

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL
USO DEL AGUA DE UN CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.)**

Por:

CARLOS MAZARIEGOZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA DE UN CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.)

Por:

CARLOS MAZARIEGOZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA
EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA DE UN CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.)

POR:

CARLOS MAZARIEGOZ LÓPEZ

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

A mis padres: Julio Mazariegos Álvarez

Flor López Pérez

Por darme vida, enseñarme a trabajar y por tener confianza en que lograría mis metas, y sobre todo por su cariño incondicional.

A mis hermanos (as):

Por formar parte importante en mi vida (Guadalupe, Claudia, Anabel) y principalmente a mi hermano Santiago Mazariegos Álvarez, por todo el apoyo brindado, por ser un ejemplo y una de las principales razones por las cuales he alcanzado esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo brindado por mis padres y principalmente mi hermano, es gran parte gracias a ellos que hoy logro estar en esta etapa de la vida.

A MI ALMA MATER

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales y por todos los conocimientos que me permitió adquirir a lo largo de la carrera.

A MIS MAESTROS

A mis maestros del departamento de Riego y Drenaje, y de otros departamentos por la formación y los conocimientos compartidos para mi formación profesional.

A MI ASESOR DE TESIS.

Al M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez por todo el apoyo brindado a lo largo de este periodo en mi proyecto de investigación.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE LA CARRERA

A Jesús Daniel Luna, José Juárez, Eduardo Daniel Santiago, Luis Antonio Villagrán, Bernardo Villafan, Judith Pérez Ramos, Yarian Díaz.

A MIS AMIGOS (AS)

A todos los amigos que he conocido durante esta etapa, principalmente a Nelvi Pérez por ser una gran persona y formar parte de la familia, a Magna y sobre todo a Adriana Yuleimi Roblero por permitirme la confianza y brindarme apoyo cuando lo necesitaba, a mi gran amiga Arlene Aylin Monzon Ronquillo por ser una maravillosa persona y poder contar con ella a pesar de la distancia. A Lizbeth Vanesa Rangel por tener un gran corazón, por tener esa chispa de alegría, por ser una persona que brinda lo mejor de sí y ver lo bueno en cada persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	OBJETIVO	3
	HIPÓTESIS.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1 Origen	4
	2.2 Taxonomía del pepino.....	4
	2.3 Características botánicas.....	5
	2.4 Importancia económica del pepino.....	6
	2.5 Manejo agronómico del cultivo del pepino a campo abierto.....	8
	2.6 Importancia del riego oportuno en la producción del cultivo de pepino.....	12
	2.7 Transpiración en las plantas y factores ambientales que la afectan.	12
	2.8 Fotosíntesis; factores que la afectan y la relación con la producción.....	14
	2.9 Relación entre humedad del suelo, la tasa de transpiración, fotosíntesis y producción.	15
	2.10 Diferencias entre la tasa de transpiración y fotosíntesis de un cultivo de pepino con relación a otros cultivos.....	17
	2.11 Eficiencia del uso del agua en diferentes cultivos.....	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
	3.1 Localización del sitio experimental.....	23
	3.2 Características físico-químicas del suelo y agua.	23
	3.3 Establecimiento y manejo del cultivo.	24
	3.4 Instrumentación y mediciones realizadas.	26
	3.4.1 Medición de humedad del suelo.....	26

3.4.2	Volúmenes de agua aplicados y consumidos.....	26
3.4.3	Eficiencia del uso del agua.....	27
3.4.4	Diámetro ecuatorial y longitud del fruto.	27
3.4.5	Peso del fruto y rendimiento total.	27
3.4.6	Análisis estadístico.	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1	Propiedades físicas y químicas del suelo y agua.....	30
4.2	Contenido de agua en el suelo.	31
4.3	Rendimiento.....	34
4.4	Eficiencia del uso del agua (EUA).....	35
V.	CONCLUSIONES.....	37
VI.	BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales plagas que afectan el cultivo de pepino a campo abierto. -----	11
Cuadro 2. Solución nutritiva aplicada al cultivo de pepino. -----	25
Cuadro 3. Distribución de los tratamientos en campo. -----	29
Cuadro 4. Propiedades físico – químicas del suelo del área de estudio. -----	30
Cuadro 5. Propiedades físico- químicas del agua utilizada. -----	31
Cuadro 6. 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 de 2018).-----	32
Cuadro 7. Variables de producción evaluadas de un cultivo de pepino bajo diferentes contenidos de humedad. -----	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de pepino. -----	5
Figura 2. Volumen de producción de pepino en las principales entidades productoras de México (2012-2017) (SAGARPA, 2018).-----	7
Figura 3. Evolución del comercio exterior del cultivo de pepino (millones de dólares) (SAGARPA, 2018). -----	8
Figura 4. Proceso de transpiración en las hojas de las plantas, (Salgado, 2018). ---	13
Figura 5. Relación entre el rendimiento de un cultivo de tomate respecto a distintas láminas de riego aplicadas (López-López et al., 2009). -----	16
Figura 6. Respuesta de la tasa fotosintética de dos variedades de banano sometidas a estrés hídrico (Salazar et al., 2014). -----	17
Figura 7. Comparación entre la radiación PAR incidente sobre cuatro niveles foliares (gráfica superior) de un cultivo de pepino y fotosíntesis neta correspondiente (gráfica inferior) (Lorenzo, 2012)-----	19
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. -----	33

RESUMEN

El agua es un recurso indispensable para la producción agrícola. La creciente escases obliga a tomar medidas para su mejor aprovechamiento, por lo cual es necesario conocer la eficiencia con la que los cultivos aprovechan el agua. El pepino es una hortaliza que presenta procesos fisiológicos sensible a distintos niveles de humedad en el suelo, lo cual determina el rendimiento y la eficiencia del uso del agua. Conocer la respuesta del cultivo a la humedad del suelo permite un mejor uso del recurso hídrico. En el presente estudio se evaluó la respuesta de un cultivo de pepino a cuatro regímenes de riego; T1 (36.61%), T2 (33.38%), T3 (31.47%) y T4 (26.71%) durante todo el ciclo de la plantación. Las variables estudiadas fueron rendimiento y eficiencia en el uso del agua, se observó que el tratamiento 2 presentó mejores resultados, obteniendo 5.01 kg/planta y 70.44 kg m⁻³ respectivamente, mientras que el tratamiento 1, al que se manejó con niveles de humedad próximos a saturación, se vio afectado a mayor escala en los resultados, obteniendo los valores más bajos en las variables evaluadas, reportando un valor de 42.66 kg m⁻³ para eficiencia y 3.79 kg/planta para rendimiento. El estudio demuestra que el cultivo presenta una adaptabilidad a un déficit de humedad controlado y representa una alternativa para el aprovechamiento del agua en la producción agrícola.

Palabras clave: porosidad, estrés hídrico, eficiencia en el uso del agua, humedad del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos hídricos es un tema de gran importancia en la actualidad; la eficiencia con que las plantas usan el agua es un punto clave. Conocer la respuesta a distintos niveles de humedad nos permite conocer cuáles son los niveles óptimos para que las plantas obtengan mejores rendimientos, y así hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos. (Medrano *et al.*, 2007; Rahil & Qanadillo, 2015).

La disponibilidad de humedad del suelo es un factor crítico para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Yang *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2013). El contenido de agua en el suelo es importante para la programación del riego, ya que permite determinar la lámina de agua por aplicar y el tiempo de aplicación. (Hu & Si, 2014) también es determinante en la productividad de los cultivos (Mejía *et al.*, 2014).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mantienen una estrecha relación entre la capacidad de retención de humedad por parte del suelo y el buen desarrollo de los cultivos (Porta *et al.*, 2006). Las propiedades físicas relacionadas con el tamaño y distribución de partículas, así como la porosidad total determinan directamente la capacidad de retención y movimiento del agua (Anicua *et al.*, 2009; Zaffar & Lu, 2015), y representan efectos importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Xiao *et al.*, 2016; Villasanti *et al.*, 2013). Contar con una buena distribución de poros en el perfil del suelo permiten que el agua, aire y nutrientes circulen en el suelo de tal forma que sean aprovechados de mejor manera por los cultivos (Indoria *et al.*, 2017).

La eficiencia del uso del agua es un indicador que se utiliza para evaluar el rendimiento de los cultivos (Violet-Chabrand *et al.*, 2016). Este puede definirse como el agua requerida por las plantas para producir un kilogramo de materia. (Medrano *et al.*, 2007; Violet-Chabrand *et al.*, 2016).

Topbjerg *et al.* (2014) evaluaron la eficiencia del uso del agua de un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) observando que los clones que obtuvieron una mayor eficiencia en el uso del agua estuvieron bajo condiciones óptimas de humedad atribuyendo esta diferencia a que presentaron mayor tasa de fotosíntesis.

Por otra parte, Medrano *et al.* (2007) estudiaron cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y vid de mesa (*Vitis vinífera* L.), evaluando distintos niveles de humedad con respecto al riego habitual aplicado por los agricultores de la zona, donde se pudo observar que el nivel de disponibilidad hídrica del 60% para la lechuga y 30% para la vid presentaron una mayor eficiencia en el uso del agua. Giorio *et al.* (2018) encontraron que en un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) un estrés hídrico severo presenta limitaciones estomáticas y una baja eficiencia en el uso del agua.

Rahil & Qanadillo (2015) analizaron los efectos de 4 regímenes de riego (riego de agricultores, riego a base de tensiómetro, riego a datos completos de Evapotranspiración del cultivo (ET_c) y riego al 70% de ET_c) en un cultivo de pepino, donde los resultados mostraron que el suelo al 70% de humedad con respecto tratamiento control (riego aplicado normalmente por los agricultores de la zona del estudio) presentó mayor eficiencia en el uso del agua además de un mayor rendimiento por el cultivo.

