



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de
Recursos Naturales

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN PLANTAS DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) Y SU INTERACCIÓN CON EL
MICROCLIMA DEL INVERNADERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Bernabé Ignacio Ramos López

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca diciembre 2012



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 29 del mes de noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: "Estimación del consumo de agua en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en suelo y su interacción con el microclima del invernadero"

Presentada por el alumno:

Ramos Apellido paterno	López materno	Bernabé Ignacio nombre(s)
		Con registro: A 1 1 0 2 6 0

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez

Dra. Martha Angélica Bautista Cruz

Dra. Yolanda Donaji Ortiz Hernández

Dr. Pastor Teodoro Matadamas Ortiz

Dr. José Antonio Sánchez García

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Rafael Pérez Pacheco



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

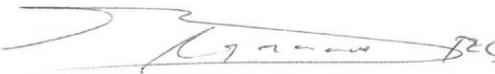


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 29 del mes de noviembre **del año 2012**, el (la) que suscribe **Bernabé Ignacio Ramos López** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro A110260, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los Drs. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez y Martha Angélica Bautista Cruz y cede los derechos del trabajo titulado: "Estimación del consumo de agua en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en suelo y su interacción con el microclima del invernadero" , al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó Ignacio.ramos1@yahoo.com, Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Bernabé Ignacio Ramos López



Resumen

Los estudios sobre las necesidades hídricas de las plantas cultivadas en suelo bajo condiciones de invernadero son escasos. El presente trabajo consistió en estimar el volumen de agua requerida por la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivada en suelo bajo condiciones de invernadero y evaluar su efecto sobre la programación del riego, la morfología de las plantas, el rendimiento, la calidad del fruto y la eficiencia en el uso del agua (EUA). Se empleó un arreglo factorial 3x3 con seis repeticiones, mediante un diseño en parcelas divididas con bloques al azar, tres condiciones del medio de cultivo (suelo + abono bovino, suelo + lombricomposta y suelo sin abono) los abonos se aplicaron a razón de 4 kg m⁻² y tres niveles de riego según la fluctuación del potencial mátrico de cada suelo (Ψ_{mv} , Ψ_{ml} , Ψ_{mn}) en el umbral para decidir el riego de (30-70 cbar). El control de la humedad se realizó monitoreando diariamente el potencial mátrico del suelo con tensiómetros enterrados a 15 cm del nivel del suelo. Se utilizó la variedad de tomate Cid F1 a una densidad de 3.5 plantas m⁻² con ciclo de producción de 174 días hasta el octavo racimo. La temperatura y humedad relativa en promedio fueron de 18.4 °C y 52.5 % respectivamente. Las diferencias significativas se obtuvieron en plantas con la adición de abonos orgánicos al suelo ($P \leq 0.05$). El incremento en el diámetro del tallo fue del 16%, y 7 kg-m⁻² más de rendimiento con respecto al testigo. Se obtuvieron 46.5 % más frutos clasificación comercial grande con el uso de ambos abonos. Se incremento 11% el contenido total de solidos solubles (°Brix) con lombricomposta. Se requirieron 131.8, 121.6 y 111.0 Litros de agua planta⁻¹ en el suelo + abono bovino, suelo + lombricomposta y suelo sin abono respectivamente.

Palabras clave: potencial mátrico, eficiencia en el uso del agua, tensiómetro

Summary

Studies on the water needs of the plants grown in soil under greenhouse conditions are scarce. This study was to estimate the volume of water required by the tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.) grown in soil under greenhouse conditions and assess their effect on irrigation scheduling, plant morphology, crop yield, quality fruit and the water use efficiency (WUE). We used a 3x3 factorial arrangement with six replications, using a split plot design with randomized blocks, three conditions of the culture medium (soil + fertilizer bovine soil + vermicompost and soil without manure) fertilizers were applied at 4 kg m⁻² and three irrigation levels as fluctuation of each soil matric potential (Ψ_{mv} , Ψ_{ml} , Ψ_{mn}) in the threshold for deciding irrigation supply (30-70 cbar). The humidity control monitoring was performed daily soil matric potential with tensiometers buried 15 cm from ground level. We used the F1 Cid tomato variety to a density of 3.5 plants m⁻² with the production cycle of 174 days to eighth cluster. The temperature and relative humidity averaged 18.4 ° C and 52.5% respectively. Significant differences were obtained in plants by adding organic fertilizer to the soil ($P \leq 0.05$). The increase in stem diameter was 16%, and 7 kg-m⁻² crop yield increase compared to the control. We obtained 46.5% more fruits large commercial classification using both fertilizers. 11% increased the total soluble solids content (° Brix) with vermicompost. It took 131.8, 121.6 and 111.0 liters of water plant⁻¹ in soil + cattle manure, soil + vermicompost and soil without fertilizer respectively.

Keywords: matric potential, efficient water use, tensiometer

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales.

Al CIIDIR – IPN Unidad Oaxaca, por las facilidades en el uso de sus instalaciones.

Al Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez por su apoyo, sugerencias y observaciones oportunas, para el logro del presente trabajo

A la Dra. Martha Angélica Bautista Cruz por sus acertadas observaciones y sugerencias en la conformación del presente documento.

A la Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández por sus consejos, correcciones y recomendaciones oportunas en la redacción del presente volumen.

DEDICATORIA

A mi madre Eugenia López Morales

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	11
II. Objetivos	12
General	12
Específicos	12
III. Hipótesis	12
IV. Revisión de literatura	13
Disponibilidad de agua	13
Eficiencia en el uso del agua por el cultivo	13
Necesidades hídricas de los cultivos	14
Cultivo del tomate en invernadero	16
Potencial hídrico	17
Potencial hídrico en el suelo	18
Potencial mátrico	18
El riego de los cultivos en función del potencial mátrico del suelo	19
Programación del riego	19
Capacidad de campo (CC):	20
Punto de marchitez permanente (Pmp):	20
Contenido gravimétrico de agua;	21
La densidad aparente;	21
Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	21
Déficit permitido en el manejo del riego (DPM)	22
Profundidad de raíz	22
Tensiómetro	22
Factores del clima que inciden sobre el crecimiento y productividad del tomate bajo invernadero	24
Radiación solar	24
Temperatura	24
Humedad relativa	24
Dióxido de carbono (CO ₂)	25
Suelo y abonos orgánicos	25
V. MATERIALES Y MÉTODOS	28
Localización	28
Invernadero	28

Suelo del invernadero	28
Materiales orgánicos usados	29
Material vegetal	30
Sistema de riego	30
Programación del riego	30
Arreglo experimental	31
Inicio del riego	32
Curva característica de humedad del suelo	32
Volumen de riego	34
Cuantificación del riego	34
Temperatura y humedad relativa en invernadero	35
Temperatura del suelo dentro del invernadero	35
Variables agronómicas	35
Diámetro del tallo	35
Altura total	35
Longitud entre racimos	35
Numero, peso y tamaño de frutos	35
Firmeza externa (kgcm ⁻³)	36
Solidos solubles totales	36
Vida de anaquel	36
Eficiencia en el uso del agua	37
Labores culturales	37
Tutoreo	37
Poda de brotes	37
Poda de hojas	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Monitoreo de las variables climáticas al interior del invernadero	39
Temperatura	39
Humedad relativa	41
Temperatura y humedad relativa durante un día completo	42
Temperatura del suelo	43
Monitoreo del potencial mátrico del suelo (Ψ_m)	45
Aspectos morfológicos de las plantas	49
Aspectos productivos de las plantas	50
Calidad del fruto	51

Vida de anaquel	52
Eficiencia de uso del agua	53
VII. CONCLUSIONES	55
Bibliografía	56
Anexos	63
Instalación y lectura del tensiómetro	64

Índice de cuadros

- 1 *Determinación de la fertilidad del suelo*
- 2 *Determinación de la curva característica de humedad del suelo*
- 3 *Clasificación por tamaño del tomate tipo Saladette NMX-FF-031-1997*
- 4 *Riegos suministrados al cultivo en función del potencial mátrico*
- 5 *Efecto del suelo sobre la morfología del cultivo*
- 6 *Efecto del suelo sobre la productividad de las plantas*
- 7 *Efecto del suelo sobre el tamaño del fruto*
- 8 *Efecto del suelo sobre los parámetros de calidad del fruto*
- 9 *Eficiencia en el uso del agua por las plantas de tomate*

Índice de Figuras

- 1 *Invernadero experimental*
- 2 *Diseño experimental y diversos componentes del experimento*
- 3 *Curva característica de humedad del suelo de cultivo*
- 4 *Diseño experimental para la obtención de la RFA*
- 5 *Temperatura ambiental al interior del invernadero a) 0.50 m y b) 3 m del nivel del suelo, durante el periodo de cultivo*
- 6 *Humedad relativa ambiental al interior del invernadero a) 0.50 m y b) 3 m del nivel del suelo, durante el periodo de cultivo*
- 7 *Temperatura y humedad relativa durante el día 99 ddt, (inicio de cosecha)*
- 8 *Temperatura diurna del suelo al interior del invernadero con y sin acolchado plástico durante el periodo de cultivo*
- 9 *Potencial mátrico del suelo, lectura registrada diariamente a las 8:00 horas durante el ciclo del cultivo*
- 10 *Agua retenida por el plástico*
- 11 *Temperatura diurna & requerimientos de riego durante el intervalo (34 – 64 ddt)*
- 12 *Demanda hídrica del cultivo durante el periodo de cultivo*
- 13 *Apariencia de los frutos recién cosechados el día 26/12/2011*
- 14 *Apariencia de los frutos 15 días después (10/01/2012)*

I. INTRODUCCIÓN

En la agricultura protegida, los elementos climáticos se modifican en comparación con el exterior del invernadero (Baxevanou *et al.*, 2007). Esto también modifica los requerimientos hídricos de los cultivos y su respuesta sobre el rendimiento y calidad del fruto (Macías-Duarte *et al.*, 2010). En México, la agricultura de riego genera más de la mitad de la producción agrícola, sin embargo aún se tienen bajas eficiencias en el uso del agua (CONAGUA, 2011). Los trabajos de investigación sobre las necesidades hídricas de los cultivos bajo invernadero que permitan optimizar el uso del agua (recurso esencial) son escasos. En Oaxaca se tienen 147.4 hectáreas de invernadero y en el 96.6 % de esta superficie se cultiva tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de ciclo indeterminado (OEIDRUS, 2011). Es más utilizado como medio de cultivo el suelo mejorado con materia orgánica de origen animal. La programación de los riegos se decide por la experiencia del productor o del técnico asesor y no en función a los requerimientos hídricos de las plantas en su interacción con el suelo y clima del invernadero. Este método empírico de regar ocasiona a las plantas estrés, algunas veces por exceso y otras por déficit de humedad, generando desordenes fisiológicos en las plantas y por tanto disminución del rendimiento la calidad de frutos y susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2003). El consumo hídrico del tomate en invernadero varía para cada región geográfica, Harmanto *et al.*, (2004) en un invernadero de ambiente tropical en Bangkok Tailandia, estimaron requerimientos de agua en plantas de tomate durante la etapa de máxima demanda desde 0.35 - 0.50 L planta⁻¹ día⁻¹. En Texcoco Estado de México Flores *et al.*, (2007), estimaron que las plantas de tomate cultivadas en tezontle bajo invernadero requirieron 0.2 L planta⁻¹ día⁻¹, en la etapa inicial y 1.5 L planta⁻¹ día⁻¹ en la etapa de máxima producción. Bajo este contexto, En Oaxaca existe la necesidad de conocer las demandas de riego, mediante el uso de algunos de los métodos disponibles, para condiciones de manejo, ambiente y alta densidad de tomate cultivado en suelo bajo invernadero. El objetivo del presente trabajo fue estimar la demanda hídrica del cultivo de tomate durante todo su ciclo de

producción mediante el monitoreo del potencial mátrico del suelo y su respuesta en el cultivo.

