



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación

Subdirección de Programación y Evaluación



Proyecto de Investigación 2017

Unidad:	Saltillo	División:	Agronomía	Departamento:	Horticultura
Programa de Investigación:	Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida				
Línea de investigación:					
Título del proyecto:	Evaluación de un sistema de subirrigación en cultivos hortícolas para optimizar el uso de agua y fertilizantes.				
Presupuesto solicitado (Máximo \$100,000)	\$100,000	El proyecto es:	Nuevo	<input checked="" type="checkbox"/>	Continuación
Tipo de investigación:	Básica	Aplicada	<input checked="" type="checkbox"/>	Tecnológica	e-mail del responsable Luisalonso_va@hotmail.com
Vinculación:	Si	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Fondos concurrentes:	
Cooperante(s) :					
Entidad (es):	Coahuila	Municipio (s):	Saltillo		
Localidades:	Buena vista				
A realizar durante el año(s):	2017-2020				

Participantes	Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma	
Responsable	Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar	Horticultura	3924	
Colaborador:	Dr. Martin Cadena Zapata	Maquinaria Agrícola	3397	
Colaborador:	Dr. Karim De Alba Romenus	Subdirección de Informática	2362	
Colaborador:				
Colaborador:				
Colaborador:				
		Nivel estudios	Matrícula	Firma
Tesista:	M.C. Ariel Méndez Cifuentes	Maestría	41071207	
Programa Docente:	Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida			
Tesista:				
Programa Docente:				
Tesista:				
Programa Docente:				

	Vo. Bo.	Autoriza
Firma y sello		
Nombre	Dr. Víctor Manuel Reyes Salas Jefe de Departamento	Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación

• Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo

Protocolo para Proyecto de Investigación 2017

1.-Título del proyecto

Evaluación de un sistema de subirrigación para cultivos hortícolas para optimizar el uso de agua y fertilizantes.

2.- Introducción

La producción de hortalizas con tecnologías en sistemas controlados ha logrado incrementar los rendimientos por unidad de superficie, sin embargo, para lograr este objetivo se aplican altas cantidades de fertilizantes aunado a un uso inadecuado del agua, provocando efectos nocivos para el cultivo y el ambiente cuando éstos se utilizan indiscriminadamente y de manera irracional (Savas, 2003; Klock-Moore y Broschat, 2001). El uso excesivo de fertilizantes junto con un sistema de riego inadecuado origina una elevada lixiviación de los mismos, provocando la contaminación de aguas subterráneas (Whitcher *et al.*, 2005; Causapé *et al.*, 2002; Pratt, 1984; Sogbedji *et al.*, 2000).

Los sistemas de riego más utilizados en invernadero son los sistemas de riego por aspersión y riego por goteo. El riego por aspersión es bastante ineficiente en términos de uso de agua, ya que lixivia grandes cantidades de fertilizantes (Juntunen *et al.*, 2002; Dumroese *et al.*, 2005), pues de un 70% a 80% de la solución aplicada puede caer entre los contenedores, sin llegar nunca a la planta (Reed, 1996). El riego por goteo es un método más efectivo en el uso de agua y en la aplicación de fertilizantes, ofreciendo mejor control en la concentración de nutrientes, mejor control de las enfermedades y una mayor flexibilidad en el momento de aplicación, aunque también se obtienen altas tasas de lixiviación, las cuales varían de un 40% a 50% del volumen aplicado (Reed, 1996).

Lo anterior obliga a implementar alternativas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos naturales y que tiendan a promover una agricultura sustentable (Hansen *et al.*, 2001; Velasco-Velasco *et al.*, 2001). Existe una alternativa que puede minimizar la cantidad de aplicación y lixiviación de agua y nutrientes, reducir costos y reducir el agotamiento de recursos naturales, el cual consiste en modificar el sistema de producción convencional a un sistema de cero lixiviación, empleándose el sistema de subirrigación (Reed, 1996). La nutrición balanceada permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización del suelo (Villareal *et al.*, 2006). Otra alternativa, es cambiar el sistema de riego convencional abierto por un sistema cerrado de cero lixiviación, como el sistema de subirrigación con recirculación (James y Van Lersel, 2001).

