

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comparación de la Frecuencia de Riego en Tomate Cultivado en un Sistema de Subirrigación o de Riego por Goteo Determinado Mediante el Tensiómetro o Percepción Visual

Por:

LUIS ALFONSO ZAVALA OLVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comparación de la Frecuencia de Riego en Tomate Cultivado en un Sistema de Subirrigación o de Riego por Goteo Determinado Mediante el Tensiómetro o Percepción Visual

Por:

LUIS ALFONSO ZAVALA OLVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



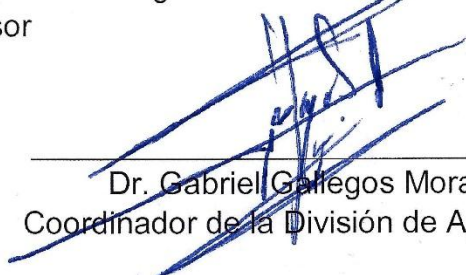
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Juana Cruz García Santiago
Coasesor



Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Satillo, Coahuila, México

Diciembre, 2018



AGRADECIMIENTOS

A mi Universidad tan querida, por haberme albergado estos 4 años dándome un lugar donde vivir, y poder concluir este sueño de tener una carrera seglar.

A la **Doctora Juana Cruz García Santiago**, por haberme, aconsejado, apoyado y brindarme de sus conocimientos, tanto en el proyecto establecido, como en la redacción de esta tesis. Y por todo el tiempo que me brindó. ¡GRACIAS!

Al **Doctor Luis Alonso Valdez Aguilar**, Por haberme brindado la confianza de trabajar en uno de sus proyectos para la realización de esta tesis.

Al **Maestro en Ciencias Ariel Méndez Sifuentes** por el apoyo y amistad.

A mi amiga **Mayra Verónica Orozco Núñez**, quien me recomendó para poder trabajar en este proyecto, y por ser mi amiga durante estos 4 años de Universidad, por todos sus consejos y su amistad brindada, por todos los buenos momentos.

A mis amigos de la Universidad quienes encontré durante este periodo, a **Jaime, Élber, Placido, Marvin, Jesús Tenorio, Oscar, Jorge Luis, Jairo, Marce, Humberto**. Quienes nos conocemos desde el primer semestre, quienes compartimos noches largas de estudios, pero también inolvidables momentos.

A la familia que tuve aquí, a mi prima **Lizbeth Zavala Pliego y Néstor Zavala pliego** quienes estando lejos de casa nos apoyamos mutuamente.

DEDICATORIA

A mi familia, principalmente a mis padres, **Alfonso Zavala Amacende** y **Guadalupe Olvera Miranda**, quienes fueron los patrocinadores de este proyecto y quienes me han brindado incondicionalmente su apoyo no solo durante la carrera si no durante toda mi vida y por el haber creído en mí. Ellos quienes me enseñaron a ser la persona que soy, por sus consejos y guiarme en este camino de la vida, quienes nunca me dejaron solo a pesar de todas las adversidades. ¡GRACIAS!

A mi esposa e hijo, **Diana Laura Silvestre Andrade** y **Alonso Zavala Silvestre** quienes se han convertido en la motivación más grande para seguir adelante y poder concluir este proyecto, quienes de ahora en adelante formaran parte de todas mis metas en la vida.

A mis hermanas **Elizabeth Zavala Olvera** y **Yesica Zavala Olvera** quienes han sido parte de todo esto, ellas que a pesar de las dificultades saben que cuentan conmigo y sé que yo cuento con ellas.

A mis abuelos **María Santos Miranda** por sus consejos y su querer, y a mi abuelo **Prudencio Olvera** gracias, que en paz descanse.

A mi abuela **Antonia Amacende** por su gran cariño por quererme y siempre darme sus consejos.

A mis suegros **Pablo Silvestre Anacleto** y **Areli Andrade**, por haber cuidado de mi hijo mientras yo terminaba mi estancia en la Universidad.

RESUMEN

La subirrigación es un sistema factible para lograr la optimización de fertilizantes y agua en el desarrollo de un cultivo bajo invernadero y lograr una producción de calidad, reduciendo la contaminación del suelo por exceso de sales, beneficiando así al medio ambiente; sin embargo, para ser eficientes en el uso de recursos naturales es necesario la adecuada selección del medio de crecimiento y del control eficiente del riego en este sistema. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate bajo el sistema de subirrigación y riego por goteo bajo diferente forma de control de la frecuencia de riego; así como evaluar el comportamiento del desarrollo radicular del cultivo, pH y CE del medio de crecimiento sometido a dichas condiciones. Para que esta investigación se desarrollara se ocupó plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Climstar de hábito indeterminado. Los tratamientos empleados fueron dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y dos formas de control de la frecuencia del riego (con y sin tensiómetro). El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento, cada repetición tuvo dos contenedores con una planta cada una. Los resultados indican que el rendimiento total del cultivo de tomate fue mayor en riego por goteo con el uso de tensiómetro, seguido de riego por goteo sin tensiómetro. En general, el peso seco de hoja, tallo, raíz y peso seco total fue mayor en plantas tratadas con riego por goteo, con o sin tensiómetro. El pH del medio de crecimiento fue menor en sustrato sometido a riego por subirrigación con tensiómetro, este mismo tratamiento presentó la mayor CE del sustrato.

Palabras clave: Subirrigación, *Solanum lycopersicum* L., tensiómetros, agua.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos específicos:.....	3
Hipótesis	3
II.REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen del tomate	4
2.2. Importancia internacional y nacional	4
2.3. Producción bajo invernadero	6
2.4. Sistemas de producción hidropónicos	7
2.4.1. Cultivo en contenedor.....	7
2.4.2. Sistema flotante	8
2.4.3. New Growing System (NGS).....	9
2.4.4. Técnica de Película de Nutrientes (NFT)	10
2.4.5. Sistema de columnas	10
2.4.6. Sistema de subirrigación.....	11
2.4.6.1. Ventajas y desventajas del sistema de subirrigación.....	11
2.4.6.2. Concentración de la solución nutritiva en la subirrigación	12
2.4.6.3. Elección del sustrato en subirrigación	13
2.4.6.4. Lámina y tiempo de riego en subirrigación	14
2.4.6.5. Uso de sensores de humedad en el sistema de subirrigación	14
III.MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Ubicación del experimento	16
3.2. Material vegetal	16
3.3. Trasplante	16
3.4. Sistema de riego	17
3.5. Tratamientos.....	18
3.6. Manejo del cultivo:	19
3.6.1. Tutorio	19
3.6.2. Poda	19

3.6.3. Aclareo de fruto	20
3.6.4. Cosecha.....	20
3.7. Variables evaluadas:.....	20
3.7.1. Rendimiento	20
3.7.2. Peso seco de hoja	20
3.7.3. Peso seco de tallo	20
3.7.4. Peso fresco y seco de raíz.....	21
3.7.5. Peso seco total.....	21
3.7.6. Relación parte aérea y raíz	21
3.7.7. Determinación de pH y CE del sustrato	22
3.8. Diseño experimental y análisis de datos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIÓN.....	36
VI. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

- CUADRO 1.** Tratamientos empleados para la producción de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo el sistema de riego por subirrigación y riego por goteo con diferente control de la frecuencia de riego.....19
- CUADRO 2.** Rendimiento por racimo y rendimiento total del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro)23
- CUADRO 3.** Producción de biomasa seca de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Climstar cultivado bajo dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y dos formas de control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro).....26
- CUADRO 4.** Comportamiento del peso seco de la raíz, pH y CE del medio del crecimiento según el sistema de riego (Subirrigación y riego por goteo), control de la frecuencia de riego (con/sin tensiómetro) y estrato evaluado (alto, medio y bajo) al final del ciclo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del sistema de subirrigación.....	17
Figura 2. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el rendimiento total de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	25
Figura 3. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de hojas de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	27
Figura 4. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de tallo de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	28
Figura 5. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de raíz de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	29
Figura 6. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco total de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	30
Figura 7. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en la relación aérea/raíz de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	31
Figura 8. . Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de raíz de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).....	33

Figura 9. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el pH de cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).....34

Figura 10. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en la CE de cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).....35

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), por la demanda que tiene en el mercado local, nacional e internacional, es una de las hortalizas más rentables porque se usa en todas las cocinas del mundo. Sin embargo, la producción de tomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo (Ruiz y Quino, 1996).

Para México la producción de tomate representa la mayor aportación agronómica vegetal dado que, en la mayoría de las culturas alrededor del mundo se tienen una gran aceptación sobre este producto, de acuerdo con el servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP), México se ha consolidado como el primer exportador de tomate, ya que la producción de esta hortaliza en el país asciende a 3,098,329.41 t, con un valor de producción de \$ 20, 639,987.73 en una superficie de 50, 595.56 ha (SIAP, 2015).