II. Objetivos

General

Estimar la demanda de agua de plantas de tomate (*S. lycopersicum*) durante todo su ciclo de producción y evaluar la respuesta del cultivo a factores del suelo, riego y variables climáticas con la finalidad de mejorar su manejo y producción bajo invernadero.

Específicos

- Monitorear el potencial mátrico del suelo para estimar la demanda hídrica del cultivo de tomate durante su ciclo productivo
- Conocer las fluctuaciones de la temperatura ambiental, humedad relativa, y temperatura del suelo para determinar su efecto sobre el consumo hídrico de las plantas.
- Determinar la eficiencia en el uso del agua por las plantas de tomate

III. Hipótesis

- Adicionar abonos orgánicos al suelo mejora la producción y calidad del tomate, la humedad en el suelo se conserva por más tiempo por lo que se reduce la frecuencia de riegos.
- Conocer el potencial mátrico del suelo mediante el tensiómetro permitirá la aplicación oportuna de los riegos incrementando de esta manera la eficiencia en el uso del agua por el cultivo

- Monitorear la temperatura y humedad relativa al interior del invernadero permitirá conocer la influencia del microclima sobre el consumo hídrico de las plantas.

IV. Revisión de literatura

Disponibilidad de agua

El agua es un recurso natural indispensable, parte integral de los ecosistemas, bien social y económico, finito y vulnerable (ONU, 2012). En México como en otras partes, su menor disponibilidad esta generando conflictos sociales (CONAGUA, 2011). Del consumo mundial de agua 70 - 80% se destina al sector agrícola, al respecto a nivel global, para 2030 aumentara un 14% el agua destinada al riego y el pronostico para 2050 es que se tendrá 25% menos agua para riego que el actual (FAO, 2006). En México la agricultura de riego genera más de la mitad de la producción agrícola sin embargo, aun se tienen bajas eficiencias en el uso del agua (CONAGUA, 2011). Un indicador alternativo del uso del agua y como apoyo para el manejo y uso eficiente de los recursos hídricos es la denominada “huella hídrica” (Hoekstra, 2002) definido como el volumen total de agua usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. De la huella hídrica a nivel global el 86% está relacionada con el consumo de productos agrícolas, 10% con el consumo de bienes industriales y menos de 5% con los usos domésticos, así para producir un kilogramo de; carne de res, arroz, azúcar, maíz, leche y jitomate se requieren 15400, 2500, 1800, 900, 1000, 186 litros de agua respectivamente (Mekonnen & Hoekstra, 2011)

Eficiencia en el uso del agua por el cultivo

Ante el escenario mundial donde la superficie agrícola no tiene perspectivas de aumentar por razones de sostenibilidad ambiental, se requiere producir más con

menos agua es decir, producir más con una mayor eficiencia en la utilización del agua de riego (de Santa Olalla, 2000). Aumentar entonces la productividad del agua es una estrategia necesaria para incrementar la producción de alimentos (Rosegrant *et al.*, 2002). En este sentido según (Zhang *et al.*, 2004) la eficiencia en el uso del agua (EUA) es la relación entre la biomasa presente en un determinado momento en un cultivo, por unidad de agua utilizada por la planta. Es decir EUA se define como el rendimiento de cultivo (Y) por metro cubico de agua consumida (ET_c) ecuación 1:

$$EUA = \frac{Y}{ET_c} \quad (1)$$

De esta manera, la EUA de las plantas según (Medrano *et al.*, 2008) depende de dos factores principales: en primer lugar las características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; segundo, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta.

Al evaluar el tezontle y el suelo como medio de cultivo. Ojodeagua *et al.*, (2008) reportaron EUA del tomate de 43 y 28.2 kg de frutos por m^{-3} de agua respectivamente. Por otra parte Flores *et al.*, (2006) reportaron una EUA del tomate de 35 kg de frutos por m^{-3} de agua al emplear el tezontle como sustrato. Zegbe *et al.*, (2007) emplearon la técnica de riego parcial de la raíz y reportaron que con este método se aumentó 73 % la EUA con respecto al método tradicional que implica mojar toda la zona radicular. En la Planicie del norte china Dan Wang *et al.*, (2006) obtuvieron una EUA de 25.3 kg fruto por m^{-3} de agua, en un cultivo de tomate a campo abierto cuando se aplicó el riego a 50 cbar de potencial mátrico, los mismos autores obtuvieron 17.3 de EUA cuando aplico el riego a una tensión de 10 cbar.

Necesidades hídricas de los cultivos

El agua es el principal constituyente de las plantas en general representa entre el 50 y 80 % de su biomasa (Salisbury y Ross, 1999) y hasta 95 % de su peso

fresco (Castilla, 2005). Es también el medio de transporte de nutrientes y en la fotosíntesis se combina con el dióxido de carbono (CO₂) influyendo directamente sobre los procesos metabólicos de los vegetales (Taiz & Zeiger, 2006). La cantidad de agua que utilizan las plantas depende de la demanda evapotranspirativa debido a los factores atmosféricos, a la oferta del agua del suelo y de la planta misma (Palacios, 2002). Dentro del invernadero la demanda de agua esta en función de la etapa fenológica de las plantas, del microclima, del vigor de la planta, del tipo de suelo, de la uniformidad del riego, de la época del año, de la masa vegetativa, de la cantidad de frutos y conductividad eléctrica (Cadena *et al.*, 2003). Del agua que circula por la planta en su paso del suelo a la atmosfera solo el 1 % llega a formar parte de la biomasa del vegetal (Salisbury y Ross, 1999). Realmente no se puede decir cuánta agua pierde una planta al día, pues depende por completo de las condiciones climáticas: Viento, Humedad atmosférica, temperatura y radiación solar, el consumo de agua por la planta también varia con la latitud, la estación del año, la hora del día, y las condiciones de nubosidad (Aguilera y Martínez 1996). La evapotranspiración de cultivo según (Allen *et al.*, 1998) representa la cantidad de agua que transpira la planta, más la cantidad de agua que se evapora de la superficie del suelo. Transpiración y evaporación ocurren simultáneamente (Tijerina *et al.*, 2007) de esta manera la evapotranspiración representa el consumo neto de agua por la planta (Cadahía, 2005). La evaporación consiste en un cambio del estado líquido a gaseoso por la adquisición suficiente de energía que vence la tensión superficial del agua, la transpiración en los vegetales se refiere al agua interna que se pierde por estomas, cutícula o lenticelas, de esta manera existen relaciones interdependientes en el continuo suelo – agua - planta - atmosfera que condicionan la demanda hídrica de los cultivos (Urbano, 2000)

El consumo de agua del tomate en invernadero varia para cada región geográfica. En un invernadero de ambiente tropical Harmanto *et al.*, (2004) en Bangkok Tailandia, estimaron consumos hídricos del tomate de 0.35 - 0.50 L planta⁻¹ día⁻¹ durante la etapa de máxima demanda. Por otra parte, Flores *et al.*, (2007) en Texcoco Estado de México, estimaron que las plantas de tomate cultivado en

tezontle bajo invernadero requieren de $0.2 \text{ L planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en la etapa inicial y $1.5 \text{ L planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en la etapa de máxima producción. En un estudio con tomate Hernández *et al.*, (2007) indicaron que la distribución de la solución nutritiva en cuatro riegos diarios, produjo 21 % más rendimiento planta^{-1} que regar dos veces al día. En el cultivo de la vid dosis elevadas de riego aunque corresponde a rendimientos mas altos, se reduce la calidad del fruto (Medrano *et al.*, 2003). Utilizando el método FAO – Tanque evaporímetro Macías *et al.*, (2009) reportaron que regar con 1.25 de ETc se obtiene mayor cantidad de frutos de calidad comercial. Gonzales *et al.*, (2000) mediante el método del tanque evaporímetro indicaron que la evaporación de tanque multiplicado por el coeficiente 0.80 genera los rendimientos más altos en tomate bajo invernadero.

Cultivo del tomate en invernadero

A nivel mundial el cultivo del tomate es una de las hortalizas con mayor demanda en la alimentación humana, el parámetro de consumo per cápita mundial oscila alrededor de 17.97 kg (FAO, 2010). La agricultura en invernadero, es uno de los sistemas de producción empleado en diferentes regiones del mundo, por los beneficios que ofrece en comparación con la agricultura tradicional, por mencionar algunos: ambiente adecuado para las plantas, mayor rendimiento y calidad de cosechas, producción todo el año, optimización de insumos, mejor control de plagas y enfermedades, mayor productividad de la tierra y el agua, entre otros beneficios (Serrano, 2005). En la actualidad el uso de invernaderos obedece a la tendencia que exige el mercado, en cuanto a volúmenes de producción, calidad, inocuidad y certificación del producto (OEIDRUS, 2011). Mediante la tecnología de invernaderos según (Castilla, 2005) es posible pasar de 7 kg/m² en las mejores condiciones a cielo abierto, a 15 kg/m² en invernaderos sencillos y hasta 50 kg/m² en invernaderos con tecnología automatizada.

