo de inundación de 30 min (García et al., 2017).

2.7. Ventajas del sistema de subirrigación

El sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, así como un ahorro de nutrientes y agua, proporcionando sales de una manera uniforme, evita la humedad en la parte aérea, uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, mejor productividad, cultivos más uniformes; reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael et al., 2008; Montesano *et al.*, 2010). Estos beneficios generan ahorros en mano de obra, insumos materiales primas y pérdidas de producto (Purvis *et al.*, 2000; Santamaria et al., 2003). Además, el sistema de subirrigación facilita 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 (Reed, 1996; Kent y Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Santamaria *et al.*, 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

2.8. Desventajas del sistema de subirrigación

Una de las desventajas del sistema de subirrigación es que al usar soluciones nutritivas demasiado concentradas provoca la acumulación excesiva de sales en el medio de crecimiento, esto se debe a que este sistema no lixivia agua y sales fuera de los contenedores y, a menudo se acumulan cerca de la parte superior del medio de cultivo cuando se produce la evaporación (James, 2001). Debido a que la mayor parte del crecimiento de las raíces en las plantas con subirrigación ocurre en el fondo de la maceta, la acumulación de sal en la parte superior del medio de cultivo, normalmente no es perjudicial para las plantas. Sin embargo, las sales también pueden acumularse en las capas medias y de fondo del medio de cultivo si la concentración de fertilizante es alta. Idealmente, la concentración de nutrientes de las capas media e inferior del medio de cultivo debe ser lo suficientemente alta para proporcionar la planta los nutrientes necesarios, pero no tan alta que causa daños

sal en las plantas (James, 2001). Además, el sistema de subirrigación es más costoso que un sistema de goteo convencional y requiere del uso de medios de crecimiento de alta calidad física y uniformidad (Reed, 1996).

2.9. Problemas de contaminación por la actividad agrícola

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).

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).

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. A fin de reducir la contaminación de nuestros recursos naturales, es posible que sea necesario modificar las prácticas de riego y fertilización (Biernbaum, 1992). La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrimentos, 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.*, 2007), por lo que para disminuir problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con minerales (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).

2.10. 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 evolución 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.

2.11 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. 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).

2.12.1. 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 y Boro; además este producto está certificado por la OMRI como un fertilizante orgánico. FIJAFLOR® puede aplicarse a todo aquel cultivo que tenga una deficiencia o que sea afín al Calcio.

FIJAFLO[®] 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 coloides 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.

Márquez et al. (2013) al evaluar el efecto de varios tratamientos de fertilización para producción orgánica de tomate en invernadero, encontraron que una mezcla de composta con macro elementos orgánicos presentó un rendimiento 37% superior al testigo (composta y macro elementos inorgánicos) y la misma tendencia se observó en altura de planta y calidad de fruto. Sin embargo, **Preciado et al. (2011)**, reportan mayores contenidos relativos de clorofila y rendimiento de fruto, y menores valores en sólidos solubles en el tratamiento inorgánico respecto a los tratamientos orgánicos evaluados. Lo anterior, pudo ser debido al tipo de fuente de fertilización utilizada en dicha investigación (vermicomposta) con respecto a las fuentes orgánicas nitrogenadas utilizadas, (origen animal y marino), tomando como base la tasa de liberación de estas mismas.

2.12.2. 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 Potasio elementos necesarios para un buen crecimiento en la planta, ayuda en el cuajado de los frutos. PHYTAFISH[®] es un producto orgánico certificado por la OMRI. Este fertilizante está compuesto por 4% de nitrógeno total, 1% de P₂O₅ y 1% de K₂O.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento.

El presente trabajo se llevó a cabo en el periodo de Junio - 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 fuerza de caballo (Hp) (Fig. 1).



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

3.5. Tratamientos

Se emplearán cinco 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 cuatro 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 el requerimiento de fertilizantes inorgánicos de los tratamientos anteriormente mencionados, se utilizaron como fuente las siguientes sales y ácidos concentrados: Ca (NO₃⁻)₂.4H₂O, MgSO₄.7H₂O, KN₃⁻, K₂SO₄⁻, KCl, HNO₃⁻ y H₃PO₄⁻. Mientras que para abastecer las cantidades de fertilizantes orgánicos, se utilizaron dos fertilizantes orgánicos certificados por la OMRI: Phytafish® (4% nitrógeno total, 1% P₂O₅, 1% K₂O) 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 ₂ PO 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	1.37	9.96	0.04	4
2	13	1	1.95	0.05	8	8.26	2.74	8.92	0.08	4
3	12.5	1.5	1.93	0.07	8	6.89	4.11	8.89	0.11	4
4	12	2	1.91	0.09	8	5.52	5.48	8.85	0.15	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. Tutóreo

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

3.7.1. 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 seco 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.

3.7.2. Biomasa seca

Al finalizar el experimento se realizó un muestreo destructivo de las plantas, para lo cual se tomó las dos plantas por repetición.

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.

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

3.7.3. pH,CE,NO₃⁻,K,Ca y Na del sustrato

Al finalizar el ciclo del cultivo se determinó el pH, CE, NO₃⁻, K, Ca y Na 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 destilada, en la proporción 1:2 v/v, se agitó manualmente por 5 minutos y dejó reposar por 20 min, posteriormente se filtró 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 Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa total

De acuerdo a los datos de biomasa total se encontró diferencia significativa, donde se observó que el tratamiento 2 es el que sobresale con 250 g por planta, mientras que el resto de los tratamientos alcanzan un promedio de 227g por planta. Nuestros resultados difieren de Arguello *et al.* (2015) quienes trabajaron con biofertilizante ligado a un soporte orgánico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), en el que obtuvieron mayor peso al adicionar fertilizante químico 12.09 g, seguido de la combinación de compost + biofertilizante con 11.18 g. sin embargo, Anwar *et al.* (2005), en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*), 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).

