

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Instituto de Ciencias Agrícolas



**MANEJO DE LA PODA SOBRE EL RENDIMIENTO Y EL USO
EFICIENTE DE AGUA DEL CULTIVO DE CHILE HIDROPÓNICO**

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

VICTOR ARTURO MARTÍNEZ RANGEL

**DIRECTOR
DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ**

Manejo de la poda sobre el rendimiento y el uso eficiente de agua en el cultivo de
chile hidropónico

TESIS

Sometida a la consideración del programa de Ingeniero Agrónomo

del

Instituto de Ciencias Agrícolas

por

Víctor Arturo Martínez Rangel

Mexicali Baja California

Abril del 2015

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR _____

DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ

ASESOR _____

DR. LUIS FERNANDO ESCOBOZA GARCÍA

ASESOR _____

DRA. ISABEL ESCOBOSA GARCÍA

ASESOR _____

M.C. CARLOS CECEÑA DURAN

AGRADECIMIENTOS

- Este trabajo de tesis se lo agradezco primeramente a dios por darme la dicha seguir viviendo, fuerza en todo momento y por darme la dicha de contar siempre con el amor de mi familia en todo momento en las buenas y en las malas, por estar siempre cuando los necesitaba.
- A mi papa por su apoyo en darme una carrera para mi futuro, en darme herramienta para realizarme como ingeniero agrónomo, a mi madre porque anqué no este físicamente yo sé que siempre esta ella conmigo.
- A la máxima casa de estudios Universidad Autónoma de Baja California la cual me ayudo realización como ingeniero agrónomo.
- Al Instituto de Ciencias Agrícolas el cual aporto al desarrollo de la tesis con sus instalaciones e invernadero.
- Al cuerpo académico del Instituto de Ciencias Agrícolas a los maestros Dr. Fidel Núñez Ramírez, M.C. Carlós Ceceña Duran y Dra. Mónica Avilés por su apoyo en laboral y cordial en la realización de la tesis.
- A los Técnicos del Laboratorio de Agua y Suelo Horacio Rivera y Ángel Alcaraz por entera disposición ayuda y consejo la tesis.
- A novia Greisy Sánchez Luna por apoyarme en todo momento y estar conmigo en este proyecto laboral.

DEDICATORIA

Se lo dedico primeramente adiós ya que sin el yo no hubiera podido realizar este proyecto, por sus bendiciones, por permitirme nunca vencerme y por darme la dicha de permitirme elaborar este pequeño pasó para mí.

A mi padre por motivarme en seguir estudiando, por darme motivación, por brindarme su cariño, por ser una de las persona más fuertes y apoyarme en mi carrera profesional y contar con él para todo momento.

A mi familia por los que están y estuvieron conmigo en los momentos difíciles, ambiciones, sueños e inquietudes, por los que me ayudaron y me apoyaron cuando los necesite, gracias a esa persona que están hoy conmigo y las que se fueron hace tiempo y hace poco gracias por su sabiduría, por mostrarme otra forma de ver la vida y seguir adelante saben que siempre los llevare en un espacio muy grande dentro de mi corazón.

A las amistades mi más sincero agradecimiento por su apoyo, comprensión y confianza lo que ha hecho que hoy vea realizada una de mis principales metas.

A mi pareja sentimental por su gran cariño, pero sobre todo por ser más que una novia, que ha brindado su ayuda en todo momento Greisy Sánchez luna.

Dios los bendiga siempre

Con cariño...

Víctor Arturo Martínez Rangel

ÍNDICE

INDICE DE CUADROS	7
INDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo particular	13
2.2 Objetivos específicos	13
III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	14
3.1 Hipótesis nula	14
3.2 Hipótesis alterna	14
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	15
4.1. Origen	15
4.2. Descripción botánica	16
4.3. Fertirrigación	17
4.4. Importancia de la producción de chile en México	18
4.5. Necesidades de riego en los cultivos	19
4.5.1. Proceso de evapotranspiración	19
4.5.2. Factores que afectan la evapotranspiración	22
4.5.3. Relación evapotranspiración y radiación solar	25
4.5.4. Evapotranspiración del cultivo de chile	25
V. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1. Ubicación del estudio	27

	6
5.2. Sustrato y contenedor utilizado	27
5.3. Siembra y trasplante.	27
5.4. Manejo del riego y solución nutritiva.	28
5.5. Logística del experimento	30
5.6 Control de plagas y enfermedades	31
5.7 Rendimiento del cultivo	31
5.8 Relación radiación versus agua aplicada el cultivo	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	33
6.1. Radiación solar durante el experimento	33
6.2. Rendimiento del cultivo	34
6.3 Evapotranspiración del cultivo	36
6.4. Relación riego versus radiación	37
VII. CONCLUSIONES	41
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	42

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes y cantidades de fertilizantes con macronutrientes utilizadas en la preparación de la solución nutritiva.	29
Cuadro 2. Fuentes y cantidades de fertilizantes con micronutrientes utilizados en la preparación de la solución nutritiva.	29
Cuadro 3. Composición química del enraizador Pro-root®	30
Cuadro 4. Biomasa total y número de hojas del cultivo de chile bajo dos sistemas de poda.	35
Cuadro 5. Rendimiento, lámina de riego y uso eficiente del agua del cultivo de chile bajo dos sistemas de poda.	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tratamientos.	31
Figura 2. Radiación solar semanal recibida durante en experimento del cultivo de chile hidropónico.	33
Figura 3. Agua aplicada y evapotranspiración en el cultivo de chile hidropónico bajo dos sistemas de poda.	37
Figura 4. Relación entre la evapotranspiración en el cultivo de chile de árbol bajo dos sistemas de poda y la cantidad de radiación solar recibida.	38
Figura 5. Relación entre la evapotranspiración estimada para plantas podadas a cuatro tallos y plantas a crecimiento libre en el cultivo de chile de árbol.	39