En 2009 en México se estimó una superficie de 10,000 ha de invernadero y en el 72 % se cultiva tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (González, 2009). Sinaloa es el estado con mayor superficie de invernadero (Castellanos & Borbón, 2009). Esta

tecnología desarrollada en otros países constituye una transferencia tecnológica muy reciente en el Estado de Oaxaca. Los agricultores aun están en proceso de ajuste para sus condiciones particulares. A nivel nacional Oaxaca ocupa el lugar quince en superficie de invernadero (Castellanos, 2008), actualmente se tienen 147.4 hectáreas (OEIDRUS 2011). En la distribución de superficie bajo invernadero en el Estado de Oaxaca sobresalen la región de la Mixteca y Valles Centrales 33 y 30.6 % del total. Sierra sur, Sierra norte y las otras regiones representan apenas el 14.3, 12.2 y 9.6 %. En Oaxaca el cultivo del tomate rojo ocupa el 96.6 % de la superficie de invernaderos en operación (OEIDRUS 2011) su producción ha generado fuentes de trabajo y un mayor abastecimiento de tomate al mercado regional. Las variedades de tomate más cultivadas en la entidad son: Barbarían F1, el Cid F1, Samurái F1, Patrona y Realeza todas son para consumo en fresco, con larga vida de anaquel. El sistema de producción representativo de la región, utiliza el suelo con y sin la aportación de materiales orgánicos. El riego se aplica mediante cinta de goteo con un intervalo y duración del riego “a ojo”, esta forma empírica de aplicar el riego no relaciona las demandas evapotranspirativas del cultivo, con el microclima del invernadero, el desarrollo del cultivo o las características físicas del suelo, entonces se presentan momentos con déficit o exceso de humedad que afectan la productividad potencial del cultivo. En este contexto se desconoce cuánta agua consume el tomate para las condiciones ambientales locales. Entre otros aspectos el manejo eficiente del agua es un aspecto relevante para la sustentabilidad productiva de los invernaderos en el estado. Volumen y frecuencia de riego, cálculo de la evapotranspiración y utilización del tensiómetro son temas actuales relacionados con los sistemas de fertirrigación que hay que afrontar como problemática (Cadahía, 2005)

Potencial hídrico

Es un concepto utilizado que permite explicar la circulación del agua en el sistema suelo-planta-aire, se define como el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema expresado en unidades de presión, comparado con el

potencial del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura y altura (Salisbury y Ross, 1999) Se define con la ecuación 2.

$$\Psi = (\mu_w - \mu_w^*) / V_w \quad (2)$$

Ψ = potencial hídrico (Mpa)

μ_w = potencial químico del agua en el sistema considerado

μ_w^* = potencial químico del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura que el sistema considerado

V_w = volumen molar parcial del agua ($18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$)

El potencial hídrico puede expresarse en unidades de energía por unidades de masa o volumen, la unidad que comúnmente se emplea es el megapascal y el kilopascal ($1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$)

Potencial hídrico en el suelo

Es la expresión del estado energético del agua en el suelo. Se define como la cantidad de trabajo que debe realizarse para transportar de forma reversible e isotérmica una cantidad infinitesimal de agua, desde una fuente específica a un destino específico. Es decir representa la energía necesaria para separar la unidad de peso, de masa o de volumen de agua de la matriz del suelo (Livingston, 1993). Los componentes del potencial hídrico del suelo son: el potencial mátrico, osmótico, gravitacional y de presión (Baver & Gardner, 1972). En suelos sin problemas de inundaciones y salinidad interesa por lo regular el potencial mátrico (Cadahía, 2005)

Potencial mátrico

En el suelo es también conocido como potencial capilar, es una medida de la fuerza con que el agua se encuentra retenida en el suelo y representa la fuerza por unidad de área que se debe aplicar para extraerla (Porta, 2003). Su determinación según (Fernández, 2003) permite conocer los regímenes de humedad del suelo y las interacciones del medio con la atmosfera. El agua en el suelo es gobernada por las fuerzas de adhesión y cohesión, la adhesión es la

fuerza de atracción del suelo hacia las moléculas de agua, la cohesión es la atracción de las moléculas de agua entre si (Porta, 2003). Los principales mecanismos que participan en el movimiento del agua en el suelo son el gradiente hidráulico, el potencial mátrico y la gravedad (Iversen *et al.*, 2001).

El riego de los cultivos en función del potencial mátrico del suelo

En la planicie del Norte de China, Dan Wan *et al.*, (2006) al evaluar el efecto del potencial mátrico del suelo sobre el rendimiento del tomate reportaron que en el rango de 10 a 50 cbar, no hubo diferencias significativas. En la misma región, Feng – Xing Wang *et al.*, (2006) indicaron que el potencial mátrico del suelo a 25 cbar fue el mas favorable para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en comparación a 15 cbar que fue demasiado húmedo y 45 cbar con síntomas evidentes de estrés por déficit hídrico. En brócoli Villalobos *et al.*, (2005) reporto que aplicar el riego a 12 cbar la planta expreso un vigoroso crecimiento vegetativo pero no favoreció el desarrollo del florete, el máximo rendimiento comercial se obtuvo con la aplicación del riego a 20 cbar. por otra parte, Kan y Wan, (2005) demostraron que iniciar el riego a 35 cbar se reduce significativamente el agrietamiento en rábano. En un estudio con chile Liu *et al.*, (2012) recomiendan regar este cultivo en el rango 30-40 cbar de potencial mátrico a 0.20 m del suelo debajo del gotero. Un potencial mátrico optimo a 20 cm de profundidad del suelo justo debajo del gotero para cebolla se ubica en 20 cbar según Shock *et al.*, (2000)

Programación del riego

La practica del riego en los sistemas agrícolas consiste en proporcionar al suelo o sustrato la cantidad de agua necesaria para satisfacer el déficit de evapotranspiración y optimizar el rendimiento de los cultivos (Valverde, 2007). Una aportación de agua inferior a la evapotranspiración de cultivo (ET_c) puede llegar a producir déficit hídrico y por tanto reducción de la producción (Fernández, 2000). En el cultivo intensivo del tomate la programación del riego es indispensable para conseguir resultados satisfactorios, ello implica determinar la

frecuencia y volúmenes del riego (Nuez, 2005). Los métodos de programación del riego se basan en la medición del:

- Contenido de agua en el suelo
- Estado hídrico de la planta
- Clima

Aguilera y Martínez (1996) clasifican los métodos para estimar la ET en directos e indirectos, los métodos directos proporcionan información directa del total de agua requerida por los cultivos utilizando para ello instrumentos para la determinación, y proporcionan valores muy apegados a la realidad entre estos se pueden señalar el método gravimétrico, lisimétrico y el evapotranspirómetros de Thornthwaite. Los indirectos proporcionan una estimación del requerimiento de agua a través de formulas empíricas como la de Penman modificado, evaporación del tanque tipo A, Blaney –Cridle, Doorenbos-Pruit principalmente.

Para conocer el contenido del agua en el suelo actualmente existen en el mercado diferentes dispositivos, como los sensores granulares (bloques de yeso) que funcionan bajo el principio de la resistencia eléctrica. Sensores basados en el principio de la capacitancia como los ECH₂O, EnviroSCAN y Reflectómetros de Dominio de Tiempo (RDT). Tensiómetros los cuales miden la succión o tensión del agua en el suelo. Sondas de dispersión de neutrones que funciona mediante radiactividad. La adquisición de uno u otro equipo por parte de los productores dependerá de la capacidad económica y técnica que se tenga. En este trabajo se describe el funcionamiento del tensiómetro, enseguida se describen los conceptos relacionados con este método.

Capacidad de campo (CC): representa el contenido de humedad que alcanza el suelo cuando se ha humedecido completamente y se ha dejado drenar libremente durante uno o varios días, corresponde a tensiones de humedad en la gran mayoría de suelos entre 1/3 atm equivalentes a 33 centibares en suelos de textura fina y a 0.10 atm equivalentes a 10 centibares en suelos de textura gruesa. Su medida en condiciones de campo se puede realizar con tensiómetros.

Punto de marchitez permanente (Pmp): Es el punto de humedad mínima del suelo o sustrato en el cual una planta ya no puede extraer más agua por lo tanto la

planta se marchita en forma permanente, no es un valor constante para un suelo dado, varía con el tipo de cultivo, coincide con el contenido de humedad a una tensión de 15 atmósferas.

Contenido gravimétrico de agua; es una medida directa de la humedad del suelo, y es el método estándar para calibrar otras técnicas de determinación del agua en el suelo. Esta técnica consiste en tomar muestras de suelo colocarlas en recipientes de peso conocido; posteriormente secarlas en horno a 105°C hasta que obtenga un peso constante (normalmente después de 24 horas), después se vuelve a pesar. El contenido gravimétrico de agua es la cantidad de agua en la muestra por porcentaje de peso seco del suelo y se calcula siguiendo el procedimiento descrito en NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

La densidad aparente; es el peso del suelo seco por unidad de volumen de suelo. Esta propiedad está relacionada con la porosidad (espacio poroso) y la compactación; y se utiliza para calcular el contenido volumétrico de agua del contenido gravimétrico de agua. El contenido volumétrico de agua del suelo es comúnmente utilizado para expresar el contenido de agua en el suelo. Éste se obtiene al multiplicar la densidad aparente del suelo por el contenido gravimétrico de agua. El contenido volumétrico del agua (%) puede utilizarse para calcular la lámina de riego.

Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo

La curva característica de la humedad del suelo describe la relación entre el contenido de agua en el suelo y la tensión a la cual el agua es retenida por el suelo. La relación no es lineal y varía con el tipo de suelo. En un suelo saturado la tensión está muy cerca de cero y a medida que el suelo se seca, la tensión (succión) se incrementa. La textura del suelo tiene una gran influencia en la curva característica. Los suelos arenosos no retienen suficiente cantidad de agua disponible para la planta, éstos generalmente drenan más rápidamente y necesitan ser regados con más frecuencia que los suelos arcillosos, la humedad disponible para la planta es la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo menos el contenido de agua al punto de marchitez permanente.