En México existen 20,000 hectáreas bajo agricultura protegida (SAGARPA, 2014) de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernaderos y las otras 8,000 corresponden a malla sombra y macro túneles entre otras estructuras. Los principales cultivos que se producen en la agricultura protegida son tomate (70 %) pimiento (16%) y pepino (10%). Sin embargo, la industria de los invernaderos aplica más fertilizante por unidad de superficie que cualquier otro sistema agrícola (Molitor, 1990).

En la actualidad, reducir los insumos como fertilizantes y agua para la producción de cultivos en invernaderos se ha vuelto prioritario para los productores, debido que se enfrentan a costos elevados, a regulaciones gubernamentales y escases de dichos recursos (Uva *et al.*, 2001; Van Os 1999). Por lo cual es necesario optar por otras técnicas que proporcionen una nutrición óptima para las plantas con un mínimo uso de fertilizantes y una menor

contaminación ambiental, pero que a la vez permitan mejorar los rendimientos del cultivo (Rouphel *et al.*, 2005).

Para poder optimizar los insumos de agua, fertilizantes y controlar la contaminación ambiental, será necesario optar por un sistema que recolecte y reutilice el agua de riego (Sistemas cerrados sin suelo). Por lo tanto estos sistemas han sido declarados “Respetuosos con el medio ambiente” por mejorar notoriamente la eficiencia del agua y fertilizantes aplicados al riego en comparación con los sistemas que permiten el lixiviado (Massa *et al.*, 2008; Rouphel *et al.*, 2004; Van 1999).

Los sistemas tradicionales de subirrigación como el flujo de refluo y el riego por inundación (Barrett, 1991; Neal y Henly, 1992) son sistemas cerrados que permiten la recirculación del agua de riego. Para este sistema los contenedores se colocan en bandejas u otras estructuras confinadas que pueden ser inundadas periódicamente para permitir que el agua del riego se mueva dentro del sustrato mediante el movimiento capilar.

Además, la subirrigación ha demostrado ser eficiente en el uso de fertilizantes ya que este sistema requiere una concentración menor de fertilizantes que el empleado en sistemas superficiales obteniendo a la vez rendimientos iguales o similares que los obtenidos con cualquier otro sistema de riego (Montesano *et al.*, 2010).

Objetivo General

Determinar el comportamiento en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate bajo el sistema de subirrigación y riego por goteo bajo diferente forma de control de la frecuencia de riego; así como evaluar el comportamiento del desarrollo radicular del cultivo, pH y CE del medio de crecimiento sometido a dichas condiciones.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el comportamiento del rendimiento del cultivo de tomate sometido a los sistemas de subirrigación y riego por goteo bajo diferentes formas de control de la frecuencia de riego.
2. Estudiar el comportamiento de la producción de biomasa del cultivo de tomate sometido a los sistemas de subirrigación y riego por goteo bajo diferentes formas de control de la frecuencia de riego.
3. Determinar el comportamiento del pH y CE en los estratos del medio de crecimiento al terminar del ciclo del cultivo de tomate sometido a los sistemas de subirrigación y riego por goteo bajo diferentes formas de control de la frecuencia de riego.

Hipótesis

El sistema de riego y el control de la frecuencia de riego afectaran notoriamente el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate. Asimismo, estos factores determinarán diferente comportamiento sobre el desarrollo radicular, pH y CE del medio de crecimiento, lo cual se verá reflejado en el desarrollo del cultivo

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del tomate

El tomate es una planta originaria de Perú, Ecuador y México, países en donde se encuentran varias formas silvestres. Al principio, su uso fue como planta de ornato, no fue hasta el año de 1890 que se extendió el cultivo usándolo como alimento humano (Anderlini, 1979).

La evidencia histórica favorece a México como el centro más importante de domesticación del tomate, dejando a tras a los otros países. Este hecho es ampliamente aceptado en el mundo científico, ya que la utilización de formas domesticas en el país tiene bastante antigüedad y sus frutos eran bien conocidos y empleados como alimentos por las culturas indígenas que habitaban en la parte central y sur de México (Centeneo, 1986).

El término “tomate” fue utilizado desde 1695 por los viajeros botánicos, quienes lo tomaron de las palabras “xitotomate” o “xitomate con las cuales los aztecas designaban a esta hortaliza (Anderlini, 1979).

2.2. Importancia internacional y nacional

Entre 2005 y 2015, las exportaciones mundiales de tomate crecieron a una tasa promedio anual de 3.8 por ciento. En este rubro destacan México y Holanda, que participaron en 2015 con 20.9 y 15.1% del volumen mundial exportado, respectivamente (SAGARPA 2014). Las exportaciones de estos países crecieron a tasa promedio anuales de 5.6 y 3.5% durante la citada década. España, el tercer exportador mundial, participa con un 12.7% por ciento de las ventas mundiales; el volumen exportado de este país creció a una tasa promedio anual de 0.1%. Otros importantes exportadores, como Turquía (7.3 %) y Marruecos (5.6 %) registraron un crecimiento sobresaliente de sus ventas al exterior durante el período 2005-2015, con aumentos a tasas promedio anuales de 8.0 y 6.8 %, respectivamente. Por otra parte, 50.1 % del volumen mundial importado en 2015 se concentró en cuatro países:

Estados Unidos (22.3 %), Alemania (10.7 %), Rusia (9.4 %) y Francia (7.7 %). El volumen de compras estadounidense creció a una tasa promedio anual de 5.2 % entre 2005 y 2015, mientras que las importaciones de Alemania y Rusia lo hicieron a tasas promedio anuales de 1.2 y 6.6 por ciento, respectivamente (FIRA, 2017).

El 56.3 % de la producción nacional de tomate en el 2016 se concentró en cinco entidades: Sinaloa (27.6%), San Luis Potosí (9.2%), Michoacán (7%), Baja California (6.7%), y Zacatecas (5.7 por ciento). También destacan Jalisco (4.7%), Baja California Sur (4%) y Sonora (3.8 por ciento) (Carreón, 2017).

Entre las principales entidades productoras, el mayor dinamismo en la producción se observó en Puebla y Michoacán (Carreón, 2017). En esas entidades, el volumen cosechado de tomate entre el 2006 y el 2016 creció a tasas promedio anuales de 21.1 y 19.1% respectivamente, mientras que la producción nacional lo hizo a una tasa promedio anual de 4.8% (Carreón, 2017).

En Querétaro, Estado de México, Chihuahua y Zacatecas, generalmente se obtienen los rendimientos más altos en la producción de tomate. A lo anterior contribuye, principalmente, el avance en el cultivo en invernaderos. De enero a abril se obtiene 75% de la cosecha anual de Sinaloa, que produce en otoño-invierno. En Baja California, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán y Zacatecas, el cultivo se realiza principalmente en el ciclo primavera-verano. Así, entre agosto y noviembre se obtiene 84 y 78% de la oferta anual estatal en Zacatecas y San Luis Potosí, respectivamente, por lo que durante ese periodo la importancia de dichas entidades en la producción nacional se incrementa (Carreón, 2017). En tanto, entre octubre y enero destacan entre los principales abastecedores Baja California y Jalisco, cuando se obtiene 77 y 60% de la cosecha anual de esas entidades, respectivamente. En el 2016, los 10 principales municipios productores de tomate rojo concentraron 37.2% del total nacional. Tres de esos municipios se encuentran en Sinaloa. El primero es Culiacán, con una producción de 368 miles de toneladas (11.7% de la cosecha nacional), Navolato, con una producción de 224.4 miles de toneladas (6.7% del total nacional) se ubica en el tercer lugar y Elota con una producción de 102.1 miles de toneladas (3% del total nacional) se ubica en el cuarto lugar. Ensenada, BC, con

225.6 mil toneladas (6.7% del total nacional) ocupa la segunda posición, Mulegé, BCS, con 94.8 miles de toneladas (2.7% del total) se ubica en la quinta posición (Carreón, 2017).

2.3. Producción bajo invernadero

La creciente población mundial, ha provocado una creciente demanda en la producción de hortalizas de calidad, por ende, los productores se han visto en la necesidad de implementar nuevas tecnologías como son los invernaderos. Los invernaderos son estructuras que están diseñadas para proporcionar a la planta un ambiente controlado, ya que permite modificar y controlar de forma eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el proceso de crecimiento y desarrollo de las diferentes hortalizas, ya que se generan microclimas artificiales que permiten aumentar los rendimientos (Al-Adwan y Al-D, 2012).

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

La industria mexicana de la horticultura protegida se ha venido desarrollando en condiciones muy heterogéneas con costos de adquisición de hasta 100 dólares americanos por metro cuadrado, así como instalaciones muy económicas como las denominadas Bio-espacios o casas sombras con costos de 4-6 dólares americanos por metro cuadrado (Bustamante, 2003).