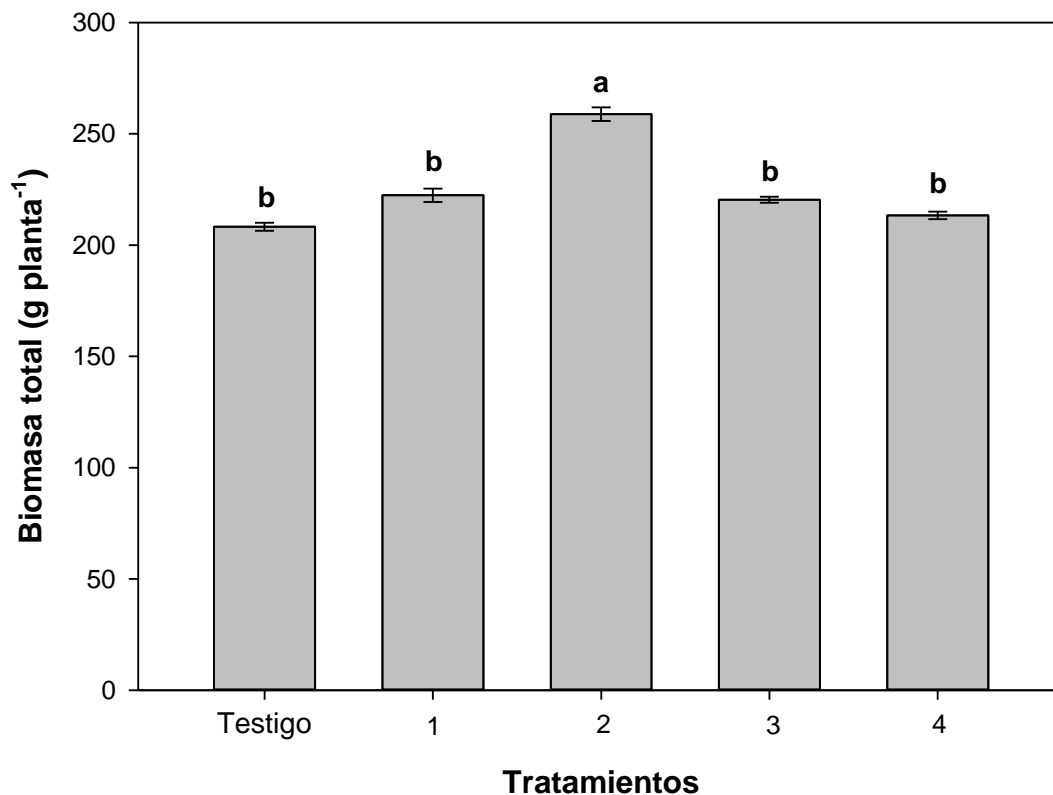


Figura 2. Biomasa total en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon subirrigado. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Duncan con ($p \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.001$.

Peso seco de la raíz

En general, el peso seco de raíz, concentración de K, Ca, Na, NO_3^- y el comportamiento del pH y CE 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.

	Raíz	K	Ca	Na	NO_3^-	pH	CE
	g planta ⁻¹	ppm					dSm ⁻¹
Tratamiento							
Testigo	4.14c	408.72b	232.61a	372.04b	1166.89a	6.45d	4.49a
1	4.27c	418.90b	151.97b	401.79a	774.00b	6.37d	3.88b
2	5.20b	321.17c	82.63d	326.53c	425.45c	7.27a	2.84d
3	5.34b	330.36c	86.16d	308.60c	426.40c	7.10b	2.99d
4	6.29a	441.62a	114.33c	361.08b	344.45d	6.97c	3.52c
Estrato							
Superior	7.27 a	468.47a	168.66a	551.69a	737.08a	6.72 b	4.87a
Medio	5.26b	358.18b	125.65b	302.39b	554.58c	6.92a	3.05b
Inferior	2.62c	325.81c	106.30c	247.94c	590.65b	6.85 a	2.71c
ANOVA							
Tratamiento	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$
Estrato	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$
Interacción	$P \leq 0.015$	$P \leq 0.065$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.003$	$P \leq 0.001$

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA= análisis de varianza.

De acuerdo con la figura 4 se observa que el mayor peso de raíz se obtuvo al emplear la SN 4, reduciéndose esta variable con forme se reducía la concentración de los fertilizantes orgánicos (Fig. 4). Este resultado puede estar relacionado con la baja CE alcanzada en el medio de crecimiento con una SN con mayor concentración de fertilizantes orgánicos. El peso radicular fue mayor en la parte superior del estrato en todos los tratamientos evaluados (Fig. 4). 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.