El sistema de subirrigación consiste en aplicar soluciones nutritivas (agua y fertilizante) directamente a la zona radicular de la planta, penetrando por la parte inferior del contenedor, en donde la solución se mueve hacia arriba en el recipiente por acción capilar, por lo que la solución no absorbida se drena, captura y reutiliza, repitiéndose el ciclo cuando se requiera (Reed, 1996; James y van Lersel, 2001). Se ha reportado que el sistema de subirrigación aporta diversos beneficios en comparación con los sistemas tradicionales de riego, tales como; reducción de mano de obra, ahorro de agua y fertilizante hasta en un 50%, aplicación uniforme de agua y fertilizante, reducción de enfermedades foliares, obtención de cultivos uniformes y una mejor productividad, principalmente en ornamentales (Landis y Wilkinson, 2004; Ahmed *et al.*, 2000; Van lersel, & Kang, 2002).

Para optimizar el rendimiento y la productividad del agua en 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 de agua con una programación adecuada del riego se obtendrán resultados positivos que podría permitir la mejor eficiencia en el uso del agua, (Buttaro *et al.*, 2015; Encoglan *et al.*, 2006).

Por otro lado, en subirrigación la acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento representa un inconveniente, sobre todo en cultivos de ciclo largo (Kent y Reed, 1996; Reed, 1996; Morvant

et al., 1997. García *et al.* (2017) reportan que la CE del sustrato con un sistema de riego superficial llega a 1.6 dSm^{-1} en el estrato superior del contenedor, mientras que en subirrigación en este estrato alcanza una CE de 7.6 dSm^{-1} . Debido a lo anterior se pretende mantener la concentración de sales adecuados. Desafortunadamente, la 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 cultivos en condiciones controladas (Haley *et al.*, 2004). Por lo que en el presente estudio se pretende generar información sobre los requerimientos del sistema de subirrigación para la producción de hortalizas, específicamente en tomate híbrido para el cultivo en sistemas sin suelo de invernadero.

Objetivos

Objetivo general:

Definir la utilidad de los sistemas de subirrigación para la producción de tomate, así como la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes.

Objetivos específicos:

- Comparar la respuesta de plantas de tomate al ser cultivadas en un sistema de subirrigación y riego por goteo.
- Determinar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes para la producción de tomate en un sistema de recirculación de solución nutritiva comparado con un sistema de riego por goteo.
- Determinar si las aplicaciones paulatinas de la lámina de riego permiten un mejor crecimiento de las plantas subirrigadas.

Hipótesis

El sistema hidropónico de subirrigación permite aumentar la eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, así como la aplicación paulatina de la lámina de riego permiten una mejor respuesta del tomate.

3.-Revisión de Literatura

La producción bajo invernadero tiene varias ventajas sobre la producción en campo abierto, como mayor eficiencia en el uso del agua, suelo y fertilizantes, que al tener un mejor control sobre las variables ambientales y agronómicas se obtienen mejores rendimientos en cantidad y calidad (Snyder, 1992). Las tecnologías de producción en sistemas controlados han incrementado el rendimiento de las hortalizas por unidad de superficie; sin embargo, para maximizar la producción, se aplican altas cantidades de fertilizantes y otros productos químicos, los cuales deben ser utilizados racionalmente, debido a que un uso inadecuado del agua de riego lixivia nutrientes tales como nitratos y fosfatos que contaminan las aguas subterráneas (Klock-Moore y Broschat, 2001). El uso intensivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura ha causado problemas de contaminación ambiental (Ersin *et al.*, 2010; Durdane *et al.*, 2011); agudizándose más al aplicarlos en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos (Peña-Cabrales *et al.*, 2001). La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrientes, lo que permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villareal *et al.*, 2006), esto ha llevado 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).