López-López *et al.* (2009) encontraron que el rendimiento en un cultivo de tomate de cascara aumenta en suelos con mayor humedad disponible, así pues, el tratamiento con láminas de riego del 100% de la (Evapotranspiración de referencia (ET₀)) obtuvo mejores resultados en comparación a láminas de 40%. Quintal *et al.*, (2012) evaluaron el efecto de cinco niveles de humedad aprovechable (60, 50, 40, 30 y 20%) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obteniendo un mejor rendimiento de fruto en el tratamiento con mayor humedad (60%).

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas que más se consumen en el mundo (Çakir *et al.*, 2017a), y de gran importancia económica para México (Barraza-

Álvarez, 2015). China encabeza la producción de esta hortaliza aportando un 77% a la oferta internacional, México ocupa el séptimo lugar como productor a nivel mundial, donde Sinaloa y Sonora son los estados con mayor participación en la producción en 2017 (SAGARPA, 2018). Norteamérica representa el mayor mercado para las exportaciones, reportándose en 2017 una adquisición de 754 mil 806 y 6 mil 430 toneladas por parte de Estados Unidos y Canadá respectivamente (SAGARPA 2018).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del contenido de humedad del suelo en la eficiencia del uso del agua de un cultivo de pepino a través de su ciclo de producción, y su relación con el rendimiento.

HIPÓTESIS

El contenido de humedad en el suelo en un cultivo de pepino afecta la eficiencia del uso del agua y el rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Origen

El pepino (*Cucumis sativus* L.), perteneciente a la familia Cucurbitaceae es un cultivo originario del sur de Asia, específicamente de la India, donde se existen gran cantidad de variedades silvestres (Sebastian *et al.*, 2010; Ullah *et al.*, 2012; Qi *et al.*, 2013), es una planta herbácea, anual, rastrera y puede ser trepadora si se le coloca tutorado, una de sus características más notables es su gran envergadura (Reche, 2011).

2.2 Taxonomía del pepino.

De acuerdo con (CONABIO, 2008; Lim, 2012) la clasificación taxonómica del pepino es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: *Cucumis* L.

Especie: *sativus* L.

2.3 Características botánicas

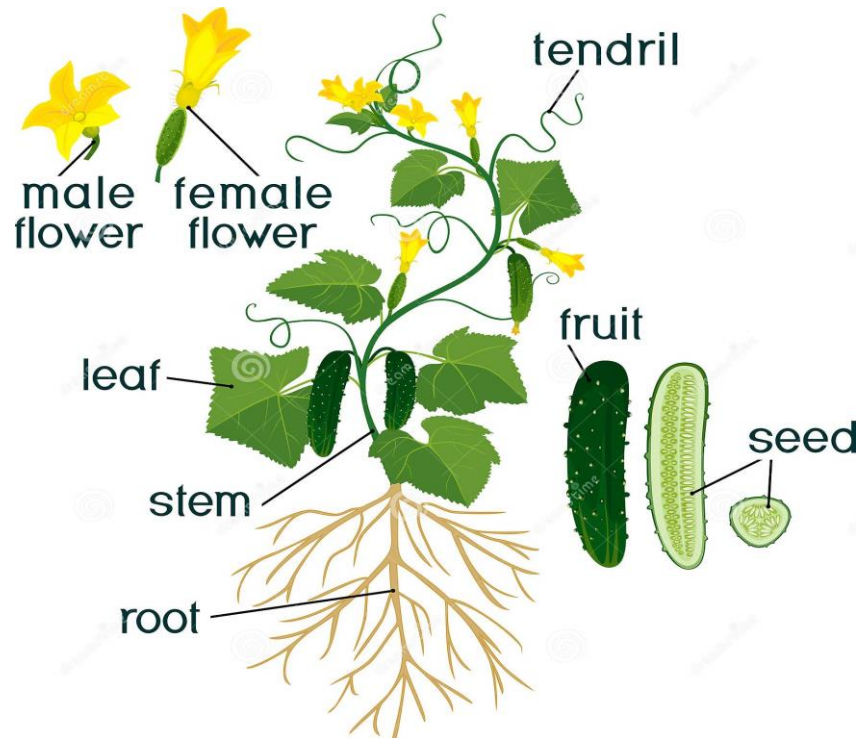


Figura 1. Morfología de la planta de pepino.

El cultivo presenta un sistema radicular denso, fibroso, extenso y superficial, tiene la característica de no desarrollar raíces adventicias, cuenta con una raíz principal pivotante que llega a alcanzar los 60 cm de profundidad. Las raíces del pepino tienen la característica de ser de rápido crecimiento y la longitud máxima que estas puedan alcanzar es determinado en gran medida por el tipo de suelo en el que se encuentre (FAO, 2002; Reche, 2011)

El tallo poligonal es herbáceo y presenta un crecimiento indeterminado con ramificaciones (Reche, 2011). Presenta hojas pecioladas, con pecíolo largo y hendido, grandes, palminervias, acorazonadas, opuestas a los zarcillos, simples, alternas, de limbo lobulado, divididas en 3-4 lóbulos más o menos pronunciados, siendo el central siempre el más pronunciado, y esto depende de la variedad, ya que en algunas no se

llega a apreciar notablemente. Presentan bordes suavemente dentados, están recubiertas de una vellosidad fina, de tacto áspero lo cual se puede apreciar más en las hojas viejas, con nervios muy pronunciados por el envés. Las hojas de pepino se desarrollan en cada nudo del tallo junto a los zarcillos, presentan un tono verde claro cuando son jóvenes y de tono algo más oscuro y más quebradizas las más bajas de la planta (Křístková *et al.*, 2003; Reche, 2011).

Las flores son de color amarillo intenso y se desarrollan en las axilas de las hojas, éstas pueden ser andromonoicas, dioicas y hermafroditas, aunque típicamente es un cultivo monoico (Barbero, 2005). Se requiere de una polinización para dar origen al fruto. Al principio los primeros botones florales producen flores masculinas y los botones situados más arriba dan lugar a las flores femeninas, las cuales van aumentando con el crecimiento de la planta (Křístková *et al.*, 2003). En las primeras etapas de desarrollo las flores son bisexuales, pero más adelante queda determinado el sexo definitivo esto de acuerdo a la genética de la planta, posición de la flor en el tallo, factores ambientales y por el nivel de hormonas endógenas. Días largos y altas temperaturas darán como resultado el desarrollo de flores masculinas, mientras que días cortos con temperaturas normales provocan el desarrollo de las femeninas (FAO, 2002; Reche, 2011).

Los frutos son largos, cilíndricos, lisos o ligeramente espinosos. Su carne es jugosa, su exterior es de color verde claro en un inicio y se torna más oscuro después hasta adoptar un color amarillento al alcanzar su madures fisiológica, llegan a su madures a los 55-65 días después del trasplante (Bojacá & Monsalve, 2012; Reche, 2011).

2.4 Importancia económica del pepino.

El pepino es una de las hortalizas más consumidas en el mundo, es además de gran importancia económica para México (Adeoye & Balogun, 2016; Barraza-Álvarez, 2015). China encabeza la lista como el mayor productor, aportando un 77% a la oferta internacional, México ocupa el 7° como productor mundial con una producción de

956,005 toneladas anuales, donde Sinaloa y Sonora son los estados con mayor participación en la producción en 2017. Norteamérica representa el mayor mercado para las exportaciones, reportándose en 2017 una adquisición de 754 mil 806 y 6 mil 430 toneladas por parte de Estados Unidos y Canadá respectivamente (SAGARPA, 2018).

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%) 2012-2017
		2012	2017	
	Total nacional	640,508	956,005	49.3
1	Sinaloa	283,329	329,501	16.3
2	Sonora	65,146	192,379	195
3	Michoacán	79,304	107,694	35.8
4	Baja California	43,863	55,189	25.8
5	Guanajuato	7,710	47,904	521
6	Yucatán	36,632	35,515	-3.0
7	Morelos	25,927	35,394	36.5
8	Zacatecas	17,783	27,898	56.9
9	Jalisco	12,587	22,327	77.4
10	Colima	9,547	18,552	94.3
	Resto	58,680	83,651	42.6

Figura 2. Volumen de producción de pepino en las principales entidades productoras de México (2012-2017) (SAGARPA, 2018).

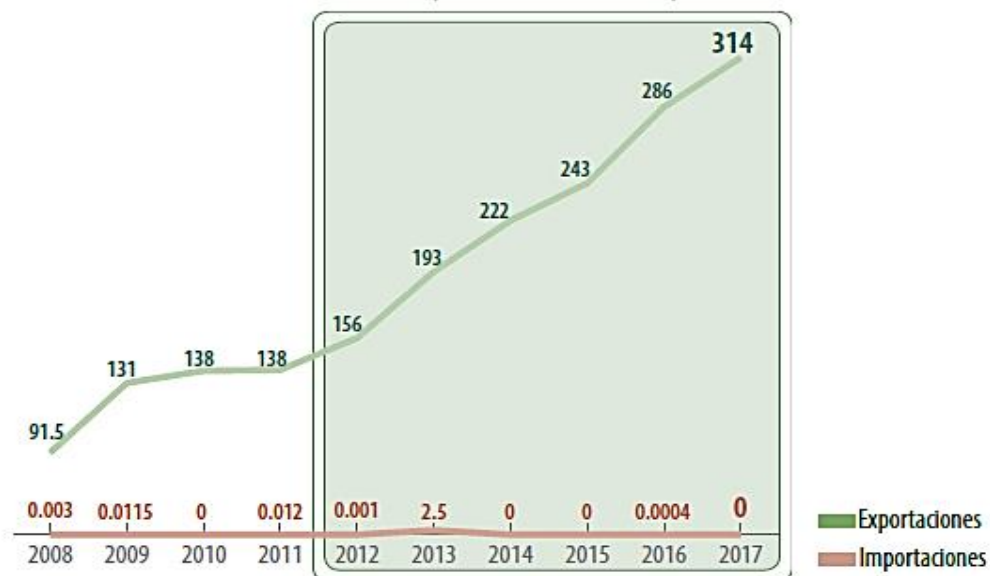


Figura 3. Evolución del comercio exterior del cultivo de pepino (millones de dólares) (SAGARPA, 2018).