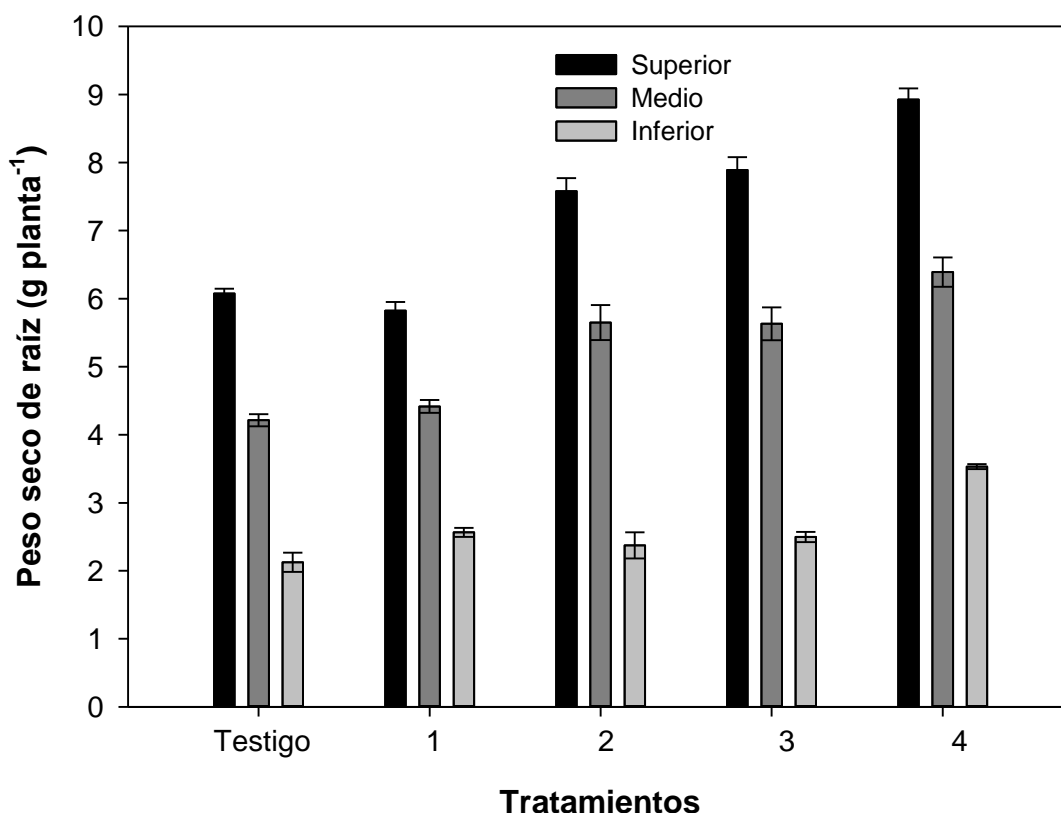


Figura 3. Peso seco de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución

parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) bajo sistema de subirrigación.

Propiedades de físicas

Con respecto a la concentración de K en el medio de crecimiento, el tratamiento 4 fue el que presentó mayor concentración, seguido del testigo y el tratamiento 1 (Fig. 5). La concentración de K fue mayor en el estrato superior del medio de crecimiento y, se redujo con forme se reducía la altura del estrato evaluado (Fig. 5). En otros estudios con subirrigación se ha reportado la acumulación de K⁺ (Haley y Reed, 2004; Richards y Reed, 2004; Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010) en el estrato superior del contenedor. En diversos estudios (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006; Kang y Van Iersel, 2001; Roupael *et al.*, 2008; Reed, 1996;) se ha reportado que la acumulación y estratificación de sales en el medio de crecimiento subirrigado se debe principalmente al flujo unidireccional de la SN favorecida por la fuerza capilar, absorción selectiva, a la cero lixiviado, a la demanda evapotranspirativa del medio ambiente y a la concentración de la SN.

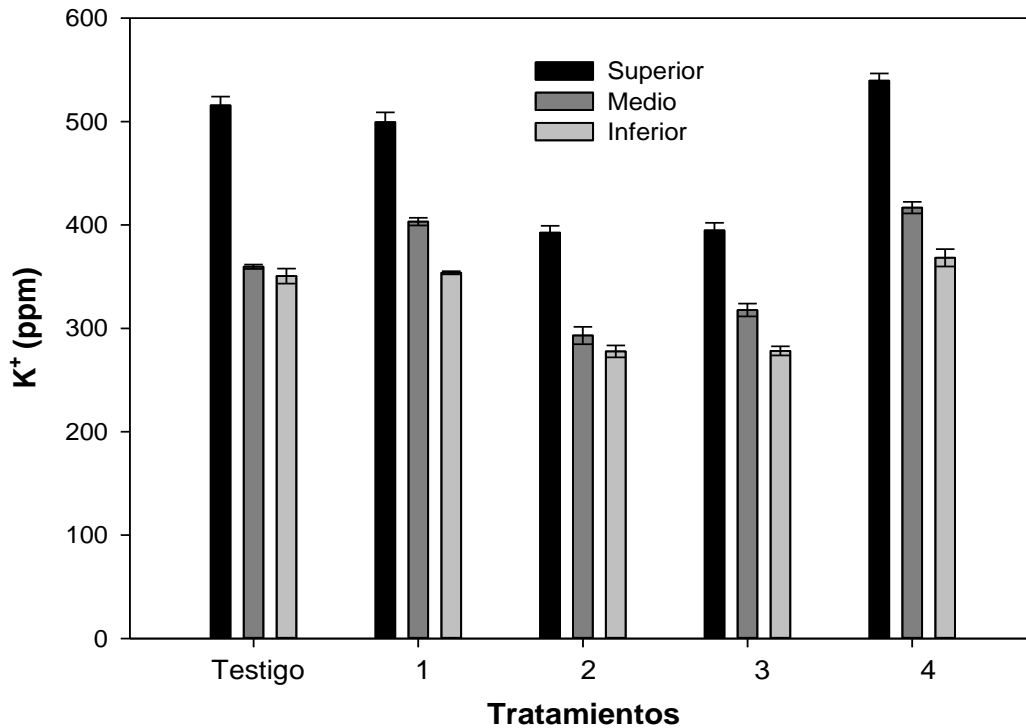


Figura 4. Concentración de potasio (K) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