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar el manejo de la poda sobre el rendimiento y el uso eficiente de agua del cultivo de chile hidropónico, durante el ciclo agrícola de primavera a verano del 2013, en el Campo Agrícola Experimental ICA-UABC del Valle de Mexicali. Se estudió la variedad de chile de árbol "Criollo", la cual se trasplantó en 144 macetas de plástico (2 plántulas por maceta) para obtener una densidad de 2 plantas m^2 . Se empleó la solución nutritiva con 175, 39, 235, 150 y 28 ppm de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio respectivamente. Durante el experimento se midió en forma semanal la radiación solar la cual se relacionó con la cantidad de agua aplicada al cultivo. Al final del estudio se midió la biomasa total y del fruto, número de hojas, número de frutos, agua aplicada, evapotranspiración y uso eficiente del agua, la altura. En el manejo de la poda se tomaron 6 macetas con dos plantas cada maceta para la poda a cuatro tallos e igual manera a crecimiento libre en cinco bloques. Al final del experimento, se determinó que en biomasa no hubo diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos evaluados pero si en el crecimiento de hojas ($P<0.05$) ya que la de crecimiento libre obtuvo mayor número de hojas. En cuanto al uso eficiente del agua no se obtuvo diferencia significativa ($P>0.05$) ya que los valores obtenidos fueron iguales. Referente a la evapotranspiración del cultivo, la diferencia fue mínima, ya que se encontró que las plantas que se podaron a cuatro tallos, al ser podadas necesitan más agua que las de crecimiento libre lo cual pudo haberse debido al sustrato y su baja retención de humedad. También se obtuvo

que a medida que la radiación solar se incrementó la demanda de agua por el cultivo en ambos tipos de poda.

I. INTRODUCCIÓN

Del total de la producción hortícola en México, la mayor cantidad de hectáreas de siembra pertenecen al cultivo de chile en sus diferentes variedades. En este sentido, los diversos tipos y diversas formas de consumo hacen de México el primer productor de chile a nivel mundial. En promedio de 2000 a 2009 se registró un consumo per cápita de 15 kilogramos de chile anual. El cultivo del chile se ha extendido a todo el territorio nacional, ubicándose las regiones desde altitudes a nivel del mar hasta aquellas que se cultivan a una altura de 2500 msnm, sin embargo, ha sido esta gran diversidad de variedades, regiones, productores, etc., lo que ha imposibilitado que se pueda contar hoy en día, con estadística real por variedad de chile, no obstante el total de la superficie de este cultivo supera las 148,759 hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2009).

Por lo anterior, algunos aspectos sobre el manejo del cultivo difieren entre los lugares donde se produce este cultivo. Los requerimientos hídricos son de los más importantes para obtener altos rendimientos, calidad de fruta (Sezen et al., 2006) y larga vida de anaquel (Kissinger et al., 2005). Los métodos de riego empleados para producir chile son variables y difieren de acuerdo al sistema de producción empleado. Por ejemplo, se utiliza el riego rodado en surcos, riego por goteo, riego por aspersión y riego localizado hidropónico. La utilización óptima del agua por el cultivo comúnmente llamada uso eficiente de riego varía con el método empleado. Los mayormente efectivos son los de riego por goteo e hidroponía. En este último la aplicación del recurso agua puede ser de acuerdo a el drenaje del sustrato el

cual sostiene al cultivo o de acuerdo a la radiación recibida por el mismo (Jovicich et al., 2007).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo particular

Identificar la demanda de agua y rendimiento del cultivo de chile de árbol en hidroponía en respuesta al manejo de poda crecido bajo condiciones del Valle de Mexicali, Baja California.

2.2 Objetivos específicos

a). Identificar la evapotranspiración del cultivo de chile de árbol hidropónico bajo dos tipos de poda.

b). Identificar la relación entre la evapotranspiración y la radiación solar recibida del cultivo de chile de árbol hidropónico bajo dos tipos de poda.

III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis nula

El manejo de poda no afecta el rendimiento y evapotranspiración en el cultivo de chile de árbol crecido en hidroponía.

3.2 Hipótesis alterna

El manejo de poda afecta al menos una de las variables de rendimiento y evapotranspiración en el cultivo de chile de árbol en hidroponía.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen

Todas las especies del género *Capsicum*, a excepción del *C. anomalum*, son originarias de América. La distribución del género se extendió probablemente desde el borde más meridional de los E.U.A. a la zona templada cálida del sur de Sud América (Heiser, 1976). El grupo de *C. annuum* de flores blancas, asociado con hábitats más húmedos, parece haber sido distribuido originalmente a través de tierras bajas tropicales de América del sur y central.

McLeod *et al.* (1982) proponen que *C. chacoense* o un ancestro suyo dio lugar tanto al grupo de flores blancas como al grupo de flores púrpura. El grupo de flores blancas habría migrado fuera del área nuclear en Bolivia sud-central a través del río Mizque, que desemboca en el Amazonas. El ancestro que dio origen al grupo de flores blancas dio lugar a *C. baccatum* en el área relativamente seca del sur de Bolivia; la forma silvestre seguiría migrando por el sistema fluvial y en la húmeda cuenca amazónica daría lugar al progenitor silvestre del complejo *annuum*. El complejo *annuum* fue domesticado al menos dos veces, un tipo *C. annuum* en México y un tipo *C. chinense* en la amazonia (Pickersgill, 1989).

En Mesoamérica, y concretamente en México, el inicio de la domesticación de plantas está registrado arqueológicamente en las cuevas de Ocampo de la sierra de Tamaulipas (fase Infiernillo, 7000-5000 a.C.), yacimientos del valle de Tehuacán en Puebla (fase El Riego, 7000-5000 a.C.) y en la cueva de Güila Naquitz de Oaxaca (niveles inferiores fechados entre 8700-6000 a.C.). Se

constata aquí el cultivo de calabaza, chile y amaranto. Los restos más antiguos del chile se han encontrado en Tehuacán, fechados entre 6500-5500 a.C.

Los chiles dulces también fueron conocidos precozmente. Fernández de Oviedo (1535), en el capítulo VII de su libro I dice “Algún género hay de Ají que se puede comer crudo, que no quema” (Núñez *et al.*, 1996).

4.2. Descripción botánica

La planta del chile es herbácea y se considera de ciclo anual, aunque puede rebrotar y volver a producir en su segundo año si se le hace una poda de rejuvenecimiento antes de que finalice su desarrollo vegetativo (Serrano, 1996).

Su aspecto es lampiño de tallos erguidos y de crecimiento limitado, con altura y forma de desarrollo muy variables en función del cultivar y de las condiciones de cultivo. Las hojas enteras o bien con un largo peciolo o bien casi sésiles, tienen una forma entre lanceolada y ovada, con el borde entero muy ligeramente situado en la base. Las flores suelen nacer solitarias en cada nudo, con el pedúnculo torcido hacia abajo en la antesis. El fruto es una baya hueca, con la superficie lisa y brillante, de color y forma muy variables y característicos del cultivar. En el interior de la baya discurren 2 o 4 tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto, uniéndose solo en la base sobre la placenta. En esta región es donde se encuentran insertadas las semillas, aplastadas, normalmente de 4 a 5 mm de diámetro, de color blanco amarillento (Núñez *et al.*, 1996).