2.5 Manejo agronómico del cultivo del pepino a campo abierto.

La temperatura para el desarrollo de las plantas de pepino debe oscilar entre 6-38 °C, siendo la ideal entre 20 y 30 °C (Arias, 2007; SAGARPA, 2018). Es un cultivo con elevados requerimientos de humedad atmosférica, siendo la humedad relativa optima de 60 a 70°C durante el día y de 70 a 90°C durante la noche, evitando excesos de humedad durante el día (arriba del 90%), ya que esto puede afectar la producción al presentarse una disminución de la transpiración y de la fotosíntesis (FAO, 2002).

Tiene la capacidad de desarrollarse en casi cualquier tipo de suelo, pero presenta un mejor crecimiento y desarrollo en un suelo franco medianamente profundo con un pH de 5.5 - 6.8 ya que la planta no tolera la salinidad (Arias, 2007; SAGARPA, 2018). Puede cultivarse desde 0 a 2000 msnm (SAGARPA, 2018), no tolera los excesos de agua por lo que las zonas con precipitaciones de entre 500 y 1200 mm al año son la más idóneas para su siembra. Tiene buen desarrollo en días cortos (con menos de 12

horas de luz), aunque tiene la característica de presentar mayor productividad con presencia de mayores cantidades de radiación solar (Arias, 2007).

El viento representa un factor determinante en la producción del pepino. Vientos con larga duración y velocidades arriba de los 30 km/h pueden acelerar la pérdida de agua por la planta, reducen la humedad relativa del aire y provocan un aumento en la exigencia de agua por la planta (Corral *et al.*, 2013; Arias, 2007).

Se siembran de forma directa (de 2 a 5 cm de profundidad) al igual que se puede germinar en semilleros para trasplantar en el terreno previamente preparado cuando las plántulas estén en las condiciones óptimas y así evitar pérdidas en nacencia por las condiciones ambientales de la zona. Se recomienda distanciamientos de 1.5 entre hileras y 0.15 a 0.20 m entre plantas. La densidad de plantación por hectárea es de 33,000 a 44,000 (FAO, 2002; Bojacá & Monsalve, 2012).

El control de maleza, como en cualquier cultivo es esencial para evitar que exista una competencia por agua, nutrientes, luz y espacio para el crecimiento, además de que campos con maleza son más propensos a presentar plagas y enfermedades.

Existen varios métodos de control de los cuales podemos mencionar el manual, mecánico, competencia del cultivo, biológica, fuego y químico. El mejor método normalmente incluye la combinación de al menos dos, a lo que se denomina control integrado de malezas. (Martínez, 2008). Es recomendable quitar las malezas antes de la siembra o trasplante para aplicar después un herbicida de acuerdo a lo requerido (INIFAP, 2017), otra alternativa es la utilización de plásticos como acolchados o el método de solarización del suelo, que consiste cubrir el suelo con plástico transparente delgado durante el verano, evitando con esto el crecimiento de malezas y contribuyen además a una menor pérdida del agua aplicada (López-Elías *et al.*, 2017).

Se debe contar con un buen balance nutricional con todos los elementos que son necesarios para un óptimo desarrollo del pepino, contar con el conocimiento de los

requerimientos nutricionales se verán reflejados en una planificación adecuada de fertilización, en un mayor rendimiento del cultivo (Anjanappa *et al.*, 2012). La FAO (2002) menciona que un cultivo de primavera o de otoño que produzca 12 kg por m², llega a extraer del suelo:

1.40 g de N por kg de fruto

0,30 g de P por kg de fruto

2,20 g de K por kg de fruto

0,30 g de Ca por kg de fruto

0,20 g de Mg por kg de fruto

Con estos datos y analizando el tipo de riego que se tenga (siendo el riego localizado el más recomendado) se pueden deducir las dosis de fertilizantes que se aplicaran en las distintas etapas fenológicas. Se debe realizar un riego pesado antes de la siembra para contar con una buena uniformidad de humedad en el suelo, posteriormente se debe mantener un nivel óptimo de humedad de acuerdo a las demandas hídricas de la planta y la evapotranspiración de la región (Arias, 2007). No debe existir un riego muy abundante porque puede provocar saturación hídrica del suelo, el riego localizado es el sistema más acto para el cultivo (Tapia & Pérez, 2016)

De acuerdo a la (FAO, 2012; Jiménez-Martínez & Padilla, 2010), Las plagas más frecuentes e importantes en el cultivo de pepino se presentan a continuación:

Cuadro 1. Principales plagas que afectan el cultivo de pepino a campo abierto.

Insectos plagas					
N. Común	Orden	Familia	Género	Sp	Categoría
Gusano verde	Lepidoptera	Pyralidae	<i>Diaphania</i>	<i>Hyalinata</i>	Masticador
Áfidos	Hemiptera	Aphididae	<i>Aphis</i>	<i>Gossypíi</i>	Chupador
Mosca blanca	Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bemisia</i>	<i>Tabaco</i>	Chupador
Crisomélidos	Coleoptera	Crisomelidae	<i>Diabrotica</i>	<i>sp.</i>	Masticador
Chinche rápida	Hemiptera	Miridae	<i>Creontiades</i>	<i>rubrinervis</i>	Chupador

Para el control de estas plagas y enfermedades y cualquier otra que se pueda presentar lo más recomendable es realizar las prácticas básicas a tiempo, siembra de barreras vivas, colocación de trampas cromotrópicas y aplicar los agroquímicos correctos (Salvador, 2015).

Bojacá & Monsalve (2012) mencionan que este cultivo es afectado por distintas enfermedades fungosas y bacterianas, entre la de mayor ocurrencia se encuentran;

Oidiopsis (*Leveillula taurica* (lev.))

Gota o tizon tardío (*Phytophthora infestans*)

Moho gris (*Botrytis cinerea*)

Mildeo polvoso (*Sphaerotheca fuliginea*)

Mildeo vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*)

Marchitez fusariana (*Fusarium oxysporum*)

Para el control de estas enfermedades es necesario mantener libre el cultivo de las malezas, así como también aplicar los productos correspondientes.

La cosecha se realiza de forma manual y cuando el fruto se encuentra en estado inmaduro, depende también del tamaño y color, estas características dependen de la variedad, no es recomendable cortar frutos sobre maduros, ya que la semilla se endurece (Tapia & Pérez, 2016)

2.6 Importancia del riego oportuno en la producción del cultivo de pepino.

La aplicación en tiempo y forma esencial para el apropiado crecimiento y desarrollo de los cultivos, y esto es determinante en la producción, es necesario conocer el contenido de humedad en el suelo a través del tiempo para realizar una programación del riego (Hu & Si, 2014). Un estrés hídrico, así como un exceso de humedad en suelo trae consigo problemas para los cultivos, los cuales llegan a afectar las tasas de transpiración y fotosíntesis, procesos que están directamente relacionado con la producción (Jaleel *et al.*, 2008; López-Castañeda, 2011). El riego por goteo presenta una mayor eficiencia en aplicación de agua en los cultivos (Torrente & Mujica, 2017).

2.7 Transpiración en las plantas y factores ambientales que la afectan.

El proceso de transpiración en los cultivos depende en gran escala a la especie y variedad, ya que presentan diferentes características ecológicas y fisiológicas (Jiménez-Castillo *et al.*, 2011), es además uno de los procesos más importantes, se considera un gasto que puede ser definido como; una difusión de vapor de agua desde el interior de la planta hacia la atmosfera, es controlada por la apertura de los estomas y por el gradiente de presión del vapor de agua de la hoja (López-López *et al.*, 2013), es necesaria para la producción de azúcares que contribuye más adelante para otros procesos internos (Naizaque *et al.*, 2014) determina el estado hídrico de las plantas (Montoro *et al.*, 2016) y también constituye un término de suma importancia en el balance de energía del follaje, facilita el movimiento del agua y nutrientes a través de toda la planta. La mayor parte del agua consumida por la planta es utilizada por este proceso fisiológico. Tener conocimiento acerca del comportamiento de la transpiración

por el cultivo establecido nos ayuda a elaborar un programa adecuado para la aplicación del riego. (Rivera *et al.*, 2013).



Figura 4. Proceso de transpiración en las hojas de las plantas, (Salgado, 2018).

Sabemos que la cantidad de agua que la planta absorbe y transpira es determinada por la especie y por las condiciones ambientales presentes, las cuales pueden presentar cambios a través del tiempo, (Ta *et al.*, 2011; Naizaque *et al.*, 2014). Entre las condiciones ambientales que influyen a mayor escala en el proceso de transpiración podemos mencionar; radiación solar, déficit de presión de vapor del aire, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono (CO₂) (Naizaque *et al.*, 2014; Pamungkas *et al.*, 2014). Este proceso responde mayormente a la temperatura y a la radiación solar, debido a la capacidad que presentan los estomas para abrirse y cerrarse, esto como una respuesta fisiológica, logrando regular el intercambio gaseoso, también puede observarse una diferencia relacionada con las etapas fenológicas de las plantas. (López-López *et al.*, 2013).

