

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO SU RELACIÓN
CON FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PEPINO
(*Cucumis sativus* L)**

POR:

JOSÉ JUÁREZ LUCAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, DICIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN
CON FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PEPINO
(*Cucumis sativus* L)**

POR:

JOSÉ JUÁREZ LUCAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, DICIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN
CON FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PEPINO
(*Cucumis sativus* L)**

POR:

JOSÉ JUÁREZ LUCAS

TESIS

**Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN


Aprobado por:




M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez
Asesor Principal



Dr. Alejandro Zermeño González
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coasesor


M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis queridos padres Rosendo Juárez y Teresa Lucas pilares fundamentales en mi vida que siempre me han apoyado y me han sabido llevar por el buen camino.

A mis hermanos Gelasio, Rosendo, Victorico, Rosa, Fernando e Itzel Juárez, que son parte importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Terminada la investigación de mi trabajo quiero agradecer a Dios, por haberme dado la vida y permitirme poder llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional; por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades de la vida.

Agradezco también el apoyo y la confianza brindado por parte de mis padres y hermanos durante todo este arduo camino.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a cada uno de mis maestros por todos los conocimientos impartidos y supieron orientarme en todo este largo camino de estudio.

A mi asesor de tesis M. C. Aaron Isain Melendres Alvarez.

A mis compañeros Eduardo Daniel Santiago Hernández, Carlos Mazariagoz López, Luis Antonio Villagran Arenas, Ayber Daniel Santiago Hernández, Bernardo Antonio Villafan Cortez, Ismael López Gómez y Judith Pérez Ramos de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

A mis amigos de la Narro, Rosa Isela Mendoza Morales, Marcos Castro Alquisira, Octavia Sánchez, Marlene Ivonne Estrada Calvo, Edgar Dionel Gutiérrez García, Bulmaro Vázquez López, Alexander Vázquez López, Cristóbal López Velázquez con quienes compartí momentos durante el transcurso de la universidad.

Y a mis amigos Lenin López Martínez, Gustavo Adolfo Yescas, Adelina Vargas, Diana Karina Méndez Cruz, Daniel Olvera, Fernando Gaona Márquez, Fabiola Gutiérrez Guervacio, Natividad Ponce Gómez que he conocido en el camino y se han convertido en hermanos.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen y características botánicas del pepino.....	4
2.2. Importancia del pepino a nivel mundial y para México.....	5
2.3. Manejo agronómico del cultivo del pepino a campo abierto.....	6
2.4. Importancia del riego oportuno	7
2.5. Tasa de fotosíntesis.....	8
2.6. Tasa de fotosíntesis en el cultivo de pepino.	14
2.7. Relación entre el contenido de humedad del suelo y la tasa de fotosíntesis en el cultivo de pepino.	14
2.8. Método utilizado por el licor 6800 para mediciones a nivel hoja de tasa de fotosíntesis.....	16
III. MATERIALES Y METODOS	20
3.1. Localización del sitio experimental.....	20
3.2. Características físico-químicas del suelo y agua.	20
3.3. Establecimiento y manejo del cultivo.	21
3.4. Instrumentación y mediciones realizadas.	23
3.4.1. Medición de humedad del suelo.....	23
3.4.2. Volúmenes de agua aplicados y consumidos.....	23
3.4.3. Tasa de asimilación de CO ₂	24
3.4.4. Área foliar.	24
3.4.5. Diámetro ecuatorial y longitud del fruto.	25

3.4.6. Peso del fruto y rendimiento total.....	25
3.4.7. Análisis estadístico.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Propiedades físicas y químicas del suelo y el agua.....	27
4.2. Volumen de agua aplicado y consumido en los tratamientos.....	28
4.3. Tasa de fotosíntesis.....	31
4.4. Área foliar.....	32
4.5. Producción.....	35
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. RECOMENDACIONES.....	37
VII. BIBLIOGRAFIA.....	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Solución nutritiva aplicada al cultivo de pepino.	23
Cuadro 2. Propiedades físico-químicas del suelo del área de estudio.....	27
Cuadro 3. Propiedades físico-químicas del agua utilizada.....	28
Cuadro 4. Volumen de agua aplicado y consumido (por metro de longitud) en los diferentes tratamientos de humedad, durante el ciclo de crecimiento de las plantas (22 de junio al 20 de septiembre).....	29
Cuadro 5. Variables de producción evaluadas de un cultivo de pepino bajo diferentes contenidos de humedad.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de pepino con hojas y flores.	5
Figura 2. Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa.....	6
Figura 3. Campo de cultivo de pepino con riego por goteo.....	7
Figura 4. Diagrama de la fotosíntesis.....	8
Figura 5. Mediciones en cultivo de pepino con licor 6800.....	16
Figura 6. Esquema de un sistema abierto de intercambio de gases para medición de fotosíntesis a nivel de la hoja.	17
Figura 7. Distribución de los tratamientos en campo.	26
Figura 8. Contenido de la humedad del suelo en un perfil de 0 a 30 cm, durante el ciclo de producción (22 de junio al 20 de septiembre) de un cultivo de pepino.....	30
Figura 9. Tasa de asimilación de CO ₂ del 20 de agosto del 2018, de un cultivo de pepino.	32
Figura 10. Comportamiento del área foliar del cultivo de pepino a través de su ciclo de producción. Medias con diferente letra son diferentes, la diferencia estadística se obtuvo con el rango de Kruskal Wallis ($P \leq 0.05$).....	33
Figura 11. Modelos de regresión lineal para calcular área foliar (cm ²). La figura 9 se obtuvo aplicando estos modelos para los datos de campo de L * A.	34

RESUMEN

La escases de agua en el mundo, tiene un gran impacto en el sector agrícola, es importante conocer los procesos fisiológicos de las plantas para adaptarlas a los suministros de agua; la fotosíntesis es muy sensible a los niveles de agua en el suelo proceso indispensable para la productividad de los cultivos hortícolas como en las plantas de pepino, las cuales son muy susceptible a los cambios de humedad del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de contenido de humedad del suelo en la tasa de fotosíntesis y rendimiento de un cultivo de pepino. Se evaluaron cuatro tratamientos con distintos niveles de humedad (con base a volumen) T1, T2, T3 y T4 (35.61%, 33.38%, 31.47% y 26.71% respectivamente), se midieron las siguientes variables: contenido de agua del suelo, área foliar, tasa de fotosíntesis foliar, peso y número de frutos por planta. Los resultados indican que el déficit hídrico y exceso de agua reducen la tasa de asimilación de CO₂ y el rendimiento del cultivo, mostrando que bajo un contenido intermedio de humedad en el suelo se incrementa la productividad del cultivo.

Palabras clave: Porosidad, tasa de asimilación de CO₂, área foliar. Humedad del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es la actividad con mayor uso del recurso hídrico (Gupta *et al.*, 2014), en la actualidad la escases de este recurso, obliga a los agricultores a mejorar sus estrategias de aplicación de agua en los cultivos, para proporcionar a las plantas la cantidad adecuada de agua (Morille *et al.*, 2013); la irrigación es un factor importante en el rendimiento de los cultivos, ya que está asociado con muchos factores del entorno de la planta que influyen en su crecimiento y desarrollo (Yaghi *et al.*, 2013), por lo tanto se busca que las nuevas innovaciones, aumenten la eficiencia del uso del agua (Rahil & Qanadillo, 2015).

El déficit de agua en el suelo es una opción del riego, que tiene como objetivo hacer un uso más eficiente del agua. Por tal motivo es importante entender el comportamiento de las plantas cuando se someten a diferentes niveles de riego; ya que esto ocasiona cambios morfológicos y fisiológicos, afectando la tasa de asimilación de CO₂ y el rendimiento de las plantas (Fereres & Soriano, 2007; Zamora *et al.*, 2014).

La tasa de fotosíntesis es la síntesis de compuestos orgánicos a partir del CO₂ atmosférico (Quero *et al.*, 2004) y el recurso que más la condiciona es la radiación. También es importante saber que el contenido de agua en el suelo afecta el grado de apertura de los estomas, por lo que, la fotosíntesis es un proceso fisiológico muy sensible al estrés hídrico (Medrano *et al.*, 2007; Anjum *et al.*, 2011).

La tasa de fotosíntesis tiene un umbral diferente de acuerdo a la humedad del suelo, a mayor humedad, mayor tasa de asimilación neta y por el contrario si se reduce la cantidad de agua en el suelo baja la tasa de fotosíntesis (Zhang *et al.*, 2010).

Gao *et al.*, (2017) realizaron una investigación sobre los efectos del estrés hídrico extremo del suelo en la eficiencia fotosintética en un cultivo de tamarindo rosa (*Tamarix Chinensis*), bajo tres tratamientos: estrés por anegamiento, alternando

húmedo-seco y estrés por sequía severa; observando que en condiciones alternas húmedo-seco hay una tasa de fotosíntesis más alta que bajo estrés por anegamiento; pero cuando se somete a un estrés por sequía severo, se afecta gravemente la apertura de los estomas, que resulta en menor tasa de asimilación.

En un cultivo de hierba del rizoma perenne (*Leymus chinensis*) y la hierba de pastos perenne (*Stipa grandis*), se investigó su respuesta a la capacidad fotosintética aun gradiente de humedad del suelo, observando que bajo un déficit hídrico severo hay un efecto negativo en la tasa de asimilación neta de CO₂, y en condiciones de humedad moderada la tasa de fotosintética aumenta (Xu & Zhou, 2011).

Estudio realizado en un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), se observó las limitaciones de la fotosíntesis cuando se somete a estrés hídrico, obteniendo como resultado que al someter el cultivo a estrés induce una disminución en la asimilación de CO₂ y se ocasiona un cierre estomático (Dias & Brüggemann, 2010), resultados similares fueron observados en un cultivo de garbanzo (*Cicera rietinum* L.) (Ahbarian *et al.*, 2011). Se evaluaron dos variedades de pepino para estudiar el crecimiento y sus atributos fisiológicos y observaron que cuando están bajo estrés hídrico, se reduce significativamente la tasa de fotosíntesis (Naz *et al.*, 2016).

Se estudiaron plántulas de pepino que fueron privadas de agua para observar su respuesta fotosintética, los resultados mostraron una disminución de la conductancia estomática para prevenir la deshidratación de la planta, y por lo consiguiente hay una reducción de la tasa de asimilación de CO₂ proporcional al déficit hídrico (Zhang *et al.*, 2013).

El cultivo de pepino es una hortaliza de un gran consumo a nivel mundial siendo China el mayor productor y así encabezando el primer lugar, México ocupando el séptimo lugar a nivel mundial; siendo Sinaloa, Sonora y Michoacán los principales estados productores de pepino, y Estado Unidos es el mayor comprador de este

producto agrícola y siendo México su principal proveedor, aunque Alemania representa un mercado ideal para la venta del pepino ya que este país es el segundo mayor comprador del este producto(SAGARPA, 2018).