4.3. Fertirrigación

La fertirrigación es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la contaminación ambiental (Hagin *et al.*, 2002), al incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes.

En la fertirrigación, el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados. La incorporación de los fertilizantes en el sistema de riego demanda los siguientes requerimientos básicos:

A) Equipo

- ◉ En sistemas de riego presurizados, la presión de inyección de la solución fertilizante debe ser mayor que la presión interna.
- ◉ Un filtro que prevenga el taponamiento de los emisores por partículas sólidas que puedan llegar al emisor.
- ◉ Una válvula que prevenga el reflujo.

B) Fertilizantes.

- ◉ Solubilidad de los fertilizantes en el agua de riego, que contiene constituyentes químicos que pueden interactuar con los fertilizantes disueltos, provocando efectos indeseados.

- ◉ El grado de acidez de los fertilizantes en la solución fertilizante debe considerarse en relación con su corrosividad a los componentes del sistema de riego.

El objetivo principal de la fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrientes y la energía, y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

4.4. Importancia de la producción de chile en México

Del total de la producción hortícola en México, la mayor cantidad de hectáreas de siembra pertenecen al cultivo de chile en sus diferentes variedades. En este sentido, los diversos tipos y diversas formas de consumo hacen de México el primer productor de chile a nivel mundial. En México el consumo de chiles por persona es mayor al consumo de arroz y de papa. En promedio de 2000 a 2009 se registró un consumo per cápita de 15 kilogramos de chile anual. Esto representa un incremento del 20% desde 1980 a la fecha. (SIAP-SAGARPA, 2009)

El cultivo del chile se ha extendido a todo el territorio nacional, ubicándose las regiones desde altitudes a nivel del mar hasta aquellas que se cultivan a una altura de 2500 msnm, sin embargo, ha sido esta gran diversidad de variedades, regiones, productores, etc., lo que ha imposibilitado que se pueda contar hoy en día, con estadística real por variedad de chile, no obstante el total de la superficie de este cultivo supera las 148,759 hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2009).

Entre los principales estados productores de Chile en el orden de importancia son Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Baja California Norte; con la siguiente superficie cosechada, 4 705.05 ha, 105 ha, 77.5 ha y 47 ha, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2009)

4.5. Necesidades de riego en los cultivos

4.5.1. *Proceso de evapotranspiración*

Como se sabe la evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación, y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Duarte, 2003).

Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse

completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas.

Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo. (Duarte, 2003)

Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (FAO, 1990).

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.

Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración. (FAO, 1990).

Evapotranspiración (ET)

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (FAO, 1990).

4.5.2. Factores que afectan la evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0). La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar. (FAO, 1990).

Factores de cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con características adecuadas tanto de manejo como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas (Duarte, 2003).

Manejo y condiciones ambientales

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo. El efecto del contenido en agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo.

Por otra parte, demasiada agua en el suelo dará lugar a la saturación de este lo cual puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración.

Cuando se evalúa la tasa de ET, se debe considerar adicionalmente la gama de prácticas locales de manejo que actúan sobre los factores climáticos y de cultivo afectando el proceso de ET. Las prácticas del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima, afectar las características del cultivo o afectar la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo. Una barrera rompe-vientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera. El efecto puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo. La evaporación del suelo de un huerto con árboles jóvenes, en donde los árboles están ampliamente espaciados, puede ser reducida usando un sistema de riego por goteo bien diseñado. Los goteros aplican el agua directamente al suelo cerca de los árboles, de modo en que dejan la mayor parte de la superficie del suelo seca, limitando las pérdidas por evaporación. El uso de coberturas, especialmente cuando el cultivo es pequeño, es otra manera de reducir substancialmente la evaporación del suelo.

Los antitranspirantes, tales como estimulantes del cierre de los estomas o los materiales que favorecen el reflejo del suelo, reducen las pérdidas de agua del cultivo y por lo tanto la tasa de transpiración. Cuando las condiciones de campo difieran de las condiciones estándar, son necesarios factores de corrección para ajustar ET_c (ET_c aj). Estos factores de ajuste reflejan el efecto del ambiente y del manejo cultural de las condiciones de campo (FAO, 1990).

4.5.3. Relación evapotranspiración y radiación solar

La evapotranspiración es la combinación de los fenómenos de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. La relación entre la evapo-traspiración de los cultivos estriba en que se requiere cierta cantidad de energía para evaporar cierta cantidad de agua. Nederhoff, (2007) menciona que por cada milímetro de agua evaporada se requieren 2.45 kilo joules de energía, es decir que un kilo joule de radiación puede evaporar 0.41 ml de agua (Nederhoff, 2007). La radiación recibida por el cultivo cambia a través del tiempo, lo mismo que la evapotranspiración cambia debido las etapas de crecimiento del mismo cultivo, por lo tanto los requerimientos de agua son variables.

4.5.4. Evapotranspiración del cultivo de chile

La evapotranspiración del cultivo de chile puede ser estimada de varias formas. Para el caso de plantas cultivadas en condiciones hidropónicas, los requerimientos hídricos pueden ser estimados mediante el cálculo del porcentaje de drenado. La tasa de evapotranspiración constituye un 25-30% del agua disponible calculada por diferencia entre los contenidos a capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Pardo 1995). Algunas veces estas cantidades dependerán fundamentalmente de la textura del suelo o las características físico-químicas del sustrato.

Resulta interesante mantener el cultivo sin alcanzar estos límites, especialmente durante la floración y el cuajado de frutos, los cuales son periodos en los que el pimiento es extremadamente sensible a una deficiencia hídrica.

En fertirrigación en invernadero, el riego debe suplir las pérdidas por evapotranspiración, más el lavado de sales en caso de sales al utilizar aguas y/o suelos salinos (drenajes). La gestión del clima en el interior del invernadero es determinante para el control del nivel óptimo de transpiración (perdida) y ajustar de este modo los aportes hídricos, por lo que el uso adecuado del sombreado, ventilación, humidificación da una mayor eficiencia en el consumo de agua y elementos minerales (Alarcón, 2000).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC ubicado en el Ejido Nuevo León. Se utilizó un invernadero de dos caídas con tecnología baja, el cual contaba con encalado en las paredes de los costados, ventilación pasiva, calentón y un sistema riego por espaguetti, el cual constaba de dos goteros por maceta.