2.8 Fotosíntesis; factores que la afectan y la relación con la producción.

Se entiende por fotosíntesis como un proceso metabólico mediante el cual las plantas sintetizan compuestos orgánicos, es el medio para la producción de azúcares a partir del CO₂ del aire, minerales y agua, para lo cual requieren de la presencia de luz solar, este proceso es determinante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Jaafar & Hafiz, 2014).

La fotosíntesis está condicionada por distintos factores, tanto internos como externos. Los factores externos o ambientales que afectan el proceso son; temperatura, radiación solar, humedad relativa del ambiente, CO₂ disponible en la atmósfera, además de nutrientes y agua disponible en el suelo (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2005). La concentración de CO₂ y la disponibilidad de luz tienen mayor incidencia sobre la fotosíntesis y el desarrollo de los cultivos, altas concentraciones del primero aumenta las tasas de fotosíntesis y altos niveles de luz dan paso a que se exprese la máxima capacidad de los procesos, esto siempre y cuando se cuente con niveles adecuados de disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo (Labarthe & Pelta, 2009).

Entre otros aspectos, la importancia que más reside en el proceso, es la contribución en la producción de biomasa, ya que es este proceso fisiológico el que determina la producción de los cultivos, pues al presentarse altos niveles de fotosíntesis las plantas presentan características más favorables y esto nos da como resultado un aumento en la producción (Ligarreto, 2013).

2.9 Relación entre humedad del suelo, la tasa de transpiración, fotosíntesis y producción.

Tanto la transpiración como la fotosíntesis son dos de los procesos más importantes en el desarrollo y crecimiento de las plantas, presentan una estrecha relación que es imposible de romper, ya que ocurren al mismo tiempo y ambos procesos se llevan a cabo por medio de los estomas, (Medrano *et al.*, 2007). La tasa de fotosíntesis (CO_2 asimilado por la hoja por unidad de tiempo y superficie de hoja) y de transpiración (cantidad de vapor de agua que la planta libera al medio por unidad de tiempo y superficie de hoja) (Quero *et al.*, 2004), están estrechamente relacionadas con la humedad disponible, ya que son sensibles a la disponibilidad de agua.

Una poca disponibilidad de humedad en el suelo representa el mayor problema en el desarrollo de los cultivos, un estrés hídrico provoca una disminución en la absorción de CO_2 a causa de la reducción de la conductancia estomática, esto conlleva a una reducción en el tamaño de las hojas, además de afectar otros procesos esenciales, lo que da como resultado final un escaso crecimiento de las plantas y una errática productividad en éstas (Ahmad *et al.*, 2011). Se han reportado que las mayores tasas tanto de transpiración como de fotosíntesis se encuentran en suelos a capacidad de campo y estas se ven reducidas de manera significativa al presentarse un estrés hídrico en el suelo (Gajanayake *et al.*, 2014), la respuesta a una limitación en el agua disponible depende del cultivo y la variedad (Mejía *et al.*, 2014).

Labarthe & Pelta (2009); Ligarreto (2013); Jaafar & Hafiz (2014) encontraron que las bajas tasas tanto de fotosíntesis y de transpiración debido a la poca humedad en los suelos provocan una reducción en la producción de los cultivos, indicando que esto se debe a que se presenta un cierre estomático, lo que está relacionado con la reducción del área foliar que se presenta con la falta de agua (Quero *et al.*, 2004). Podemos observar más adelante dos claros ejemplos de la respuesta tanto de producción (figura 5), como de tasa de fotosíntesis (figura 6) respecto a distintos niveles de humedad disponible en el suelo en distintos cultivos.

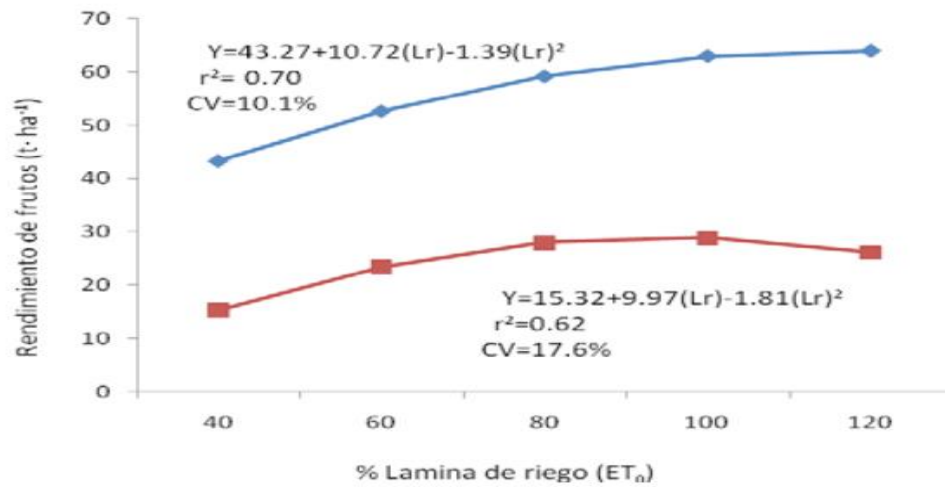


Figura 5. Relación entre el rendimiento de un cultivo de tomate respecto a distintas láminas de riego aplicadas (López-López et al., 2009).

Podemos observar cómo se presenta un aumento en el rendimiento de un cultivo de tomate el cual fue sometido a distintos niveles de humedad, manejados con acolchado (línea azul) y a suelo desnudo (línea roja). Se comprende como la humedad disponible influye directamente en la producción, la cual es determinada por los procesos de transpiración y fotosíntesis (López-López et al., 2009)

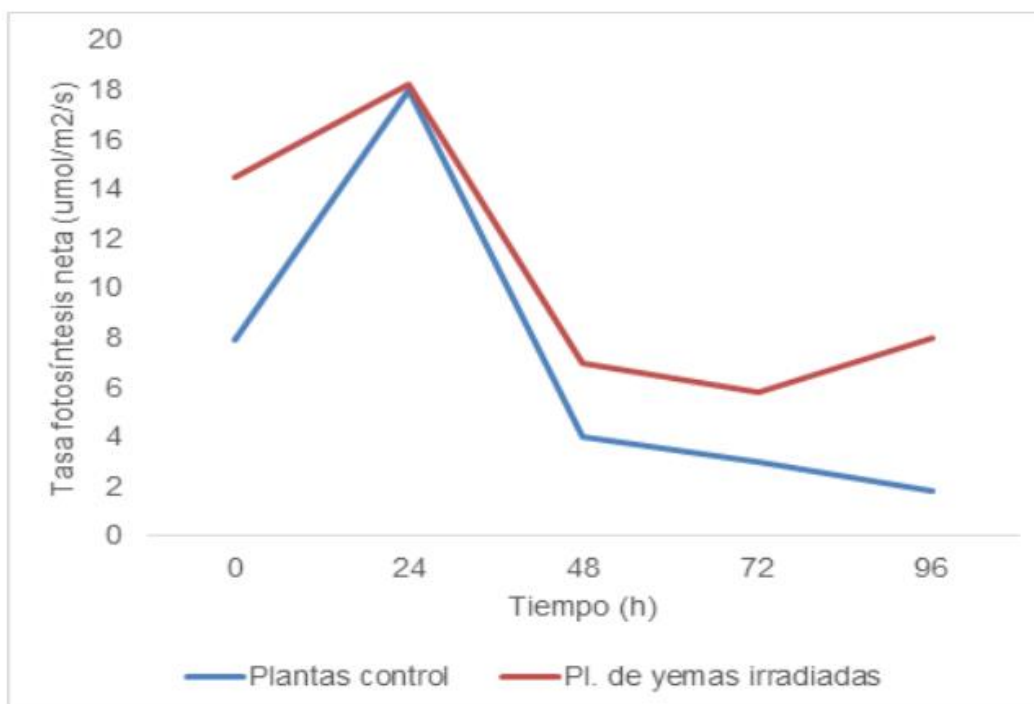


Figura 6. Respuesta de la tasa fotosintética de dos variedades de banano sometidas a estrés hídrico (Salazar et al., 2014).

En la figura 6 se puede observar el comportamiento de la tasa de fotosíntesis neta en dos variedades de banano, notándose que este proceso depende en gran medida de la humedad del suelo, pero también en gran medida del cultivo y la variedad del mismo.

2.10 Diferencias entre la tasa de transpiración y fotosíntesis de un cultivo de pepino con relación a otros cultivos.

Las características de cada especie, variedad y etapa de desarrollo, densidad de las plantas en función del ciclo estacional conllevan a diferentes niveles de transpiración y de fotosíntesis, ya que esto permite optimizar la interceptación de radiación por el cultivo, siendo este uno de los principales factores para que estos procesos se lleven a cabo (Lorenzo, 2012). Gutiérrez-Rodríguez *et al.* (2005) han demostrado que, en un

cultivo de trigo, distintas variedades diferentes adaptaciones a la disponibilidad de agua y por lo tanto diferentes tasas de fotosíntesis y transpiración.