En México, existe una gran diversidad de regiones dispersas en el territorio nacional con diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas contrastantes en las que se podría producir bajo condiciones protegidas. Por otro lado, en la región

central del país está creciendo la implementación de invernadero multitunel automatizado, principalmente bajo condiciones hidropónicas (Ojo de agua, 2007).

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

2.4. Sistemas de producción hidropónicos

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

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

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. (New Growing System, 2014)

2.4.1. 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).

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Dado que el volumen de una maceta 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). Si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla una vez que el cultivo ya este establecido. Aunque las propiedades químicas son las que pueden ser modificadas después de establecer el cultivo. Si un sustrato carece de las características necesarias como pH y CE estos pueden mejorarse a través de mejoradores de suelo. Un exceso de sales puede ser reducido con un riego pesado con aguas de baja salinidad. (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).

Los sustratos usados en contenedores pueden ser natural o sintética, mineral u orgánico, 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, 1994).

2.4.2. Sistema flotante

La hidroponía en flotación consiste en sumergir el sistema radical en la solución nutritiva (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 sistemas flotantes las raíces se mantienen colgando en la SN 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).

2.4.3. 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. Las ventajas propias de estos sistemas de cultivo en comparación a la producción convencional, en suelo, se añaden otras ventajas de su diseño patentado. Al no utilizar el suelo como sustrato de cultivo se reduce la incidencia de enfermedades causadas por nematodos y la proliferación de malas hierbas. Además de la reducción del impacto ambiental esto se traduce en una significativa reducción de los costes de explotación. La SN 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. Asimismo, hay ahorro de fertilizante ya que lo que no hay sido absorbido 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).

2.4.4. Técnica de Película de Nutrientes (NFT)

Este sistema tiene como principal objetivo recircular el agua a mínima profundidad sobre canales con una pendiente determinada y son 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).

2.4.5. 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 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 SN se supe por goteo con mangueras de polietileno negro colocadas sobre las columnas y con microtubos colocados en diferentes puntos. Todo el sustrato se humedece por gravedad. Se usó este sistema 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).

2.4.6. Sistema de subirrigación

El 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). 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 (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 (Molitor, 1990). Sin embargo, el resto de los países no han adoptado este sistema tan extensamente. Un factor que contribuye es que hay poca información disponible para la aplicación del sistema de subirrigación en hortalizas, ya que son pocos los estudios publicados que reporten las prácticas culturales óptimas para el uso de este sistema para la producción de cultivos en condiciones controladas (Haley *et al.*, 2004; James y van Iersel, 2000).

2.4.6.1. Ventajas y desventajas del sistema de subirrigación

El sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, entre las que se encuentran el ahorro de nutrientes y agua, proporciona sales de una manera uniforme, evita la humedad en la parte aérea de la planta, uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, mejor productividad y cultivos más uniformes; Además, reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael y Colla, 2005; Rouphael *et*

al., 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 superficial (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).

Una de las desventajas del sistema de subirrigación es que al usar SN demasiada 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 sub-irrigación 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 por estrés salino 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).

2.4.6.2. 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 de alta calidad (Roupael y Colla, 2005; Zheng *et al.*, 2004). Las tasas óptimas de fertilización para los sistemas de riego superficial son bien conocidas, pero hay

menos información disponible sobre las concentraciones ideales de solución de fertilizante para subirrigación (Kang y van Iersel, 2000). En general, las concentraciones de fertilizantes deben ser más bajas con la subirrigación que con el riego por goteo (Kent y Reed, 1996; van Iersel, 1999). Las sales de nutrientes no son lixiviadas del sustrato y pueden acumularse dentro de los recipientes, exponiendo potencialmente a las plantas al estrés osmótico (Morvant *et al.*, 1997). La acumulación de sales en la capa de sustrato superior se ve exacerbada por altas tasas de fertilización (van Iersel, 2000). El manejo eficaz de nutrientes para subirrigación requiere minimizar el riesgo de estrés osmótico, al tiempo que proporciona a las plantas una nutrición adecuada (Zheng *et al.*, 2004). Las concentraciones óptimas de solución de fertilizante varían entre las especies y pueden depender tanto de las necesidades nutricionales como de la tolerancia a la sal de un cultivo en particular (Kang y van Iersel, 2002). En algunos estudios realizados, principalmente con ornamentales, demuestran que la concentración de fertilizantes en subirrigación pueden reducirse hasta en un 50% de la tasa recomendada para riegos superficiales, sin afectar el crecimiento y calidad de la planta (Ruophael *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2004); aunque, la respuesta de algunas hortalizas a la subirrigación ha sido variada; por ejemplo, Roupael y Colla (2009) han reportado que al reducir en un 50% la nutrición recomendada para riego superficial, resultó perjudicial sobre el crecimiento, rendimiento y absorción de macronutrientes en plantas de calabaza (*Cucurbita pepo* L., cv. Afrodite) subirrigadas; mientras que, Martinetti *et al.* (2008), obtuvieron una reducción del crecimiento y rendimiento en berenjena (*Solanum melongena* L.) al subirrigar con una SN completa recomendada para riego superficial.

2.4.6.3. 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).

2.4.6.4. 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 una 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).

2.4.6.5. Uso de sensores de humedad en el sistema de subirrigación

El momento de riego en un sistema de subirrigación es similar a otros sistemas de riego. Las plantas deben regarse después de que la mayor parte de agua disponible se ha agotado, pero antes de cualquier estrés hídrico empiece. En el sistema de subirrigación se debe evitar dejar inundado por mucho tiempo el sistema radicular para evitar problemas de anegamiento; pero, además, no se debe dejar que el medio

de crecimiento se seque por completo, ya que sería difícil rehidratar el sustrato por subirrigación (Reed, 1996). Por lo anterior, es adecuado el uso de microtensiómetros para el control adecuado de la frecuencia de riego en este sistema. El sistema de subirrigación ha mostrado eficiencia en el uso de agua (Klock-Moore y Broschat, 2000), sin embargo, esta eficiencia puede aumentar con el uso de sensores de humedad para monitorear la humedad del sustrato y con ello poder controlar el riego (Ferrarezi y van Iersel, 2011).

Para optimizar el uso del agua en la producción de cultivos hortícolas, estudios recientes han sugerido el uso de riego automatizado en tiempo real basado en el potencial matricial del sustrato (Caron *et al.*, 2016). Por ello utilizar tensiómetros de forma adecuada seleccionando valores correctos del potencial del agua con una programación se obtendrán resultados satisfactorios que permitirán mejor eficiencia en el uso y manejo del agua (Buttaro *et al.*, 2015; Ecoglan *et al.*, 2006).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento fue realizado en el periodo de agosto del 2017 a febrero del 2018 en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuya ubicación geográfica es de 25° 23' de latitud Norte y 101° 80' de longitud Oeste, con una altitud de 1763 msnm. Durante el desarrollo del experimento se registró una temperaturas promedio de 21°C (con un promedio máximo de 45°C y mínima de -5°C) y una radiación fotosintéticamente activa incidente diurna de 350 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.2. Material vegetal

Para esta investigación se ocupó plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Climstar de hábito indeterminado. Este cultivar se caracteriza por ser un cultivo vigoroso, bien equilibrado y resistente a condiciones difíciles. La siembra de la semilla se realizó el 30 de julio del 2017, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, empleando como medio de germinación turba ácida (Peat moss) con pH de 6.0. Se depositó una semilla por cavidad.

3.3. Trasplante

El trasplante fue realizado el día 26 de agosto del 2017, cuando las plántulas tenían una altura de 20 cm, seleccionando plantas sanas, uniformes y vigorosas. Las plántulas fueron trasplantas en bolsas de polietileno con un volumen de 10L, empleando un sustrato compuesto con una mezcla de 40% polvo de coco, 40% peat moss y 20% perlita.

3.4. Sistema de riego

En este experimento se diseñó y empleo el sistema de subirrigación y riego por goteo. Para diseñar el sistema de subirrigación con recirculación de SN, se utilizó una bandeja de plástico (con medidas de 39 cm de ancho, 69 cm de largo y una altura de 16 cm), dentro de las cuales se colocaron dos contenedores de polietileno con una planta cada una, con una distancia entre plantas de 40 cm y una distancia entre bandejas de 50 cm y entre filas de 120 cm (Fig. 1).



Figura 1. Diseño del sistema de subirrigación.

Cada bandeja contaba con un sistema de llenado y drenado, compuesto por mangueras y válvulas para la distribución de la SN de cada tratamiento. El sistema tenía como almacén 4 tambos con una capacidad de 200 L cada uno. La SN era distribuida a las bandejas de aplicación mediante una bomba de $\frac{1}{4}$ de fuerza de caballo (HP). Independientemente del tratamiento empleado en subirrigación, las bandejas se llenaban con una lámina de SN de 15 cm, y el tiempo de riego fue dependiente de cada tratamiento, después de transcurrido este tiempo, la SN se drenaba y retornaba a los tambos de almacenamiento para el uso en riegos posteriores. Antes de aplicar cada riego se ajustaba el pH con H_2SO_4 dejando el pH en 6.0 ± 1 . La SN evapotranspirada se ajustó con SN nueva para completar el

volumen de SN de cada tambo. La CE de la SN se mantuvo entre 1.8 a 2.4 mS/cm⁻¹, dependiendo de la concentración de la SN utilizada.