Objetivo

Evaluar el efecto de diferentes contenidos de humedad del suelo en la tasa de fotosíntesis y efecto en el rendimiento del cultivo de pepino.

Hipótesis

El contenido de humedad del suelo afecta la tasa de fotosíntesis foliar y afecta el rendimiento de las plantas de pepino.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y características botánicas del pepino

El pepino tiene su origen en Asia específicamente en la India (Sebastian *et al.*, 2010). Este cultivo pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, conformada por una gran cantidad de cultivos muy diversos tanto en tamaño, forma y color (Pino, 2013), en esta familia se encuentra el género *Cucumis* al cual pertenece el pepino (Cavagnaro *et al.*, 2010); tiene un tallo herbáceo, con un sistema radicular fibroso y superficial, desarrollando flores en las axilas de colores amarillas, las hojas son de peciolo largo de forma limbo acorazonado, y con frutos largos, cilíndricos, liso o ligeramente espinosos (FAO, 2002).

Taxonomía

Según CONABIO (2008), la clasificación taxonómica del pepino es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Subfamilia: Cucurbitoideae

Tribu: Melothrieae

Subtribu: Cucumerinae

Género: *Cucumis*

Especie: *sativus*



Figura 1. Planta de pepino con hojas y flores.

2.2. Importancia del pepino a nivel mundial y para México.

El cultivo de pepino es una hortaliza de gran consumo a nivel mundial, siendo China el mayor productor, México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial. En México la superficie promedio sembrada de pepino es de 20 mil hectáreas, se cosechan alrededor de 956 mil toneladas; Sinaloa, Sonora y Michoacán son los principales estados productores de pepino. Estado Unidos es el mayor comprador de este producto agrícola; siendo México su principal proveedor, Alemania representa un mercado ideal para la venta de pepino mexicano ya que este país es el segundo mayor comprador de este producto. En general la exportación nacional de esta hortaliza a alcanzado un máximo histórico con 761 mil 391 toneladas, el valor generado de las ventas externas ubica a la hortaliza en el 18° lugar entre los productos agroalimentarios que más divisas reporta en México (SAGARPA, 2018).



Figura 2. Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa.

2.3. Manejo agronómico del cultivo del pepino a campo abierto.

El cultivo se adapta en cualquier tipo de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos de arcillo-arenosos a francos bien drenados, ya que no tolera salinidad, por lo tanto, el pH debe oscilar entre 5.5 y 6.8; su rango de temperatura es de 20 a 30°C, no tolera excesos de agua. Se puede iniciar por almácigo y trasplante o por siembra directa, siendo una planta alta, rastrera y el fruto se deteriora con el contacto al suelo, se debe de tener un buen control de malezas ya que esta tiende a competir con el cultivo por agua, luz, nutrientes y espacio, también son fuente de enfermedades y plagas; en la fertilización se debe de cuidar un balance nutricional para que el cultivo tenga un buen desarrollo. en el riego es necesario mantener la humedad del suelo, por lo que es recomendable hacer un riego pesado antes de la siembra o trasplante para uniformizar el agua en el suelo y también para que se lave un poco el suelo ya que el pepino es muy sensible a salinidad, la polinización debe ser buena ya que

esta depende de la reproducción y producción de frutos del cultivo (Arias, 2007; Pino, 2013; Yaghi *et al.*, 2013).

2.4. Importancia del riego oportuno

El agua es la vía por el cual la planta obtiene los nutrientes necesarios, es por eso que se debe de mantener una buena humedad en el suelo, para que la planta esté constantemente absorbiendo agua. Las hojas y las raíces de las plantas herbáceas consisten comúnmente en más del 80% de agua cuando están turgentes, las plantas de pepino requieren una gran cantidad de agua durante su periodo de crecimiento, por lo que es una especie ideal para estudiar la variación en los rasgos relacionados con la tolerancia a la sequía (Zhang *et al.*, 2013).

El riego por goteo ha demostrado su superioridad sobre otros métodos convencionales de riego, especialmente en hortalizas, debido a la aplicación precisa y directa del agua en la zona radicular, en un cultivo de pepino para equilibrar su crecimiento y desarrollo exige un suministro adecuado de agua y nutrientes que se puede satisfacerse mediante un sistema de riego por goteo (Gupta *et al.*, 2014).



Figura 3. Campo de cultivo de pepino con riego por goteo.

La mayoría de las hortalizas son extremadamente susceptibles al estrés hídrico, sabiendo que el cultivo requiere mucha humedad para su crecimiento, especialmente durante su etapa de floración hasta la cosecha (Pachpute, 2010). Es necesario tener el agua fácilmente disponible para los cultivos y así puedan tener buen crecimiento y rendimiento óptimo (MA *et al.*, 2015).

2.5. Tasa de fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso de síntesis de carbohidratos a partir de materiales inorgánicos (CO_2 y H_2O) en las plantas con pigmentos que usan energía de la luz. Este proceso consta de dos fases, fase I que se produce en grana y da como resultado ATP NADPH₂, y la fase II tiene lugar en el estroma y dando como resultado los carbohidratos. Recordando la primera fase, El CO_2 y H_2O son sustratos en las reacciones fotosintéticas, al agregar la luz solar y los pigmentos fotosintéticos (clorofila y otros) producirán carbohidratos y liberación de oxígeno, la luz solar abarca todos los colores del espectro visible del rojo al púrpura, pero no todas las longitudes de onda del espectro parecen ser absorbidas por el pigmento fotosintético (Song Ai, 2012).

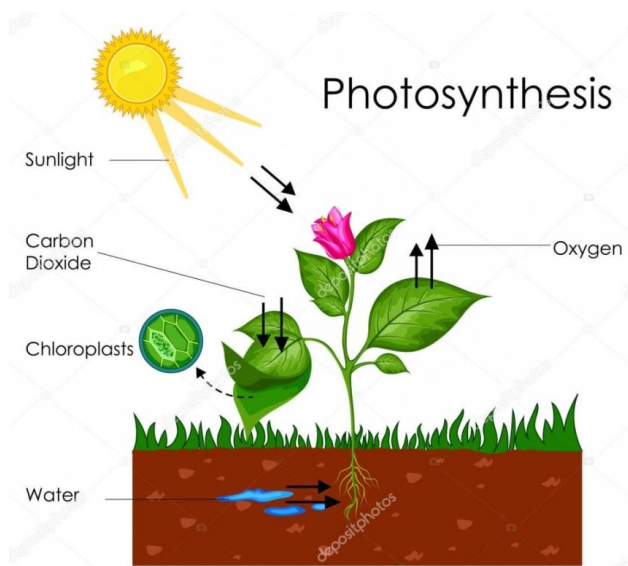


Figura 4. Diagrama de la fotosíntesis.

Para definir qué es la tasa de fotosíntesis hay que retomar que es un proceso donde se necesita el CO_2 , entonces definiríamos la tasa de fotosíntesis como: La cantidad de CO_2 asimilado por la hoja por unidad de tiempo y superficie de hoja. Uno de los recursos que más condiciona la tasa de fotosíntesis es la radiación, ya que de este recurso se obtiene la temperatura y la luz. Una mayor radiación puede provocar un aumento en la temperatura y así provocar una reducción en la ganancia de carbono, el resultado es el cierre estomático al producirse el aumento de la temperatura, este proceso se le conoce como fotoinhibición, y entorno a la luz depende mucho de las especies y el lugar donde se encuentren ya que la hoja tiende a aclimatarse a esas condiciones dadas cambiando sus características morfológicas y fisiológicas (Quero *et al.*, 2004). La fotosíntesis está limitada por la difusión de CO_2 a través de los poros de las estomas y el transporte de electrones impulsado por la luz que incluye las funciones de oferta y demanda de CO_2 , la demanda está determinada por la tasa de procesamiento de CO_2 en el cloroplasto, estudios realizados han señalado que la función de limitación del suministro de CO_2 , así como los cambios en la función de la demanda metabólica se produce cuando la planta se somete a un estrés hídrico, en general podemos decir que la baja disponibilidad de agua es un factor ambiental grave que limita el crecimiento y la fotosíntesis de las plantas (Elshibli *et al.*, 2016).

El recurso hídrico y la producción vegetal están estrechamente vinculados ya que, al producir nueva biomasa en cualquier cultivo o comunidad vegetal, la biomasa está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo. El proceso base de la producción de biomasa (Fotosíntesis) y el del gasto de agua (Transpiración) se producen a la vez, la entrada de dióxido de carbono y la salida del agua utilizan la misma vía. Cuanto más abierto están los estomas más fácilmente entra el CO_2 , pero también más rápido se escapa el agua (Anjum *et al.*, 2011). Entonces cuando una planta se encuentra en situación de déficit hídrico, esto se convierte en el primer factor limitante en el crecimiento vegetativo y del rendimiento de las cosechas (Akram, 2011). Esto sucede porque el déficit hídrico tiene muchas consecuencias para la fisiología y morfología de las plantas, provocando a corto y mediano plazo, un descenso del potencial hídrico, contenido hídrico relativo y de la

conductividad hídrica, estos hechos dan lugar a un descenso de la conductancia estomática y área foliar total, así como cambios metabólicos provocados por la disminución de la concentración de agua en las células; en base a esto, las restricciones que a veces hay en los procesos fotosintéticos provocados por el déficit de agua no son únicamente una barrera a la difusión de CO₂ hacia el estroma, sino también son importantes las inconvenientes que hay en las reacciones fotoquímicas, que se realizan en el Ciclo de Calvin y en el acarreo de asimilados (Lisar *et al.*, 2012). La carencia de agua provoca en las hojas un perjuicio en la turgencia celular, que junto a la acción del ácido abscísico (ABA), cuya síntesis en las raíces aumenta en sequía, son responsables del cierre de los estomas, lo que se supone un aumento en la resistencia estomática a la difusión de CO₂ hacia el estroma. Y como consecuencia del cierre estomático tiene lugar una disminución de la disponibilidad de CO₂. Y podemos resumir que la escasez de agua, además de causar ajustes en el crecimiento y en las relaciones hídricas, ocasiona importantes modificaciones en el conjunto de procesos que conduce a la asimilación de CO₂ (Medrano *et al.*, 2007).