Jiménez-Castillo *et al.* (2011) estudiaron el comportamiento de las tasas de transpiración y fotosíntesis en especies arbóreas en un bosque de Chile, encontrando que existen diferencias significativas entre especies. Por otra parte Barrientos *et al.* (2015) evaluaron las tasas de crecimiento neto y la eficiencia fotosintética promedio por unidad de superficie foliar en 8 distintas hortalizas bajo invernadero, dando como resultado encontraron diferencias significativas en la asimilación fotosintética en cada cultivo, obteniendo los siguientes datos; lechuga con $0.254 \text{ g. cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, pepino con $0.198 \text{ g.cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, betarraga con $0.179 \text{ g.cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, tomate con $0.171 \text{ g.cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, espinaca con $0.159 \text{ g.cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, acelga con $0.112 \text{ g. cm}^{-1}\text{día}^{-1}$, zanahoria con $0.094 \text{ g.cm}^{-1}\text{día}^{-1}$ y cebolla con $0.012 \text{ g. cm}^{-1}\text{día}^{-1}$.

Lo anterior tiene una relación al índice de área foliar y la estructura del dosel de cada cultivo, lo cual llega a tener una importante participación en la intercepción de la radiación, características que son distintas en cada especie. Corral *et al.* (2013) menciona que cada especie y variedad de cultivos presentaran distinta adaptabilidad a la humedad disponible en el suelo. El tamaño de las hojas y el tipo de raíces también influirán en las tasas de transpiración y fotosíntesis, por lo tanto, cada especie presentara distintas características fisiológicas. Comprendiendo esto, se puede tomar el ejemplo en un cultivo de tomate, el cual permite que los niveles inferiores de la planta tengan una mayor captación de radiación en comparación a una de pepino cual la mayor tasa de intercambio gaseoso y transpiración se lleva a cabo en los niveles superiores, siendo estos los responsables en gran escala del crecimiento y desarrollo de la planta (Lorenzo, 2012).

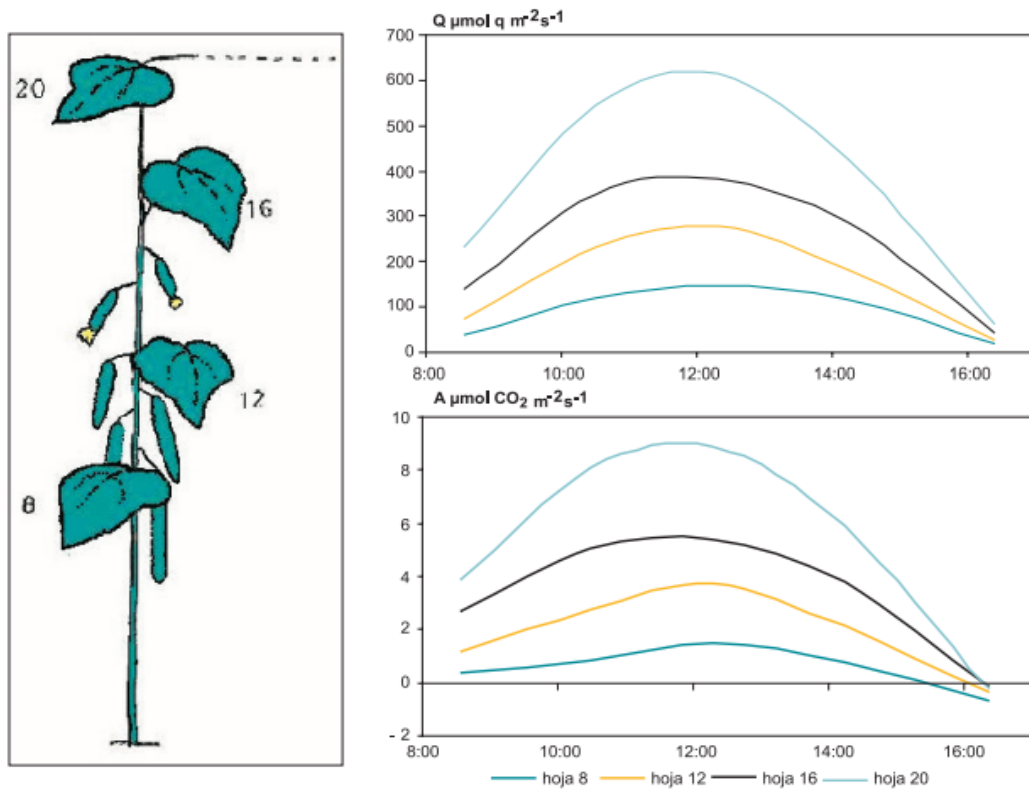


Figura 7. Comparación entre la radiación PAR incidente sobre cuatro niveles foliares (gráfica superior) de un cultivo de pepino y fotosíntesis neta correspondiente (gráfica inferior) (Lorenzo, 2012)

En la gráfica anterior se puede apreciar el comportamiento de la absorción de radiación y la de fotosíntesis en los diferentes estratos vegetales de un cultivo de pepino, esto se debe a las características de las hojas (tamaño y forma), en los niveles inferiores se tiene una menor absorción de radiación debido a que los estratos superiores absorben la mayor parte, además de crear un efecto sombra.

Las características del cultivo de pepino permiten que presente mejor adaptabilidad a un estrés hídrico controlado, esto se ve reflejado en las tasas de fotosíntesis y transpiración (Rahil & Qanadillo, 2015).

2.11 Eficiencia del uso del agua en diferentes cultivos.

Todos estos procesos mencionados anteriormente forman parte de la eficiencia del uso del agua por los cultivos, la cual podemos definir como el resultado de la producción (kg/ha) respecto a la cantidad de agua utilizada (m³/ha), el saber este dato nos permitirá lograr una optimización de los recursos hídricos (Zeri *et al.*, 2013; Çakir *et al.*, 2017).

Se han realizado distintos estudios para evaluar este parámetro en diferentes cultivos. Quintal *et al.* (2012) estudiaron el efecto de 5 niveles de humedad aprovechable (60, 50, 40, 30 y 20%) en un cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), se analizaron distintas variables, incluyendo la eficiencia en el uso del agua, y se encontró que el tratamiento sometido a un 60% de humedad disponible presentó una mayor área foliar, crecimiento, distribución de biomasa, tamaño y rendimiento, dando como resultado final una mayor eficiencia en el uso del agua por la planta reportando (5.6 kg de biomasa por cada litro de agua aplicada), en comparación a los otros tratamientos evaluados, concluyendo que el cultivo requiere de altos niveles de humedad para mejores resultados.

Ahmed & Suliman (2010) analizaron los efectos del estrés hídrico en las etapas vegetativa y reproductiva, también evaluaron la eficiencia en el uso del agua en tres variedades (2 locales y una introducida) de un cultivo de caupí ó frijol chino ((*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), aplicando riegos en intervalos de 10 y 20 días en las etapas vegetativas y reproductivas, el estudio demostró que las plantas presentan una respuesta positiva al estrés hídrico durante la etapa vegetativa, pero durante la etapa reproductiva requiere de mayores volúmenes de agua, además se observó que la variedad introducida presentó los valores más altos en la eficiencia en el uso agua, al presentar mayor número de vainas por planta, demostrando que cada variedad presenta distintas tolerancias al estrés hídrico y por distintos valores de eficiencia en el uso del agua.

Zeng *et al.*, (2009) evaluaron la respuesta de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintos regímenes de riego (100%, 90%, 80% y 70%), estos porcentajes respecto a la capacidad de retención de humedad por el suelo, dicho estudio demostró que el cultivo presentó deficiencias en su crecimiento, producción y calidad en los frutos para los tratamientos de 100% y 70% de humedad disponible, en cambio el tratamiento de 90% presentó mejores resultados, demostrando que una disminución controlada en la humedad disponible en el cultivo de melón da como resultado una mayor eficiencia en el uso del agua.

Çakir *et al.* (2017) estudiaron la eficiencia en el uso del agua de un cultivo de pepino bajo invernadero, considerando tres repeticiones con dos tratamientos (intervalos de riego de 2 y 4 días), además se evaluaron diferentes coeficientes de planta-bandeja (0.75, 1, 1.25 y 1.5), se observó un aumento en el rendimiento con mayores cantidades de riego, de la forma similar se obtuvieron mayores promedios con los coeficientes más altos (1.25 y 1.5), sin embargo los valores más altos de eficiencia en el uso del agua por el cultivo se encontró en los suelos con menor cantidad de agua y un coeficiente de 0.75.

Rahil & Qanadillo (2015) analizaron los efectos de 4 regímenes de riego (riego de agricultores, riego a base de tensiómetro, riego a datos completos de Evapotranspiración del cultivo (ET_c) y riego al 70% de ET_c) en un cultivo de pepino, donde los resultados mostraron que el suelo al 70% de humedad con respecto a la cantidad evapotranspirada presentó mayor eficiencia en el uso del agua (33 kg m⁻³), mencionan que en promedio en el rendimiento del pepino bajo el tratamiento con 70% de ET_c fue 24%, 6% y 4% mayor que el de los tratamientos con TI, FI y ET_c, respectivamente.

Oliveira *et al.*, (2011) evaluaron la respuesta de un cultivo de pepino japonés en las fases vegetativas y reproductivas sometidas a 5 repeticiones con 4 tratamiento bajo distintos niveles de potencial hídrico del suelo (15; 30; 60 y 120 kPa), se observó una

mayor eficiencia en el uso del agua con potenciales hídricos del suelo de 15 y 30 kPa en la fase vegetativa con 19.38 y 19.25 kg m⁻³ h⁻¹ respectivamente, mientras que en la fase reproductiva el valor más alto de eficiencia (20.11 kg m⁻³ h⁻¹) se obtuvo en un suelo con un potencial hídrico de 60 kPa. Estos resultados muestran que la eficiencia disminuyó al presentarse aumentos en los potenciales hídricos en la fase vegetativa, mientras en la reproductiva mostró un comportamiento indefinido, solo coincidiendo en ambas etapas que a una presión hídrica del suelo de 120 kPa se observan los resultados más desfavorables, esto nos indica que el cultivo se ve afectado con una disminución en la humedad disponible.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

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 4) y suelo (cuadro 5) 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:

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

3.3 Establecimiento y manejo del cultivo.

El cultivo establecido fue pepino (*Cucumis sativus* L) 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 2. La fertilización se realizó aplicando una solución nutritiva preparada para 1000 L de agua (Cuadro 2) durante todo el ciclo del cultivo formulada con el requerimiento nutricional del mismo, utilizando los aportes del suelo (Cuadro 4) y agua (Cuadro 5). 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.

$$Tr = \frac{V_{agua}}{Q_{emisor}} \quad (2)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (hr).