Déficit permitido en el manejo del riego (DPM) es el contenido de agua en el suelo al cual no se debe permitir bajar o llegar al punto de marchitez permanente para evitar el estrés de la planta por falta de agua, y por lo tanto, evitar la reducción en la producción. La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lamina de riego por aplicar. El contenido de agua que queda debajo de este límite es la cantidad de agua que queda en el suelo. El déficit permitido (DPM) dependerá de las especies de plantas y variará de acuerdo a las temporadas de cultivo. Generalmente, el déficit permitido se expresa en porcentajes. El nivel de déficit permitido recomendado para muchos cultivos de campo es de alrededor del 50 por ciento. Para cultivos sensibles a la sequía (incluyendo muchas verduras), el déficit permitido puede ser tan bajo como de un 25 por ciento. Otro criterio que se utiliza frecuentemente para determinar el momento oportuno para aplicar el riego es la tensión de la humedad del suelo. Este método es más utilizado para programar el riego en los sistemas por aspersión, microirrigación y goteo, los cuales permiten aplicar láminas pequeñas y muy precisas. La tensión de la humedad del suelo se puede medir con un sensor (sensor de matriz granular) o un tensiómetro. La tensión de la humedad del suelo a la que se aplica el riego variará dependiendo del tipo de suelo y a la profundidad que se coloque el sensor de humedad.

Profundidad de raíz determina la cantidad de agua que la planta puede disponer del suelo. Las condiciones del suelo (por ejemplo, capas compactadas, nivel freático superficial, suelo seco) pueden limitar la profundidad de la raíz. En general las hortalizas tienen un sistema radicular relativamente superficial y por lo tanto tienen menos capacidad para extraer el agua almacenada en el suelo. Los cultivos que tienen sistemas radiculares superficiales y menores niveles de déficit permitidos requieren de riegos más frecuentes

Tensiómetro

En la practica el uso del tensiómetro es el procedimiento más asequible para explotaciones agrícolas, su uso se ha extendido tanto en cultivos a cielo abierto

como en invernadero, debido entre otras razones a su practicidad, relativo bajo costo, y mínima sofisticación, los valores óptimos de tensión matricial dependerán principalmente del cultivo, tipo de suelo y sistema de riego (Cadahia, 2005). En la utilización del tensiómetro para monitorear el índice de humedad del suelo en riego por goteo Erika *et al*, (1999) y Bob, (2004) indican que no se requiere cuantificar la precipitación y evaporación, entre otras ventajas se minimizan pérdidas de agua por drenaje al utilizar rangos apropiados de tensión mátrica. Según Hodnett *et al.*, (1990) Las mediciones son rápidas, baratas y fáciles de realizar por lo que es muy adaptable para la mayoría de agricultores. El tensiómetro mide la tensión o la succión del agua del suelo. Este instrumento consiste de un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, equipado con un vacuómetro en la parte superior y una capsula de cerámica porosa en el extremo inferior. El agua se mueve desde el tubo del tensiómetro a través de la cápsula de cerámica hacia el suelo en respuesta a la succión del agua del suelo (cuando el agua se evapora del suelo o cuando la planta extrae agua del suelo). El agua también se mueve desde el suelo al tensiómetro durante el riego. A medida que el tensiómetro pierde agua, se genera un vacío en el tubo y éste es registrado por el vacuómetro. La mayoría de los tensiómetros tienen un manómetro graduado de 0 a 100 (centibars, cb, o kilopascales, kPa). Una lectura de cero indica un suelo saturado. Conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta. El límite funcional del tensiómetro es de aproximadamente 80 cb. Más allá de esta tensión, el aire entra a través de la cápsula de cerámica y provoca la falla del instrumento. Éstos dispositivos tienen un rango de manejo de la humedad estrecho. Con estos dispositivos se puede conocer de qué manera el cultivo va extrayendo el agua del suelo, de forma que el riego puede programarse para mantener un contenido de agua en el suelo entre dos niveles de tensión de humedad. El límite superior es fijado para evitar drenajes y por tanto lavado de fertilizantes y el límite inferior representa el punto a partir del cual el cultivo sufre estrés.

Factores del clima que inciden sobre el crecimiento y productividad del tomate bajo invernadero

Radiación solar

Para el proceso fotosintético la planta utiliza la radiación que se encuentra entre 400 y 700 *nm* conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA) Pérdidas del 1% de luz corresponden a pérdidas del 1 % de la producción de tomate (Bailey y Hunter,1988). La asimilación de calcio por la planta esta altamente correlacionado con la radiación solar y la temperatura de la raíz (Adams y Ho, 1993). Ante situaciones de elevada intensidad luminosa que provocaría una intensa transpiración y saturación luminosa interesan las mallas de sombreo. Acerca de las mallas sombra de diferentes colores Ayala *et al.*, (2011) evaluando sus propiedades fotométricas encontró que la de color perla con 30 y 50 % de sombra incremento un 28 % los rendimientos totales de tomate comparadas con las de color negro y aluminio.

Temperatura

La temperatura no es un factor de crecimiento en el sentido de que no aporta directamente a la planta energía o constituyentes, sin embargo controla las tasas de reacciones metabólicas que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta (Martínez *et al.*, 2012). El crecimiento de las plantas de tomate se ve influenciado por la temperatura media de 24 horas. Durante el día la temperatura promedio óptima para el tomate oscila entre 20 y 25 °C, la mínima se sitúa en 15 °C y la máxima en 30 °C (Sánchez y Contreras 2006). A temperaturas inferiores a 12 °C se reduce la exportación de asimilados y se retrasa el crecimiento (Nuez, 2005). Temperaturas cercanas a 10 °C o superiores a 30 °C originan tonalidades amarillentas en los frutos de tomate reduciendo su calidad. (Contreras, 2002). La tasa respiratoria se incrementa significativamente con temperaturas superiores a 40°C y puede dañar a las plantas (Martínez *et al.*, 2012)

Humedad relativa

El contenido de vapor de agua en el aire afecta directamente el proceso de transpiraciónLa humedad relativa (HR) influye en la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la fecundación de las flores y en el desarrollo de

enfermedades criptogámicas. Humedad relativa alta próxima a la saturación puede disminuir la ETC e inhibir la absorción de nutrientes, particularmente el calcio, así como favorecer la presencia de enfermedades (Garzoli, 1989) citado por (Fernández M^a D., 2012). Cada especie vegetal requiere una cantidad distinta de HR, por ejemplo las solanáceas requieren un valor entre 50 y 60% mientras que las cucurbitáceas necesitan más alrededor del 80% de HR (Serrano, 2005). La HR recomendada para tomate en semillero es del 60 al 80% y de la floración en adelante del 50 al 70 %, pero no menos de 40 ni mayor a 80% (Sánchez y Contreras 2006). En condiciones de baja humedad relativa, la tasa de transpiración se incrementa, se puede entonces presentar estrés hídrico, cierre estomático y reducción del proceso fotosintético (Rawson et al., 1977). Valores extremos HR reducen el cuajado de tomate (Van Koot y Van Ravestjin, 1963); valores muy altos, especialmente con baja iluminación, reducen la viabilidad del polen (Burns et al., 1979; Drakes y Statham, 1979) y valores bajos dificultan la fijación del polen al estigma de la flor (Atherton y Rudich, 1996). Las referencias anteriores son citadas por (Nuez, 2005).

Dióxido de carbono (CO₂)

El carbono es el principal componente de la biomasa de la planta aproximadamente del 40 al 50% de su materia seca total. Es absorbido por las plantas a través de la fotosíntesis. La concentración óptima para las plantas oscila entre 600 y 1000 ppm. La concentración normal en el aire es de 300 a 400 ppm de ahí el interés de mantener ventilados los invernaderos. En estudios recientes sobre ventilación forzada en invernaderos de Almería España (Arellano *et al.*, 2011) encontraron que con índices de diseño de 15 y 30 renovaciones de aire por hora se tiene el mismo efecto que con el sistema de ventilación natural sobre el rendimiento del tomate.

Suelo y abonos orgánicos

La adición al suelo de materia orgánica (MO) entre otros beneficios favorece la formación de agregados mejorando así la eficiencia en el uso del agua por las plantas (Porta, 2003). Se estima que en México el 80 % de la producción hortícola

bajo invernadero se realiza en suelo (Castellanos, 2004), entre las ventajas del uso del suelo como medio de cultivo (Villareal *et al.*, 2002) destaca un incremento en la eficiencia del uso de nutrientes y agua en comparación al uso de sustratos que demandan entre 20 y 30 % mas riegos. Una desventaja que presenta el uso continuo del suelo es la proliferación de nematodos y enfermedades del suelo, dado que el cultivo se repite continuamente. El nematodo agallador *Nacobbus aberrans* puede llegar a ocasionar perdidas de hasta el 80 % en la producción de tomate (Manzanilla *et al.*, 2002). Al respecto (Camacho – Ferre y Tello – Marquina, 2006) mencionan la técnica de injerto en hortalizas como una estrategia para enfrentar tal problemática. Los beneficios de añadir abonos orgánicos al suelo como estiércoles o residuos vegetales son conocidos, de tal manera que en México es utilizado principalmente de forma empírica en comparación con otras regiones del mundo, como Estados Unidos de América donde su uso esta regulado por su contenido de Nitrógeno (Endelman *et al.*, 2010). En países de la Unión Europea su regulación esta basada en el contenido de fosforo, debido a su poca movilidad de este elemento en el suelo y su potencial de arrastre a cuerpos de agua (Newton *et al.*, 2010). Por sus características físicas, químicas y biológicas el vermicompost o lombricomposta se ha utilizado como fertilizante orgánico, muy favorable sobre el desarrollo de los cultivos hortícolas y plantas ornamentales en invernaderos (Brown *et al.*, 2000). El material es de tamaño fino, con elevada porosidad, alta capacidad de retención de agua, reducidas cantidades de sales solubles respecto del material original, alta capacidad de intercambio catiónico, elevado contenido de ácidos húmicos, elementos nutritivos fácilmente asimilables por las plantas tales como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y reguladores del crecimiento vegetal (Gajalakshmi *et al.*, 2001). El uso de lombricomposta y composta de estiércol de ganado bovino favorece la fertilidad del suelo incrementando los macronutrientes y la MO (Olivares-Campos *et al.*, 2012). Incrementa el rendimiento del tomate y en los frutos aumenta el contenido de solidos solubles (°Brix). (Moreno *et al.*, 2004). Posee características físicas y químicas, que permiten el desarrollo del tomate con características similares al uso de la solución nutritiva de Hoaglan diluida al 50% d (Moreno *et al.*, 2008). La

incorporación al suelo de vermicomposta y abono de bovino reduce significativamente el agallamiento radical inducido por *N. aberrans* en 27 y 40 % respectivamente (Villa-Briones *et al.*, 2008). Mejorador del suelo en cultivos hortícolas y como sustrato para cultivos en invernadero que no contaminan el ambiente (Urrestarazu *et al.*, 2001). El estiércol de ganado bovino no tratado constituye un importante reservorio de contaminantes, al situarse entre las principales fuentes de contaminación de mantos freáticos y del suelo (Olivares-Campos *et al.*, 2012). La aplicación de estiércol adiciona sales al suelo (Butler *et al.*, 2008). Lo que incrementa la conductividad eléctrica (Hao Y Chang, 2003). Por lo que se requiere de un adecuado manejo del riego, principalmente en sistemas de riego presurizados para evitar la acumulación de sales (Quiroga *et al.*, 2010)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional - Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN-OAXACA), localizado en el Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán en la región de Valles Centrales, Distrito de Centro Oaxaca, México. Su ubicación geográfica es 17° 1' 31" N y 96° 43' 11" O, con una altitud de 1530 msnm. En la zona se registra una temperatura media anual de 21.4 °C y una precipitación pluvial media anual de 785.5 mm La temperatura media en el mes más caluroso es de 24 °C y en el mes más frío es de 18 °C. El periodo de lluvias es de abril a septiembre con un promedio máximo en junio de 172.1 mm. (SMN, 2011)