Por otro lado, la concentración de Ca en el medio del crecimiento utilizado durante el experimento fue mayor al emplear el tratamiento testigo, reduciéndose conforme se incrementó la concentración de fertilizantes orgánicos en las soluciones evaluadas (Fig. 6). Zheng *et al.*, 2004 y Martinetti *et al.*, 2008 han reportado una acumulación de Ca en la capa superior del contenedor sometido a riego por subirrigación.

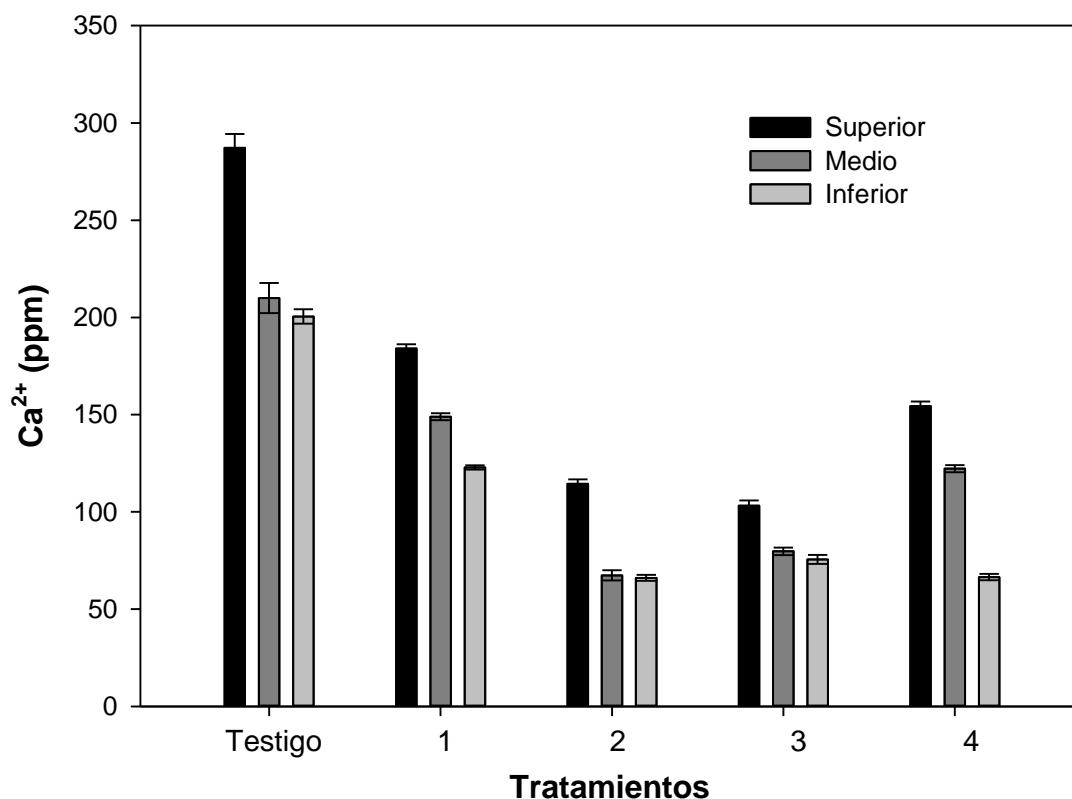


Figura 5. Concentración de calcio (Ca) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

La concentración de Na en el medio de crecimiento fue mayor en los tratamientos, testigo 1 y 4 (Fig. 7), observándose una mayor concentración en el estrato superior del contenedor. Bouchaaba *et al.* (2015); Incrocci *et al.* (2006) asociaron el incremento de la CE del medio de crecimiento, al incremento en las concentraciones de Na en la capa superior del sustrato. Por otro lado, la mayor acumulación de Na en el sustrato subirrigado, remarca que por ser este un sistema cerrado de cero lixiviación se evita la pérdida de iones y su retorno a la SN almacenada, evitando así la alteración de las propiedades de la misma (Klock y Broschat, 2000; Incrocci *et al.*, 2006).