El agua disponible en el suelo tiene un efecto en la fotosíntesis de una planta o cultivo y por ende en la asimilación de CO₂, es por ello que se han realizado investigaciones en diferentes plantas y cultivos. Se ha realizado estudios en palmera datilera (*Phoenix dactylifera*) examinando sus ajustes de crecimiento y las respuestas fotosintéticas en base a la disponibilidad de agua (Elshibli *et al.*, 2016). También se analizado la respuesta fotosintética del eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis* W. Hill) a la disponibilidad del agua en el suelo y a la intensidad de la luz, mostrando como resultado que hay una reducción en la tasa fotosintética de manera significativa cuando se presenta un estrés hídrico en el suelo y que el grado de la respuesta depende mucho de la planta que se trate (Mejía *et al.*, 2014). En plántulas de alcornoque (*Quercus suber* L) y roble (*Quercus pyrenaica*) se ha estudiado la tasa de fotosíntesis, transpiración y su eficiencia de uso de agua de estas especies (Quero *et al.*, 2004). En árboles de manzano (*Malus pumilacv.* Goldspur) se analizó su eficiencia fotosintética en las hojas de los árboles de ocho años de edad sometidas a diferentes niveles de humedad, esto se realizó con un sistema de fotosíntesis portátil

Li-6400 y un porómetro de estado estacionario portátil Li-Cor1600 para observar los efectos del estrés hídrico en la fotosíntesis; los resultados mostraron que la tasa de fotosíntesis neta de la hoja (NP), la tasa de transpiración (E), la eficiencia en el uso del agua (WUE), la conductancia estomática (gs), la concentración intercelular de CO₂ (Ci) y el valor límite estomático (Ls) mostraron diferentes umbrales en respuesta a la variación del agua en el suelo; PN y E disminuyen cuando disminuye el agua disponible en el suelo (Zhang *et al.*, 2010). En un cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.), se estudió la variación estacional de la fotosíntesis y parámetros fisiológicos, observando que la tasa de fotosíntesis neta resulta afectada por las condiciones climatológicas y el estado fenológico de cada árbol de aguacate (Medina *et al.*, 2011). En el arbusto de tamarindo rosa (*Tamarix chinensis*) se evaluaron tres condiciones de agua en el suelo con respecto a los procesos fotosintéticos y de transpiración de agua y se encontró que tienen efectos significativamente diferentes, en condiciones de estrés por anegamiento y estrés por sequía afectan negativamente la eficiencia fotosintética y la eficiencia del uso del agua (Gao *et al.*, 2017).

Se han realizado estudios en la pasto rizoma perenne (*Leymus chinensis*) y hierba herbácea perenne (*Stipa grandis*), para observar los patrones de respuesta de capacidad fotosintética de la planta y sus umbrales para un gradiente de humedad del suelo; los resultados muestran, que el déficit hídrico grave produce efectos negativos en la tasa de asimilación neta de CO₂ (Asat) saturada de luz, la conductancia estomática (gs), la conductancia mesófila (gm), la velocidad máxima de carbonización ($V_{c,max}$) y la eficiencia máxima fotoquímica PSII (Fv/Fm); el experimento probó y confirmó la hipótesis de que los puntos de umbral de respuesta aparecen cuando las plantas están expuestas a un amplio rango de estado hídrico, sugiriendo que las estructuras y las funciones de la vegetación pueden cambiar cuando se producen cambios en la humedad del suelo (Xu & Zhou, 2011), se estudió el desarrollo de biomasa e intercambio de gases CO₂ de ambrosía común (*Ambrosia artemisiifolia*) en diferentes condiciones de humedad del suelo, los resultados mostraron que hay un mejor crecimiento y una mayor tasa de fotosíntesis en

condiciones de suelo húmedo, en condiciones de suelo seco y empapado hay un menor crecimiento y una menor tasa de asimilación (Leiblein & Lösch, 2011).

En un cultivo de papa se estudió los efectos de las estrategias de riego, los resultados revelaron que los valores diurnos de la tasa de fotosíntesis (A_n) y la conductividad estomática (g_s) sometidos a riego parcial en la zona radicular (PRD) y riego deficitario (DI) fueron consistentemente más bajos que cuando está completamente irrigado (FI) (Ahmadi *et al.*, 2010). Con el fin de evaluar los rasgos morfológicos y fisiológicos relacionados con la tolerancia a la sequía en cultivo de garbanzo (*Cicera rietinum* L.); se realizó un estudio evaluando cuatro genotipos de garbanzo, dos que toleran la sequía y dos sensibles a la sequía, sometiéndose a condiciones de estrés hídrico; y se observó su comportamiento en el crecimiento, las relaciones hídricas, la fotosíntesis, la fluorescencia y el contenido de la clorofila en las plantas y floración temprana; el estrés por sequía disminuyó significativamente el peso seco del brote, la tasa de asimilación de $CO_2(A)$, la tasa de transpiración (E) y la eficiencia fotoquímica del PSII (F_v/F_m) en todos los genotipos (Ahbarian *et al.*, 2011).

En un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo estrés por sequía se analizó sus limitaciones de fotosíntesis: en el intercambio de gases, fluorescencia de clorofila y enzimas del ciclo de Calvin; el estrés por sequía indujo una disminución de la asimilación de CO_2 , concluyeron que la disminución de la asimilación de CO_2 en condiciones de sequía no está relacionada con la capacidad de disminuida del uso de NADPH y ATP, sino probablemente con la disminución de la actividad enzimática involucrada en la regeneración de RuBP (Ru5PK) (Dias & Brüggemann, 2010). En un cultivo de 'Nongda-108' en ciclo de verano (*Zea mays* L.), se observó los efectos del estrés hídrico sobre su crecimiento, la partición de la biomasa y la eficiencia en el uso del agua (WUE) durante todo el ciclo de crecimiento de este cultivo; se pusieron tres regímenes de riego primero 75% de la capacidad de agua en campo (FC) este tratamiento fue el de bajo estrés y también control, 55% de FC medio estrés y 35%

de FC alto estrés; los resultados obtenidos mostraron que en condiciones de alto estrés (35% de FC) afectan negativamente los parámetros vegetativos (área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo, producción de biomasa y tasa de fotosíntesis), y de rendimiento en las plantas de maíz. El estrés hídrico severo produjo una disminución en la tasa de fotosíntesis y en la tasa de transpiración lo que conduce a una reducción en el uso eficiente del agua (Ge *et al.*, 2012). Un estudio de diez años sobre la fisiología de los cultivares españoles de vid (*Vitisvinifera* L.) en condiciones de campo, observando los efectos que causa la disponibilidad de agua desde la fotosíntesis de la hoja hasta el rendimiento y la calidad de la uva; los resultados muestran que existe una gran relación entre la disponibilidad de agua y el rendimiento de la uva, principalmente a través de los efectos del estrés hídrico en la fotosíntesis; los efectos de la sequía en la calidad de la uva están relacionados con la disponibilidad de agua, pero no con la fotosíntesis o el rendimiento (Medrano *et al.*, 2003). Para observar las respuestas de crecimiento, desarrollo y fisiológicas de cultivares de camote (*Ipomoea batatas* L.) a la carencia de humedad del suelo; se realizó un estudio en dos cultivos camote, “Beauregard” y “Evangeline” se sometieron a diferentes niveles de humedad del suelo; el potencial hídrico disminuyó de manera lineal con la disminución de los niveles de humedad, la tasa fotosintética también disminuyó linealmente en Beauregard y de manera cuadrada en Evangeline con la disminución de agua en el suelo; los dos cultivos tuvieron una asociación estrecha entre la tasa de fotosíntesis y la conductancia estomática en los tratamientos de humedad del suelo (Gajanayake *et al.*, 2014). Se investigó dos variedades de tomates “Locale di Salina” (Lc) y “Pizzutello di Sciacca” (Pz) en dos periodos de deshidratación y rehidratación intermedia, para ver sus respuestas fisiológicas, bioquímicas y moleculares al estrés hídrico y la rehidratación; la relación entre la asimilación de CO₂ y la conductancia estomática bajo estrés hídrico severo indicó la aparición de limitaciones estomáticas, los intercambios de gases se recuperaron rápidamente dentro de 2 a 3 días de hidratación, el ácido abscísico (ABA) y la conductancia estomática (gs) mostraron una estricta relación exponencial (Giorio *et al.*, 2018).

2.6. Tasa de fotosíntesis en el cultivo de pepino.

Se han realizado investigaciones en plántulas de pepino sobre las características de la tasa de fotosíntesis, se ha observado que la fotosíntesis depende de varios factores como son intensidad de la luz, concentración de CO₂, la temperatura y humedad en el suelo, Un aumento en la intensidad de la luz generalmente conduce a un aumento en la tasa de fotosíntesis (Yamori, 2016). Cuando las hojas de pepino reciben poca cantidad de luz, tienen un efecto negativo reduciendo el área foliar, y así la capacidad fotosintética (Pettersen *et al.*, 2010). Se observó que el déficit de presión de vapor está relacionado con la tasa de fotosíntesis, la cual sí está muy alta tiende a disminuir la conductancia estomática, por lo tanto, ayuda a la tolerancia a la sequía al reducir la transpiración, pero cuando el déficit de vapor es muy alto puede disminuir al rendimiento fotosintético debido a la limitación estomática (Shibuya *et al.*, 2016). La fotosíntesis es un proceso sensible al estrés por temperatura (Ding *et al.*, 2016), las temperaturas altas inhiben los procesos de diferenciación celular que afectan el área foliar, también influye negativamente en la actividad fotosintética (Balal *et al.*, 2016). El aumento en la concentración de CO₂ aumenta la biomasa de los brotes, el área foliar y la asimilación de CO₂ (Jiang *et al.*, 2012). Varios estudios se han centrado en este tema, ya que la elevada concentración de CO₂ puede ser una opción para mitigar los efectos negativos del déficit hídrico en este cultivo (Wang *et al.*, 2015; Cruz *et al.*, 2016).

2.7. Relación entre el contenido de humedad del suelo y la tasa de fotosíntesis en el cultivo de pepino.

Para un óptimo crecimiento de la planta se requiere un equilibrio intrínseco de la transpiración, el CO₂ y la absorción de agua, estos dependen de las características y la fisiología del estoma, además de la arquitectura de la raíz (Khapte *et al.*, 2019).

Se realizó un estudio en cultivo de pepino, para observar las características fotosintéticas en respuesta al déficit hídrico, las plántulas con 6-7 hojas fueron privadas de agua para estudiar su respuesta fotosintética. Los resultados mostraron que, ocurre una disminución en la conductancia estomática en respuesta al déficit hídrico. La tasa de asimilación de CO₂ disminuyó gradualmente durante la deshidratación y fue afectada significativamente después 7 a 8 días de déficit hídrico en relación con las plantas bien regadas (Zhang *et al.*, 2013). Se establecieron tres niveles de estrés hídrico: estrés hídrico leve (T1, contenido de agua en el suelo relativo (RSWC) fue de 60-70%), el estrés hídrico moderado (T2, RSWC fue de 50-60%), y el estrés hídrico severo (T3, RSWC fue de 35-45%); como control fueron las plantas que estaban bien irrigadas (CK, RSWC fue de 70-80%). Los resultados mostraron que la altura de la planta y el área de la hoja por planta disminuyeron al aumentar los niveles de estrés hídrico. El estrés hídrico redujo la tasa de fotosíntesis neta, la conductancia estomática y la tasa de transpiración; en comparación con el tratamiento control, la tasa fotosintética neta promedio de hojas de pepino disminuyó en toda la etapa de crecimiento (Huang *et al.*, 2018). El transporte de agua en combinación con la productividad de la planta de pepino; se sometió a una reducción de déficit excesivo de presión de vapor, dando una reducción en el caudal de agua, por lo cual reduce el consumo de riego. Se observó una reducción en la demanda de irrigación y una mejora en la productividad de la planta de se logra reduciendo el déficit de presión de vapor excesivo, esto desde una perspectiva fisiológica (Zhang *et al.*, 2018). El estrés por sequía reduce notablemente la tasa neta de asimilación, la tasa de transpiración y la conductancia estomática de las hojas de plántulas de pepino; se reduce la fotosíntesis neta bajo estrés por sequía debido a la restricción del estoma (Qingming *et al.*, 2011).