Invernadero

El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel, con dos módulos contiguos representativo de la región de valles centrales de Oaxaca, con las siguientes dimensiones y características: estructura de acero galvanizado, 3 m de altura al canalón, 5.5 m de altura a cumbre, Ventilación cenital y perimetral con malla antiáfidos, ventilación natural de apertura fija, cubierta plástica blanca



Figura 1. Invernadero experimental

de alta densidad con 30 % de sombreo, orientación respecto del recorrido aparente del sol con dirección Este – Oeste, superficie interna de 224 m². Figura 1

Suelo del invernadero

Se removió una capa de 30 cm del suelo, y se formaron camas elevadas con dimensiones de 0.30 m de alto, un metro de ancho por 12.5 m de largo. De acuerdo al análisis de las propiedades físicas del suelo se encontró que es un

suelo de textura arenosa (92.04 % de arena, 1.66 % de limo y 6.30% de arcilla) con una densidad aparente de 1.5 g cm⁻³. (NOM – 021).

La fertilidad del suelo con y sin la adición de abonos orgánicos se muestra en el cuadro 1. pH, materia orgánica (MO) y potasio fue mayor cuando se adiciono abono bovino, con la adición de lombricomposta se incrementó el pH, MO y fosforo. El contenido de sodio se redujo con la adición de ambos abonos.

Materiales orgánicos usados

La adición de abonos orgánicos al suelo se realizó con un mes de anticipación previo al trasplante. Se utilizó estiércol de ganado bovino con más de dos años en descomposición (abono bovino) y lombricomposta recién elaborada, la distribución de lo abonos fue de 4 kg m⁻² equivalente a 25 ton ha⁻¹, los mezcle con la capa superficial del suelo a 15 cm de profundidad.

Cuadro 1. *Determinación de la fertilidad del suelo*

Determinaciones	suelo normal	suelo + lombricomposta	suelo + abono bovino
pH	7.6	7.7	8.0
Materia orgánica (%)	1.6	2.0	3.6
Fosforo (P) ppm	92.0	149.0	77.0
potasio (K) ppm	142.0	121.0	325.0
Calcio (Ca) ppm	4318.0	2821.0	3760.0
Magnesio (Mg) ppm	350.0	297.0	291.0
Azufre (S - SO ₄) ppm	253.0	138.0	235.0
Boro (B) ppm	2.0	1.7	1.5
Cobre (Cu) ppm	4.4	3.8	3.4
Hierro (Fe) ppm	211.0	225.0	130.0
Manganeso (Mn) ppm	90.0	77.0	110.0
Zinc (Zn) ppm	3.2	3.6	4.7
Sodio (Na) ppm	195.0	82.0	39.0
CIC meq/100g	20.9	14.1	18.0
SATURACION CATIONICA			
% K	1.6	2.1	4.4
% Ca	81.6	79.0	82.5
% Mg	12.8	16.1	12.4
% H	0.0	0.0	0.0
% Na	4.1	2.5	0.9
Relación K/Mg	0.1	0.1	0.3

Laboratorios AL de México, Agosto 2011

Material vegetal

La variedad utilizada en el experimento fue el tomate tipo saladette Híbrido Cid F1 de crecimiento indeterminado. De acuerdo con Harris Moran empresa que comercializa la semilla se trata de una planta con gran vigor, amplia adaptación a diferentes tipos de climas, en la cosecha se obtienen frutos uniformes en tamaño y forma, con un color rojo intenso, de paredes gruesas que proporciona gran firmeza para una mayor vida de anaquel, presenta alta resistencia a verticiliosis, agallas radiculares por nematodos, mosaico del tomate y *Fusarium*.

El trasplante se realizó el 30 de agosto de 2011La densidad del cultivo fue de 3.5 plantas m⁻², dos hileras por cama, a una distancia de 0.15 m entre hileras, 0.35 entre plantas, 1.60 m entre centros de camas, pasillos intermedios de 0.60 m de ancho., las plantas se mantuvieron a un solo tallo mediante la poda de brotes laterales y se despuntaron sobre el octavo racimo floral.

Sistema de riego

Se instaló un sistema de riego por goteo con las siguientes características: dos cintas regantes por cama de cultivo de 16 mm de diámetro interno, separación de goteros a cada 0.22 m, gasto unitario de 1 L h⁻¹ operando a una presión de 0.8 kg cm⁻², en cada parcela, válvulas de control independientes para cada línea regante.

Programación del riego

Para el control de humedad del suelo se instalaron tensiómetros modelo Irrrometer ISR-300 (Irrrometer Company, Riverside California USA) uno por cada tratamiento, estos se ubicaron donde se observó que el suelo se secaba más rápidamente y la capsula porosa se enterró a 0.15 m de profundidad del nivel del suelo. Las lecturas se registraron diariamente entre las 8 y 18 horas. Se siguieron las recomendaciones de instalación del tensiómetro descritas en el manual del usuario (INTAGRI, 2004).

Arreglo experimental

Se utilizó un arreglo factorial; dos factores y 3 niveles, con un diseño en parcelas divididas con bloques al azar. Factor suelo con tres niveles (suelo+lombricomposta, suelo+ abono bovino y suelo sin abonos). Factor riego con tres niveles (tensiómetro 1, 2 y 3) Los diversos componentes del experimento se muestran en la figura 2

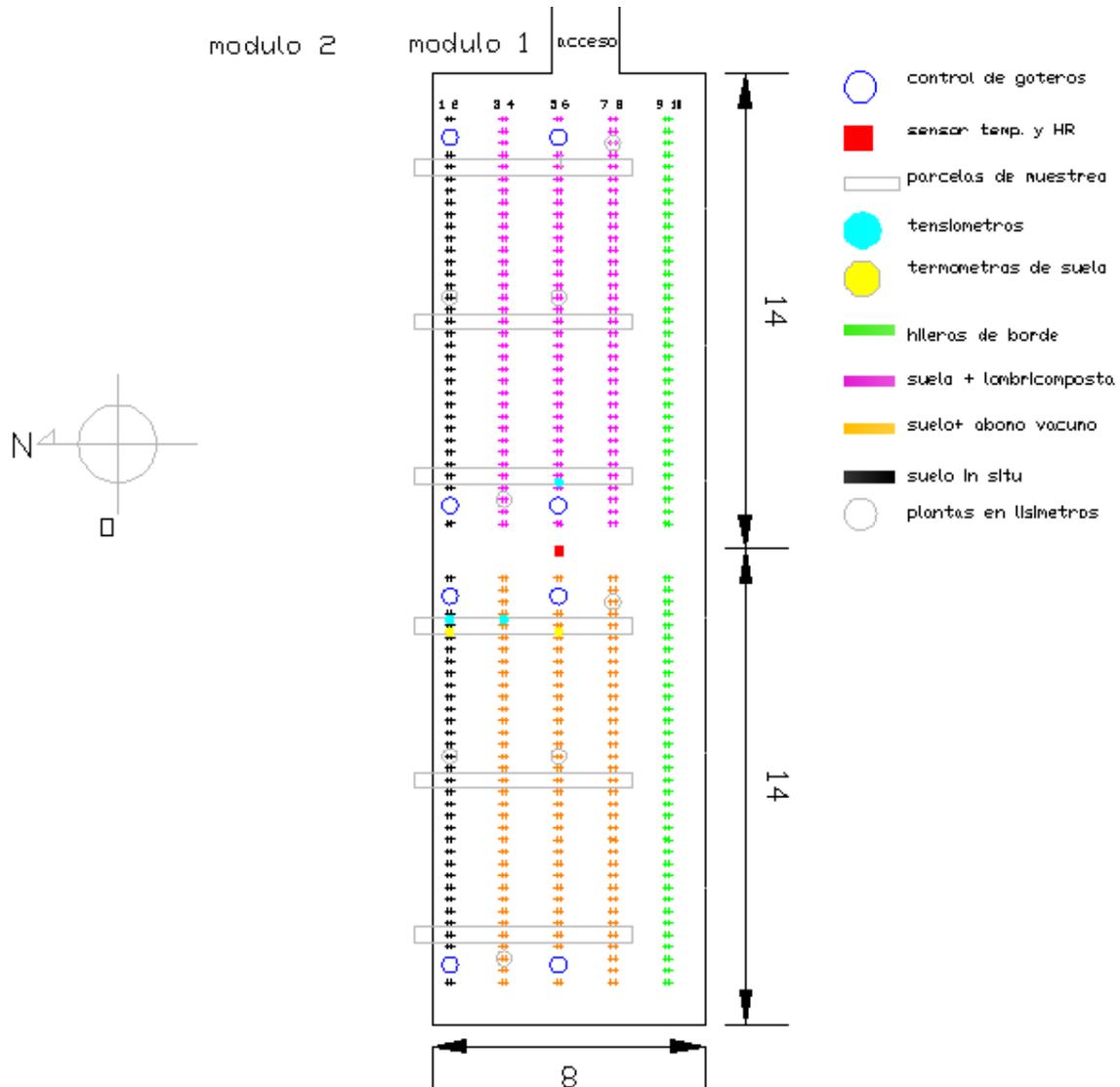


Figura 2. Diseño experimental y diversos componentes del experimento

Inicio del riego

El riego se realizó en función del potencial mátrico, la curva característica de humedad del suelo, y el aspecto visual de las plantas se considero el estudio de (Dan Wan *et al*, 2006) al evaluar el efecto del potencial mátrico del suelo sobre el rendimiento del tomate encontró que en el rango de 10 a 50 cbar no se presentaron diferencias significativas. Por lo que el riego por lo regular se dio en este intervalo, algunos riegos se dieron entre 50 y 75 cbar para observar el efecto sobre las plantas, se evito ubicar el tensiómetro en los extremos debajo de 5 y 80 cbar.