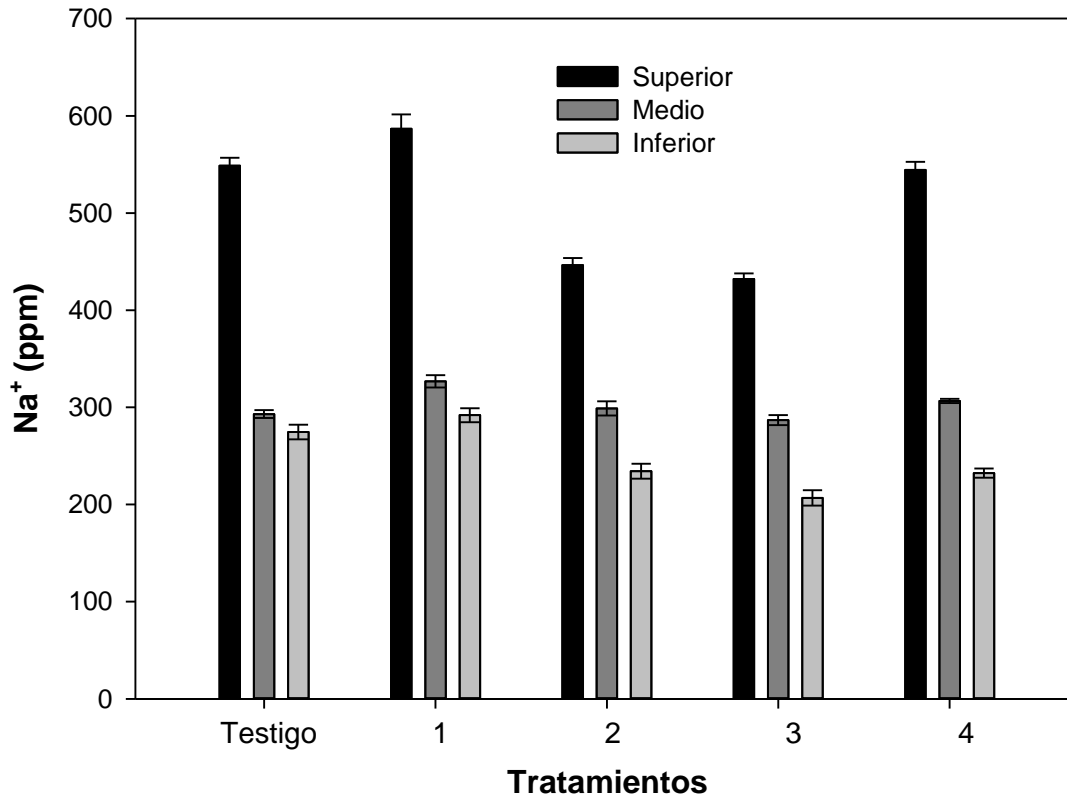


Figura 6. Concentración de sodio (Na) en los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

La concentración de NO_3^- mayor en el tratamiento testigo, reduciéndose con forme se incrementó la cantidad de fertilizantes orgánicos en la SN empleada (Fig. 8). Además, la mayor concentración de NO_3^- se obtuvo en el estrato superior del contenedor. Santamaría *et al.* (2003) y Scoggins (2005) mencionan que los sistemas de riego por goteo y subirrigación, determinan una diferente estratificación de sales en el medio de cultivo, las cuales se concentran en la parte inferior con el primer método y en la parte superior con el segundo, y dependiendo de la especie, estos niveles pueden o no pueden plantear problemas.

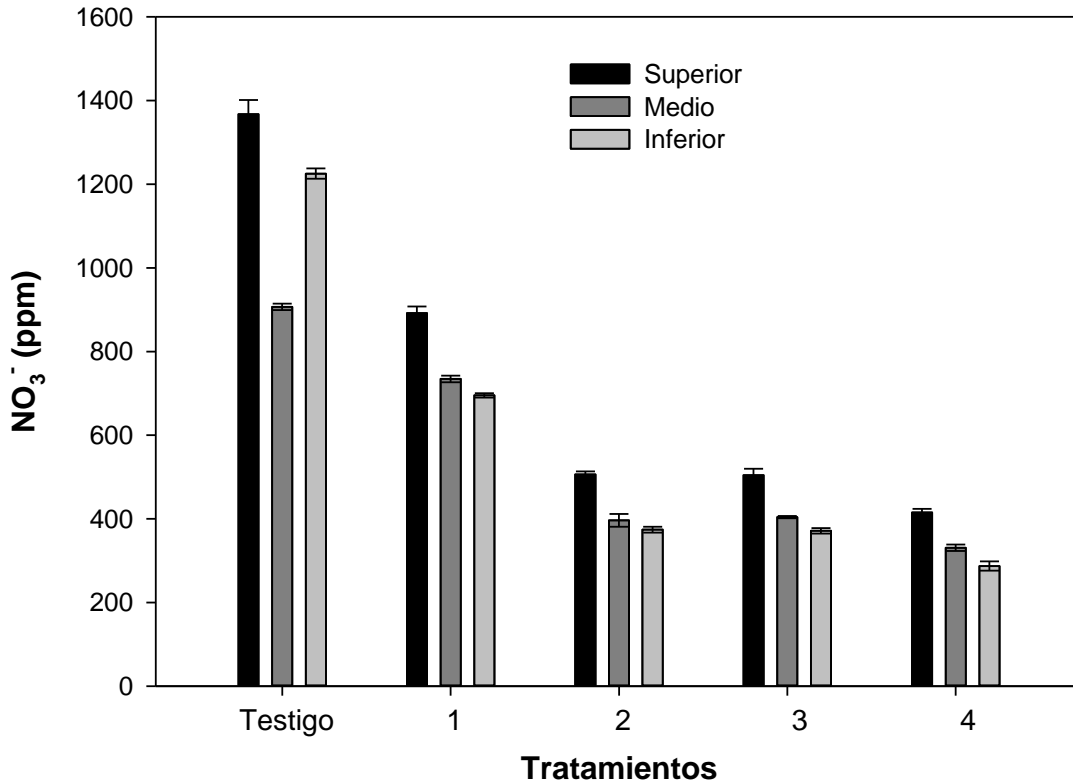


Figura 7. Concentración de nitrato (NO_3^-) en los diferentes estratos del medio de crecimiento, en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos, mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