En el sistema de riego por goteo, la SN se bombeo desde un depósito independiente con una capacidad de 200 a los emisores del sistema de goteo, colocando dos goteros por contenedor con un gasto total de 2 LPH.

La frecuencia de riego en ambos sistemas estuvo controlada por el uso de tensiómetros o por la percepción visual/tangible del requerimiento de riego, esto dependió del tratamiento empleado. En los tratamientos en los que se empleó tensiómetro, los riegos se efectuaron cuando este marcó 10 Cbar y el riego se terminó cuando este marcó 0 Cbar. Mientras que en los tratamientos en los que se empleó la percepción para determinar el momento de riego, el término del riego fue cuando se obtuvo el 25% de lixiviado, esto en riego por goteo; y en riego por subirrigación la SN en cada bandeja de aplicación se mantuvo por 30 min, después de este tiempo la SN se drenaba a los tambos de almacenamiento.

3.5. Tratamientos

Los tratamientos empleados fueron dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y dos formas de control de la frecuencia del riego (tensiómetros y percepción visual/tangible). En cada tratamiento se aplicaron tres concentraciones de la siguiente SN (meq L⁻¹): 14 N, 2 P, 8 S, 11 Ca, 9 K y 4 Mg. Las diferentes concentraciones de la SN se distribuyeron a lo largo del desarrollo del cultivo de la siguiente manera: durante la fase vegetativa del cultivo se aplicó la SN al 120%, del inicio de floración al desarrollo del tercer racimo se aplicó una SN al 70% y a partir de la maduración del tercer al quinto racimo se aplicó una SN al 50% (Cuadro1).

Cuadro 1. Tratamientos empleados para la producción de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Climstar bajo el sistema de riego por subirrigación y riego por goteo con diferente control de la frecuencia de riego.

Tratamientos	Sistema de riego	Control de riego	SN (%)
1	Subirrigación	Con tensiómetro	120, 70, 50
2	Subirrigación	Sin tensiómetro	120, 70,50
3	Riego por goteo	Con tensiómetro	120, 70, 50
4	Riego por goteo	Sin tensiómetro	120, 70, 50

Para preparar cada SN se utilizaron diferentes sales y ácidos concentrados, los cuales fueron: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , K_2SO_4 , KCl , HN_3 y H_3PO_4 . Para la concentración del 50% el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ no se utilizó.

3.6. Manejo del cultivo:

3.6.1. Tutoreo

El tutoreo empleado en el cultivo establecido fue tipo holandés, consiste en colgar una rafia desde un alambre tensado a 2 metros de altura y colocar anillos de tutoreo, 20 días después del trasplante, con el fin de mantener recta y rígida a planta para evitar daños o caídas por el peso total.

3.6.2. Poda

Las primeras podas en el cultivo de tomate fueron de chupones y brotes, estas actividades se realizaron de forma manual mediante el uso de tijeras de poda y navaja. Se realizaron podas de hojas viejas de los racimos ya formados, con el fin de mejorar calidad de fruto, en tamaño y madurez y evitar la presencia de plagas y enfermedades. Estas actividades se realizaron periódicamente hasta llegar al quinto racimo. Las actividades de poda se realizaron durante la tarde para poder realizar la aplicación de un fungicida y obtener mejores resultados.

3.6.3. Aclareo de fruto

El aclareo fue realizado cuando el fruto ya estaba amarrado y contaba mínimo con 5 frutos por racimo, dejando los frutos mejor desarrollados para obtener una mejor calidad y eliminando el resto.

3.6.4. Cosecha

Se cosecharon 5 racimos con 5 frutos cada uno. Los estándares de cosecha que manejamos fueron cuando el fruto alcanzo un 80% del color rojo característico de la variedad.

3.7. Variables evaluadas:

3.7.1. Rendimiento

Se registró el peso fresco de fruto por racimo de cada planta. El rendimiento total se obtuvo mediante la sumatoria de cada uno de los frutos hasta el quinto racimo de cada planta.

3.7.2. Peso seco de hoja

Después de cada poda se recolectaron todas las hojas y se guardaron en bolsas de papel identificándolas por tratamiento, repetición y planta, dejándolas secar de dos a tres días, después se metieron en hornos de secado, durante 48 horas con una temperatura de 70°C. Tomando en seguida el peso seco de la hoja en una balanza analítica obteniendo el resultado en gramos por órgano por planta.

3.7.3. Peso seco de tallo

El peso seco del tallo fue tomado después del corte del quinto racimo, donde cortamos la base del tallo con tijeras de poda, cortando todo el tallo en pedazos pequeños con una medida aproximada de 5 cm, facilitando la recolección y la identificación de cada muestra por tratamiento, repetición y planta. Enseguida se llevó a un horno de secado por 72 horas a una temperatura de 70°C. Al término de este proceso se obtuvo el peso seco por tallo por planta.

3.7.4. Peso fresco y seco de raíz

El peso de raíz se obtuvo al final del ciclo del cultivo, para ello, el sustrato se dividió en tres estratos: Bajo (0-8 cm), Medio (8-16 cm) y alto (16-25 cm). La separación de cada estrato se realizó con ayuda de un chuchillo. A la raíz se le quitó el sustrato mediante el lavado con agua de la llave, se secaron y se determinó el peso fresco de raíz de cada estrato por planta. Posteriormente, se guardaron en bolsas de papel identificándolas con su tratamiento, repetición, planta y estrato. Para obtener el peso seco de la raíz se metieron a un horno a 70°C durante 72 horas.

3.7.5. Peso seco total

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

3.7.6. Relación parte aérea y raíz

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

3.7.7. Determinación de pH y CE del sustrato

Se determinó los valores de pH y CE del sustrato en los tres estratos del contenedor (alto, medio y bajo), se sacó una muestra representativa de cada nivel, se colocaron en bolsas de polietileno señalando el tratamiento, repetición y estrato evaluado, y se expuso al sol por 5 días. Posteriormente se preparó una mezcla de sustrato más agua destilada, en una proporción de 1:2 v/v, se agitó manualmente por 5 minutos y se dejó reposar por 15 minutos. Posteriormente se filtró la mezcla de cada tratamiento y con la solución obtenida se midió pH y CE con la ayuda de ionómetros portátil Horiba® (LAQUA Twin).

3.8. Diseño experimental y análisis de datos

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

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, se pudo observar que el rendimiento por racimo fue afectado por el sistema de riego y control de la frecuencia de riego únicamente en el segundo y cuarto racimo, siendo mayor el rendimiento en los tratamientos de riego por goteo (Cuadro 2). Sin embargo, la diferencia del rendimiento por racimo fue más notorio en el segundo racimo, ya que en este se presentó una diferencia promedio de 253 g entre sistema de riego, mientras que en el cuarto racimo la diferencia fue de 118.6 g. Además, el rendimiento por racimo se redujo en los últimos cortes. Lo anterior pudo deberse a que los últimos racimos se desarrollaron en invierno, y en el caso de riego por subirrigación la marcada reducción pudo deberse a la acumulación de sales en el medio de crecimiento en la etapa final del cultivo, lo anterior a pesar de que se redujo gradualmente la concentración de la SN durante el ciclo del cultivo. Relacionado a lo anterior, Kent y Reed (1996) indican que las concentraciones de fertilizantes deben ser más bajas con la subirrigación que con el riego por goteo para evitar la estratificación de sales en el medio de crecimiento. Así mismo, el rendimiento total fue mayor en los tratamientos de riego por goteo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento por racimo y rendimiento total del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro).