La pérdida de agua y nutrientes por debajo de la zona radicular es casi inevitable con los sistemas actuales de riego y fertilización, debido a su baja eficiencia y a la falta de uniformidad en la aplicación. Esta es una de las causas de que exista sobre-fertilización en muchos cultivos. Así, en España se han medido pérdidas superiores a 100 kg Nha⁻¹.año⁻¹ en cultivos de regadío (Causapé *et al.*, 2002; Pratt, 1984; Sogbedji *et al.*, 2000). La lixiviación de fertilizantes en la producción en invernadero con el uso de medios de cultivo sin suelo se debe a varios factores, como la utilización de fertilizantes solubles de alimentación continua, la utilización de fertilizantes de liberación controlada a menudo se utiliza en exceso debido a su éxito en la mejora del crecimiento de cultivos de manejo intensivo, por el tipo de sistema de riego empleado y el uso de medios de crecimiento si suelo y por la poca capacidad de retención de la humedad (Whitcher, 2005). Uno de los sistemas de riego más utilizados en invernadero es el de riego por goteo con solución nutritiva directamente al pie de las plantas; es un método efectivo en el uso de agua y en la aplicación de fertilizantes en invernadero, ya que ofrecen mejor control en la concentración de nutrientes, mejor control de las enfermedades y una mayor flexibilidad en el momento de aplicación, aunque también se obtienen altas tasas de lixiviación de hasta un 40% a 50% del volumen aplicado de la solución nutritiva (Whitcher, 2005).

El riego por aspersión es un método común para la aplicación de fertilizantes, el uso de esta práctica provoca una alta lixiviación, siendo ineficiente en la entrega de agua y nutrientes para las plantas, ya que hasta el 70% a 80% de la solución aplicada puede caer entre los contenedores, sin llegar nunca a la planta (Whitcher, 2005; Juntunen *et al.*, 2002; Dumroese *et al.*, 2005). Esto ha dado lugar a un interés creciente en el uso de sistemas de riego cerrados, en el que la concentración óptima de fertilizantes depende de la eficiencia del uso del agua y las necesidades de nutrientes de las plantas (James, 2001). Una alternativa para reducir los problemas de contaminación de mantos acuíferos y la escasez de agua es cambiar el sistema de riego convencional abierto por un sistema por sub-irrigación o superficial con recirculación, es decir capturando y usando de nuevo la solución nutritiva (James y van Lersel, 2001).

Los sistemas de subirrigación están diseñados para ofrecer soluciones de agua y fertilizante directamente a la zona de la raíz o a la parte inferior del contenedor, donde la solución se mueve hacia arriba en el recipiente por la acción capilar. Los sistemas de producción que utilizan subirrigación con recirculación eliminan el escurrimiento de aguas superficiales y subterráneas. Las plantas en contenedores se colocan en bandejas herméticas. La solución nutritiva se bombea a una profundidad de una pulgada (2.5 cm) más o menos y se deja reposar durante el tiempo suficiente para saturar el medio de cultivo por la acción capilar. La solución no absorbida se drena de nuevo a un tanque de almacenamiento. El ciclo se repite cuando se requiere el riego. La solución se sustituye tal como se utiliza, por lo tanto, no se produce una escorrentía (Whitcher, 2005). 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 altas 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 ya que las sales pueden causar daños en las plantas (James, 2001). Según Landis y Wilkinson (2004) y Ahmed *et al.*, (2000), el sistema de subirrigación tiene diversas ventajas en su aplicación, entre las más importantes se encuentran: reduce la incidencia de enfermedades foliares porque el follaje permanece seco, se necesita menos agua por aplicación, el agua se aplica de manera más uniforme, se obtienen cultivos uniformes, se recicla el agua y se necesita menos fertilizante. El sistema de subirrigación proporciona un adecuado desarrollo radicular del cultivo, modificando la actividad metabólica de la raíz, así mismo modificando el entorno edáfico de diferentes formas, tales como una mejor tasa de absorción de iones y agua, exudación de iones, metabolitos o proteínas que inducen cambios en las propiedades químicas de la solución del suelo (Tester y Leigh, 2001). El aumento del crecimiento de las plantas con el sistema de sub-irrigación puede ser el

resultado de la mejora de la nutrición mineral por el riego uniforme y la recirculación del mismo (Pinto *et al.*, 2008).