Estudios realizados en cultivo de pepino muestran que cuando la planta tiene poca humedad en el suelo (déficit hídrico), su crecimiento disminuye notablemente; Los parámetros fotosintéticos como son: la velocidad fotosintética, la tasa de transpiración, la conductancia estomática, la concentración interna de CO₂ y el

contenido de clorofila; disminuyen en las plantas expuestas al déficit de agua (Li *et al.*, 2018).



Figura 5. Mediciones en cultivo de pepino con licor 6800.

2.8. Método utilizado por el licor 6800 para mediciones a nivel hoja de tasa de fotosíntesis.

Los intercambios de gases son útiles para caracterizar el flujo de CO_2 y H_2O a nivel de la hoja, la conductancia estomática y más, pero esto solo es una parte de todo el proceso relacionado con la fotosíntesis.

Las mediciones de la clorofila, una fluorescencia con un fluorómetro de modulación de amplitud de pulso, brindan información sobre la tasa de transferencia de

electrones (ETR), la extinción no fotoquímica (NPQ), una variedad de reacciones que protegen colectivamente una hoja cuando absorbe el exceso de energía luminosa.

Las mediciones combinadas de intercambio de gases y fluorescencia proporcionan una comprensión más completa del proceso fotosintético. Al unir, estas técnicas se pueden utilizar para evaluar la vía de difusión del CO_2 desde el espacio aéreo intercelular de la hoja hasta el cloroplasto. La resistencia difusiva del CO_2 a lo largo de esta vía es actualmente el objeto de una intensa investigación, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia del uso del agua en las plantas.

El método que usa el LI-6800 es el de sistema de intercambio de gases y, el LI-6800 es un sistema abierto de intercambio de gas, lo cual significa que las mediciones de la fotosíntesis y la transpiración se basan en las diferencias de CO_2 y H_2O en una corriente de aire que ingresa y sale de la cubeta de la hoja.

El LI-6800 mide muchos parámetros para estimar el intercambio de gas fotosintético. El sistema mide caudal ($\mu\text{mol aire s}^{-1}$) que ingresa a la cámara de la hoja (μ_0) y las concentraciones de CO_2 y H_2O que entraron (c_0 y w_0 , respectivamente) y salen (c_a y w_a , respectivamente) de la cámara de la hoja (Figura 6)

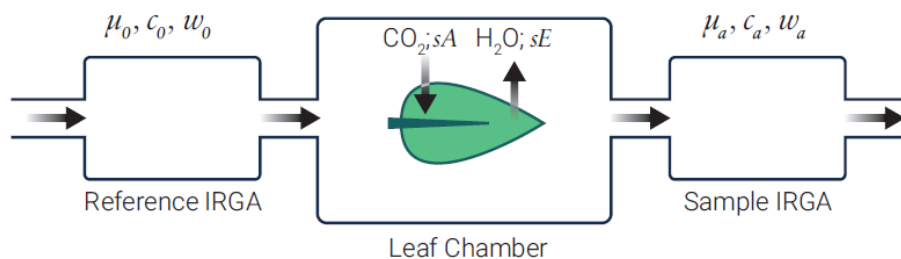


Figura 6. Esquema de un sistema abierto de intercambio de gases para medición de fotosíntesis a nivel de la hoja.

El LI-6800 calcula el flujo de masa por tiempo (es decir, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ y $\mu\text{mol H}_2\text{O s}^{-1}$) de estos gases dentro y fuera de la cámara. Las diferencias entre las concentraciones de CO_2 y H_2O dentro y fuera de la cámara de la hoja se deben a la asimilación y transpiración de CO_2 a nivel de la hoja en base al área (s) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Durante la asimilación de carbono fotosintético (A), la hoja absorbe CO_2 del aire que ingresa a la cámara mientras que simultáneamente libera H_2O a través de la transpiración (E) en el aire de la cámara (Li-6800, 2016). El caudal de aire que sale de la cámara no se mide directamente, se encuentra con la siguiente ecuación:

$$\mu_\alpha = \mu_0 + sE \quad (1)$$

donde s representa el área de la hoja. La transpiración de la hoja es agregar vapor de agua a la cámara, lo que cambia la densidad del aire y, por lo tanto, se agrega al flujo total en la cámara de la hoja.

Las mediciones de sistema abierto pueden utilizarse posteriormente para estimar parámetros de intercambio de gases importantes. La transpiración, en una base de área (s) de la hoja, se calcula como:

$$sE = \mu_\alpha \omega_\alpha - \mu_0 \omega_0 \quad (2)$$

Ocupando las dos ecuaciones anteriores podemos tener la ecuación para la transpiración:

$$E = \frac{\mu_0(\omega_\alpha - \omega_0)}{s(1 - \omega_\alpha)} \quad (3)$$

De manera similar, se calcula la asimilación neta de CO₂:

$$sA_{Net} = \mu_0 c_0 - \mu_\alpha c_\alpha \quad (4)$$

Utilizando la primera ecuación, en la ecuación anterior se reorganiza y queda de la siguiente manera:

$$A_{Net} = \frac{\mu_0 [c_0 - c_\alpha \left(\frac{1-\omega_0}{1-\omega_\alpha} \right)]}{s} \quad (5)$$

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental.

El experimento se llevó a cabo en el jardín hidráulico del departamento de riego y drenaje, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con coordenadas geográficas 25° 22' de latitud norte y 101° 22' de longitud oeste a 1743 msnm. El clima es semifrío semihúmedo con una temperatura promedio de 14 a 18°C, precipitación media anual de 214 mm (INIFAP, 2015).

3.2. Características físico-químicas del suelo y agua.

Antes la siembra se obtuvieron análisis de suelo y agua, para suelo se determinaron las propiedades físicas y químicas en el estrato de 0 – 40 cm, los análisis de agua (cuadro 3) y suelo (cuadro 2) se realizaron en el laboratorio de calidad de aguas, así como también la determinación de la porosidad del suelo en el laboratorio de RASPA del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN.

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro, utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas se obtuvo con el método de picnómetro. La porosidad del suelo (η) se estableció con los valores de densidad aparente (ρ_b) y densidad de partículas (ρ_s), con la siguiente relación:

$$\eta = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (6)$$

3.3. Establecimiento y manejo del cultivo.

El cultivo establecido fue pepino (*Cucumis sativus*) híbrido COBRA F1 con un ciclo de maduración de 45 días. La siembra se realizó de forma directa el día 18 de junio del 2018 colocando la semilla a una profundidad de 1 cm. Germinando 5 días después de la siembra. El cultivo se estableció a campo abierto, ocupando una superficie total de 256 m², previo al trasplante se efectuó la preparación del terreno con un barbecho y dos pasos de rastra. Se establecieron 4 camas (70 cm de ancho x 8 m de largo) para cada tratamiento con acolchado plástico de color negro, la distancia entre plantas fue de 40 cm y entre camas una distancia de 80 cm.

El riego se aplicó con un sistema de riego por goteo con una cinta de 16 mm de diámetro calibre 6 mil, una separación entre emisores de 20 cm el gasto del emisor fue de 0.86 LPH. Con diferente tiempo de riego para cada tratamiento acorde al abatimiento de la porosidad del suelo, los tiempos de riego se determinaron con la ecuación 7. La fertilización se realizó aplicando una solución nutritiva preparada para 1000 L de agua (cuadro 1) durante todo el ciclo del cultivo formulada con el requerimiento nutricional del mismo, utilizando los aportes del suelo (cuadro 2) y agua (cuadro 3). Esta se aplicó diariamente 15 días después del trasplante, en donde durante 5 días se aplicó solución nutritiva (sábado a miércoles), al día siguiente 1 kg de N(jueves) y el último día de la semana (viernes) un 1 L de ácido fosfórico (H₃PO₄). Como nutrición foliar con micronutrientes se utilizó fertrilon (300g/ha), para el manejo fitosanitario para controlar la incidencia de plagas como (mosca blanca) se utilizó imidacloprid + betacifluthrin a una dosis de 0.3 L/ha, para trips, pulgones y araña roja se utilizó permetrina (250 ml/ha) ambos con una frecuencia de 21 días, para la incidencia de hongos se aplicó Xtrack (1 L/ha) cada 15 días.

$$Tr = \frac{V_{agua}}{Q_{emisor}} \quad (7)$$

Donde:

T_r = Tiempo de riego (hr).

V_{agua} = Volumen de agua a aportar (L)

Q_{emisor} = Gasto del emisor (L).

$$V_{\text{agua}} = (\eta * V_{\text{soil}}) * 1000 \quad (8)$$

Donde:

η = porosidad del suelo.

V_{soil} = Volumen del suelo (m³).

$$V_{\text{soil}} = AC * PR * AB \quad (9)$$

Donde:

AC = Ancho de cama (m).

PR = Profundidad radicular (m).

AB = Ancho del bulbo de mojado (m).

Cuadro 1. Solución nutritiva aplicada al cultivo de pepino.

meq	Fuente	Peso molecular del fertilizante	Densidad	Pureza	Peso/ Volumen	Unidad
1.7	ácido fosfórico	98	1.6	85	123	ml/ 1000 L
4	ácido nítrico	63	1.42	85	209	ml/ 1000 L
2	nitrato de calcio	100			200	gramos
3.96	sulfato de magnesio	123			400	gramos
6	nitrato potasio	101			606	gramos
0.7	sulfato de amonio	132			92	gramos

3.4. Instrumentación y mediciones realizadas.

3.4.1. Medición de humedad del suelo.

La humedad del suelo se midió diariamente con un sensor TDR marca Spectrum Technologies, Inc. modelo TDR300 a una profundidad de 30 cm, se realizaron 5 mediciones en cada repetición para obtener el promedio de humedad del suelo de cada tratamiento.

3.4.2. Volúmenes de agua aplicados y consumidos.

Los volúmenes de agua aplicados por metro de longitud de cama, se obtuvieron con el producto del gasto del emisor, por el número de emisores por metro de longitud por el tiempo de riego de cada tratamiento.

El volumen de suelo por metro de longitud de cama se determinó considerando el volumen de un rectángulo de 0.25 m de profundidad, 0.30 m de ancho y un metro de

longitud. Sobre este volumen se añadió el volumen de un medio cilindro de 0.15 m de radio y un metro de longitud.