Tratamiento	Rendimiento por racimos					Total
	1	2	3	4	5	
	g planta ⁻¹					
Subirrigación/con tensiómetro	939.2 a	700.0 c	721.5 a	502.1 b	476.2 a	3339.3 b
Subirrigación/sin tensiómetro	1004.7 a	767.2 bc	614.8 a	496.2 b	464.3 a	3347.2 b
Riego por goteo/con tensiómetro	1095.8 a	1040.3 a	685.0 a	601.0 ab	495.8 a	3918.0 a
Riego por goteo/sin tensiómetro	1020.5 a	933.0 ab	640.3 a	634.5 a	544.3 a	3772.7 ab
ANOVA	<i>P</i> ≤0.490	<i>P</i> ≤0.001	<i>P</i> ≤0.301	<i>P</i> ≤0.009	<i>P</i> ≤0.378	<i>P</i> ≤0.005
CV (%)	16.9	14.4	15.1	12.9	16.6	7.9

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

El rendimiento total del cultivo de tomate fue mayor en el rigo por goteo con el uso de tensiómetro, seguido de riego por goteo sin tensiometro; mientras que el rendimiento

en el sistema de riego por subirrigación con y sin tensiometro se comportaron similar (Figura 2). En trabajos anteriores en las que se evaluó el sistema de subirrigación en la producción de hortalizas se reportó una reducción en el rendimiento al utilizar este sistema, en comparación al obtenido en riego superficial. Relacionado a lo anterior, Santamaria *et al.* (2003), señalan que la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Alef., 'Naomi') fue un 20% mayor con el riego por goteo en comparación con el sistema de subirrigación. El rendimiento de frijol fue un 33% mayor con el sistema de riego por goteo (Bouchaaba *et al.*, 2015). Scholberg y Locascio (1999) señalan que el sistema de riego por subirrigación disminuye en el número y tamaño de los frutos de tomate en comparación con el riego por goteo. El menor rendimiento obtenido con el sistema de subirrigación es atribuido a una alta CE que se registra en los estratos superiores del contenedor y a una mala distribución de la humedad en cada estrato de la misma (Cox, 2001; Bouchaaba *et al.*, 2015). Por su parte, García *et al.* (2017), indican que el sistema de riego por subirrigación favorece el rendimiento de las plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) siempre y cuando se emplee una lámina, tiempo riego y sustrato adecuado que permita el movimiento del agua por capilaridad. Garcia *et al.* (2015; 2017) en dos trabajos realizados, reportó que al utilizar una mezcla de peat mos:fibra de coco:perlita para producir pimiento bajo el sistema de subirrigación obtuvo mayor rendimiento empleando una lámina de riego de 15 cm mantenida durante 30 min, mientras que al emplear una mezcla de peat mos:perlita (80:20% v/v), el mayor rendimiento lo obtuvo al utilizar una lámina de riego de 15 cm mantenida durante 20 min. Esta diferencia en el rendimiento al variar el sustrato empleado y el tiempo de riego pudo estar relacionado con la cantidad de agua retenida el sustrato al momento del riego, lo cual puede afectar o favorecer, dependiendo del cultivo con el que se trabaje. En nuestro caso, el sustrato empleado pudo retener una gran cantidad de agua, principalmente en el sistema de subirrigación, debido a que se empleó dos sustratos de partículas pequeñas (peat moss y polvo de coco).

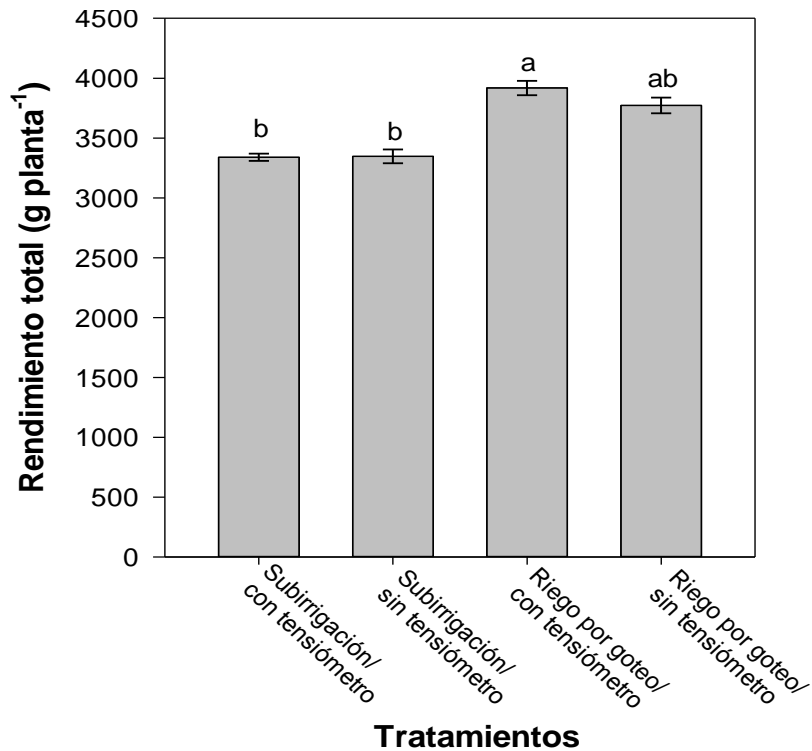


Figura 2. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el rendimiento total de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

El peso seco de hoja, tallo, raíz, peso seco total y la relación parte aérea/raíz fueron afectados por el sistema de riego y el control de la frecuencia de riego utilizado en el cultivo de tomate bajo el sistema de subirrigación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de biomasa seca de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Climstar cultivado bajo dos sistemas de riego (subirrigación y riego por goteo) y dos formas de control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro).

Tratamiento	Peso seco (g planta ⁻¹)				Relación Aérea/raíz g g ⁻¹
	Hoja	Tallo	Raíz	Total	
Subirrigación/con tensiómetro	281.7 a	63.9 b	32.5 b	378.2 a	10.7 a
Subirrigación/sin tensiómetro	224.7 b	67.5 ab	32.1 b	324.2 b	9.2 ab
Riego por goteo/con tensiómetro	289.3 a	75.1 a	42.9 a	407.4 a	8.5 b
Riego por goteo/sin tensiómetro	279.1 a	72.7 ab	40.9 a	392.5 a	8.6 b
ANOVA	<i>P</i> ≤0.003	<i>P</i> ≤0.014	<i>P</i> ≤0.001	<i>P</i> ≤0.001	<i>P</i> ≤0.007
CV (%)	9.9	7.9	7.3	6.9	10.6

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

Peso seco de hoja

En riego por goteo con y sin tensiómetro y en el sistema de subirrigación con tensiómetro se obtuvo el mayor peso seco de hoja, comportándose similares entre ellos (Fig. 3). El bajo peso seco de hoja en subirrigación sin tensiómetro pudo deberse a la mayor cantidad de agua retenida en el sustrato ya que con este tratamiento se regó durante 30 minutos. Además, en este tratamiento se regaba con menor frecuencia, debido a la cantidad de humedad que retenía el sustrato en estas condiciones. Resultados contrarios a los obtenidos en este estudio fueron reportados por Roupael y Colla (2005), quienes encontraron que con riego por goteo la producción de biomasa de calabacín fue de 44% mayor que con subirrigación como resultado de la CE inferior. Sin embargo, Incrocci *et al.* (2006) reportaron que no existen diferencias entre plantas tratadas con subirrigación y riego por goteo en términos de crecimiento de la planta, lo cual coincide con los resultados de nuestro estudio.

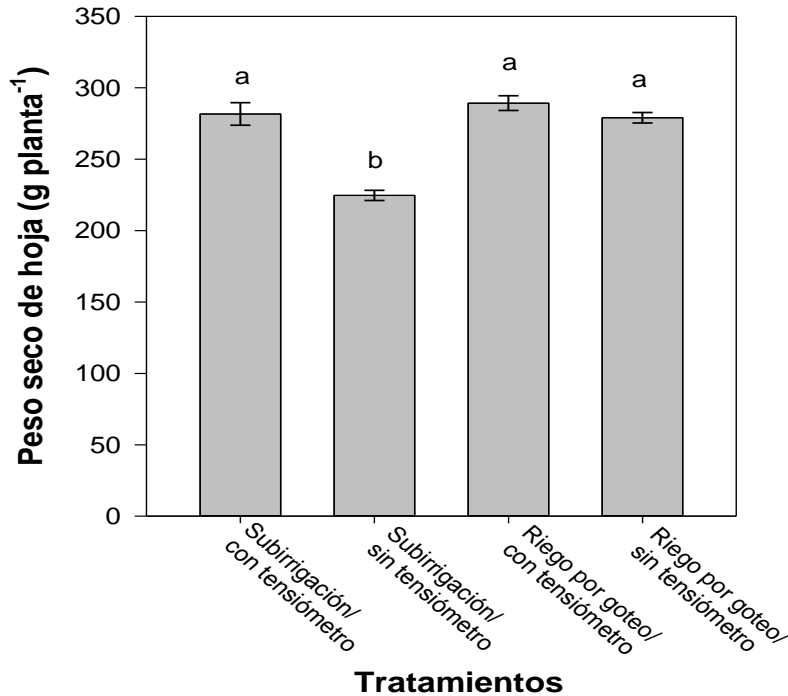


Figura 3. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de hojas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

Peso seco del tallo

El peso seco del tallo fue mayor en el riego por goteo con tensiómetro, seguido por el riego por goteo sin tensiómetro y riego por subirrigación sin tensiómetro (Fig. 4). El mayor peso seco de tallo alcanzado con riego por goteo con tensiómetro pudo deberse a que los riegos fueron más frecuentes y mejor controlados que en los otros dos tratamientos que se comportaron similar.