En general, se observó que el pH del medio de crecimiento fue mayor en los tratamientos en los que se empleó una mayor concentración de fertilizantes orgánicos en la NS (Fig. 9). Así mismo, se observó que en los tratamientos en los que se adicionó fertilizantes orgánicos, el pH fue mayor en los estratos superiores, mientras que en el testigo, el pH fue mayor en el estrato superior del contenedor (Fig. 9). Relacionado a lo anterior, Kent y Reed (1996) comentan que la subirrigación, al ser un sistema de cero lixiviación, puede aumentar la estratificación de los valores de pH en el medio de crecimiento debido a la ausencia de lixiviado de los iones de H^+ . Martinetti *et al.* (2008) indicaron que al utilizar una SN inorgánica en subirrigación el pH tiende a ser menor en el estrato bajo del contenedor, lo que concuerda con nuestros resultados.

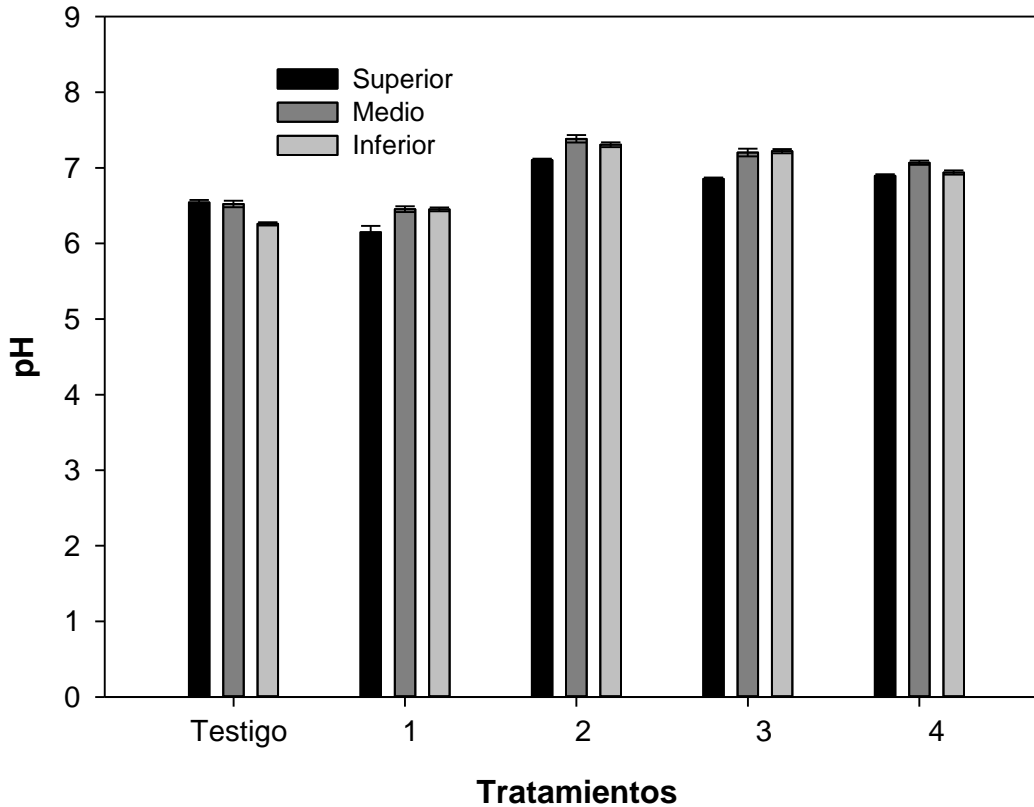


Figura 8. PH de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

La CE del medio de crecimiento fue mayor en el testigo, promediando un valor de 6.49 dS m^{-1} (Fig. 10), mientras que en los tratamientos en los que se adicionó una cantidad de fertilizantes orgánicos esta variable se mantuvo en un promedio de 3.3 dS m^{-1} . 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 disponibles 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 (Fig. 10). 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 se desplazan 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 de superior del sustrato, es una de las desventajas del sistema de subirrigación.