El volumen de agua consumido en cada tratamiento se obtuvo con la siguiente relación:

$$V_c = (\theta_{vf} - \theta_{vi}) * V_s \quad (10)$$

Dónde:

V_c = Volumen de agua consumido (m^3) por metro de longitud de cama

θ_{vf} = Contenido volumétrico de agua en el suelo después del riego (m^3/m^3)

θ_{vi} = Contenido volumétrico de agua antes del siguiente riego (m^3/m^3)

V_s = Volumen de agua del suelo por metro de longitud de cama (m^3)

La evapotranspiración foliar se obtuvo dividiendo el volumen de agua consumido de cada tratamiento por el área foliar promedio de las plantas.

3.4.3. Tasa de asimilación de CO_2 .

Se obtuvo utilizando un medidor de gases portátil LICOR-6800, anterior a las mediciones se calibraba el equipo de acuerdo a la radiación incidente al momento de las mediciones. Se midieron 3 hojas por planta y dos plantas por repetición.

3.4.4. Área foliar.

Para la estimación del área foliar de cada tratamiento se utilizó un equipo medidor de área foliar LICOR modelo LI-3100C con el cual se midió el área de las hojas de 2 plantas de cada tratamiento, con esto se obtuvieron dos modelos, uno para hojas con forma triangular (hasta 140.5 cm^2) y otro para hojas ovaladas (de 141 cm^2 en

adelante). Para la aplicación de dichos modelos se utilizaron las medidas obtenidas de largo x ancho en cuatro mediciones que se realizaron en dos plantas seleccionadas por repetición en cada tratamiento con una frecuencia semanal a partir del 14 de agosto utilizando una regla de 30 cm.

3.4.5. Diámetro ecuatorial y longitud del fruto.

El diámetro se midió a la mitad el fruto con un (vernier digital marca Mitutoyo modelo CD-8"CSX) en cada corte. Para la longitud del fruto se obtuvo midiendo la base del fruto hasta el inicio del pedúnculo, utilizando una regla milimétrica de 30 cm.

3.4.6. Peso del fruto y rendimiento total.

Se pesaron los frutos con una balanza semianalítica de 4 kg de capacidad marca OHAUS^R para obtener el peso promedio por fruto. Para la variable de rendimiento, se realizaron 4 cortes los días 8, 13, 23, y 30 de agosto del 2018, en los que se cosecharon frutos con las características específicas de madurez para consumo, y se pesaron en una balanza semianalítica marca OHAUS^R.

3.4.7. Análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones, la unidad experimental fue de 3 plantas para todas las variables. Solo para la variable de producción se tuvieron 4 repeticiones (número de cortes totales). Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis a un $\alpha \leq 0.05$ ya que algunos de los datos no presentaban normalidad, las diferentes variables fueron analizadas en el paquete estadístico R.

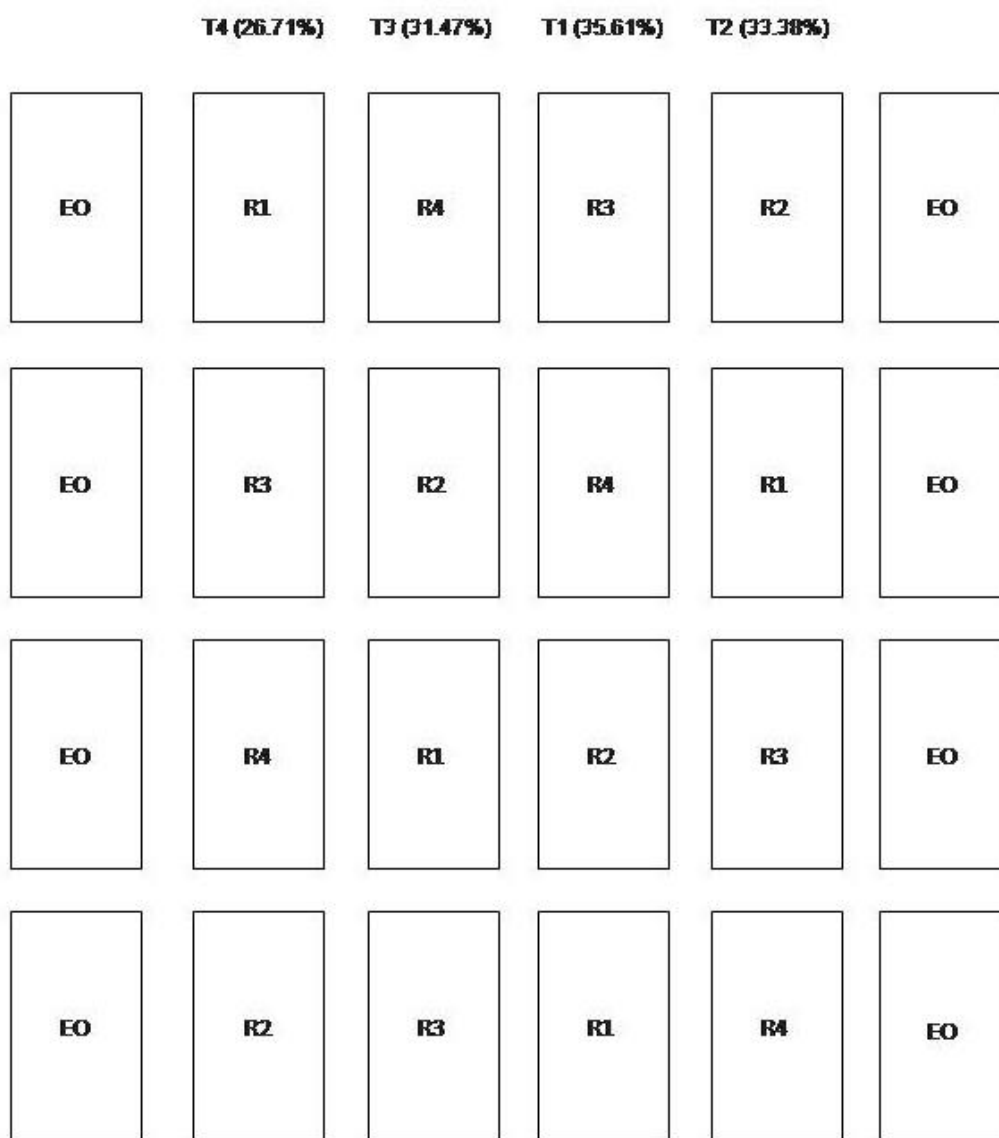
T1 = 35.61 %

T2 = 33.38 %

T3 = 31.47 %

T4 = 26.71 %

Figura 7. Distribución de los tratamientos en campo.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas y químicas del suelo y el agua

Las propiedades físico – químicas del suelo en el sitio de estudio muestran una textura de migajón arcilloso, con un pH ligeramente alcalino, suelo no salino y es medianamente rico en materia orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas del suelo del área de estudio

pH	7.92	
CE	0.82	d S /m
NO ₃	0.02	meq/L
K	0.11	meq/L
Ca	1.96	meq/L
Mg	0.24	meq/L
Materia orgánica	2.38	%
Arcilla	36.8	%
Limo	24	%
Arena	39.2	%
Textura		Migajon. Arcilloso
Densidad bruta	1.47	g/cm ³
Densidad de solidos	2.37	g/cm ³

El agua ocupada es ligeramente alcalina, no presenta problemas de salinidad, tienen un contenido de nitrato bajo, sulfatos concentración moderado, con cloro muy bajo, potasio bajo, tiene calcio muy alto, con magnesio muy alto y bicarbonato moderado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades físico-químicas del agua utilizada.

pH	7.69	
CE	0.68	d S /m
NO ₃	0.08	meq/L
SO ₄	0.79	meq/L
Cl	0.9	meq/L
K	0.12	meq/L
Ca	4.13	meq/L
Mg	0.8	meq/L
HCO ₃	4.04	meq/L

4.2. Volumen de agua aplicado y consumido en los tratamientos

La aplicación del riego con base al porcentaje de la porosidad del suelo T1(35.61%), T2(33.38%), T3(31.47%) y T4(27%) a través del ciclo de producción del cultivo, tuvo una marcada diferencia en el número de riegos aplicados (Cuadro 4), donde el contenido de humedad más alto recibió más riegos, se aplicó mayor volumen de agua al T1, seguido por el T3, T2 y T4. El porcentaje del agua consumida con relación al agua aplicada en los diferentes tratamientos fue: T1 (67.56%), T2 (68.83%), T3 (69.77), T4 (68.89%), el porcentaje restante corresponde al volumen de sobre riego.

La tasa de ET foliar (mm) fue menor en el T2 y T4 con respecto a los otros tratamientos, que se debió a que en el cálculo del volumen de riego se contemplaba el contenido de humedad del suelo antes del riego, dicho volumen de agua aplicado fue afectado por las lluvias, como se puede observar en la Figura 8, del día 21 del ciclo, hasta terminar el mismo se observaron lluvias de baja intensidad (1 a 2 mm) que modificaban los riego. Por lo que esa lluvia no se consideró en el volumen de agua aplicada al cultivo.

La porosidad de suelo determina directamente la cantidad de agua que el suelo puede retener, y a mayor porosidad mayor cantidad de agua; aunque el agua solo ocupa fracciones de la porosidad ya que comparte con el crecimiento de raíces y fracciones de aire en el suelo (Bottinelli *et al.*, 2010; Barros *et al.*, 2016).

Cuadro 4. Volumen de agua aplicado y consumido (por metro de longitud) en los diferentes tratamientos de humedad, durante el ciclo de crecimiento de las plantas (22 de junio al 20 de septiembre).