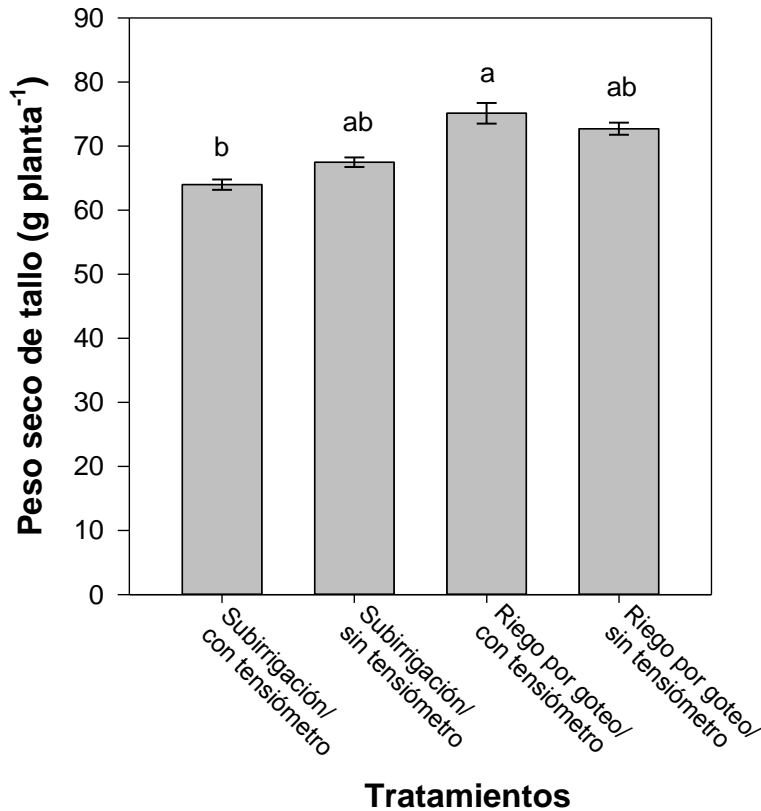


Figura 4. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de tallo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

Peso seco de raíz

El peso seco de raíz fue mayor en los tratamientos de riego por goteo con o sin tensiómetro (Fig. 5). El menor desarrollo radicular alcanzado en los tratamientos en los que se empleó la subirrigación pudo estar relacionado con la mayor CE alcanzada en el sustrato, independientemente del control de la frecuencia de riego. Lo anterior concuerda con lo mencionado en otros estudios (Cox, 2001; Rouphael *et al.*, 2005; Todd y Reed, 1998). Una alta concentración de sales en la zona radicular afecta a las plantas de diversas maneras incluyendo toxicidad, efectos antagonistas que conducen a desequilibrios iónicos, disfunciones metabólicas y estreses osmóticos que limiten la ingesta del agua, lo que afecta la turgencia de la planta y a la maquinaria fotosintética (Munns 1993; Hasegawa *et al.* 2000; Hopkins 2003). Por otro lado, el menor desarrollo

radicular de las plantas tratadas con subirrigación pudo deberse a la alta retención de humedad con este sistema, ya que Pallardy (2007) y Baracaldo *et al.* (2014) reportan que las plantas al estar sometidas a condiciones de hipoxia disminuyen ampliamente la acumulación de biomasa seca de las raíces.

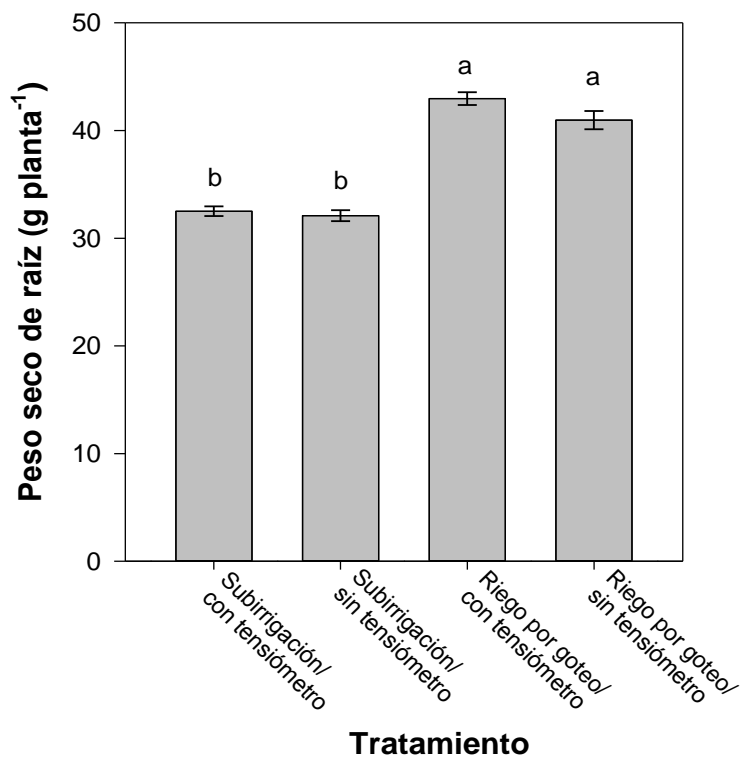


Figura 5. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

Peso seco total

De acuerdo a los resultados, la biomasa total fue mayor en el riego por goteo con y sin tensiómetro y en riego por subirrigación con tensiómetro (Fig. 6). Relacionado a lo

anterior, el uso del sistema de riego por subirrigación se ha reportado que reduce el crecimiento y la producción de biomasa de las plantas, esto se atribuye a una alta CE que se registra en los estratos superiores del contenedor y a una mala distribución de la humedad en cada estrato (Cox, 2001; Bouchaaba *et al.*, 2015). En contraste, Morvant *et al.* (1997) indican que la acumulación de sales en el medio de crecimiento, principalmente en la capa superior, no necesariamente afecta el crecimiento de la planta, ya que el desarrollo de las raíces ocurre principalmente en la capa inferior del contenedor, por lo tanto, estas no se exponen a la alta CE del medio de crecimiento. Por su parte, García *et al.* (2015; 2017), al comparar el sistema de subirrigación y riego por goteo en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.), informaron que se obtuvo mayor peso seco de tallo, hoja, raíz y peso seco total en plantas subirrigadas.

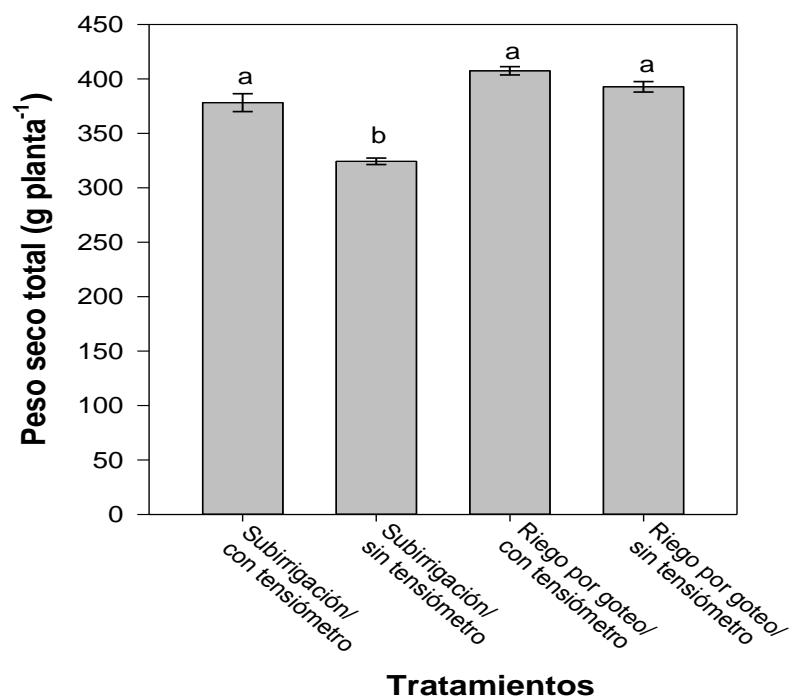


Figura 6. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco total de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

Relación aérea/ raíz

Los cambios en la distribución del peso seco se reflejaron en una modificación de la relación entre la parte aérea/raíz, ya que en comparación con las plantas con riego por subirrigación, las plantas tratadas con riego por goteo mostraron en términos relativos un mayor desarrollo de la raíz que de la parte aérea (Fig. 7). Estos resultados no concuerdan con lo reportado en otros estudios (García *et al.*, 2015).