Con el sistema de subirrigación se han observado diferencias iniciales en el rendimiento, los culés se atribuyen a la mayor tasa de crecimiento y altura de las plantas bajo el sistema de subirrigación desde la etapa de floración, debido probablemente a que el sustrato con la solución nutritiva fue más uniforme y tuvo mayor volumen que en el sistema de riego superficial, estimulando la actividad de la raíz. Esto indica que en el sistema de subirrigación el acceso a la raíz de dichos nutrientes, que tiene lugar por flujo de masas, se favoreció por el mayor volumen de humedecimiento de la solución nutritiva (Zuñiga *et al.*, 2004).

En Europa, la sub-irrigación se ha utilizado durante muchos años para ayudar a resolver problemas con los métodos tradicionales de riego de efecto invernadero. Sin embargo, en los EE. UU. no se ha adoptado el sistema de cero lixiviación o subirrigación tan extensamente, debido a que hay poca información disponible a los productores acerca de subirrigación (Haley *et al.*, 2004). La investigación sobre las tasas de fertilización para las plantas cultivadas en invernadero bajo el sistema de subirrigación es limitado. La mayoría de los estudios demuestran que la concentración de fertilizante en subirrigación se puede reducir a 50 % de la cantidad que se recomienda (Haley *et al.*, 2004).

4.- Procedimiento Experimental

4.1 Sitio experimental

El presente estudio se llevará a cabo en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; ubicada a 25° 22' latitud Norte y 101° 22' longitud Oeste, con altura de 1742msnm. El clima es seco y templado, con lluvias en verano, presentando precipitación promedio anual de aproximadamente 460.7mm, temperatura que oscilan entre 10.4 y -10.4°C, con una media anual de 17.3° C.

4.2 Material vegetal

Las semillas que se utilizarán en el experimento serán de tomate Climstar, comercializadas por la compañía Syngenta. Es una variedad de crecimiento indeterminado ideal para invernadero y producción de fruto con calidad de de exportación.

4.3 Desarrollo del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación se realizará en dos etapas, las cuales se describirán a continuación:

4.4. Etapa 1

En la primera etapa de la investigación se determinará la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes entre un sistema de subirrigación y un sistema de riego por goteo utilizando tensiómetros para determinar el momento oportuno de riego. Se emplearán diferentes concentraciones de la solución nutritiva a lo largo del desarrollo del cultivo modificando la solución nutritiva universal Steiner (1961), esto para determinar la respuesta del cultivo.

4.4.1 Trasplante

El trasplante se realizará a los 25 días después de la siembra; se utilizarán bolsas negras de polietileno de una capacidad de 10 litros, como sustrato se utilizará una mezcla de sphagnum peat (40%), fibra de coco (40%) y perlita (20%).

4.4.2 Sistema de Riego y Fertilización

El sistema de riego que se utilizará para el experimento es un sistema de subirrigación con recirculación de la solución nutritiva, en el cual se aplicará una lámina de riego de 15 cm a cada tratamiento. Para el tratamiento testigo se utilizará un riego superficial (goteo), donde se estará regando en función de las necesidades hídricas de las plantas. Para ambos tratamientos, subirrigación y riego por goteo, se aplicará el riego de acuerdo con los valores basados en las lecturas de los tensiómetros o bien en base al peso de la maceta (sin tensiómetro). La nutrición de las plantas se utilizará una solución nutritiva balanceada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Solución nutritiva empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de subirrigación y riego superficial. Con una concentración de la solución nutritiva de 120%, 70% y 50 % en las etapas de crecimiento vegetativo y fructificación