Tratamiento	Volumen de agua aplicado (L)	Núm. de riegos aplicados	Volumen de agua consumido (L)	Área foliar promedio del ciclo (m ²)	ET foliar (mm)	Volumen de sobre riego (L)
T1: 36.61%	221.55	29	149.69	1.173	130.14	71.86
T2: 33.38%	145.12	10	99.89	1.743	57.31	45.23
T3: 31.47%	160.43	8	111.94	1.083	103.36	48.49
T4: 26.71%	136.13	5	93.79	1.217	77.07	42.32

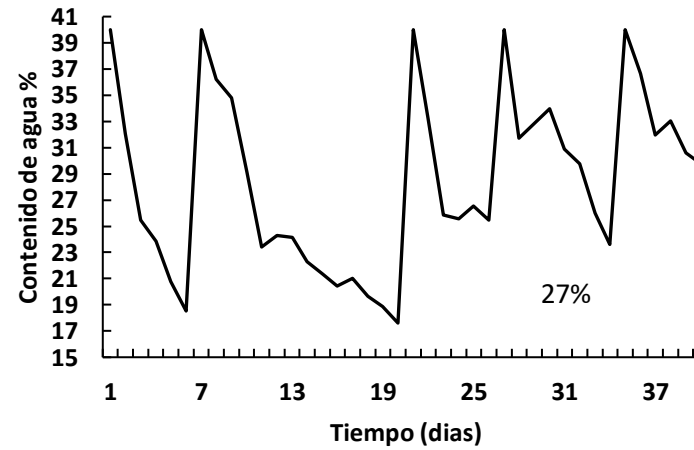
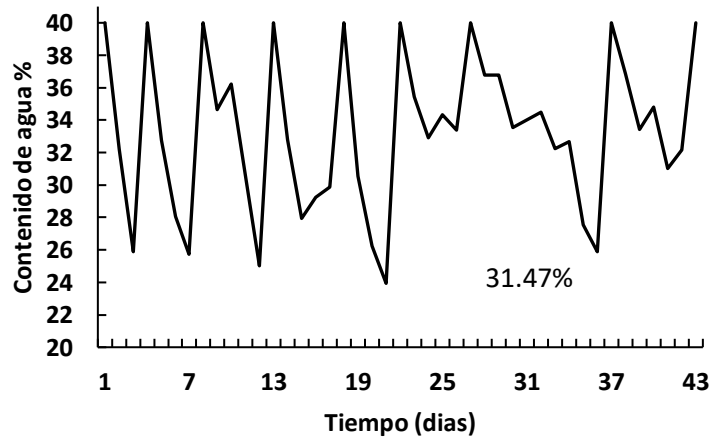
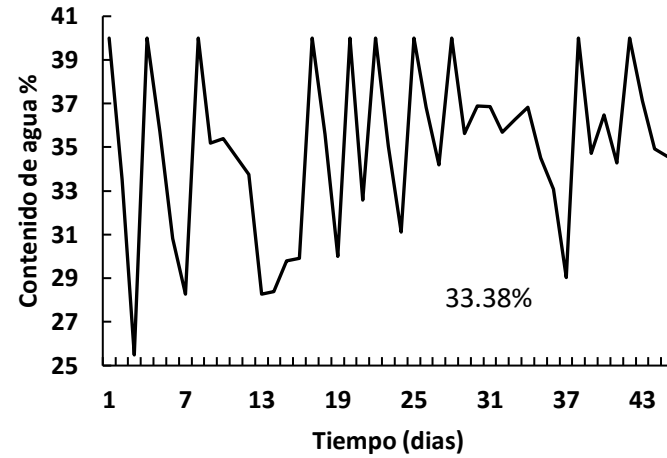
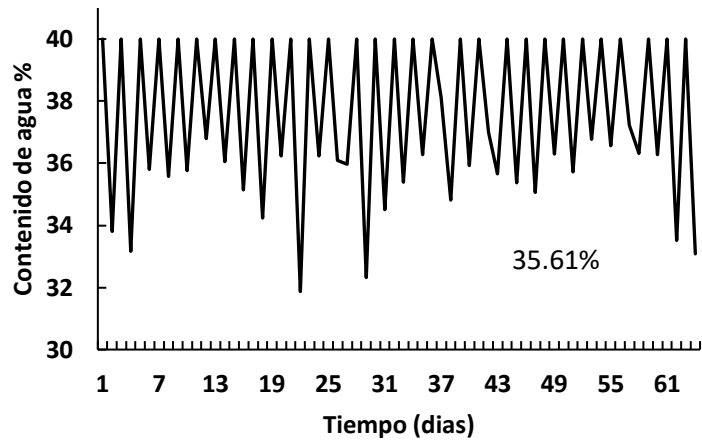


Figura 8. Contenido de la humedad del suelo en un perfil de 0 a 30 cm, durante el ciclo de producción (22 de junio al 20 de septiembre) de un cultivo de pepino.

4.3. Tasa de fotosíntesis

Las mediciones de fotosíntesis con el Licor-6800 deben de realizarse en días totalmente despejados (Li-6800, 2016). El periodo de lluvias en el norte del país correspondió con el ciclo del cultivo de la investigación, por lo que, fueron afectadas las mediciones realizadas. Por esta razón solo se presenta una gráfica de la tasa de asimilación (Figura 9). la medición se realizó el día 20 de agosto en condiciones de cielo totalmente despejado, no se observaron diferencias estadísticas en la tasa de asimilación de CO₂ entre los tratamientos T1, T2, T3, el T4 presentó la menor tasa de asimilación (Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$).

En el tratamiento con menor contenido de humedad (T4) muestra menor tasa de asimilación, esto se debe a que hay un cierre estomático para reducir la pérdida de agua; con el cierre de los estomas entra menos CO₂ lo cual da como resultado una menor tasa de asimilación (Quero et al., 2004; Lawlor and Tezara, 2009; Anjum *et al.*, 2011; Lisar and Motafakkerazad, 2012; Elshibli et al., 2016). En un estudio similar realizado por *Zhang et al. (2013)* en cultivo de pepino, obtuvo que un déficit hídrico en la planta da como resultado una disminución de la tasa de asimilación de CO₂; y otro estudio realizado por *Huang et al. (2018)* igual con cultivo de pepino le dio el mismo resultado, el estrés hídrico reduce la tasa de fotosíntesis.

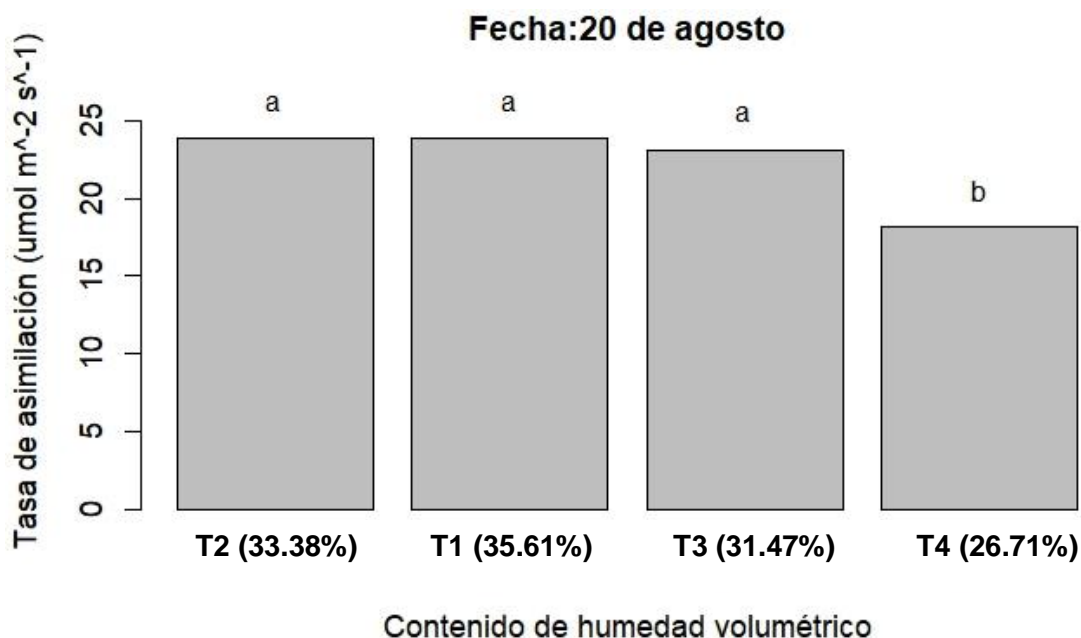


Figura 9. Tasa de asimilación de CO₂ del 20 de agosto del 2018, de un cultivo de pepino.

4.4. Área foliar

La mayor área foliar durante todo el ciclo del cultivo se observa en el T2 (Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$) que tuvo un moderado contenido de humedad del suelo (Figura 10). De la medición uno a la cuatro los tratamientos fueron diferentes teniendo una menor área foliar el T1. En las últimas dos mediciones los tratamientos T1, T3 y T4 fueron estadísticamente iguales.

La producción de biomasa está directamente relacionada con el área foliar de la planta, por mayor asimilación de CO₂. (Jaleel *et al.*, 2009; Ghami *et al.*, 2011; Moosavi, 2012; Hernández-Santana *et al.*, 2017). Entonces cuando la planta tiene una humedad moderada los procesos se realizan sin ningún problema (Boutraa *et al.*, 2010; Ennajeh *et al.*, 2010).

Resultado similar a la de esta investigación se obtuvo en estudio realizado por Amer (2011) en un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), a una moderada cantidad de agua en el suelo mayor área foliar. Lo contrario si la planta experimenta un estrés hídrico; el estrés hídrico conlleva al cierre estomático lo cual limita la entrada de CO₂, entonces no habrá fotosíntesis el cual afecta directamente el área foliar; otro punto es que el déficit de humedad afecta en la elongación celular y está es el que determina el volumen de las células vegetales (Boutraa, 2010; Álvarez *et al.*, 2011; Wyka *et al.*, 2019).

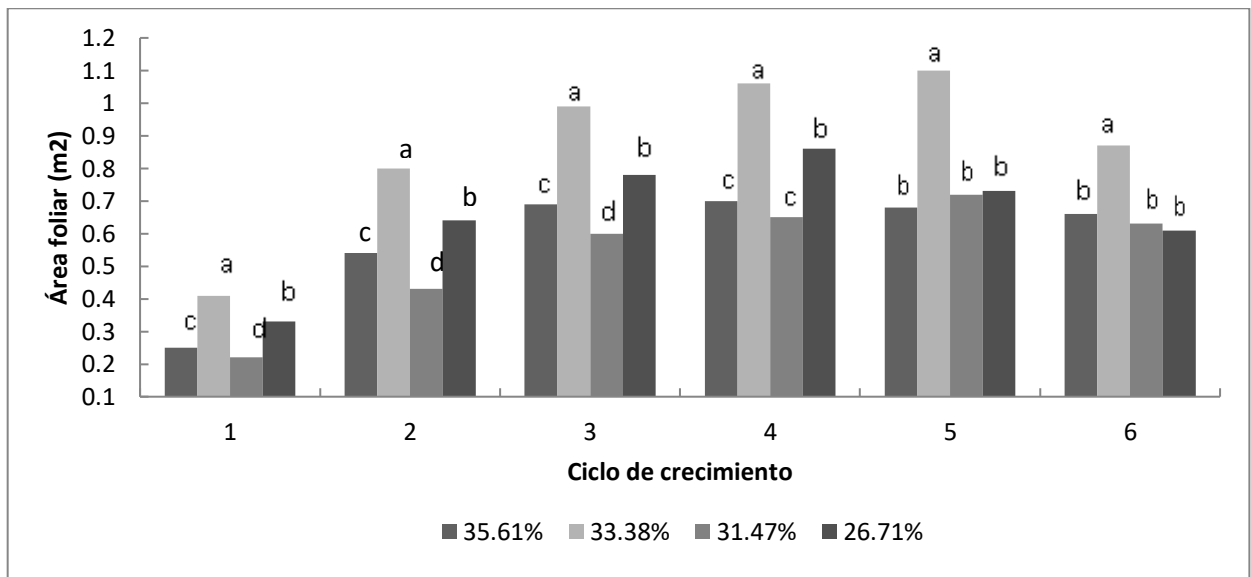


Figura 10. Comportamiento del área foliar del cultivo de pepino a través de su ciclo de producción. Medias con diferente letra son diferentes, la diferencia estadística se obtuvo con el rango de Kruskal Wallis ($P \leq 0.05$).