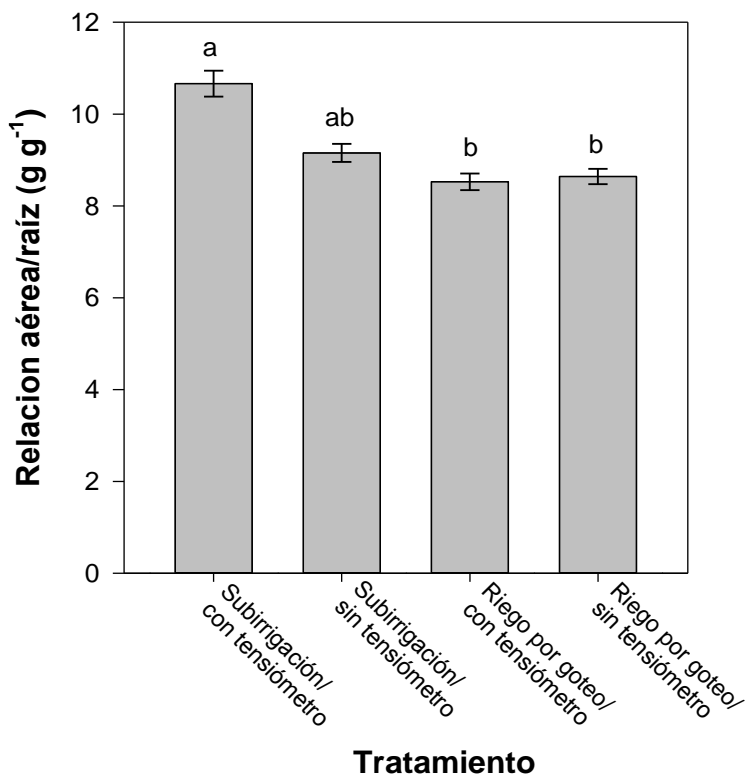


Figura 7. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en la relación aérea/raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

En general, el peso seco de raíz, pH y CE fueron afectados por el sistema de riego, control de la frecuencia de riego y estrato evaluado del medio de crecimiento (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento del peso seco de raíz, pH y CE del medio de crecimiento según el sistema de riego (subirrigación y riego por goteo), control de la frecuencia de riego (con/sin tensiómetro) y estrato evaluado (alto, medio y bajo) al final del ciclo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Tratamientos		Peso seco de raíz	pH	CE
		g planta ⁻¹		dS/m ⁻¹
Subirrigación/con tensiómetro		10.84 b	6.60b	2.49a
Subirrigación/sin tensiómetro		10.70 b	6.69ab	2.17b
Riego por goteo/con tensiómetro		14.32 a	6.69ab	0.70c
Riego por goteo/sin tensiómetro		13.66 a	6.84a	0.57c
Estrato				
	Alto	14.12 a	6.18b	2.53a
	Medio	14.54 a	6.98a	0.84 c
	bajo	8.47 b	6.95a	1.07b
ANOVA				
	Tratamientos	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.015$	$P \leq 0.001$
	Estrato	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$
	Interacción	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$	$P \leq 0.001$

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

El sistema de riego por goteo con y sin tensiómetro demostraron el mayor peso seco de raíz, que el obtenido en riego por subirrigación (Fig. 8). Sin embargo, el peso seco de raíz en los tratamientos con riego por goteo fue mayor en el estrato superior, mientras que con subirrigación fue mayor en el estrato medio del contenedor (Fig. 8). El mayor volumen de las raíces en parte media e inferior del sustratos se le atribuye a la menor CE y la mayor disponibilidad de nutrientes (Davis *et al.*, 2011). Así mismo, Bouchaaba *et al.* (2015) mencionan que la alta CE del sustrato subirrigado puede afectar el crecimiento de la raíz, debido al estrés osmótico al que puede estar sometida; sin embargo, la respuesta en el crecimiento de la raíz a la CE del sustrato dependerá de la sensibilidad de la especie con que se trabaje. Davis *et al.* (2011) reportaron que al emplear el sistema de subirrigación observaron un menor número de raíces en el estrato superior como consecuencia de la alta CE alcanzada con este sistema, por el contrario, con una CE baja el número de raíces fue mayor.

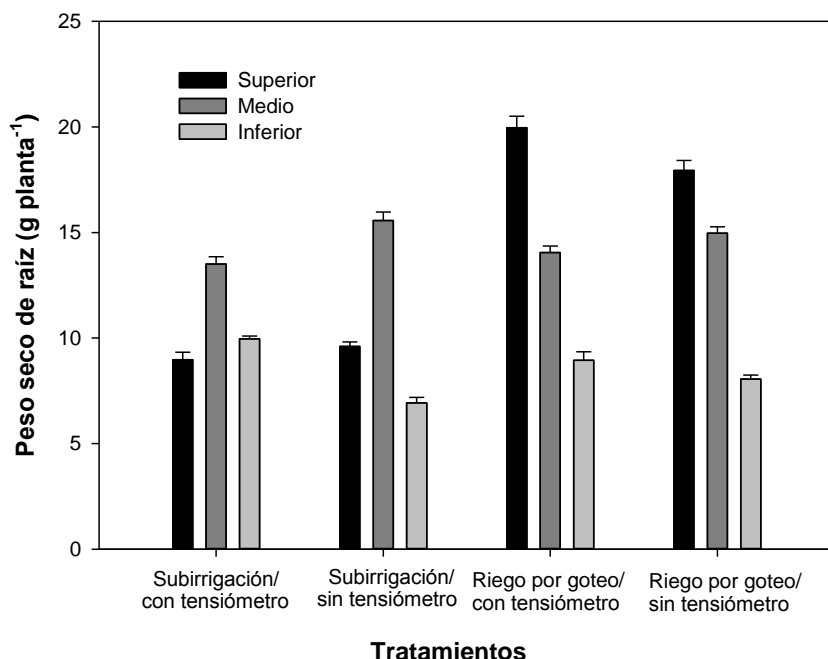


Figura 8. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el peso seco de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).

pH

El pH fue mayor en el medio de crecimiento subirrigado, que el obtenido con riego por goteo; sin embargo, no se observó diferencia entre el control de la frecuencia de riego en ambos sistemas de riego (Fig. 9). Además, el pH del medio de crecimiento fue menor en el estrato superior del contenedor en ambos sistemas de riego, pero esta diferencia fue más marcada en el sustrato sometido a riego por subirrigación (Fig. 9). Los datos obtenidos concuerdan con lo ya reportado en otros estudios (García *et al.*, 2017; Martinetti *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2004). Por otro lado, 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⁺.

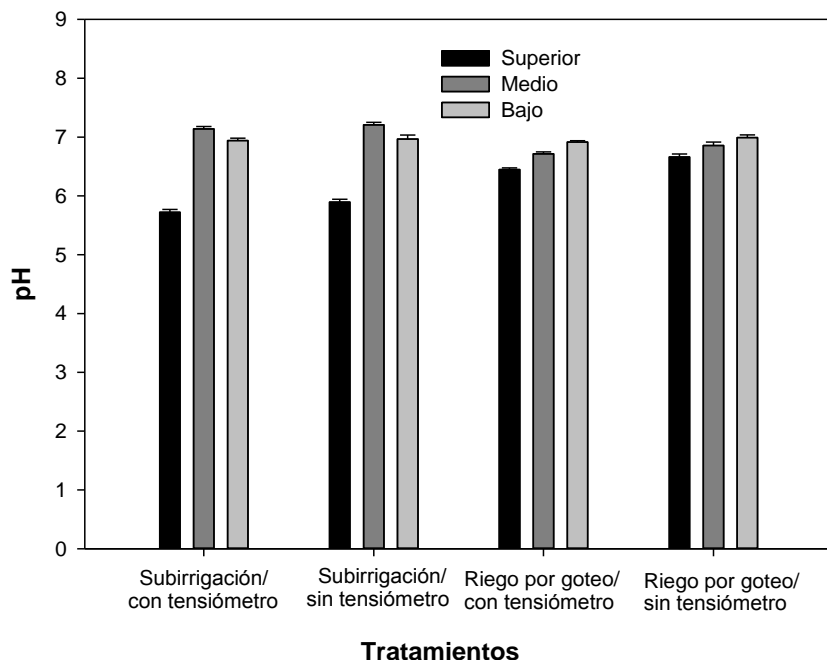


Figura 9. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en el pH de cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).

La Conductividad Eléctrica

La CE del medio de crecimiento fue mayor en el medio de crecimiento tratado con subirrigación, que el obtenido en riego por goteo (Fig. 10). Además, la CE fue mayor en los tratamientos en las que se utilizó tensiómetros para el control de la frecuencia del riego, probablemente a consecuencia de la mayor frecuencia de riego las sales se acumularon en mayor cantidad en el medio de crecimiento (Fig. 10). Asimismo, la CE fue mayor en el estrato superior del medio de crecimiento en ambos sistemas de riego, pero este valor fue mayor en el sustrato tratado con subirrigación (Fig. 10). En diversos estudios (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006; Rouphael *et al.*, 2008) 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 evapotraspirativa del medio ambiente y a la concentración de la SN. La alta CE alcanzada en trabajo al emplear el sistema de subirrigación fue alta, esto a pesar de que durante el ciclo del cultivo se redujo gradualmente la concentración de la SN.