	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}
meq L ⁻¹	14	2	8	11	9	4

El sistema de subirrigación se establecerá en bandejas herméticas de plástico rígido (con dimensiones de 68 cm x 39 cm x 16 cm), sobre las cuales se colocarán los contenedores. Se le administrará la solución nutritiva en una lámina de riego de 15 cm por un tiempo de 30 minutos y se realizará el drenado. Esto se realizará para el tratamiento que no cuentan con tensiómetros y para los tratamientos con tensiómetro el tiempo de riego y momento del drenado dependerá de la lectura del mismo; cuando el tensiómetro indique 0 centibares se dará por finalizado el riego y se dará inicio al drenado de la solución no retenida por el sustrato; en cambio, el momento de la aplicación de riego se determinará cuando el tensiómetro marque 10 centibares. Después del riego, se drenará la solución nutritiva y se regresará al tanque de almacenamiento para luego utilizarlo en el siguiente riego, repitiéndose el ciclo cuando se requiera. El tamaño del tanque de almacenamiento dependerá de los contenedores y el volumen de solución nutritiva que se ocupará, el cual estará conectado a los contenedores por líneas de suministro y drenaje con los que se logrará la recirculación del agua en cada riego, esto se logrará con ayuda de una bomba hidráulica cuya capacidad se adecuará a la cantidad de agua que se requiere suministrar o drenar. En la línea de drenado se contará con un filtro para evitar la entrada de contaminantes al tanque de almacenamiento de la solución.

Para el sistema de riego por goteo se dispondrá también de bandejas herméticas de plástico rígido (con dimensiones de 68 cm x 39 cm x 16 cm), sobre las cuales se colocarán los contenedores. Se le administrará la solución nutritiva cuando el tensiómetro marque los 10 centibares y el tiempo de riego y cerrado de la válvula dependerá del tensiómetro cuando marque 0 centibares y para los tratamientos que no cuentan con tensiómetros el tiempo de riego será hasta el momento que se observe el drenado de la solución nutritiva. Para suministrar la solución nutritiva a los contenedores se realizará con ayuda de una bomba hidráulica conectados mediante líneas de suministro de la solución.

4.4.3 Tratamientos

Se evaluará cuatro tratamientos, siendo el T1=sistema de riego por subirrigación con tensiómetro, T2=subirrigación sin tensiómetro (determinado visualmente y por peso), T3= sistema de riego por goteo con tensiómetro y T4= riego por goteo sin tensiómetro (determinado visualmente y por peso). Para los tratamientos de subirrigación, se someterán a inmersión de la solución nutritiva a una lámina de 15 cm. El tiempo de inmersión será de 30 minutos; para el tratamiento T1 dependerá de las lecturas que muestren los tensiómetros (lecturas de 10 centibar se aplicará el riego y a 0 centibar se drena la solución nutritiva). Para el tratamiento T3 el tiempo dependerá también de las lecturas de los tensiómetros que anteriormente se mencionó y para el T4 el tiempo será hasta el momento que se observe el drenado de la solución nutritiva. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos, láminas y tiempo de inmersión de la solución nutritiva empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de subirrigación y riego superficial.

Tratamiento	Láminas de agua (cm)	Tiempo de inmersión (min)
T1= Subirrigación con tensiómetro = S c/t T2= Subirrigación sin tensiómetro = S s/t T3= Goteo con tensiómetro = G c/t T4= Goteo sin tensiómetro = G s/t	A todos los tratamientos de subirrigación se les aplicara una lámina de riego de 15 cm. Y para los tratamientos de riego por goteo dependerá del momento en que se observe el drenado de la solución.	Tiempo de inmersión para el tratamiento de subirrigación T2 será de 30 minutos y para T1 el tiempo dependerá de la lectura que marquen los tensiómetros (0 Cbar a 10 Cbar). Para el tratamiento de riego por goteo T3 el tiempo dependerá también de las lecturas de los tensiómetros y para el T4 el tiempo será hasta el momento que se observe el drenado de la solución nutritiva.

4.4.4 Variables por evaluar

Peso de frutos del racimo: Después de cada cosecha se tomará el peso del racimo, al término del ciclo del cultivo se sumará el peso de todos los racimos obtenidos.

Rendimiento (Kg/ planta): Al término del ciclo del cultivo se sumará el peso de todos los racimos obtenidos, para calcular el rendimiento total por planta de cada tratamiento.

Firmeza: Se determinará con un penetrometro McCormick®FT 327 utilizando una puntilla de 8 8mm.

Altura de la planta: Esta variable se evaluará al final, cuando se haya cosechado el último racimo, se medirá con una cinta desde la base hasta la parte apical.