5.2. Sustrato y contenedor utilizado

Se utilizó arena “lavada” proveniente de lomas de la periferia de la Ciudad de Mexicali donde el cual presentó una textura fina, conteniendo hasta un 71% de partículas menores a 0.50 mm de diámetro. Una retención de humedad cercana al 5% y con no cambios drásticos en el pH y CE. Con granulometría entre 1.71 y 0.5 mm, densidad aparente de 1.16 g cm³, 37% de porosidad total, 4.7% de capacidad de aireación y 90% de agua fácilmente disponible (Núñez-Ramírez, 2012). El sustrato fue depositado en macetas de 9500 cm³ las cuales contenían cuatro hoyos en la parte inferior con el fin de permitir el drenaje.

5.3. Siembra y trasplante.

Se sembró la Variedad de chile de árbol “Criollo” en charolas de poliestireno el día 22 de noviembre del 2012. Justo a las 8 semanas después, se realizó el trasplante (23 de enero del 2013), en 144 macetas de plástico (2 plántulas por maceta) para obtener una densidad de 2 plantas m².

5.4. Manejo del riego y solución nutritiva.

El riego se realizó por espaguete, el cual tenía un gasto por gotero de 200 mL por minuto. Los riegos se realizaron dependiendo de la exigencia de la planta y las condiciones ambientales presentes durante el experimento. Se tomó en consideración aplicaciones de agua que ayudaran a obtener drenaje suficiente hasta completar el 30% del agua aplicada (Saw et al., 2004).

El pH de la solución se procuró mantener en el orden de 5.5 con un máximo 7.5, mientras que la conductividad eléctrica (CE) entre las 2 y 2.5 dS/m (Rorabaugh, 2013).

Se empleó la solución nutritiva recomendada por Rorabaugh (2013), la cual indica que se debe de incluir 175, 39, 235, 150 y 28 ppm de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio respectivamente. Los fertilizantes empleados para realizar la solución nutritiva fueron: nitrato de calcio, nitrato de potasio, ácido fosfórico y sulfato del magnesio.

El cuadro 1, muestra las cantidades necesarias para preparar una solución en un tanque de 550 L, ajustadas a la conductividad eléctrica de 2.0-2.5 dS/m y a un pH de 5.5-6.0. Es importante señalar que al preparar la solución nutritiva se tomó en consideración la calidad del agua de riego la cual contenía las siguientes características: pH de 8.09, conductividad eléctrica de 1.38 dS/m, Ca: 184 ppm y Mg 100 ppm.

La adecuación del pH de la solución nutritiva se reguló por la adición de ácido fosfórico. Adicionalmente se agregó la cantidad de 20 g/1000 de solución

nutritiva de Fertilizante compuesto a base de micronutrientes “Micro Mix”, el cual contenía las proporciones según el Cuadro 2.

Cuadro 1. Fuentes y cantidades de fertilizantes con macronutrientes utilizadas en la preparación de la solución nutritiva.

Fuentes fertilizantes (g/1000 L)		
Ca(NO ₃) ₂	KNO ₃	MgSO ₄
236.10	257.57	166.70

Los riegos con solución nutritiva se iniciaron utilizando volúmenes de 200 mL/maceta durante en los 14 DDT, divididos en dos riegos. A los 21 DDT se incrementó a 250 mL/maceta, mientras que a los 28 DDT los riegos aumentaron a 400 mL/maceta, lo anterior debido al aumento de temperatura y al desarrollo foliar de las plantas. El horario riego fluctuó entre las 6:50 am y las 13:50 pm.

Cuadro 2. Fuentes y cantidades de fertilizantes con micronutrientes utilizados en la preparación de la solución nutritiva.

Fuentes fertilizantes (20 gr/1000 L)			
(Fe) Quelatado	7.50 %	(Zn) Quelatado	0.60 %
(Mn) Quelatado	3.70 %	(Cu) Quelatado	0.30 %
(Bo) Sal Inorgánica	0.70 %	(Mo) Sal Inorgánica	0.20 %

Durante las tres primeras semanas se aplicó a través de la solución nutritiva un estimulante enraizador (ProRoot[®]), el cual contenía las características del

cuadro 3. La dosis de aplicación del enraizador fue la de 1 gramo por cada litro disuelta previamente en 3 litros de agua y agregados al tambo de la solución, La aplicación se realizó a los 30 DDT:

Cuadro 3. Composición química del enraizador Pro-root®.

Composición	% en peso
Nitrógeno	11.00 %
Fósforo (P ₂ O ₅)	55.00 %
Ácido naftalanacético (ANA)	2800 ppm
Ácido indolbutírico	200 ppm
Ácidos fúlvicos	2.0 %
Acondicionadores e inertes	31.70%

5.5. Logística del experimento

El diseño experimental fue de bloques al azar con dos tratamientos y cinco repeticiones. Cada repetición consistió en doce macetas, de las cuales seis de ellas se les dejó a crecimiento libre y a las otras seis se les realizó poda de hojas después de la primera bifurcación y hasta segunda bifurcación (26 DDT), considerando dejar cuatro tallos por planta, cada maceta tenía un espagueti y un gotero el cual era el que hacía llegar a la planta el agua, las macetas contenían el sustrato el cual era arena, las macetas tenía hoyos para que hubiera infiltración, cada maceta contaba con dos plantas, donde todas las macetas ocupaban la mitad del invernadero que tenía calefacción y ventilación y una bomba para manejar los riegos.

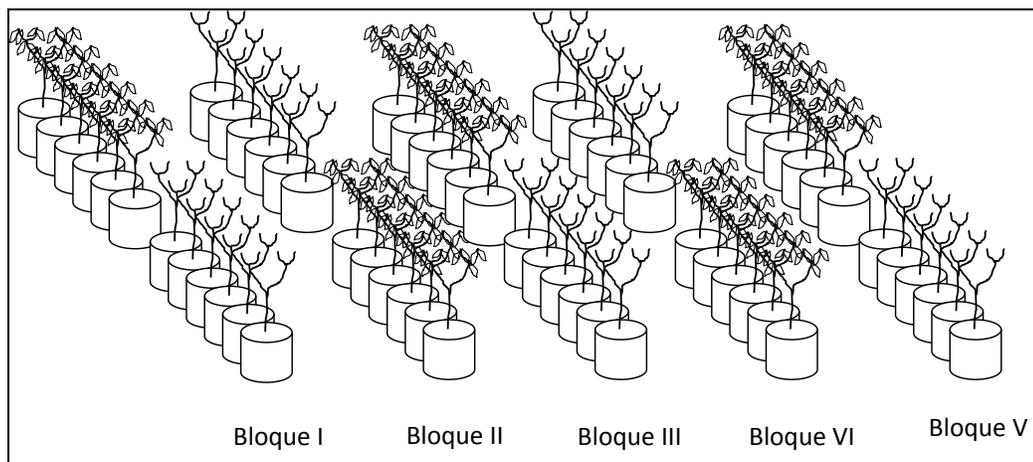


Figura 1. Distribución de los tratamientos.