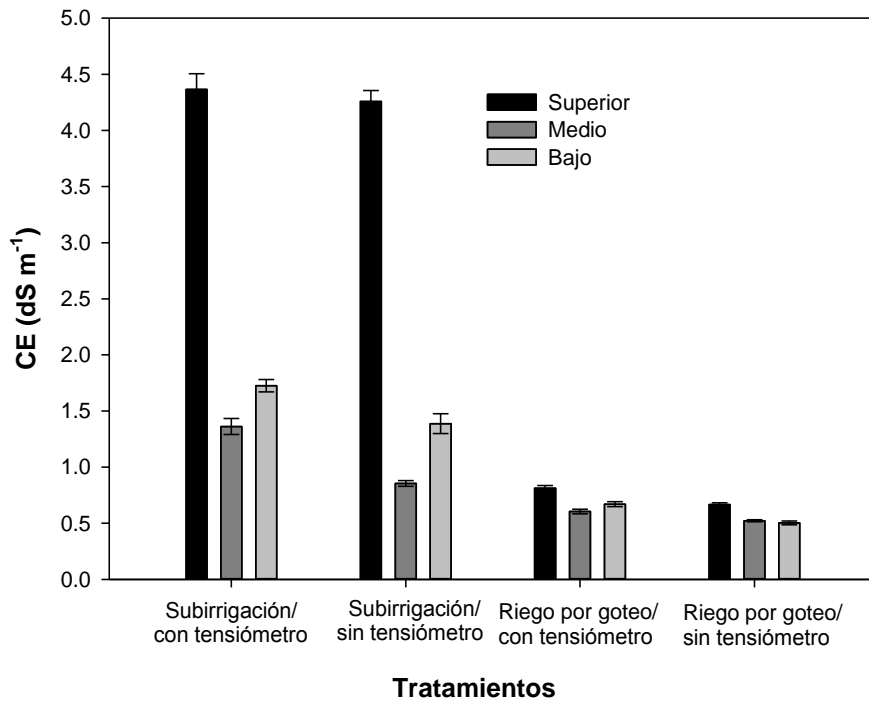


Figura 10. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego por goteo) y control de la frecuencia de riego (con y sin tensiómetro) en la CE de cada uno de los estratos evaluados del medio de crecimiento (alto, medio y bajo).

V. CONCLUSIÓN

El cultivo de tomate bajo el sistema de subirrigación ha demostrado ser eficiente en el ahorro de agua y fertilizantes durante todo el ciclo. Sin embargo, en este trabajo, con el sistema de subirrigación se obtuvo bajo rendimiento y producción de biomasa, lo anterior debido a la elevada concentración de sales en el medio de crecimiento alcanzado con este sistema.

Al hacer la comparación entre un sistema de riego tradicional, como el riego por goteo, contra el sistema de riego por subirrigación se ha demostrado que los rendimientos y la calidad de biomasa resultaron ser mejores en el sistema de riego por goteo donde los riegos fueron más frecuentes y controlados con la ayuda de un tensiómetro.

Al utilizar el sistema de riego por subirrigación debemos tomar en cuenta los materiales a utilizar, ya que todos los sustratos contienen propiedades físicas y químicas diferentes, lo que puede variar los resultados obtenidos en la producción de tomate.

VI. LITERATURA CITADA

- Anderlini, R. 1979. El cultivo de tomate 3^a. Edición. Editorial-prensa. Madrid España. 37p.
- 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.
- Ansorena-Miner, J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Baracaldo, A., R. Carvajal, A. Romero, A. Prieto, F. Garcia, G. Fischer y D. Miranda. 2014. El anegamiento afecta el crecimiento y producción de biomasa en tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado bajo sombrío. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 8(1), 92- 102.
- 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 hidropónia. 3a ed. Editorial Moca, P. R. México. pp. 60-66.
- Bouchaaba, Z.; Santamaria, P.; Choukr-Allah, R.; Lamaddalena, N. and Montesano, F. F. 2015. Open-cycle drip vs closed-cycle subirrigation: Effects on growth and yield of greenhouse soilless green bean. *Scientia Horticulturae*. 182: 77-85.
- 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.
- Cabrera, R.I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 p.
- Carreón Cruz, pablo, 2017. Características y tendencias del tomate rojo en México. El economista. Consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/caracteristicas-y-tendencias-del-tomate-rojo-en-mexico-ii-20170606-0010.html>, el 10 de junio del 2018.
- Cooper, A. J. 1978. Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato crop. *J. Hort. Sci.* 53: 189-193.
- Cox, D. A. 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. USA. *Journal of plant nutrition*. 24(3): 523-533.
- Davis, A. S., Aghai, M. M., Pinto, J. R., and K. G. Apostol. 2011. Growth, gas exchange, foliar nitrogen content, and water use of subirrigated and overhead-irrigated *Populus tremuloides* Michx. Seedlings. *HortScience*, 46(9), 1249-1253.
- Elia, A., A. Parente, F. Serio, and P. Santamaria. 2003. Some aspects of trough benches system and its performances in cherry tomato production. *Acta Hort.* 614:161–166.
- Ferrarezi, R. S., & van Iersel, 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).
- FIRA (Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura), fecha de publicación mayo del 2017, Consultado 05 de junio del 2018 en <file:///c:/users/cca/downloads/panorama%20agroalimentario%20tomate%20rojo%202017.pdf>).

- García, J. C., L. A. Valdez, V. Robledo, R. Mendoza y A. Hernández. 2015. La subirrigación como sistema de producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en cultivo sin suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Pub. Esp. Núm. 12:2313-2330.
- García, J. C., Valdez, L. A., Hernández, A., Cartmill, A. D. and J. Valenzuela. 2017. Depth and Duration of Flooding Affect Growth, Yield, and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience*, 52:295-300.
- 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
- Hasegawa, PM, Bressan, RA, Zhu, JK y Bohnert, HJ 2000. Respuestas celulares de plantas y moleculares a alta salinidad. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 51 (1): 463 - 499.
- Hopkins, WG 2003. *Physiologie végétale*. 1ª ed. De Boeck, Bruselas, Bélgica. 514 p
- Incrocci, L.; Malorgio, F.; Della B. A. and Pardossi, A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. Italy. *Scientia Horticulturae*. 107(4): 365-372.
- James, E. and van Iersel. 2001. Fertilizer concentrations affect growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience* 36:40-44.
- Jenner, G. 1980. Hydroponics -reality or fantasy? *Scientia Hort.* 31: 19. 14–17.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of subirrigated petunias. *J. Plant Nutr.* 24: 753–765.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2002. Nutrient solution concentration affects growth of subirrigated bedding plants. *J. Plant Nutr.* 25:387–403.

- Kent, M.W. and D.W. Reed. 1996. Nitrogen nutrition of new guinea impatiens 'Barbados' and spathiphyllum 'Petite' in a subirrigation system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:816–819.
- 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.
- Martinetti, L., A. Ferrante and E. Quattrini. 2008. Effect of drip or subirrigation on growth and yield of *Solanum melongena* L. in closed systems with salty water. *Res. J. Biol. Sci*, 3: 467-474.
- Molitor, H. 1990. The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. *Acta Hort.* 272:165-173.
- Montesano, 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. Italy. *Scientia Horticulturae*. 124(3): 338-344.
- 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.
- Munns, R. 1993. Physiological processes que limitan el crecimiento de las plantas. En suelos salinos. Algunos dogmas e hipótesis. *Célula vegetal* Reinard. 25 : 239-250
- New Growing System Fecha de publicacion 2014, consultado el 10 de junio del 2018 en <http://ngsystem.com/es/ngs>

- 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. *Hort-Technology* 17:62–66.
- Pallardy, S.G. 2007. *Physiology of woody plants*. 3a ed. Academic Press, San Diego, CA.
- 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.
- 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.
- Rouphael, Y. and G. Colla. 2006. 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.
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Sci. Hort.* 118: 328–337.
- Sánchez, C. F. 2002. *Hidropónia*. Editorial universidad Autónoma Chapingo. 3ª ed. Chapingo, México. 194p.

- Santamaria, P.; Campanile, G.; Parente, A. and Elia, A. 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. Italy. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 78(3): 290-296.
- Scholberg, J. M. S. and Locascio, S. J. 1999. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. USA. *HortScience*. 34(2): 259-264.
- Sheikh, B. A. 2006 . Hidropónopía: clave para sostener la agricultura en el agua y el medio ambiente urbano. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences (Pakistan)*,22 , 53-57.
- Todd, N. M. and Reed, D. W. 1998. Characterizing salinity limits of New Guinea Impatiens in recirculating subirrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123 (1), 156–160.
- 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.
- Van Os, E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Technol.* 39(5):105-112
- Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richard, and M. Dixon. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience* 39:1283–1286.