Peso fresco y seco de hojas: Para esta variable se recolectarán todas las hojas eliminadas en cada poda, y se sumará al final del cultivo, primero se registrará el peso fresco, una vez determinado el peso fresco, se depositarán las hojas de cada planta en bolsas de papel estraza perforada, y se llevarán a la estufa de secado a una temperatura de 60 °C por 72 horas, para posteriormente determinar el peso seco de cada muestra.

Peso fresco y seco de tallo: Se cortará el tallo a partir del cuello radicular para determinar el peso fresco

de cada planta por repetición, posteriormente se depositarán los tallos en bolsas de papel estraza perforadas, y se llevará a la estufa de secado a una a una temperatura de 60 °C por 72 horas, para posteriormente determinar el peso seco de cada muestra.

Peso fresco y seco radicular: Se sacará el cepellón de la bolsa para lavar la raíz con agua para quitar el sustrato adherido a la raíz, para posteriormente se determinará el peso fresco de la raíz de cada planta, en seguida se depositará la raíz en una bolsa papel estraza perforadas, y se llevará a la estufa de secado a una a una temperatura de 60 °C por 72 horas, para posteriormente determinar el peso seco de cada muestra.

Diámetro del tallo: Se evaluará al final del ciclo, midiendo con un vernier digital el grosor que obtuvo la planta en cada tratamiento.

pH y CE del sustrato: Al final del experimento se medirán estas variables, se tomará lectura de la parte media de la maceta

Análisis mineral de raíz, tallo, hoja y fruto (N, P, K, Ca, Mg y S): Para nitrógeno mediante el procedimiento de Micro-Kjeldahl (Bremner, 1996). P, K, Ca, Mg y S se realizará con espectrómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, model Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour *et al.*, 1996).

Eficiencia en uso de agua: Se medirá el volumen de agua en cada riego y al término del ciclo del cultivo se sumará el volumen total de agua gastado, para después medir el rendimiento de cada tratamiento entre el volumen de agua gastado.

Eficiencia en uso de Fertilizantes: Se medirá la cantidad de nutrientes aplicados a cada tratamiento en cada riego y al término del ciclo del cultivo se sumará la cantidad de nutrientes totales aplicados, para después medir el rendimiento de cada tratamiento entre la cantidad de nutrientes aplicados.

4.4.4 Diseño del Experimento

El experimento se distribuirá en un diseño de bloques completos al azar, con seis repeticiones por tratamiento y dos plantas por repetición. El análisis de datos se realizará mediante un análisis de varianza y comparación de medias será de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico R versión 3.1.4.

4.5 Etapa II

En la segunda etapa se evaluará la aplicación paulatina de la lámina de riego en un sistema de subirrigación. Esto consistirá en aplicar la solución nutritiva paulatinamente conforme esta es absorbida por el sustrato y movilizada por capilaridad hacia la parte superior del cepellón, teniendo tratamientos de 15 cm, 7.5 cm, 5 cm y 3 cm, esto con el fin de verificar los efectos en el desarrollo y crecimiento de las plantas del cultivo tomate (Figura 1). Se analizarán las mismas variables de la primera etapa, utilizando el mismo diseño experimental.