Curva característica de humedad del suelo

Una vez instalado el tensiómetro se realizaron muestreos del suelo a diferentes potenciales mátrico conforme el suelo fue perdiendo humedad, por cada valor de potencial mátrico se recolectaron 17 muestras de 60 g. y se colocaron en la estufa a 105 °C hasta peso constante, de esta manera se obtuvo el porciento de humedad gravimétrica del suelo mediante la ecuación 1.

$$PHG = [(PSH - PSS) / PSS]*100 \quad (3)$$

Donde:

PHG = por ciento de humedad gravimétrica en el suelo (%)

PSH = peso del suelo húmedo (g)

PSS = peso del suelo seco (g)

El por ciento de humedad en base volumen se obtuvo mediante la ecuación 2. El cuadro 1 concentra las diferentes tensiones y los promedios correspondientes de de humedad gravimétrica y volumétrica.

$$PHV = PHG * DA \quad (4)$$

Donde:

PHV = por ciento de humedad en base volumétrica (%)

DA = densidad aparente del suelo (g/cm^3)

DA = 1.5 g/cm^3

Cuadro 2. Determinación de la curva característica de humedad del suelo

Ψ_m	Θ_g %	Θ_v %	$\Theta_v \text{ cm}^3/\text{cm}^3$
5	23.456	34.832	0.3483
14	18.032	26.778	0.2678
28	13.379	19.867	0.1987
41	12.002	17.822	0.1782
53	10.697	15.885	0.1589
68	10.518	15.619	0.1562
72	10.393	15.433	0.1543

Potencial mátrico (ψ_m), humedad gravimétrica (θ_g) y volumétrica (θ_v)

El comportamiento de la curva obtenida se describe mediante la ecuación exponencial de la forma $y = a(b - e^{-cx})$ para su determinación se utilizó el software Curve expert 1.4

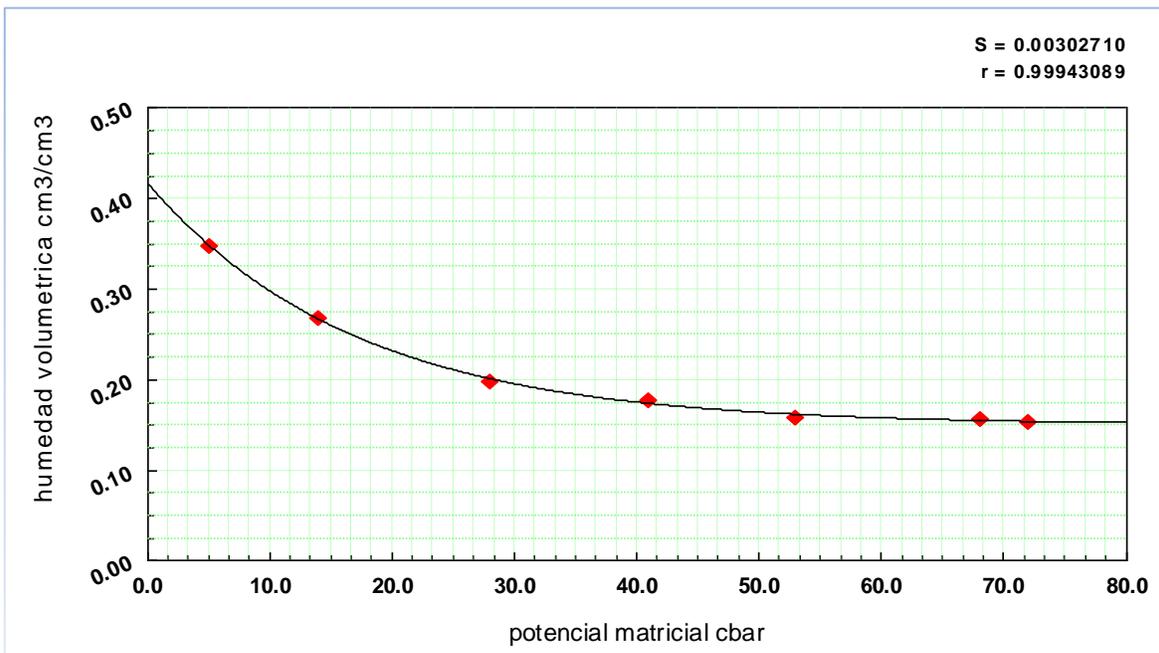


Figura 3. Curva característica de humedad del suelo de cultivo

Volumen de riego

El volumen de riego se determino mediante el procedimiento de (Villalobos *et al*, 2004) el cual se describe con las siguientes ecuaciones.

$$VRb = VRnr/Ea \quad (5)$$

Donde: VRb es el volumen de riego bruto ($m^3 ha^{-1}$), VRnr es el volumen de riego neto de reposición ($m^3 ha^{-1}$) el cual se determino mediante la ecuación (2), Ea es la eficiencia de aplicación del riego que en este estudio se considero del 90 %.

$$VRnr = (PHM - PHR) * Vbm \quad (6)$$

Donde: PHM es el porcentaje de humedad máxima del suelo al que se desea llegar después del riego, PHR es el porcentaje de humedad del suelo a la tensión establecida para iniciar el riego, ambas expresada en decimal y en base volumen, PHM y PHR se obtuvieron con la determinación de la curva característica de humedad del suelo, Vbm es el volumen del bulbo de mojado ($m^3 ha^{-1}$) el cual se determino mediante la ecuación.

$$Vbm = 0.5\pi r^2 * L \quad (7)$$

Donde: 0.5 es un factor que depende del estado de desarrollo del cultivo, r es profundidad de raíz o profundidad del bulbo de mojado (m), y L es la longitud total del surco (m)

Cuantificación del riego

Para conocer el agua suministrada al cultivo a través del riego, se colocaron al inicio y final de las líneas regantes de la parcela experimental útil, bandejas de plástico de 12 litros de capacidad, estos recipientes captaron el agua de 4 goteros y se aforaron periódicamente después de cada riego. El promedio del volumen de

ambas bandejas dividido entre el numero de goteros se consideró como el volumen por gotero riego⁻¹, conocido el espaciamiento entre goteros, la longitud de la cintra regante y la presión del sistema se obtuvieron datos del agua suministrada durante todo el ciclo de cultivo.

Temperatura y humedad relativa en invernadero

Para la obtención de temperatura y humedad relativa, se instalaron sensores modelo Hobo U-12-001 a 0.5 y 2.5 m del nivel del suelo, programados cada 12 minutos. Para el análisis de los datos se obtuvieron medias diarias, promedios de máximas y mínimas diarias.

Temperatura del suelo dentro del invernadero

Para obtener datos de la temperatura del suelo se utilizaron termómetros de suelo modelo HI 145 de (HANNA Instruments,USA), enterrados a 20 cm del nivel del suelo, las lecturas se tomaron diariamente entre las 8 y 18 horas. Se obtuvieron promedios diarios y mensuales diurnos.

VARIABLES AGRONÓMICAS

Diámetro del tallo

Se midió con vernier la parte baja, media y superior del tallo y se obtuvo el promedio por planta.

Altura total

Con cinta métrica medí la longitud del tallo desde el nivel del suelo y hasta el octavo racimo

Longitud entre racimos

Medí con cinta métrica entre un racimo y el siguiente, hasta el octavo racimo

Numero, peso y tamaño de frutos

Se cosecharon los frutos manualmente, cuando se observaron de color anaranjado tendiendo mas a rojo, se pesaron con una balanza granataria marca

Kitlab Triple Beam MT-2610 USA. Y se midió con vernier su diámetro ecuatorial. La clasificación por tamaño del fruto se determinó utilizando la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997 cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación por tamaño del tomate tipo Saladette NMX-FF-031-1997

Tamaño	Diámetro ecuatorial	
	Minimo ¹⁾ mm	Maximo ²⁾ mm
Chico	38	52
Mediano	51	60
Grande	59	71
Extragrande	70	> 70

1) Cuando el tomate en, posición vertical, no puede pasar por una abertura circular del diámetro designado.

2) Cuando el tomate, en cualquier posición, puede pasar por una abertura circular del diámetro designado.

Firmeza externa (kgcm⁻³)

Se realizó en tres muestreos sobre 18 frutos por tratamiento del segundo, quinto y octavo racimo de las plantas en muestreo. Con un penetrómetro modelo FT-237 USA. Se perforó la pared del fruto en tres puntos del área ecuatorial y se obtuvieron valores promedios.

Solidos solubles totales

Se realizó sobre 18 frutos por tratamiento mediante un refractómetro manual marca Milwaukee USA. El procedimiento consistió en extraer el jugo de los frutos y medir individualmente los °Brix.

Vida de anaquel

En un cuarto fresco a temperatura ambiente, se colocaron sobre una mesa los frutos cosechados el mismo día, del mismo racimo, de color anaranjado uniforme.

Se contaron los días hasta cuando su consistencia a la vista y tacto el deterioro fue significativo según se describe en la Norma Mexicana NMX-FF-031-1997

Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se determinó mediante el cociente: kilos de frutos producidos / m³ de agua suministrado al cultivo. El cual ha sido utilizado por diversos autores (Flores et al., 2006, Ojo de agua *et al.*, 2008) entre otros.

Labores culturales

Tutoreo

Se inició el tutoreo de las plantas a los 15 días después del trasplante y se continuó cada 7 días hasta que concluyó el experimento. Consistió en el acomodo del tallo principal de manera vertical, mediante la colocación de un anillo plástico en la base de las plantas, desde donde se sujeto la punta inferior de la rafia y esta se enganchó sobre alambres colocados a 3 m del nivel del suelo sostenidos de la estructura del invernadero.

Poda de brotes

Consistió en eliminar los brotes laterales del tallo principal para evitar competencia por agua, nutrientes, espacio, luz, y así favorecer el desarrollo más saludable del cultivo. Esta actividad inicio 20 días después del trasplante y se realizó entre una y dos veces por semana hasta que concluyo el experimento.