Para poder calcular el área foliar de las plantas se aplicaron modelos de regresión lineal (Figura 11), las gráficas muestran que el área es directamente proporcional a las medidas de L*A, teniendo así una relación positiva, también se puede observar que los valores $L*A < 140.5$ presentan un mejor ajuste al modelo. Nótese que el coeficiente de relación de cambio en ambos modelos es menor a la unidad indicando que los valores de área foliar (cm²) son menor los de L *A cm x cm.

En estudio realizado por Labbafi, (2017) en cultivo de calabacita donde evaluó varios modelos de regresión, obtuvo como resultado que el modelo lineal es el más exacto para determinar el área foliar, Singh, (2018) indica que un modelo de regresión lineal es efectivo para calcular el área foliar de un cultivo de pepino, cuando no es posible realizar medidas directas.

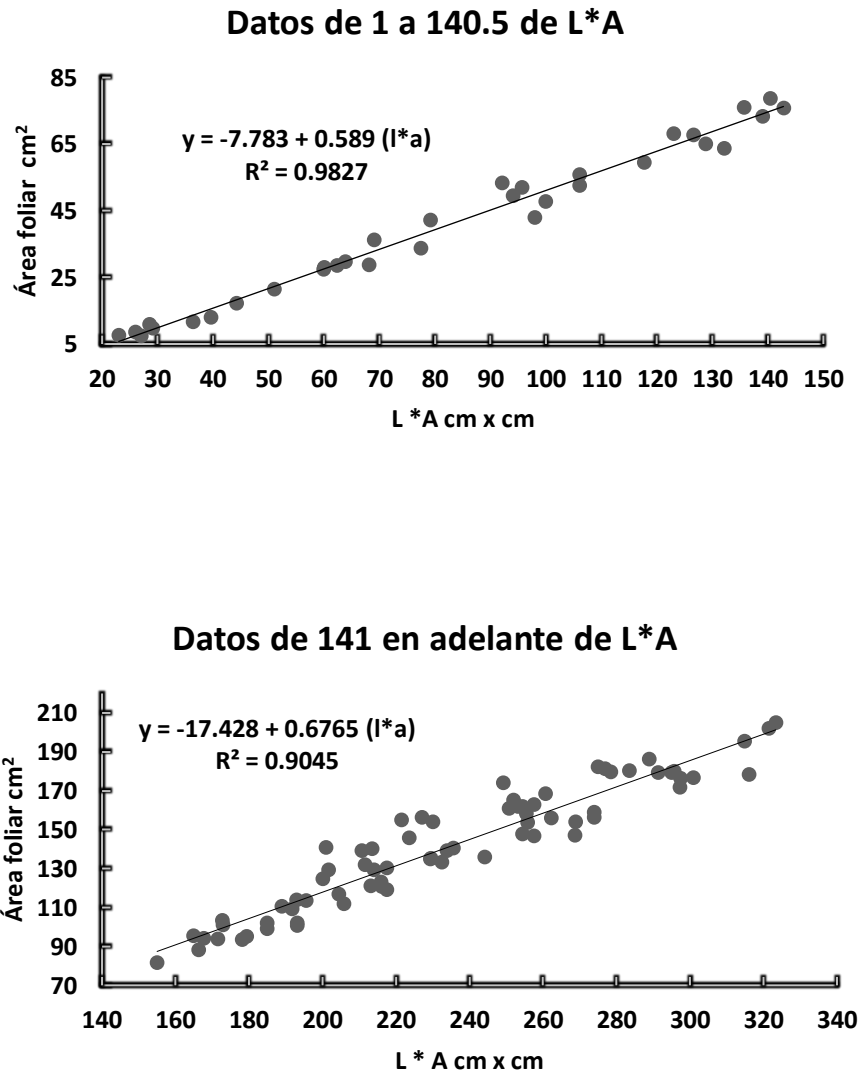


Figura 11. Modelos de regresión lineal para calcular área foliar (cm²). La figura 9 se obtuvo aplicando estos modelos para los datos de campo de L * A.

4.5. Producción

Debido a los diferentes volúmenes de agua que se aplicaron en cada tratamiento, la producción (kg/planta) fue diferente (Cuadro 5). El mayor rendimiento promedio se observó en el T2 (Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$). Seguido por el T4, T1 y T3, Lo que resulto en un incremento del 33.95, 39.94 y 25.56%de producción respectivamente. Comportamiento similar se observó en el número de frutos por planta. El T1 tuvo menor peso y longitud de fruto, que los otros tratamientos, no se observó diferencia en el diámetro de los frutos.

El moderado contenido de humedad del suelo (T2) reflejo mayor rendimiento, en un estudio similar (Rahil & Qanadillo, 2015) en un cultivo de pepino obtuvieron, que con una humedad moderada en el suelo se obtiene un mejor rendimiento, el tratamiento sometido a un riego 70% ETc presento los valores más altos en rendimiento, mientras que el tratamiento con riego de 100% ETc y riego agrícola (Recibió mayor cantidad de agua) mostraron menor productividad, los valores más bajos se observaron en un déficit severo. Las plantas del T1 que recibieron mayor volumen de agua, fueron afectadas por el exceso de la misma. En un suelo con exceso de humedad, los espacios porosos se llenan de agua y desplaza el oxígeno y la planta se enfrenta a un ambiente de anoxia (ausencia de O₂), la deficiencia de oxígeno limita la respiración de la raíz de las plantas; el oxígeno juega un papel muy importante en las plantas, al no tener oxígeno suficiente se afecta el ciclo de Krebs y el sistema de transporte de electrones. (Irfan *et al.*, 2010; Akhtar & Nazir, 2013; Aldana *et al.*, 2014; Ren *et al.*, 2014)

Los riegos del T4 pudieron tener efecto en el momento que la planta se encontraba en el amarre de flores y frutos, por lo que esto pudo haber influido en que se presente una alta producción.

Cuadro 5. Variables de producción evaluadas de un cultivo de pepino bajo diferentes contenidos de humedad.

Contenido volumétrico de humedad	Producción total	Numero de frutos cosechados promedio por planta	Peso promedio de fruto	Longitud promedio de fruto	Diámetro ecuatorial
(%)	Kg/planta		g	----- cm -----	
35.61	3.74 b	10.75 c	335.59 b	19.55 b	5.29 a
33.38	5.01 a	14.50 a	372.29 a	20.57 a	5.46 a
31.47	3.58 c	10.50 c	372.25 a	20.16 ab	5.34 a
26.71	3.99 b	12.25 b	369.98 a	20.50 a	5.40 a

Medias con diferente letra dentro de las columnas son diferentes, la diferencia estadística se obtuvo con el rango de Kruskal Wallis ($P \leq 0.05$).

V. CONCLUSIONES

La tasa de asimilación foliar de bióxido de carbono se reduce cuando los riegos se aplican cuando la humedad del suelo es igual o menor de $0.27 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Cambios en la humedad del suelo de 0.3147 a $0.3561 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ no tienen efecto en la tasa de fotosíntesis foliar. El rendimiento mayor de frutos se obtiene cuando los riegos se aplican cuando la humedad promedio del suelo es $0.3338 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

VI. RECOMENDACIONES

Se debe de estar monitoreando la profundidad radicular constantemente para modificar el volumen de agua a aplicar ya que esto ocasiona que se tenga un alto volumen de sobre riego.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Ahbarian, R. A. R. et al. (2011) 'Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes', *acta biologicacracoviensia*, 53(1), pp. 47–56. doi: 10.2478/v10182-011-0007-2.
- Ahmadi, S. H. et al. (2010) 'Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes : Gas exchange and xylem [ABA]', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 97(10), pp. 1486–1494. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.002.
- Akhtar, I. and Nazir, N. (2013) 'Effect of waterlogging and drought stress in plants', *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*, 2(2), pp. 34–40. doi: 10.5829/idosi.ijwres.2013.2.2.11125.
- Akram, M. (2011) 'Growth and yield components of wheat under water', 36(3), pp. 455–468.
- Aldana, F., García, P. N. and Fischer, G. (2014) 'Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants', *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), p. 393. doi: 10.18257/raccefyn.114.
- Álvarez, S. et al. (2011) 'Transpiration , photosynthetic responses , tissue water relations and dry mass partitioning in *C. allistemon* plants during drought conditions', *Scientia Horticulturae*, 129, pp. 306–312. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.031.
- Amer, K. H. (2011) 'Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 98(8), pp. 1197–1206. doi: 10.1016/j.agwat.2011.03.003.
- Anjum, S. A. et al. (2011) 'Morphological , physiological and biochemical responses of plants to drought stress', *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), pp. 2026–2032. doi: 10.5897/AJAR10.027.

- Arias, S. (2007) Manual: Produccion de pepino.
- Balal, R. M. et al. (2016) 'The role of selenium in amelioration of heat-induced oxidative damage in cucumber under high temperature stress', *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(6). doi: 10.1007/s11738-016-2174-y.
- Barros, J. L., Thiers, O. and Torres, F. (2016) 'Feasibility study of estimating the porosity of soils from sound absorption measurements', *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. Elsevier Ltd, 77, pp. 213–221. doi: 10.1016/j.measurement.2015.09.014.
- Bottinelli, N. et al. (2010) 'Earthworms accelerate soil porosity turnover under watering conditions', *Geoderma*. Elsevier B.V., 156(1–2), pp. 43–47. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.01.006.
- Boutraa, T. et al. (2010) 'Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia .', *Journal of Taibah University for Science*, 3(1), pp. 39–48. doi: 10.1016/S1658-3655(12)60019-3.
- Boutraa, T. (2010) 'Effects of Water Stress on Root Growth, Water Use Efficiency, Leaf Area and Chlorophyll Content in the Desert Shrub *Calotropis procera*', *J. Int. Environmental Application & Science*, 5(1), pp. 124–132.
- Cavagnaro, P. F. et al. (2010) 'Genome-wide characterization of simple sequence repeats in cucumber (*Cucumis sativus* L.)', *BMC Genomics*, 11(1), pp. 1–18. doi: 10.1186/1471-2164-11-569.
- CONABIO (2008) 'Cucumis sativus', *Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM)*, 2(14), pp. 14–15. Available at: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21650_sg7.pdf.
- Cruz, J. L. et al. (2016) 'Elevated CO₂ concentrations alleviate the inhibitory effect of drought on physiology and growth of cassava plants', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 210, pp. 122–129. doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.012.