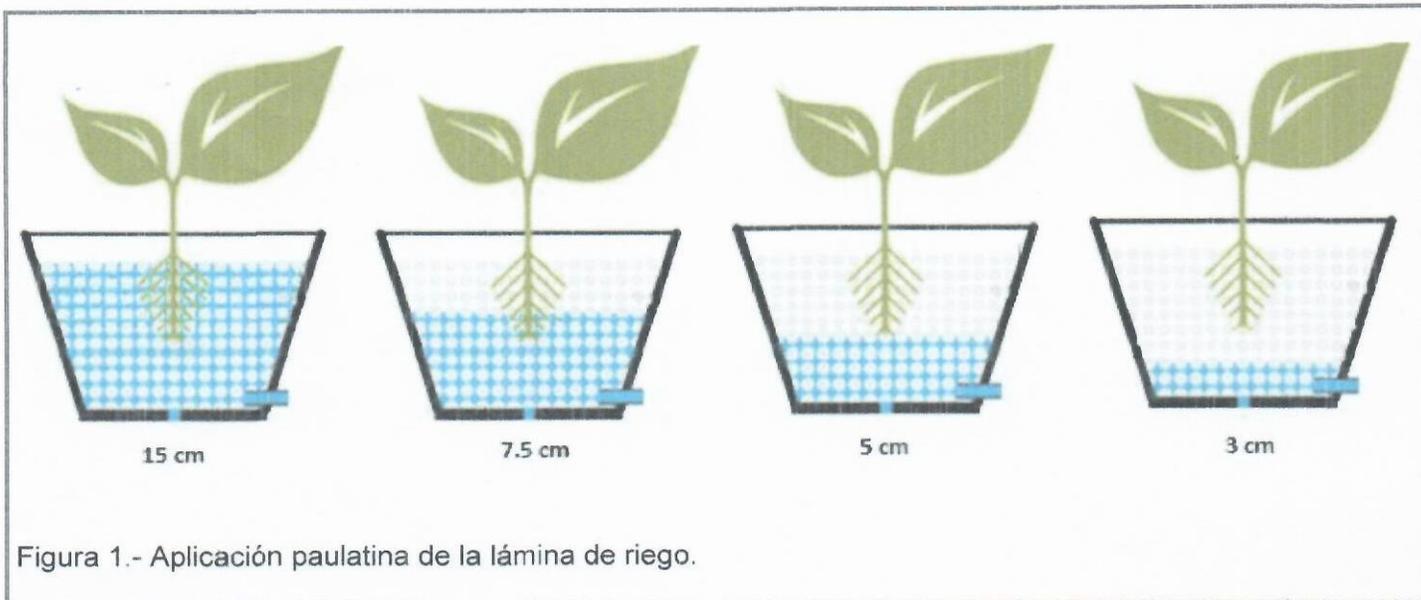


Figura 1.- Aplicación paulatina de la lámina de riego.

Cronograma de Actividades.

Actividad a realizar (2017)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Etapa I								x	x	x	x	x
Análisis de datos											x	x
Revisión de literatura								x	x	x	x	x
Actividad a realizar (2018)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Etapa II				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Análisis de datos	x	x							x	x	x	x
Revisión de literatura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Elaboración de artículo									x	x	x	x
Actividad a realizar (2019)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Estancia	x	x	x	x								
Revisión de literatura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Análisis de datos						x	x	x				
Elaboración de artículo								x	x	x	x	x
Actividad a realizar (2020)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Escritura de tesis	x	x	x	x	x							
Presentación de examen de grado						x						

5.-Productos Esperados

- Publicación de dos artículos científicos.
- Presentar avances del trabajo de investigación en congresos nacionales.
- Obtener información con aplicación en la producción de hortalizas en sistemas controlados.
- Terminar la investigación en los términos establecidos por la subdirección de posgrado.

6.-Literatura Citada

Ahmed, A. K.; Cresswell, G. C.; Haigh, A. M. 2000. Comparison of sub-irrigation and overhead irrigation of tomato and lettuce seedlings. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75:350-354.