Poda de hojas

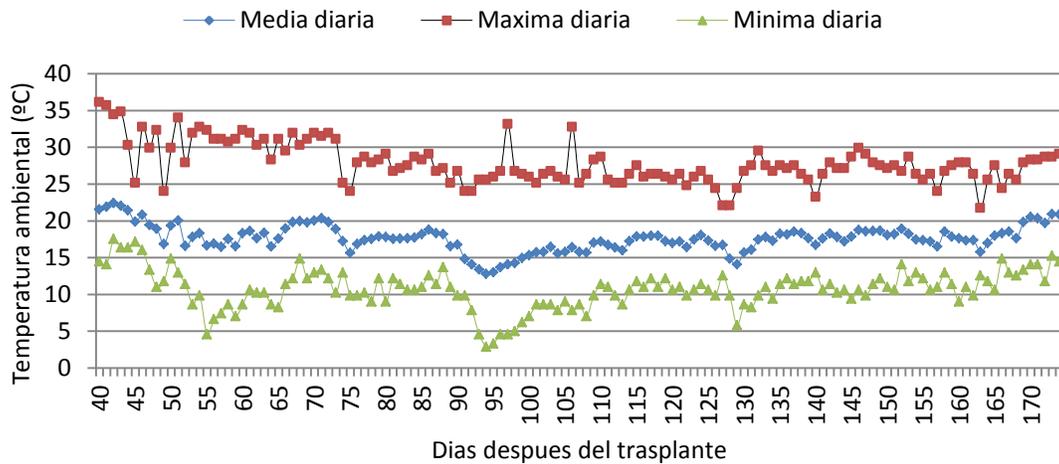
Se hizo periódicamente durante el transcurso del experimento hasta que los frutos del racimo más desarrollado alcanzaban buen tamaño se podaron las hojas inferiores excepto la más cercana inferior al racimo. Conforme crece el cultivo las hojas inferiores ya no contribuyen con fotoasimilados para la planta, el contacto con el suelo las hace susceptibles a enfermarse y entorpecen la circulación del aire.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Monitoreo de las variables climáticas al interior del invernadero

Temperatura

a)



b)

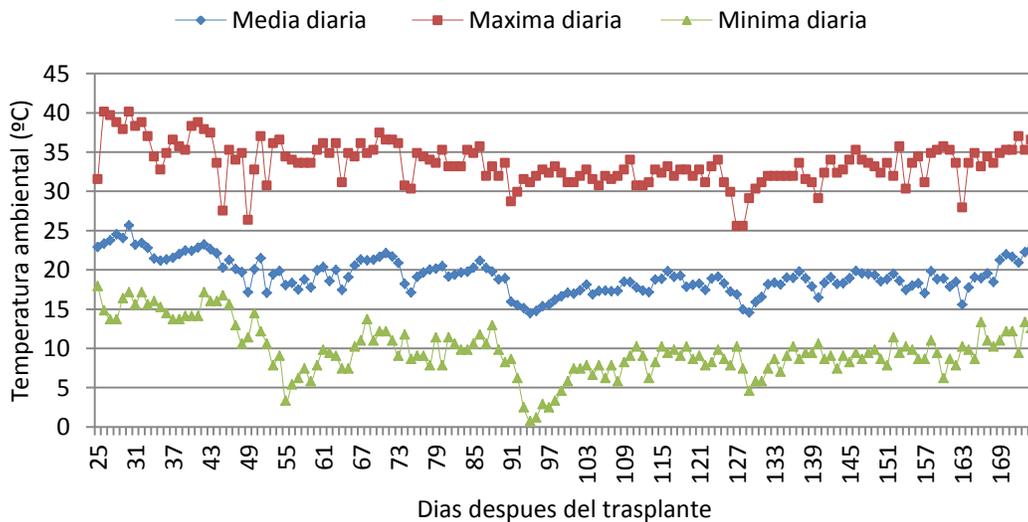
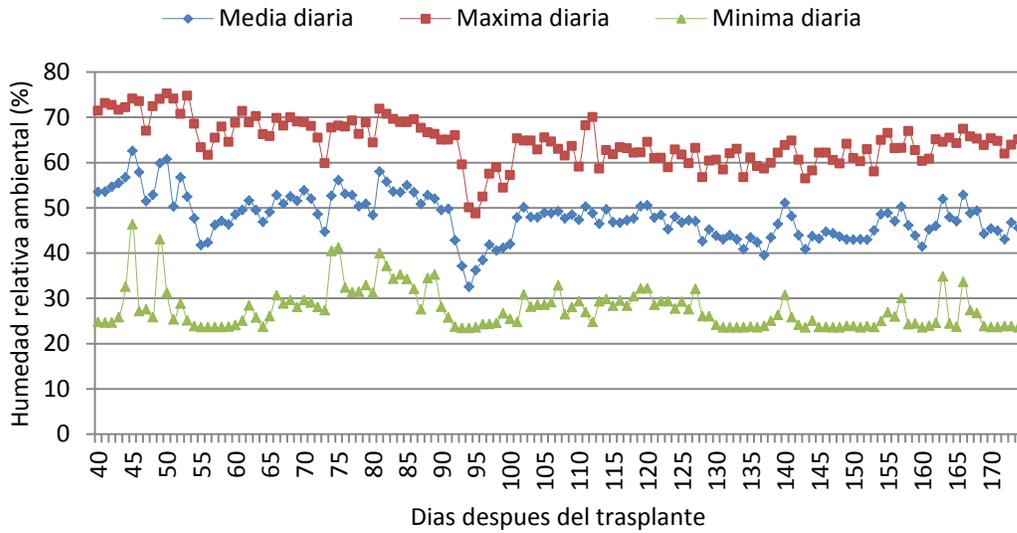


Figura 5. Temperatura ambiental al interior del invernadero a) 0.50 m y b) 3 m del nivel del suelo, durante el periodo de cultivo.

En el interior del invernadero las temperaturas diarias monitoreadas durante la mayor parte del periodo del cultivo a 0.50 m del nivel del suelo corresponden a una temperatura media de 17.62, máxima promedio de 27.87 y mínima promedio de 10.72 °C figura 5. La temperatura media a 3 m del nivel del suelo fue de 19.21 °C ligeramente mayor que a 0.50m. La máxima promedio fue de 33.51 °C, cinco grados mayor que a 0.50 m y la mínima promedio fue de 9.7 °C, un grado menor que a 0.50 m. Durante los primeros 30 ddt se presentaron temperaturas muy calientes al medio día que alcanzaron los 40.1 °C a 3 m, concuerda con (Omid, 2004) donde menciona que la temperatura durante el día se incrementa a mayor altura. Se presentaron temperaturas muy bajas para el tomate de hasta 2.89 °C a 0.50m y de 1.16°C a 3 m entre los días 91-97 ddt figura 5. En un estudio realizado por (Ortega *et al.*, 2010) en un invernadero tipo túnel de baja tecnología, se presentaron temperaturas diurnas superiores a los 38°C causando fruto pequeño y mal formado en todos los tratamientos. Según (O. Körner, 2003) las plantas toleran temperaturas fuera del punto medio siempre y cuando no sean de larga duración. (Castilla, 2007) menciona como limites climáticos térmicos para el cultivo protegido sin instalaciones de climatización activa una temperatura media entre 12 y 17 °C. a este respecto la zona donde se desarrollo el experimento tiene aptitud climática para la producción bajo invernadero sin incurrir en costos excesivos de climatización, dado que la temperatura promedio dentro del invernadero durante la temporada mas fría fue de 18.4°C.

Humedad relativa

a)



b)

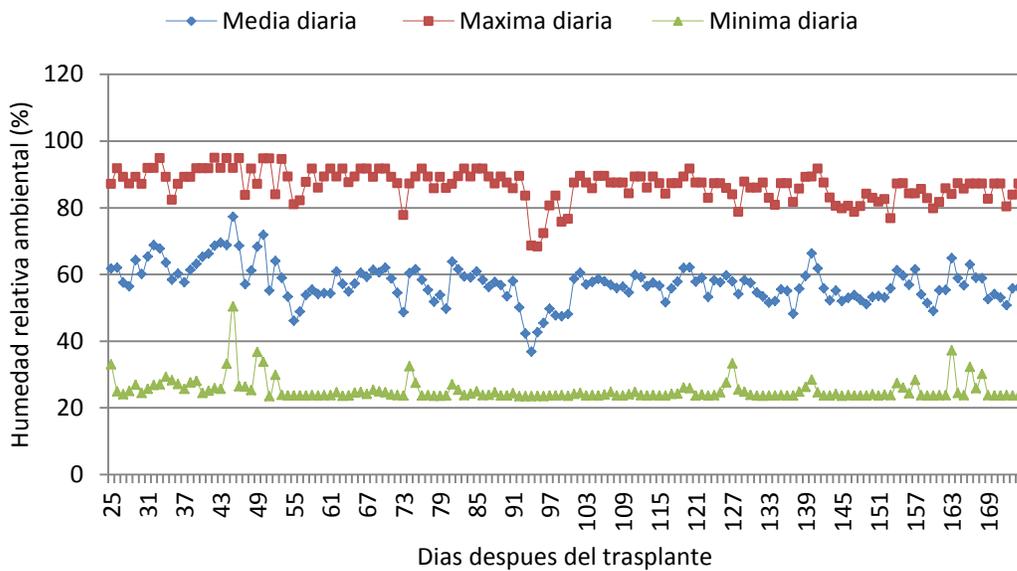


Figura 6. Humedad relativa ambiental al interior del invernadero a) 0.50 m y b) 3 m del nivel del suelo, durante el periodo de cultivo

Durante el periodo del cultivo a 0.50 m se registró una humedad relativa media de 47.94 %, máxima promedio de 64.50 % y mínima promedio de 27.4 % figura 6. A 3 m la media diaria fue nueve unidades mayor que a 0.50 siendo esta de 57.16 %, el promedio máximo fue veintidós unidades mayor siendo de 86.70 % y la mínima promedio fue dos unidades menor siendo de 25.20 %. La HR mas elevadas durante el día se presentaron durante los primeros 35 ddt llegando hasta un máximo de 94.5 % coincide con la presencia de las ultimas lluvias de la temporada. La HR mínima no descendió de 23% en ambas alturas. Se presentaron varias noches con HR > 90 % lo que favoreció la presencia de enfermedades. (Baptista *et al.*, 2012) define como una aplicación practica HR > 90 % representa un nivel de riesgo para el ataque de *Botrytis cinerea*, por lo que propone la ventilación nocturna como una técnica para reducir HR dentro de invernaderos sin calefacción.