5.6 Control de plagas y enfermedades

Se realizaron aplicaciones químicas con aspersores y otras a través del sistema de riego. La aplicación de Tamarón 6 (metamidofos) con aspersor con 6 mililitros en 4 litros de agua esto a los (26 DDT) para controlar mosca blanca. La aplicación de virus stop que contiene como ingrediente activo fitoalexinas, que esta aplicación se realizó a los 46 DDT, que fue la dosis de 50 mililitros aplicados al reservorio.

5.7 Rendimiento del cultivo

Al final del estudio, se cosecharon las plantas de cada tratamiento y se midió la biomasa de las plantas completas y la biomasa de los frutos. Con los datos resultantes y la cantidad de agua aplicada, se obtuvo el uso eficiente del agua (g de fruto seco por litro de agua aplicada por planta).

5.8 Relación radiación versus agua aplicada el cultivo

Con el fin de obtener la relación entre el agua y aplicada y la relación global recibida por el cultivo, se midieron en forma diaria y sumados semanalmente y por separado, los drenajes de las plantas de los tratamientos “crecimiento libre” y “poda”. La cantidad de agua evapotranspirada fue considerada como la resta del agua aplicada por planta, menos el agua obtenida por el drenaje.

A través del sistema de medición de datos climáticos de las estaciones meteorológicas del SIMARBC (Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California) se obtuvo la cantidad de radiación global por semana. La radiación registrada por dicha estación expresada en calorías/cm² se transformó a radiación total (Jouls cm²) al multiplicarla por el factor de 4.1868 (Allen et al., 2006) y dividirla por el factor de cubierta del invernadero de 0.80 propuesto por Giacomelli y Roberts (1993). Se relacionó la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo con la cantidad de radiación global recibida por el cultivo, y se obtuvo a través de regresión las ecuaciones resultantes para cada tipo de poda.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Radiación solar durante el experimento

La radiación solar total o global que cae sobre la tierra no es la utilizada totalmente por las plantas. Las plantas utilizan solo una fracción del espectro lumínico, la cual fluctúa entre los 400 y 700 nm (Grant, 1997). La luz utilizada por las plantas se le denomina luz PAR (radiación fotosintéticamente activa), la cual consiste en longitudes de onda las cuales son utilizadas para procesos bioquímicos en la fotosíntesis y para convertir la energía luminosa en biomasa. En este estudio se midió la radiación solar global sobre el invernadero, los valores iniciales rondaron los 1250 jousls cm^2 (febrero) y los valores finales alcanzaron 1750 jousls cm^2 (abril; Figura 1).

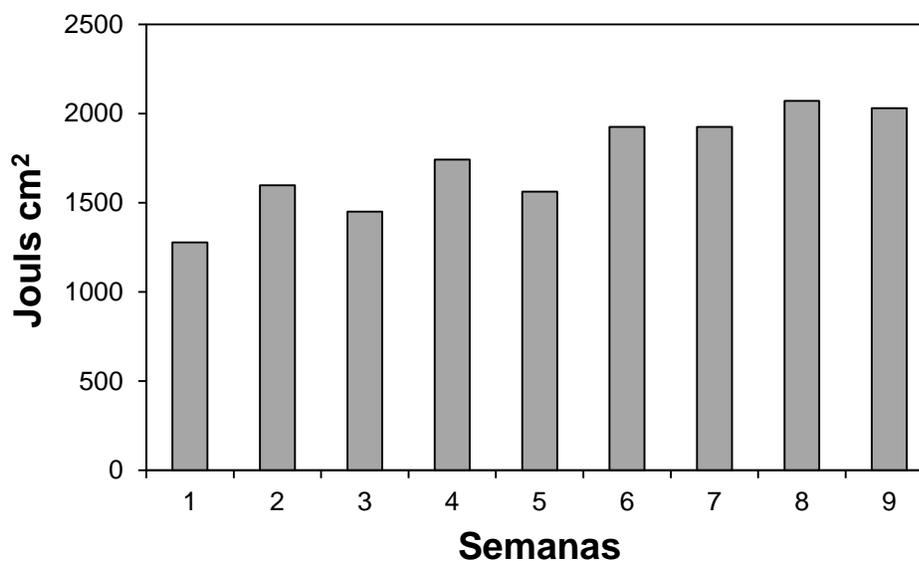


Figura 2. Radiación solar semanal recibida durante en experimento del cultivo de chile hidropónico.

El valle de Mexicali, se encuentra ubicado en las coordenadas $32^{\circ}24'$ latitud norte y $115^{\circ}17'$ longitud oeste del globo terráqueo, lo cual explica las grandes

cantidades de radiación global recibidas. Por citar ejemplos con otros países productores de hortalizas en invernadero tal como Canadá, la cual se encuentra situada a los 47° latitud norte y 71° longitud oeste, recibe en promedio 800, 1300, 1800 jousls cm² durante los meses de febrero, marzo, y abril respectivamente (Chrétien et al., 2000). Por su parte España, otro productor importante de hortalizas bajo invernadero, ubicada a los 36°48' latitud norte y 2°41' longitud oeste, recibe en promedio 1000, 1450, 1500 jousls cm² durante los meses de febrero, marzo, y abril respectivamente (Medrano et al., 2005).

6.2. Rendimiento del cultivo

La radiación solar es el principal recurso por el cual las plantas de cultivo compiten dentro de un ambiente no restrictivo como lo es el cultivo en invernadero e hidroponía. Este factor ambiental al igual que el agua, el CO₂, la temperatura, la humedad relativa, los nutrimentos esenciales minerales, entre otros, juega un papel fundamental durante la fotosíntesis, y por lo tanto, en la formación de azúcares para el crecimiento de las plantas (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997). Es por ello que con los sistemas de producción dentro de los invernaderos, se busca optimizar la cantidad de luz solar incidente y la forma en que ésta es interceptada por el dosel de las planta, ya que de ésta depende el rendimiento (Jovicich *et al.*, 2004).

La conducción y poda de las plantas es otra medida que puede contribuir en una mejor eficiencia en la intercepción de luz, lo cual también tiene efecto sobre el rendimiento (Jovicich *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Biomasa total y número de hojas del cultivo de chile bajo dos sistemas de poda.