- Buttaro, D., Santamaria, P., Signore, A., Cantore, V., Boari, F., Montesano, F. F., & Parente, A. (2015). Irrigation management of greenhouse tomato and cucumber using tensiometer: effects on yield, quality and water use. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 440-444.
- Causapé, J.; Isidoro, D.; Quílez, D. & Aragüés, R. 2002. Water and nitrogen management in the irrigation district n° V of Bardenas (Zaragoza, Spain) and environmental impact on water resources. *In: F.J. Villalobos & L.*
- Dumroese, R. K.; Dumroese, D. S.; Salifu, K. F.; Jacobs, D. F. 2005. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Canadian Journal of Forest Research* 35:2961–2967.
- Dumroese, R. K.; Pinto, J. R.; Jacobs, D. F.; Davis, A. S.; Horiuchi, B. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal* 7(3):253–261.
- Durdane, Y.; Naif, G.; Yusuf, Y.; Mine, A. and Perihan, C. 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Scientific Research and Essays* 6(17):3623-3628. Available online at <http://www.academicjournals.org/SRE>. (consultado mayo, 2013).
- Ersin, P. Halil, D. and Fedai, E. 2010. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey. *Sci. Agric.* 67(4):424-429.
- García-Santiago, J. C., Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Pérez, A., Cartmill, A. D., & Valenzuela-García, J. (2017). Depth and Duration of Flooding Affect Growth, Yield, and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience*, 52(2), 295-300.
- Haley, T. B. & Reed, D. W. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating sub-irrigation for selected greenhouse crops. *HortScience*, 39(6), 1441-1444.
- Hansen, B., H. F. Alroe, and E. S. Kristensen. 2001. Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agric. Ecosyst. Environ.* 83: 11-26.
- 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.
- Juntunen, M. L.; Hammar, T. & Risto, R. 2002. Ground water quality: leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. *Journal of Environmental Quality* 31:1868–1874.
- Kent, M. W. and Reed, D. W. 1996. Nitrogen nutrition of new Guinea Impatiens “Barbados” and *Spathiphyllum* “Petite” in a subirrigation system. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121(5):816-819.
- Klock-Moore, K. A. and Broschat, T. K. 2001. Effect of four growing substrates on growth of ornamental plants in two irrigation system. *Horttechnology*: 11(3): 456-460.
- Landis, T. D. & Wilkinson, K. 2004. Sub-irrigation: a better option for broad-leaved container nursery crops? *In: Dumroese RK, Landis TD, editors. Forest Nursery Notes, Summer 2004. Portland (OR): USDA Forest Service, Pacific Northwest Region, State and Private Forestry, Cooperative Programs. R6-CP-TP-07-04. Pp. 14–17.*
- Morvant, J. K.; Dole, J. M. and Allen, E. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnol.* 7 (2):156-160.
- Papadopoulos, T. 2004. “Manejo del ambiente y los factores nutricionales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos”. *Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2004. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chih., México.*
- Peña-Cabriales, J. J.; Grajeda-Cabrera, O. A. y Vera-Núñez, J. A. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra Latinoamericana* 20:51-56. End of the English versión 818 Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol.5 Núm.5 30 de junio - 13 de agosto, 2014
- Pinto, J. R.; Chandler, R. A., & Dumroese, R. K. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience*, 43(3), 897-901.
- Pratt, P. F. 1984. Nitrate use and nitrate leaching in irrigated agriculture. *In: R.D. Hauck (ed.) Nitrogen in crop*

production: 319-333. ASA, CSSA, and SSSA. Madison.

Reed, D. W. 1996. *A grower's guide to water, media, and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing.

Rodríguez, D. N.; Cano, R. P.; Favela, Ch. E.; Palomino, G. A. y De Paúl, A. V. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(2):185-192.

Savvas, D. 2003. Hydroponics: a modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Food Agric. Environ.* 1: 80-86.

Sogbedji, J. M.; Van, H. M.; Yang, C. L.; Geohring, L. D. & Magdoff, F. R. 2000. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *J. Environ. Qual.* 29: 1813-1820.

Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15(2):134-154.

Tester, M. and Leigh, R. A. 2001. Partitioning of nutrient transport processes in roots. *J. Exp. Bot.* 52:445-457.

Van Lersel, M. W., & Kang, J. G. (2002). Nutrient solution concentration affects whole-plant CO₂ exchange and growth of subirrigated pansy. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3), 423-429.

Velasco, V. J.; Ferrera, C. R. y Almaraz, J. J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum* brasilense en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.

Villarreal, R. M.; Hernández, V. S.; Sánchez, P. P.; García, E. R.; Osuna, E. T.; Parra, T. S. y Armenta, B. A. D. 2006. Efecto de la cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana*. 24(4):549-556.

Whitcher, C. L.; Kent, M. W., & Reed, D. W. 2005. Phosphorus concentration affects New Guinea impatiens and vinca in recirculating subirrigation. *HortScience*, 40(7), 2047-2051.

Zúñiga, E. L.; Martínez, H. J.; Martínez G. A. & Baca, C. G. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia*, 38(2), 207-218.