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

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

$$V_{\text{agua}} = (\eta * V_{\text{soil}}) * 1000 \quad (3)$$

Donde:

η = porosidad del suelo.

V_{soil} = Volumen del suelo (m³).

$$V_{\text{soil}} = AC * PR * AB \quad (4)$$

Donde:

AC = Ancho de cama (m).

PR = Profundidad radicular (m).

AB = Ancho del bulbo de mojado (m).

Cuadro 2. Solución nutritiva aplicada al cultivo de pepino.

me q	Fuente	Peso molecular del fertilizant e	Densida d	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	nitrate de calcio	100			200	gramos
3.96	sulfato de magnesio	123			400	gramos
6	nitrate 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:

$$V_c = (\theta_{vf} - \theta_{vi}) * V_s \quad (5)$$

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 Eficiencia del uso del agua.

La eficiencia del uso del agua del cultivo se obtuvo con la relación entre la producción total y el agua consumida (Çakir *et al.*, 2017).

$$EF = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua consumida (L)}} \quad (6)$$

3.4.4 Diámetro ecuatorial y longitud del fruto.

El diámetro se midió a la mitad del 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.

3.4.5 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.

3.4.6 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 %

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos en campo.

	T4 (26.71%)	T3 (31.47%)	T1 (35.61%)	T2 (33.38%)	
EO	R1	R4	R3	R2	EO
EO	R3	R2	R4	R1	EO
EO	R4	R1	R2	R3	EO
EO	R2	R3	R1	R4	EO

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo y 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 4).

Cuadro 4. 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

De acuerdo a las propiedades físico-químicas del agua utilizada se puede observar que es ligeramente alcalina, presenta altos niveles de calcio y magnesio, el valor de CE indica que es un agua adecuada para ser utilizada en el riego (cuadro 5).

Cuadro 5. 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 Contenido de agua en el suelo.

Se aplicaron distintos volúmenes de agua respecto a la porosidad del suelo durante el ciclo del cultivo (figura 8), se trabajó con cuatro tratamientos distribuidos de la siguiente manera: T1 (36.61%), T2 (33.38%), T3 (31.47%) y T4 (26.71%). Los volúmenes de agua aplicados se muestran en el cuadro 6, se puede observar que el T1 tuvo mayor contenido volumétrico e humedad en el suelo que los demás. El consumo de agua por para cada tratamiento (cuadro 6) se comportó de la siguiente manera respecto al volumen aplicado, T1 (67.66%), T2 (68.83%), T3 (69.77%) y T4 (68.89%).

La capacidad de retención de agua por el suelo está estrechamente relacionada con las propiedades físicas y químicas presentes en el mismo, las propiedades relacionadas con el tamaño y la distribución de las partículas determinan la porosidad en el estrato. En suelos con una adecuada distribución de poros en el perfil, permiten que el agua, los nutrientes y el aire circulen de manera que sean mejor aprovechados por las plantas, lo cual se verá reflejado en un buen desarrollo y crecimiento de las raíces y de la planta misma (Porta et al., 2006; Anicua *et al.*, 2009; Zaffar and Lu, 2015; Xiao *et al.*, 2016).

Respecto a la ET foliar el tratamiento con mayor humedad disponible obtuvo los valores más altos, seguido del T3 y T4 respectivamente, el T2 fue el que presentó los valores más bajos de ET, este comportamiento tuvo relación con el volumen de agua absorbido por las plantas, ya que presentan la misma tendencia.

Esto se debe a que este proceso fisiológico ocupa casi el total del agua absorbida por la planta, es decir que mientras más agua sea consumida por los cultivos, mayor serán los valores de ET (Rivera *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2019).

Cuadro 6. 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 de 2018).

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

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

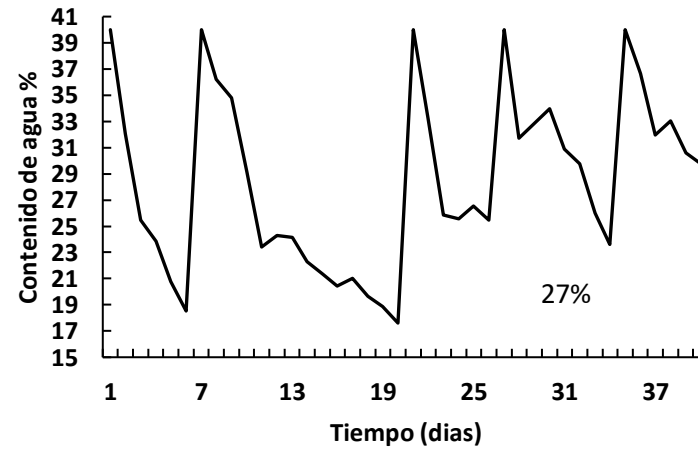
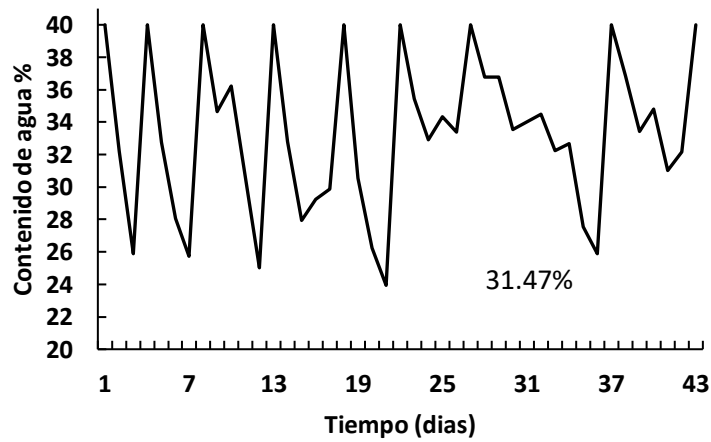
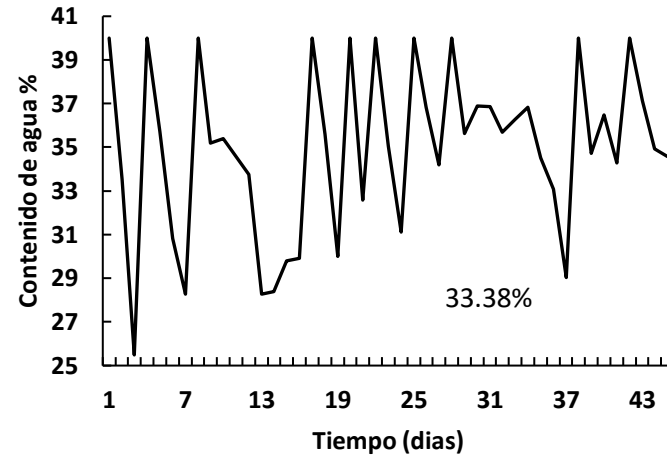
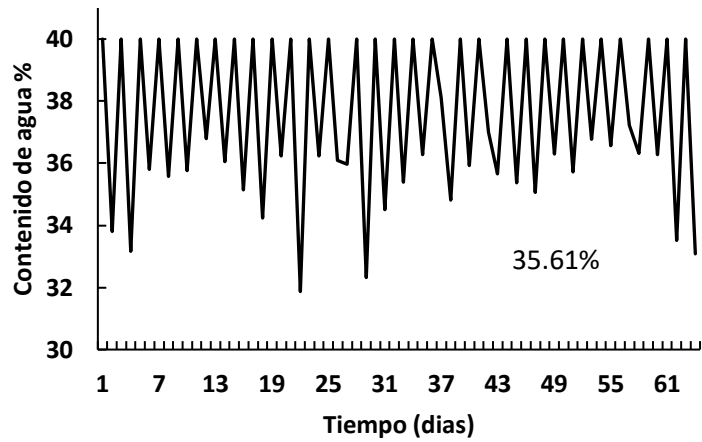


Figura 8. Contenido de la humedad del suelo en un perfil de 0 a 30 cm, durante el ciclo de producción (22 de junio al 20 de septiembre) de un cultivo de pepino.

4.3 Rendimiento.

La producción total de cada tratamiento muestra que T2 presentó el mejor rendimiento por planta, el T3 fue el que obtuvo el rendimiento más bajo. Esta tendencia fue similar en las variables de número de frutos por planta, peso promedio del fruto y longitud, en el caso del diámetro ecuatorial no se presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$) (cuadro 7).

Los resultados coinciden con los obtenidos por Abd El-Mageed *et al.*, 2018 quienes encontraron que no había diferencia significativa entre el tratamiento con un 100% de recuperación de ET y uno sometido a un 20% de déficit de agua, demostrando que el cultivo presenta una respuesta positiva a un déficit de humedad controlada. De igual manera Rahil & Qanadillo, 2015 encontraron que en el tratamiento aun 70% de ETc se observó el mayor rendimiento con una producción total de 59.5 t ha^{-1} , el tratamiento con mayores volúmenes de agua presentó el rendimiento más bajo mientras que los suelos sometidos a mayor déficit de humedad no presentaron diferencias significativas, esto se debe a que las raíces de la plantas son sensibles a déficit de oxígeno que se presenta al saturar el suelo, lo cual llega a afectar el crecimiento y la productividad de la mayor parte de los cultivos (Brucker *et al.*, 2017).