Tratamiento	Biomasa total (g planta ⁻¹)	Número de hojas
Crecimiento libre	75 a	149 a
Cuatro tallos	68 a	60 b

El cuadro 4, muestra la producción de material seco en el follaje de los tratamientos. El análisis estadístico no mostró diferencia entre los tratamientos evaluados ($P > 0.05$), aunque la cantidad de hojas en el tratamiento de crecimiento libre fue estadísticamente mayor ($P < 0.05$), posiblemente el tamaño de las hojas del tratamiento a cuatro tallos pudo haber compensado el peso de las mismas, resultando en igualdad entre los tratamientos evaluados (Sánchez, 2014).

Cuadro 5. Rendimiento, lámina de riego y uso eficiente del agua del cultivo de chile bajo dos sistemas de poda.

Tratamiento	Biomasa fruto (g planta ⁻¹)	Número de frutos por planta	Agua aplicada (mL planta ⁻¹)	Evapotranspiración (mL planta ⁻¹)	UEA (g L)
Crecimiento libre	20 a	27 b	31,000	15,008 a	0.64 a
Cuatro tallos	18 a	53 a	31,000	23,243 b	0.58 a
Chile poblano [†]	345	-	-	-	20.00

[†]: Dorji et al., 2005. Diferentes letras entre columnas refleja diferencia significativa a una $P < 0.05$.

El Cuadro 5, muestra la comparación entre la biomasa de los frutos de los tratamientos evaluados, el número de frutos por planta, agua aplicada, evapotranspiración estimada y uso eficiente del agua. Los rendimientos de chile seco fluctuaron entre los 18 y 20 g por planta sin diferencia estadística entre ellos ($P > 0.05$). Aunque el tratamiento a cuatro tallos tuvo mayor número de frutos que el tratamiento a crecimiento libre, el tamaño de los frutos del tratamiento a

crecimiento libre pudo haber compensado el peso de los mismos, resultando en igualdad entre los tratamientos evaluados.

6.3 Evapotranspiración del cultivo

La Figura 3, muestra la dinámica de aplicación de agua al cultivo y la evapotranspiración de los dos tratamientos durante el experimento. A los 37 DDT, resultó notoria la cantidad de agua evapotranspirada por el tratamiento a crecimiento libre. Al evaluar la productividad del cultivo por el agua aplicada, durante el experimento ambos tratamientos recibieron una cantidad de 31,000 mL de agua por planta. Al deducir el agua aplicada menos el drenaje, resultó la cantidad de agua evapotranspirada por cada tratamiento (Tsirogiannis et al., 2010). Al podar la planta a cuatro tallos, se evapotranspiro una cantidad de 15,008 mL por planta, cantidad mucho menor a los 23,243 mL por planta, al dejarlas a crecimiento libre. Sin embargo, al comparar el uso eficiente del agua con respecto a la materia seca producida por los frutos de acuerdo al agua aplicada, el uso eficiente de la misma fue de 0.64 y 0.58 g L de agua aplicada para cada tratamiento en particular (Cuadro 5).

Por otro lado, es evidente que aunque el número de frutos en el tratamiento Crecimiento libre fue menor (27 frutos por planta) que el numero del tratamiento a cuatro tallos (53 frutos por planta), el tamaño de los frutos del tratamiento a crecimiento libre pudo haber compensado el peso de los mismos y resultar en la misma cantidad de biomasa producida por ambos tratamientos (20 *versus* 18 g planta⁻¹; Cuadro 5). Dorji et al., (2005), evaluaron distintos tratamientos de riego en chile poblano seco y obtuvieron un uso eficiente de agua de 20 g L de agua

aplicada, mucho mayor a los obtenidos en este estudio. Cabe resaltar la cantidad superior de biomasa que produce dicho cultivo en comparación del cultivo de chile de árbol utilizado en nuestro experimento.

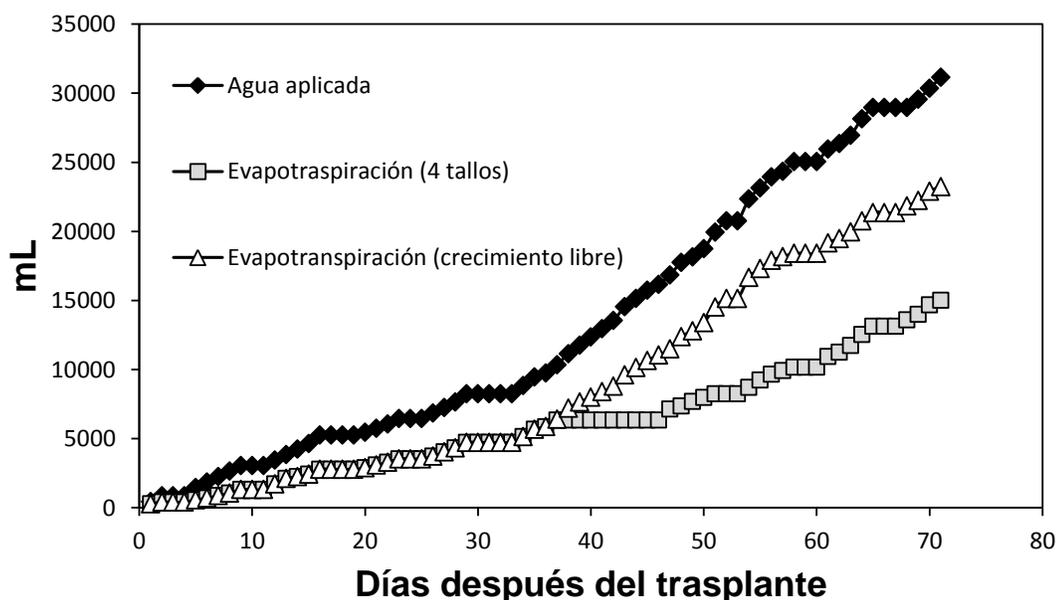


Figura 3. Agua aplicada y evapotranspiración en el cultivo de chile hidropónico bajo dos sistemas de poda.

6.4. Relación riego versus radiación

La cantidad de agua que puede ser extraída por un cultivo y liberada por las estomas se le llama evapotranspiración. Tal absorción de agua está directamente relacionada con la cantidad de radiación recibida por el cultivo (Van Ieperen y Madery, 1994). La figura 4, muestra la comparación entre el agua transpirada semanalmente por el cultivo y la radiación solar recibida por ambos sistemas de poda.