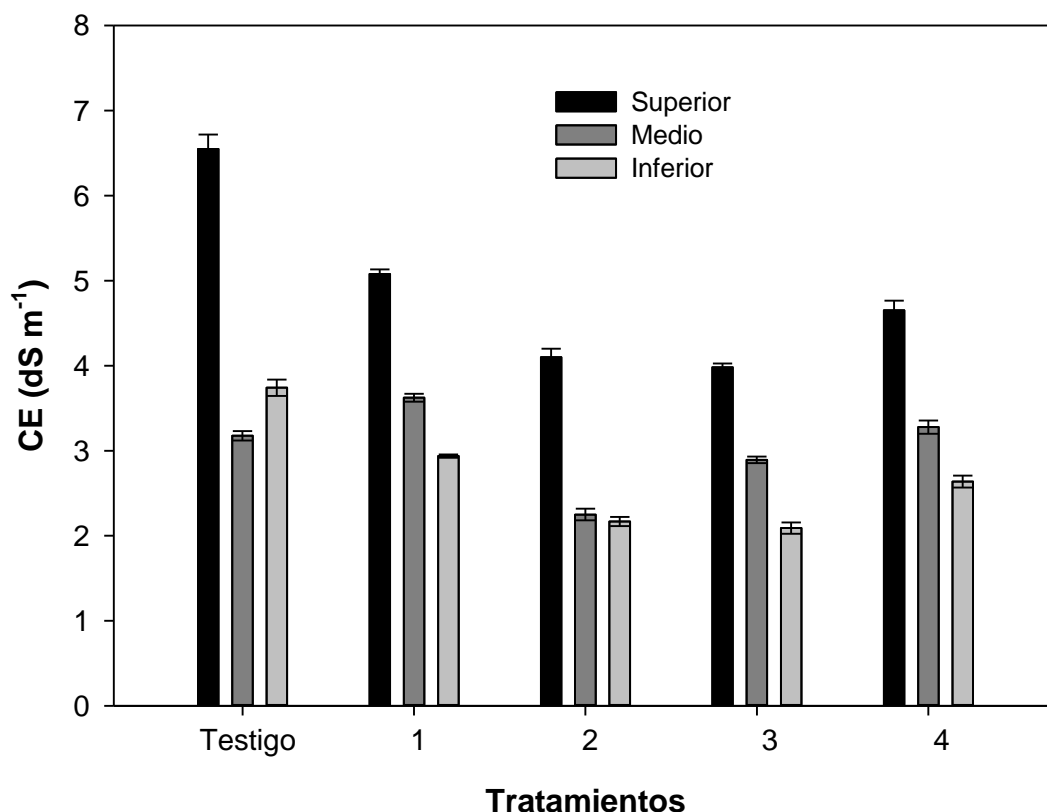


Figura 9. CE de los diferentes estratos del medio de crecimiento en la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon bajo un sistema de subirrigación.

Rendimiento

De acuerdo con el análisis de varianza en la variable de rendimiento se encontró diferencia significativa, siendo los mejores tratamientos el testigo y la SN 2 y 4 (6184.9, 6248.7 y 6270.6 gramos por planta, respectivamente) (Fig. 2). Lo anterior pone 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 que está teniendo la agricultura sustentable. 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.

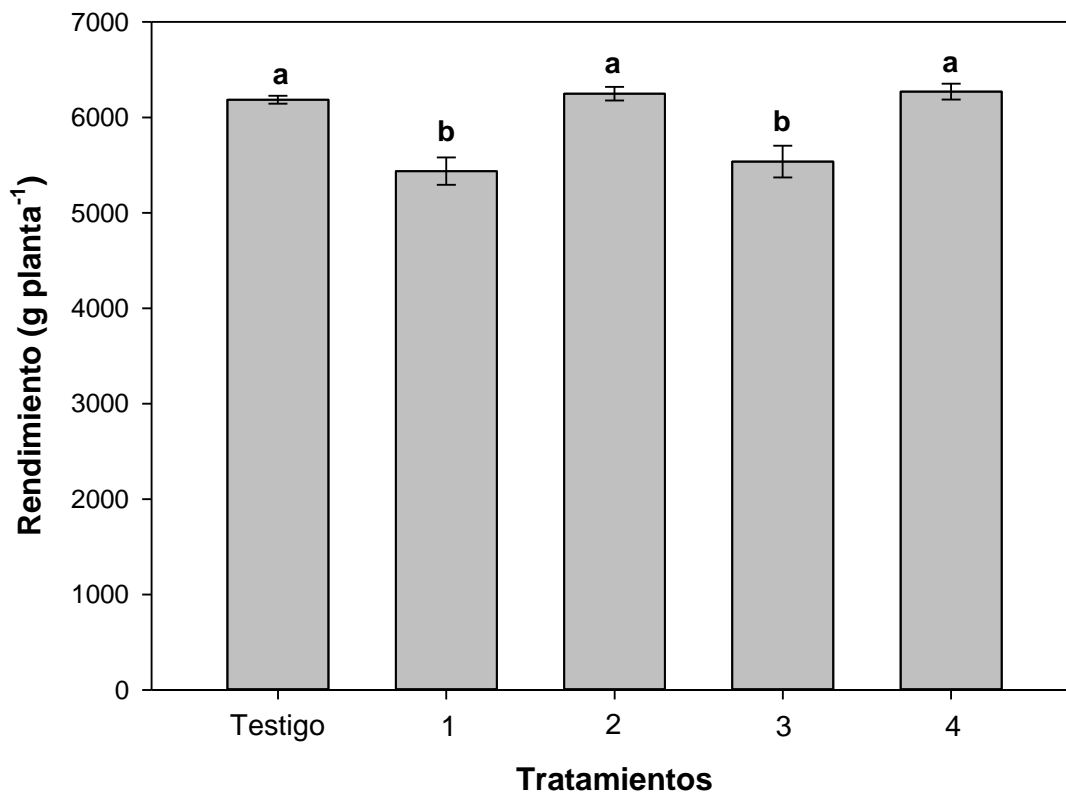


Figura 10. Efecto de la sustitución parcial de fertilizantes inorgánicos mediante productos orgánicos en la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Clermon cultivado bajo un sistema de subirrigación. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Duncan con ($p \leq 0.05$). ANOVA $P \leq 0.019$

V. CONCLUSIÓN

La combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos mantiene la producción de los cultivos bajo un sistema de subirrigación, al compararlo con una fertilización 100% inorgánica. Esto hace que la producción sea más sustentable ya que con la combinación de los fertilizantes podemos obtener los mismos resultados disminuyendo el uso de fertilizantes inorgánicos y haciendo un uso eficiente del agua al implementar el sistema de subirrigación.

La combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos da un resultado favorable, ya que se puede combinar los fertilizantes obteniendo los mismos resultados. Dando un uso adecuado a material vegetal y animal. Haciendo una combinación de macro y micro elementos que proporcionan los nutrientes necesarios para que la planta se desarrolle.

Al utilizar una mezcla de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en un sistema de subirrigación nos permite mantener la CE favorable para que el cultivo tenga disponibles los nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) para su pleno desarrollo, aprovechándolos al máximo.

Las variables fueron evaluadas favorablemente en el desarrollo del cultivo de tomate de la variedad clermon, por lo cual el efecto se ve reflejado en rendimiento de tomate en la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1994. "Sustratos para el cultivo sin suelo", en: *El cultivo de tomate*, Madrid, Mundi-Prensa, pp. 131-166.
- 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.
- Amtmann A, M R Blatt. 2009. Regulation of macronutrient transport. *New Phytol* 181: 35-52
- Ansorena, J, 1994 *Sustratos: Propiedades y Caracterización*. Ediciones Mundial-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- 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.
- 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 hidróponia*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Bosques V. J. 2003. *Cursos básicos de hidroponía*. Editorial Moca, P.R México, pág. 60-66.
- Boukalfa, A. (2000). El NGS (New Growing System): nuevo sistema de cultivo hidropónico. In *Manual de cultivo sin suelo* (pp. 443-455). Servicio de Publicaciones.
- 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.

- Cox, D. A. 2001. Growth, nutrient content and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutr.* 24, 523–533
- Cooper, A. J., and Crop, 1978. Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato. *HortScience*, 53 (7), 189-193.
- Elia, A., A. Parente, F. Serio, and. Santamaria. 2003. Some aspects of trough benches system and its performances in cherry tomato production. *Acta Hort.* 614:161–166.
- Ferrarezi, R. S., & van Lersel, M. W. 2011. Monitoring and controlling subirrigation with soil moisture sensors: a case study with hibiscus. In *Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf* (Vol. 56, pp. 187-191).
- Graves, C. J. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5:1- 44.
- Haley, T. B. & Reed, D. W. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating sub-irrigation for selected greenhouse crops. *HortScience*, 39(6), 1441-1444.
- James, E. C. & van Lersel, M. W. 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of sub-irrigated petunias and begonias. *HortScience*, 36(1), 40-44.
- Jenner, G. 1980. Hydroponics -reality or fantasy? *Scientia Hort.* 31: 19.14–17.
- Kang, J.G. and M.W. van Lersel. 2002. Nutrient solution concentration affects growth of subirrigation bedding plants. *J. Plant Nutr.* 25:387–403.
- Kang, J.G. and M.W. van Lersel. 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of sub irrigation petunias. *J. Plant Nutr.* 24: 753–765.
- Kent, M.W. and D.W. Reed. 1996. Nitrogen nutrition of new guinea impatiens 'Barbados' and spathiphyllum 'Petite' in a subirrigation system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:816–819.
- Klock-Moore, K. A., & Broschat, T. K. (2000). Use of subirrigation to reduce fertilizer runoff. In *Proc. Fla. State Hort. Soc* (Vol. 113, pp. 149-151).
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald S. E. And J. P. Barnett. 1990. Containers and growing Media. *Container Tree Nursery Manual*. Vol. 2. USDA Forest Service, Washington D.C.

- Magán, J. J. Romera, M. P.; Cánovas, F.; Fernandez, E.J. 1999. Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo con reuso del drenaje en tomate larga vida. *Actas del XVII Congreso Nacional de Riegos*: 186-193.
- Márquez, H.C., Cano, P.R., Figueroa, V.U., Ávila, D. J.A., Rodríguez, D.N., y García H.J.L. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero *Phyton*. Vol. 82: 55-61.
- Molitor, H. 1990. The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. *Acta Hort.* 272:165-173.
- Morvant, J.K., J.M. Dole, and E. Allen. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnology*.7: 156–160.
- Oliviera. Prendes. J.A E. Afif. Khouri., M. Mayor. Lopez. 2006. Analisis del suelo y planta y Recomendaciones de Abonado. Universidad de Oviedo. España. Pp 12-38
- Oh, M.M., Y.Y. Cho, K.S. Kim, and J.E. Son. 2007. Comparisons of water content of growing media and growth of potted kalanchoe among nutrient-flow wick culture and other irrigation systems. *HortTechnology*, 17 (1), 62-66.
- 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: recirculating subirrigation and zero-leach system. *In: water, media and nutrition for greenhouse crops*. Reed, D. W. (Ed). 1ª (Ed.). Ball Publishing. Batavia, IL, USA. 221-245 pp.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. 5ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 113-117.
- Resh, H. M. 1991. Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, Ca, USA.

- Rouphael, Y. and G. Colla. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hort.* 105:177–195.
- 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, C. F. 2002. Hidroponía. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. 3ª ed. Chapingo, México. 194p
- Sheikh, B. A. 2006 . Hidropónia: 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.
- Van Iersel, M.W. 1999. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies. *HortScience* 34:660–663.
- Van Iersel, M.W. 2000. Postproduction leaching affects the growing medium and respiration of subirrigated poinsettias. *HortScience* 35:250–253.
- Walker, R.R y Douglas, T.J (2009) Effect of salinity level on uptake and distribution of sodium and potassium ions in citrus plants. 34:145-152.
- Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richar and M. Dixon. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience* 39:1283–1286.
- 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