Caso contrario se observó en el estudio realizado por Karam *et al.*, 2011, quienes obtuvieron mayor rendimiento en un cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en el tratamiento control (suelo al 100% de humedad disponible), la productividad se vio más afectada al aumentar el déficit hídrico, ya que cada tratamiento presento menor rendimiento y se observó una diferencia significativa entre cada uno de ellos. Liu *et al.*, 2019, evaluaron un cultivo de tomate el cual, mostró mejores resultados en el rendimiento con un incremento en los volúmenes de agua aplicados en los tratamientos evaluados, similar a esta respuesta presentó un cultivo de papa analizado por Kifle & Gebretsadikan, 2016 quienes vieron una mayor productividad en el tratamiento sin déficit de humedad, mientras que se presentó una reducción en la producción con el aumento del déficit hídrico en el suelo.

4.4 Eficiencia del uso del agua (EUA).

Los resultados obtenidos (cuadro 7) muestran que el T2 presentó la mayor eficiencia del uso del agua (kg/m^3), guardando consistencia con la producción ya que fue el tratamiento con mayor kg promedio por planta, en EUA se observa diferencia significativa entre los tratamientos, excepto en los tratamientos 3 y 4, T4 presentó el valor más bajo (Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$).

Esto nos indica que el cultivo de pepino es muy adaptable al presentarse un déficit hídrico en el suelo o un moderado déficit de humedad en el mismo, pero este debe ser controlado, ya que someter el cultivo a niveles críticos de exceso y falta de agua provocan respuestas negativas, esta respuesta es similar en algunos cultivos, pero en otros se pueden presentar distintas respuestas debido a la adaptabilidad al estrés hídrico que tiene cada plantación (Mejía *et al.*, 2014).

Los resultados obtenidos coinciden con lo observado por Buttaro *et al.*, (2015) quien evaluó EUA en pepino sometido a dos regímenes de riego según tensiómetro (-100 y -300 hPA) observando un valor en la eficiencia en las temporadas de invierno y primavera-verano de 45.1 y 103.0 Kg m^{-3} para el suelo sometido a mayor déficit, mientras que para el suelo con mayor número de riegos se obtuvo 22.9 y 59.6 Kg m^{-3} . El-Mageed *et al.*, 2018, realizaron un estudio similar con 4 regímenes de riego; $\text{DI}0\%=100\%$, $\text{DI}20\%=80\%$, y $\text{DI}40\%=60\%$ respecto a la evapotranspiración del cultivo, el estudio demostró que el tratamiento con mayor déficit obtuvo los mejores resultados de EUA. Çakir *et al.*, 2017 encontraron eficiencias de 56 y 42 Kg m^{-3} en intervalos de riego de 2 y 4 días respectivamente, confirmando que el cultivo presenta mejor respuesta a este parámetro con un déficit de humedad controlado.

De igual manera Alomran *et al.*, 2013 analizaron la respuesta de un cultivo de pepino sometido a distintos regímenes de riego (40, 60, 80 y 100% de ETc). Se obtuvo una mayor eficiencia en el uso del agua con el tratamiento de mayor déficit hídrico (40% de ETc) con 61.9 kg m^{-3} .

Por otra parte, Liu *et al.*, 2019 estudiaron un cultivo de tomate durante tres años bajo tres frecuencias de riego (10, 20 y 30 cm de evaporación acumulativa (AE) asociada a

esta se aplicaron distintas cantidades de agua; 50, 70, 90 y 110% de la lámina evaporada respectivamente. Se encontró que la eficiencia del uso del agua se obtuvo a mayores frecuencias de riego (10 mm de AE), con volúmenes de agua de 70 y 90% de evaporación, con 58.07 y 58.04 kg m³ respectivamente (Ozbahce & Tari, 2010).

Cuadro 7. Variables de producción evaluadas de un cultivo de pepino bajo diferentes contenidos de humedad.

Contenido volumétrico de humedad (%)	Producción total Kg/planta	Numero de frutos cosechados promedio por planta	Peso promedio de fruto G	Longitud promedio de fruto - - - - cm - - - - -	Diámetro ecuatorial	EUA Kg/m ³
35.61	3.74 b	10.75 c	335.59 b	19.55 b	5.29 a	42.66c
33.38	5.01 a	14.50 a	372.29 a	20.57 a	5.46 a	70.44a
31.47	3.58 c	10.50 c	372.25 a	20.16 ab	5.34 a	56.20b
26.71	3.99 b	12.25 b	369.98 a	20.50 a	5.40 a	59.65b

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 mayor eficiencia del uso del agua se obtiene cuando los riegos se aplican cuando la humedad promedio del suelo es $0.3338 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, que también corresponde con el rendimiento mayor de frutos del cultivo. Por el contrario, la eficiencia menor se tiene cuando los riegos se aplican a un nivel alto de humedad del suelo ($0.3561 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), que es muy próximo al de saturación ($0.380 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$).

.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Adeoye, I. and Balogun, O. (2016) 'Profitability and efficiency of cucumber production among smallholder farmers in Oyo state, Nigeria', *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 61(4), pp. 387–398. doi: 10.2298/jas1604387a.
- Ahmad, S. et al. (2011) 'Morphological, physiological and biochemical responses of *camellia oleifera* to low-temperature stress', *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), pp. 2026–2032. doi: 10.5897/AJAR10.027.
- Ahmed, F. E. and Suliman, A. S. H. (2010) 'Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea', *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, pp. 534–540.
- Alomran, A. M. et al. (2013) 'Impact of Deficit Irrigation on Soil Salinity and Cucumber Yield under Greenhouse Condition in an Arid Environment', 15, pp. 1247–1259.
- Anicua, R. et al. (2009) 'Particule size and micromorphological relation on physical properties of perlite and zeolite', *Agricultura Técnica en México*, 35, pp. 147–156.
- Anjanappa, M., Kumara, B. S. and Indires, K. M. (2012) 'Growth, Yield and Quality Attributes of Cucumber (Cv. Hassan Local) as Influenced by Integrated Nutrient Management Grown under Protected Condition.', *THE MYSORE JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES*, 46(December), pp. 32–37. doi: http://dx.doi.org/10.1111/1471-0528.8_14572.
- Arias, S. (2007) *Manual de producción. Producción de pepino*. La Lima, Cortes, Honduras.: Programa de Diversificación Económica Rural (USAID-RED).
- Barbero, J. A. (BID) (2010) 'Banco Interamericano de Desarrollo', pp. 1–68. Available at: [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6269/La logística de cargas en América Latina y el Caribe: una agenda para mejorar su desempeño.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6269/La%20logística%20de%20cargas%20en%20América%20Latina%20y%20el%20Caribe%20una%20agenda%20para%20mejorar%20su%20desempeño.pdf?sequence=1).
- Barrientos, H., del Castillo, C. R. and García, M. (2015) 'Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas

en invernadero', *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), pp. 76–86.

Barraza-Álvarez, F. V. (2015) 'Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales Morphological and physiological quality of cucumbers grown in different nutritional concentrations', *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), pp. 60–71. doi: 10.1109/32.57622.

Bojacá, C. and Monsalve, O. (2012) *Manual De Producción Pepino Bajo Invernadero*.

Brucker, M. et al. (2017) 'Regímenes de riego y dosis de polímero hidroretenedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*', *Bosque*, 38(1), pp. 123–131. doi: 10.4067/S0717-92002017000100013.

Buttaro, D. et al. (2015) 'Irrigation Management of Greenhouse Tomato and Cucumber Using Tensiometer: Effects on Yield, Quality and Water Use', *Agriculture and Agricultural Science Procedia. The Authors*, 4, pp. 440–444. doi: 10.1016/j.aaspro.2015.03.050.

Çakir, R. et al. (2017) 'Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as a spring-summer cycle crop in solar greenhouse', *Agricultural Water Management*, 180, pp. 78–87. doi: 10.1016/j.agwat.2016.10.023.

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.

Corral, J. A. et al. (2013) *Requerimientos agroecológicos de cultivos*.

El-Mageed, T. A. et al. (2018) 'Effect of summer-fall deficit irrigation on morpho-physiological, anatomical responses, fruit yield and water use efficiency of cucumber under salt affected soil', *Scientia Horticulturae*, 237(January), pp. 148–155. doi: 10.1016/j.scienta.2018.04.014.

FAO (2002) *El cultivo protegido en clima mediterráneo, Estudio FAO, producción y protección vegetal*. doi: ISBN 92-5-302719-3.

- 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>
- 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.
- Giorio, P. et al. (2018) 'Physiological, biochemical and molecular responses to water stress and rehydration in Mediterranean adapted tomato landraces', *Plant Biology*, pp. 0–2. doi: 10.1111/plb.12891.
- Gutiérrez-rodríguez, M. et al. (2005) 'Algunas Consideraciones en la Relación entre Fotosíntesis y el Rendimiento de Grano en Trigo', *Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 12(2), pp. 1–6.
- Hu, W. and Si, B. C. (2014) 'Can soil water measurements at a certain depth be used to estimate mean soil water content of a soil profile at a point or at a hillslope scale?', *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 516, pp. 67–75. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.01.053.
- Indoria, A. K. et al. (2017) 'Conservation agriculture - a panacea to improve soil physical health', *Current Science*, 112(1), pp. 52–61. doi: 10.18520/cs/v112/i01/52-61.
- INIFAP (2017) 'Producción de pimiento, chile habanero y pepino en casa malla.', INIFAP.
- INIFAP, 2015; Consultado en <http://www.inifapcirne.gob.mx/LocalizacionSaltillo.htm>
- Jaafar, H. Z. and Hafiz, M. (2014) 'Photosynthesis and Quantum Yield of Oil Palm Seedlings to Elevated Carbon Dioxide', *Intech open*, 2, p. 64. doi: 10.5772/32009.
- Jaleel, C. A. et al. (2008) 'Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits', *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61(2), pp. 298–303. doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.09.008.