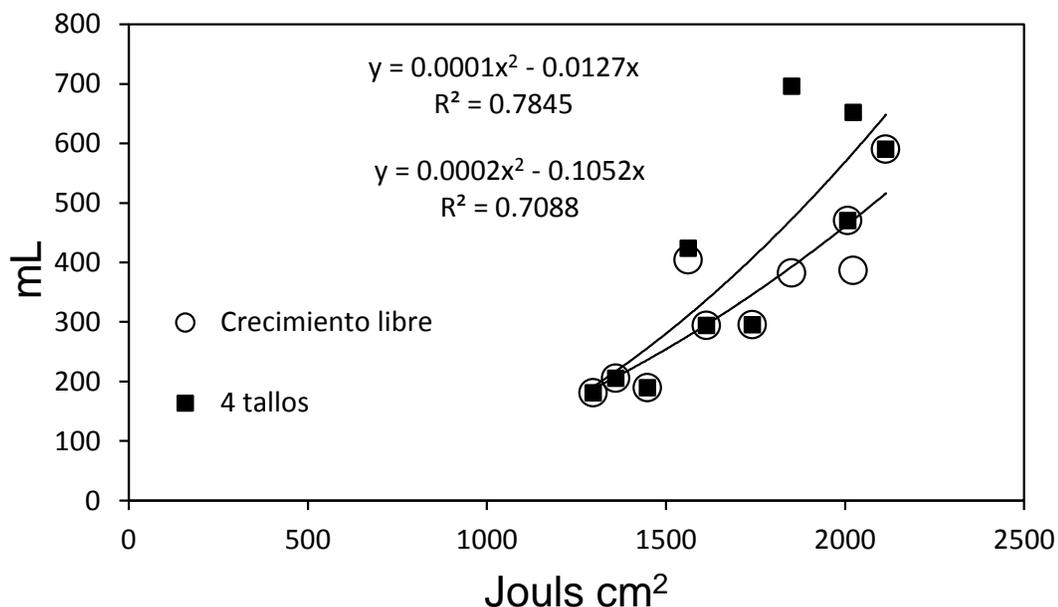


Figura 4. Relación entre la evapotranspiración en el cultivo de chile de árbol bajo dos sistemas de poda y la cantidad de radiación solar recibida.

Al comparar el agua transpirada semanalmente por el cultivo y la radiación solar recibida por ambos sistemas de poda, se obtuvo relación significativa presentando valores de R^2 de 0.789 y 0.70 ($P < 0.002$ y $P < 0.001$) para plantas dejadas a crecimiento libre y poda a cuatro tallos, respectivamente. Determinar las necesidades de riego de las plantas dejadas a crecimiento libre por cada unidad de luz recibida, es necesario correr la siguiente fórmula $0.0001 * (\text{Joul cm}^2)^2 - 0.0127 * (\text{Joul cm}^2)$ para aplicar 1 mL de agua por planta; mientras para las plantas podadas a cuatro tallos se requiere que $0.0002 * (\text{Joul cm}^2)^2 - 0.1052 * (\text{Joul cm}^2)$ para aplicar 1 mL de agua de riego a cada planta.

En un estudio conducido por Del Amor y Gómez-López (2009), cultivando chile dulce en diferentes sustratos, se demostró la relación entre la radiación

recibida por el cultivo. Ellos encontraron que por cada 0.3 MJm^2 de radiación que la planta recibía, fue necesaria la aplicación de 1 mm de agua de riego.

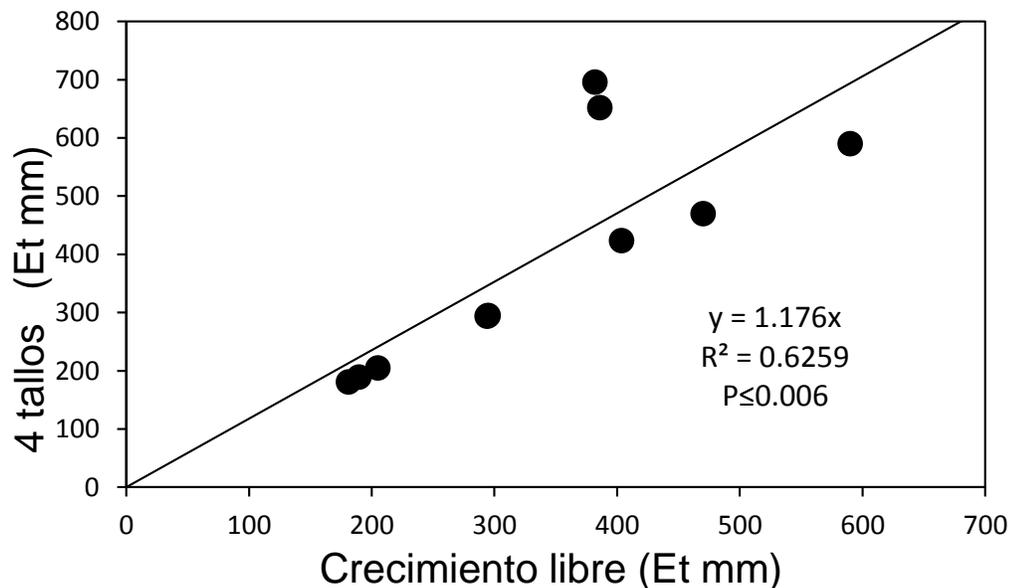


Figura 5. Relación entre la evapotranspiración estimada para plantas podadas a cuatro tallos y plantas a crecimiento libre en el cultivo de chile de árbol.

Por otro lado, al comparar la evapotranspiración del cultivo en sus dos modalidades (Figura, 5), se encontró una relación significativa entre ambas evapotranspiraciones ($R^2=0.6259$; $P \leq 0.006$). Se identificó que al podar a 4 tallos, la planta requirió 1.176 veces más agua que las plantas conducidas a crecimiento libre, lo cual pudo posiblemente deberse a que el sustrato de arena utilizado, posee una capacidad de retención de humedad de 4.7%, lo que se considera bajo para cultivos producidos en hidroponía, de tal manera que se requerirían riegos con menor volumen y mayor frecuencia durante el día, para sostener a la planta hidratada.