- Dias, M. C. and Brüggemann, W. (2010) 'Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress : gas exchange , chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes', *PHOTOSYNTHETICA*, 48(1), pp. 96–102.
- Ding, X. et al. (2016) 'Exogenous glutathione improves high root-zone temperature tolerance by modulating photosynthesis, antioxidant and osmolytes systems in cucumber seedlings', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 6(October), pp. 1–12. doi: 10.1038/srep35424.
- Elshibli, S., Elshibli, E. M. and Korpelainen, H. (2016) 'Growth and photosynthetic CO₂ responses of date palm plants to water availability', *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(1), pp. 58–65. doi: 10.9755/ejfa.2015.05.189.
- Ennajeh, M. et al. (2010) 'Comparative impacts of water stress on the leaf anatomy of a drought-resistant and a drought- sensitive olive cultivar', *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 85(4), pp. 289–294. doi: 10.1080/14620316.2010.11512670.
- FAO, 2002; *El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo*; FAO Dirección de Producción y Protección Vegetal 90, Roma; Capitulo 6; disponible en <http://www.fao.org/3/s8630s/s8630s08.htm#bm08..2.4.5>
- Fereres, E. and Soriano, M. A. (2007) 'Deficit irrigation for reducing agricultural water use', *Journal of Experimental Botany*, 58(2), pp. 147–159. doi: 10.1093/jxb/erl165.
- Gajanayake, B. et al. (2014) 'Growth , developmental , and physiological responses of two sweetpotato (*Ipomoea batatas* L . [Lam]) cultivars to early season soil moisture deficit', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 168, pp. 218–228. doi: 10.1016/j.scienta.2014.01.018.
- Gao, Y. et al. (2017) 'Effects of extreme soil water stress on photosynthetic efficiency and water consumption characteristics of *Tamarix chinensis* in China ' s Yellow River Delta', *Journal of Forestry Research*. Springer Berlin Heidelberg, 28, pp. 491–501. doi: 10.1007/s11676-016-0339-6.

- Ge, T. et al. (2012) 'Effects of water stress on growth , biomass partitioning , and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L .) throughout the growth cycle', *Acta Physiol Plant*, 34, pp. 1043–1053. doi: 10.1007/s11738-011-0901-y.
- Ghaemi, A., Rahimi, A. and Banihashemi, Z. (2010) 'Effects of Water Stress and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycoopersici* on Growth (leaf area, plant height, shoot dry matter) and Shoot Nitrogen Content of Tomatoes Under Greenhouse Conditions', *Iran Agricultural Research*, 29(2), pp. 51–62. doi: 10.22099/iar.2011.136.
- Giorio, P. et al. (2018) 'Physiological, biochemical and molecular responses to water stress and re-hydration in Mediterranean adapted tomato landraces', *Plant Biology*, 20(6), pp. 995–1004. doi: 10.1111/plb.12891.
- Gupta, A. J., Chattoo, M. A. and Bhat, F. N. (2014) 'Standardization of drip irrigation and fertigation practices for commercial cultivation of hybrid cucumber under Kashmir conditions', *Progressive Horticulture*, 46(2).
- Hernandez, Santana, V. et al. (2017) 'Photosynthetic limitations by water deficit: Effect on fruit and olive oil yield, leaf area and trunk diameter and its potential use to control vegetative growth of super-high density olive orchards', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 184, pp. 9–18. doi: 10.1016/j.agwat.2016.12.016.
- Huang, H. J. et al., (2018). Effects of Water Stress on Growth, Photosynthesis, Root Activity and Endogenous Hormones of *Cucumis sativus*. *International journal of agriculture and biology*, 20(11), 2579-2589.
- INIFAP, 2015; Consultado en <http://www.inifapcirne.gob.mx/LocalizacionSaltillo.htm>
- Irfan, M. et al. (2010) 'Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging', *Protoplasma*, 241(1), pp. 3–17. doi: 10.1007/s00709-009-0098-8.

- Jaleel, C. A. et al. (2009) 'Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition', *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), pp. 100–105.
- Jiang, Y. P. et al. (2012) 'Interactive effects of CO₂ enrichment and brassinosteroid on CO₂ assimilation and photosynthetic electron transport in *Cucumis sativus*', *Environmental and Experimental Botany*. Elsevier B.V., 75, pp. 98–106. doi: 10.1016/j.envexpbot.2011.09.002.
- Khapte, P. S. et al. (2019) 'Deficit irrigation in tomato : Agronomical and physio-biochemical implications', *Scientia Horticulturae*, 248(October 2018), pp. 256–264. doi: 10.1016/j.scienta.2019.01.006.
- Labbafi, M. et al. (2017) 'Using models for estimation of leaf area index in *Cucurbita pepo* L .', *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. The Authors, pp. 0–6. doi: 10.1016/j.jssas.2016.12.006.
- Lawlor, D. W. and Tezara, W. (2009) 'Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes', *Annals of Botany*, 103(4), pp. 561–579. doi: 10.1093/aob/mcn244.
- Leiblein, M. C. and Lösch, R. (2011) 'Biomass development and CO₂ gas exchange of *Ambrosia artemisiifolia* L . under different soil moisture conditions', *Flora*. Elsevier GmbH., 206(5), pp. 511–516. doi: 10.1016/j.flora.2010.09.011.
- Li, J. et al. (2018) 'Alginate-derived oligosaccharides promote water stress tolerance in cucumber (*Cucumis sativus* L .)', *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier, 130(March), pp. 80–88. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.06.040.
- Li-cor, 2016; Using the LI-6800:Portable Photosynthesis System.
- Lisar, S. Y. S. et al. (2012) *Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses*.
- MA, A. et al. (2015) 'Effects of Irrigation Frequency and Manure on Growth Parameters , Crop Coefficient and Yield of Okro (*AbelmoscusEsculeutus*)',

- Journal of Environment and Earth Science, 5(18), pp. 1–6.
- Medina, R. et al. (2011) 'Seasonal variation of photosynthesis in several', *Bio ciencias*, 1(3), pp. 36–45.
- Medrano, H. et al. (2003) 'A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions : effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality', *Functional Plant Biology*, 30, pp. 607–619.
- Medrano, H. et al. (2007) 'Eficiencia en el uso del agua por las plantas', *Investigaciones Geográficas*, 43, pp. 63–84.
- Mejía de, M. S. et al. (2014) 'Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W . Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz', *Acta Agronomica*, 63, pp. 311–317.
- Moosavi, S. G. (2012) 'The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize', *Pakistan Journal of Botany*, 44(4), pp. 1351–1355.
- Morille, B., Migeon, C. and Bournet, P. E. (2013) 'Is the Penman-Monteith model adapted to predict crop transpiration under greenhouse conditions? Application to a New Guinea *Impatiens* crop', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 152, pp. 80–91. doi: 10.1016/j.scienta.2013.01.010.
- Naz, H., Akram, N. A. and Ashraf, M. (2016) 'Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions', *Pak. J. Bot.*, 48(3), pp. 877–883.
- Pachpute, J. S. (2010) 'A package of water management practices for sustainable growth and improved production of vegetable crop in labour and water scarce Sub-Saharan Africa', *Agricultural Water Management*, 97(9), pp. 1251–1258. doi: 10.1016/j.agwat.2009.11.009.
- Pettersen, R. I., Torre, S. and Gislerød, H. R. (2010) 'Effects of leaf aging and light

- duration on photosynthetic characteristics in a cucumber canopy', *Scientia Horticulturae*, 125, pp. 82–87. doi: 10.1016/j.scienta.2010.02.016.
- Pino, M. del (2013) 'El Pepino', *Contaco Rural*, 3, pp. 10–11.
- Qingming, Li (2011) 'Effects of doubled co₂ concentration on photosynthetic characteristics of cucumber seedlings under drought stresses', *China Agriculture Science*, 44(5), pp.963-971.
- Quero, J. L., Marañón, T. and Villar, R. (2004) 'Tasas de fotosíntesis en plántulas de alcornoque y roble del sotobosque', *Almoraima*, 31, pp. 101–110.
- Rahil, M. H. and Qanadillo, A. (2015) 'Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 148, pp. 10–15. doi: 10.1016/j.agwat.2014.09.005.
- Ren, B. et al. (2014) 'Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions', *Canadian Journal of Plant Science*, 94(1), pp. 23–31. doi: 10.4141/CJPS2013-175.
- SAGARPA (2018) 'Atlas Agroalimentario 2012-2018', Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA, 1, p. 222. doi: 10.1111/resp.12002.
- Sebastian, P. et al. (2010) 'Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C . melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia , and the sister species of melon is from Australia', *PNAS*, 107, pp. 14269–14273. doi: 10.1073/pnas.1005338107.
- Shibuya, T. et al. (2016) 'Photosynthetic Properties and Response to Drought in Cucumber Seedlings Acclimatized to Different Vapor-pressure-deficit Levels', *The Horticulture Journal*, 86(3), pp. 334–339. doi: 10.2503/hortj.mi-154.
- Singh, M. C., Singh, K. and Singh, J. (2018) 'Indirect method for measurement of leaf area and leaf area index of soilless cucumber crop', *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(2), pp. 188–191. doi: 10.15406/apar.2018.08.00311.

- SongAi, N. (2012) 'Evolusifotosintesis pada tumbuhan', *IlmiahSains*, 12(1), p. 7.
- Wang, M. et al. (2015) 'Growth , morphological and photosynthetic characteristics, antioxidant capacity , biomass yield and water use efficiency of *Gynura bicolor* DC exposed to super-elevated CO₂', *Acta Astronautica*. Elsevier, 114, pp. 138–146. doi: 10.1016/j.actaastro.2015.05.010.
- Wyka, T. P. et al. (2019) 'Drought-induced anatomical modifications of barley (*Hordeum vulgare* L .) leaves : An allometric perspective', *Environmental and Experimental Botany*, 166(June). doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103798.
- Xu, Z. and Zhou, G. (2011) 'Responses of photosynthetic capacity to soil moisture gradient in perennial rhizome grass and perennial bunchgrass', *BMC Plant Biology*, 11.
- Yaghi, T., Arslan, A. and Naoum, F. (2013) 'Cucumber (*Cucumis sativus* , L .) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 128, pp. 149–157. doi: 10.1016/j.agwat.2013.06.002.
- Yamori, W. (2016) 'Photosynthetic response to fluctuating environments and photoprotective strategies under abiotic stress', *Journal of Plant Research*. Springer Japan, 129(3), pp. 379–395. doi: 10.1007/s10265-016-0816-1.
- Zamora, M., Peña, R. and Verdecia, M. (2014) 'Answer of the cucumber to a variable handling of the catering', *Centro Agricola*, 40(1), pp. 5–11.
- Zhang, D. et al. (2018) 'Reducing the Excessive Evaporative Demand Improved the Water-use Efficiency of Greenhouse Cucumber by Regulating the Trade-off between Irrigation Demand and Plant Productivity', *HortScience*, 53(12), pp. 1784-1790.
- Zhang, Lidong et al. (2013) 'Rubisco gene expression and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings in response to water deficit', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 161, pp. 81–87. doi:

10.1016/j.scienta.2013.06.029.

Zhang, S. Y. et al. (2010) 'Critical responses of photosynthetic efficiency of goldspur apple tree to soil water variation in semiarid loess hilly area', *Photosynthetica*, 48(4), pp. 589–595.