- Jiménez-Castillo, M. et al. (2011) 'Tasas diarias de transpiración y relaciones hídricas en especies arbóreas con distinto nivel de sombra tolerancia en un bosque templado chileno.', 68(2), pp. 155–162.
- Jiménez-Martínez, E. and Padilla, M. (2010) 'efectos de dos técnicas de manejo agronómico del pepino (*Cucumis sativus* L.) sobre la ocurrencia poblacional de insectos plagas, benéficos y el rendimiento en tisma, masaya.', LA CALERA, 10(15), pp. 16–27.
- Karam, F. et al. (2011) 'Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 98(8), pp. 1307–1316. doi: 10.1016/j.agwat.2011.03.012.
- Kifle, M. and Gebretsadikan, T. G. (2016) 'Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 170, pp. 133–139. doi: 10.1016/j.agwat.2016.01.003.
- Krístkova, E. et al. (2003) 'Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description.', *Horticultural Science (Prague)*, 30(1), pp. 14–42.
- Labarthe, F. S. & Pelta, H. R. (2009) 'Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas', INTA Tornquist. EEA Bordenave, (0291), pp. 1–10. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Ligarreto, G. A. (2013) 'componentes de variancia en variables de crecimiento y fotosíntesis en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L .) components of variance in growth traits and photosynthesis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L .)', *UDCA Act and Div Cient.*, 1, pp. 87–96.
- Lim, T. K. (2012) 'Cucumis sativus', *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants*, 2, pp. 239–249. doi: 10.1007/978-94-007-1764-0.
- Liu, H. et al. (2019) 'Optimizing irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality and water use efficiency of greenhouse tomato', *Agricultural Water Management*. Elsevier, 226(April), p. 105787. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105787.

- Barientos, H., del Castillo, C. R., & García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 76–86.
- López-Castañeda, C. (2011) 'Eficiencia en el uso del agua: Intercambio gaseoso entre transpiración y fotosíntesis.', *Revista del Plan AGROPECUARIO*, (March), pp. 44–45.
- López-Elías, J. et al. (2017) 'Medidas de control biológico en la producción de pepino, bajo condiciones de invernadero Biological control measures in cucumber production, under greenhouse conditions A. ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH PAPERS', *IDESIA*, 35, pp. 7–12. Available at: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v35n3/0718-3429-idesia-00501.pdf>.
- López-López, R. et al. (2009) 'Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Bront.) basado en láminas de riego y acolchado plástico.', *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), pp. 83–89. Available at: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n1/v15n1a12.pdf>.
- López-López, R. et al. (2013) 'Heat Pulse Method and Sap Flow for Measuring Transpiration in Cacao', *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XII(2), pp. 85–96. doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.023.
- Lorenzo, P. (2012) 'El cultivo en invernadero y su relación con el clima.', *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, pp. 23–44.
- Martínez, J. (2008) 'Control de malezas en hortalizas', *Facultad Agronomía UANL*, p. 6. Available at: <http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus../hortalizas/7malezas.pdf>.
- Medrano Gil, H. et al. (2007) 'Eficiencia en el uso del agua por las plantas', *Investigaciones Geográficas*, 43(43), pp. 63–84. doi: 10.14198/INGEO2007.43.04.
- Mejía, 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 Agronómica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.*, pp. 311–317.

- Montoro, A. et al. (2016) 'Transpiración Nocturna en Vid', XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla, (1), pp. 2–7. doi: 10.21151/CNRiegos.2016.A11.
- Naizaque, J. et al. (2014) 'Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. BERG] BURRET)', & Div. Cient, 17(1), pp. 115–121. Available at: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a13.pdf>.
- Oliveira, E. C. et al. (2011) 'Effects of water deficit in two phenological stages on production of Japanese cucumber cultivated in greenhouse', *Engenharia Agrícola*, 31(4), pp. 676–686. doi: 10.1590/S0100-69162011000400006.
- Ozbahce, A. and Tari, A. F. (2010) 'Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions', *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 97(9), pp. 1405–1410. doi: 10.1016/j.agwat.2010.04.008.
- Pamungkas, A. P., Hatou, K. and Morimoto, T. (2014) 'Evapotranspiration Model Analysis of Crop Water Use in Plant Factory System', *Environmental Control in Biology*, 52(3), pp. 183–188. doi: 10.2525/ecb.52.183.
- Porta, J., López-Acevedo, M. and Roquero, C. (2006) 'Edafología para la agricultura y el medio ambiente.', *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.*, 3, p. 807.
- Qi, J. et al. (2013) 'A genomic variation map provides insights into the genetic basis of cucumber domestication and diversity', *Nature Genetics*, 45(12), pp. 1510–1515. doi: 10.1038/ng.2801.
- Quero, J. L., Marañón, T. and Villar, R. (2004) 'Tasas de fotosíntesis en plantulas de alcornoque y roble en distintos micrositos dentro del sotobosque', *Almoraima*, 31, pp. 101–110. Available at: <internal-pdf://quero-3141925376/Quero.pdf>.
- Quintal, W. C. et al. (2012) 'Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinese* Jacq.)', *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), pp. 155–160.
- 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.

- Reche, J. (2011) Cultivo Del Pepino En Invernadero. Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino. Madrid.
- Rivera, J. et al. (2013) 'A Comparison of Three Transpiration Models in a Tomato Crop Grown Under Greenhouse ...', *TERRA LATINOAMERICANA*, 31(July), pp. 9–21.
- SAGARPA (2018) 'Atlas Agroalimentario 2012-2018', Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA, 1, p. 222.
- Salazar, E. et al. (2014) 'Respuesta fisiológica al estrés hídrico de plantas de banano cv. "Pineo gigante" (Musa AAA) regeneradas a partir de yemas irradiadas.', *Physiological response to hydric stress of banana plants cv. 'Pineo Gigante' (Musa AAA) regenerated from irradiated buds.*, 14(3), pp. 155–162. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=109925339&site=ehost-live>.
- Salvador, F. j (2015) 'Gestión integrada de plagas en pepino bajo invernadero', *CAJAMAR (DOCUMENTOS TÉCNICOS)*, 8.
- 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', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), pp. 14269–14273. doi: 10.1073/pnas.1005338107.
- Ta, T. H. et al. (2011) 'Modeling of transpiration of paprika (*Capsicum annum* L.) plants based on radiation and leaf area index in soilless culture', *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(3), pp. 265–269. doi: 10.1007/s13580-011-0216-3.
- Tapia, F. and Pérez, C. (2016) 'Bases para la producción y comercialización de hortalizas en magallanes', *INIDIA*, 33. doi: 10.1152/ajpheart.00610.2002.
- Topbjerg, H. B. et al. (2014) 'Physiological factors affecting intrinsic water use efficiency of potato clones within a dihaploid mapping population under well-watered and drought-stressed conditions', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 178, pp. 61–69. doi: 10.1016/j.scienta.2014.08.006.

- Torrente, A. and Mujica, E. (2017) 'Impactos en el proceso productivo de las pasifloras y uso eficiente del agua de riego', *Revista Alfa*, 1(2), pp. 37–49. doi: 10.33996/revista_alfa.v1i2.23.
- Ullah, M. Z. et al. (2012) 'Energypac Agro Ltd. Monipur, Hotapara, Gazipur Bangladesh', 25(1), pp. 17–23.
- Vialet-Chabrand, S. et al. (2016) 'Modelling water use efficiency in a dynamic environment: An example using *Arabidopsis thaliana*', *Plant Science*. Elsevier Ireland Ltd, 251, pp. 65–74. doi: 10.1016/j.plantsci.2016.06.016.
- Villasanti, C., Román, P. and Pantoja, A. (2013) El manejo del suelo en la producción de Hortalizas con Buenas Prácticas Agrícolas, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>.
- Wang, Y., Shao, M. and Liu, Z. (2013) 'Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau', *Geoderma*. Elsevier B.V., 193–194, pp. 300–310. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.10.011.
- Xiao, Q. et al. (2016) 'Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment', *Field Crops Research*. Elsevier B.V., 196, pp. 284–293. doi: 10.1016/j.fcr.2016.07.014.
- Yang, L. et al. (2012) 'Spatial variations of shallow and deep soil moisture in the semi-arid Loess Plateau, China', *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), pp. 3199–3217. doi: 10.5194/hess-16-3199-2012.
- Zaffar, M. and Lu, S. G. (2015) 'Pore size distribution of clayey soils and its correlation with soil organic matter', *Pedosphere*. Soil Science Society of China, 25(2), pp. 240–249. doi: 10.1016/S1002-0160(15)60009-1.
- Zeng, C. Z., Bie, Z. L. and Yuan, B. Z. (2009) 'Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse', *Agricultural Water Management*, 96(4), pp. 595–602. doi: 10.1016/j.agwat.2008.09.019.

Zeri, M. et al. (2013) 'Water use efficiency of perennial and annual bioenergy crops in central Illinois', 118, pp. 581–589. doi: 10.1002/jgrg.20052.