VII. CONCLUSIONES

- No se obtuvo diferencia en los rendimientos de biomasa total entre las plantas de crecimiento libre y de cuatro tallos (75 *versus* 68 g planta⁻¹, respectivamente), aunque el número de hojas en las plantas conducidas a crecimiento libre fue mayor que el de las plantas podadas a cuatro tallos (149 *versus* 60 hojas, respectivamente).
- La biomasa de los frutos resultó estadísticamente igual entre tratamientos (18-20 y 68 g planta⁻¹), aunque el tratamiento a crecimiento libre tuvo menor cantidad de los mismos (27 *versus* 53 frutos planta⁻¹).
- La evapotranspiración de las plantas dejadas a crecimiento libre fue menor a la presentada por las plantas podadas a cuatro tallos (15,008 *versus* 23,243 mL planta⁻¹, respectivamente).
- El uso eficiente del agua resultó ser igual para ambos tratamientos fluctuando los valores entre 0.64 y 0.58 g de fruto seco por L de agua aplicada.
- Al final del estudio se aplicó una cantidad de 31,000 mL a ambos tratamientos, de los cuales el tratamiento a crecimiento libre evapotranspiró la cantidad de 23,243 mL por planta, mientras que las plantas podadas a cuatro tallos evapotranspiraron 15,008 mL por planta.
- Se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre el agua evapotranspirada bajo ambos sistemas de poda y la radiación solar recibida en forma semanal, sin embargo, se requirió mayor cantidad de agua al podar la planta a cuatro tallos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alarcón, A. L.(2000) Fertigación del pimiento dulce en invernadero.p45-52. Compedios de horticultura.
- Allen, R.G., L.S. Pereira., D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Unidades y símbolos. Conversión de unidades. 209-298.
- Chrétien, S., A. Gosselin y M. Dorais. 2000. High electrical conductivity and radiation-based water management improve fruit quality of greenhouse tomatoes grown in rockwool. Hortscience. 35(4):627–631
- Del Amor, F.M. y M.D. Gómez López. 2009. Agronomical response and water use efficiency of sweet pepper plants grown in different greenhouse substrates
- Dorji, K., M.H. Behboudiana, J.A. Zegbe-Domínguez. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial root zone drying. Scientia Horticulturae. 104:137–149
- Duarte, O. 2003. Tecnología de Tierras y Aguas I - Evaporación y Evapotranspiración. P.1-17.
- FAO. 1990. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. P.1-13
- <http://www.simarbc.gob.mx/>
- Fernandez De Oviedo, G. (1535, ed. 1992) Historia general y natural de las Indias. Biblioteca de autores españoles. Atlas. Madrid.
- Giacomelli, G. y W.J. Roberts. 1993. Greenhouse covering systems.Hortechology. 3(1):50-58.
- Grant, R.H. 1997. Partitioning of biologically active radiation in plant canopies. Int J Biometeorol. 40:26–40.
- Hagin, J., M. Sneh y A. Lowengart-Aycicegi. 2002. “Fertigation – Fertilization through irrigation”. IPI Research Topics N° 23. Ed.: A. E. Johnston. International Potash Institute, Basilea (Suiza).
- Heiser, C. B., JR. (1976). Peppers-*Capsicum* (Solanaceae). In evolution of crop plants. Longman. London, 265-268.
- Jovicich, E., D.J. Cantliffe, P.J. Stoffella y D.Z. Hamman. 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. Hortscience. 42(3):642-652.

- Jovicich, E., D.J. Cantliffe y P.J. Stofella. 2004. Fruit yield quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *Hort Technology*. 14(4): 507-513.
- Kafkafi, U. y J. Tarchitzky. 2012. Fertirrigación. Una herramienta para eficiente fertilización y manejo del agua. IFA e IPE.
- Kissinger, M., S. Tuvia-Alkalai, Y. Shalom, E. Fallik, Y. Elkind, M.A. Jenks y M.S. Goodwin. 2005. Characterization of physiological and biochemical factors associated with postharvest water loss in ripe pepper fruit during storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(5):735-741.
- McLeod, M. J., Guttman, S. I. y Eshbaugh, W.H. (1982) Early evolution of chili peppers (*Capsicum*). *Economic Botany* 36 (4): 361-368.
- Medrano, E., P. Lorenzo, M.C. Sanchez-Guerrero y J.I. Montero. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae*. 105: 163-175.
- Nederhoff, E. 2007. Revista electrónica Teorema ambiental En: <http://www.teorema.com.mx/cienciaytecnologia/radiacion-como-factor-de-riego-en-invernaderos/> New Zealand. Traducción: Ing. Rubén Andrés Soto Rivera, Netafim México, SA de CV. (Consultado 12 julio 2014)
- Núñez V., F.; Gil R.; Costa J. 1996. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Tercera Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Núñez-Ramírez F., Villalaz-Palma, C., Tolosa-Avendaño, M., Escoto-Romo, A., Escoboza-García, F., Ceceña-Duran, C., Ruiz-Alvarado, M.C., Escoboza-García, I., Cárdenas-Salazar, V.A., Avilés-Marín, S.M., López-López, Á., Soto-Ortíz, R., Román-Calleros, J. 2012. Arena lavada como sustrato hidropónico: caracterización física-química. XVI Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. ICA-UABC., pp. 670-674.
- Papadopoulos, A.P. ; Pararajasingham, S. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 69: 1-29.
- Pardo. A.(1995).necesidades hídricas y riegos en horticultura.ponecia 3a jornada de horticultura riojaba Calahorra.
- Pickersgill, B. (1989). Cytological and genetical evidence on the domestication and diffusion of crops within the Americas. In: "Harris, D.R.; Hillman, G. C. (Eds.) foraging and farming: the evolution on plant exploitation. Unwin Hyman, London": 426-439.
- Rorabaugh, P.A. 2013. Fertigation systems and nutrient solutions. In: Introduction to Hydroponics and Controlled Environment Agriculture.

- Saw, N., Cantliffe, D.J., Funes, J. y C.III. Shine. 2004. Successful beet alpha cucumber production in the greenhouse using pine bark as an alternative soilless media. HortTechnology. 14(2): 289-294
- Serrano, C. Z. 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Manuales técnicos de Sevilla, España. pp. 433-487.
- Sezen, S.M., A. Yazar y S. Eker. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agricultural Water Management. 81:115-131.
- SIAP-SAGARPA, 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 2009. Mexico
- SIMARBC. Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California. <http://www.simarbc.gob.mx/>
- Tsirogiannis, I., N. Katsoulas y C. Kittas. 2010. Effect of Irrigation Scheduling on Gerbera Flower Yield and Quality. Hortscience. 45(2):265-270.
- Van Ieperen, W. y H. Madery. 1994. A new method to measure plant water uptake and transpiration simultaneously. Journal of Experimental Botany. 45:51-60.