Temperatura y humedad relativa durante un día completo

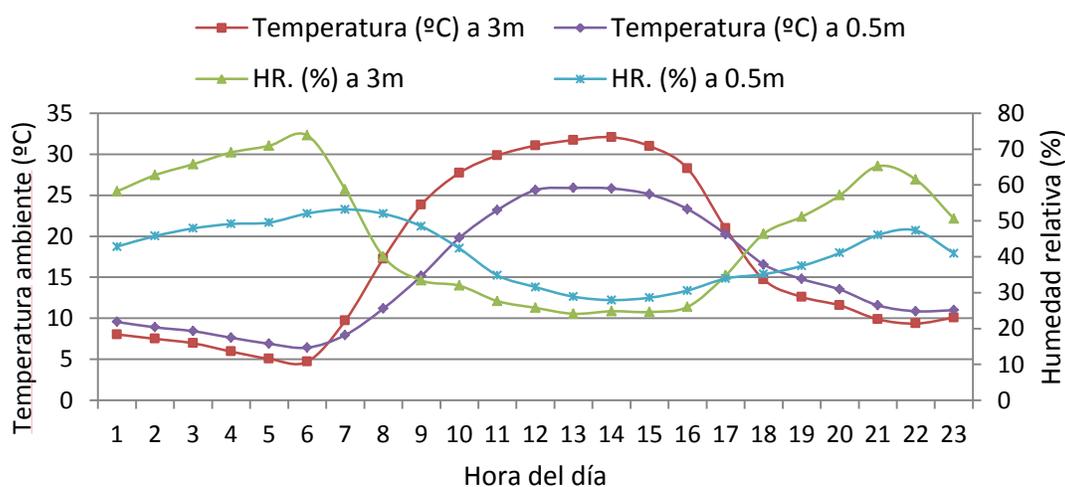


Figura 7. Temperatura y humedad relativa durante el día 99 ddt, (inicio de cosecha)

La temperatura máxima se presenta entre las 13 y 14 horas, llegando hasta 32 °C a 3m y a 26 °C a 0.50 del nivel del suelo, con una diferencia de 6 °C entre ambas

alturas. Las temperaturas más bajas se presentaron entre las 5:00 y 6:00 h de la mañana bajando hasta 5 °C a 3m y a 6 °C a 0.50 m del nivel del suelo, con un 1 °C de diferencia. La salida del sol se presentó a las 06:43 h fue un día despejado sin nubes por lo que la temperatura dentro del invernadero se incrementó rápidamente con la presencia de radiación, durante este día se presentaron 11 horas con 10 minutos de luz figura 7. El sol se ocultó a las 17:53 h y la temperatura descendió rápidamente por debajo del óptimo. Durante el día la humedad relativa se ubicó por debajo del óptimo. Según Teitel *et al.*, (2010) Los mayores gradientes de: temperatura, humedad relativa, concentración de CO₂ se dan en alrededor del medio día, cuando la intensidad de la radiación es mayor.

Temperatura del suelo

En la zona superficial, las temperaturas del suelo siguen una evolución similar a la temperatura del aire, de aspecto sinusoidal y retrasada respecto a la del aire (Castilla, 2007). La temperatura del suelo para las plantas de tomate debe estar en el rango de 12 – 16 °C, diez grados centígrados como mínimo y treinta como máximo (Valadez, 2001)

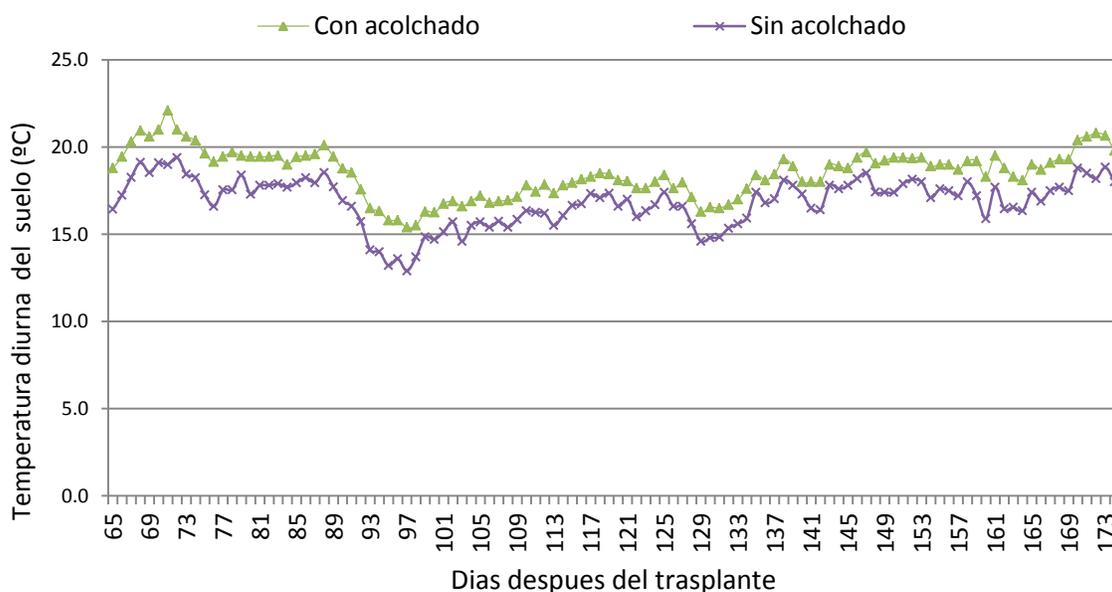


Figura 8. Temperatura diaria del suelo al interior del invernadero con y sin acolchado plástico durante el periodo de cultivo

Se registró una temperatura media diurna de 18.5 °C. La temperatura no descendió de 15.4 °C durante los días más fríos y en los días más cálidos no rebaso los 21.1 °C. Con el suelo sin acolchado la temperatura media fue de 16.9 °C, durante los días mas fríos descendió hasta 12.9 °C y en los días mas cálidos no rebaso los 19.4 °C. La temperatura con acolchado fue en promedio 1.6 °C mayor en comparación al suelo desnudo. Según (Nuez, 2005) el acolchado plástico en las camas de plantación regadas por goteo provoca un gran desarrollo del cultivo conserva la humedad, economiza el riego, pero no sirve para incrementar la temperatura.

Monitoreo del potencial mátrico del suelo (Ψ_m)

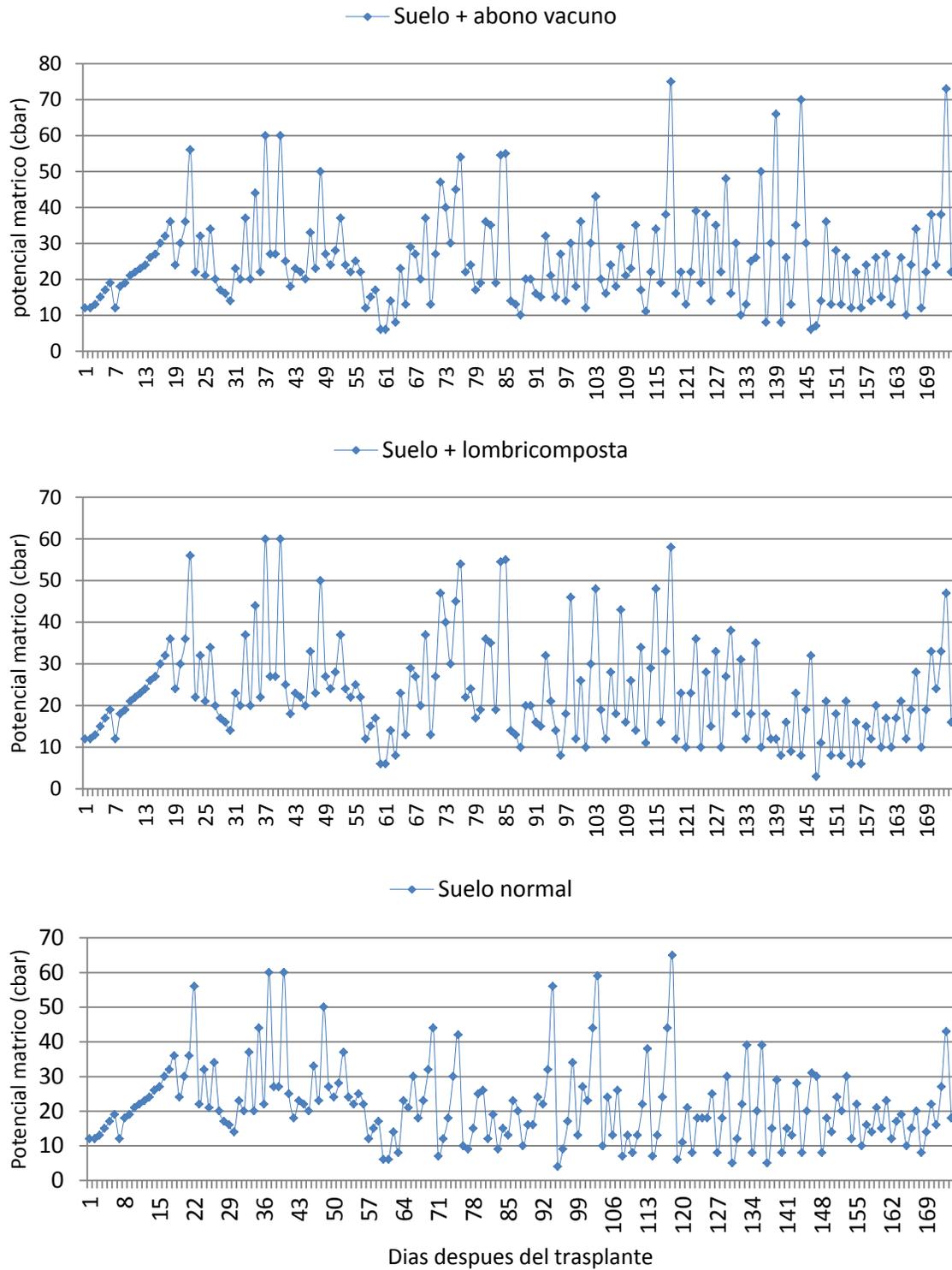


Figura 9. Potencial mátrico del suelo, lectura registrada diariamente a las 8:00 horas durante el ciclo del cultivo.

Durante los primeros días después del trasplante el déficit evapotranspirativo de las plantas (consumo de agua) fue cubierto satisfactoriamente con el agua almacenada en el suelo a capacidad de campo

figura 9. por lo que riegos frecuentes en esta etapa son innecesarios. Coincide con Ngouajio *et al.*, (2006) que al estudiar la retención de agua con la técnica de acolchado en tomate observo que si la humedad del suelo es adecuada al momento del trasplante, la retención del agua por el suelo acolchado puede retrasar el suministro de riego 1-2



Figura10. agua retenida por el plástico

semanas lo que permite aumentar el rendimiento de las plantas y reducir el consumo de agua. El exceso de riego no solo reduce el rendimiento de los cultivos, sino también aumenta la lixiviación de nutrientes (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2003, 2006). La radiación incidió directamente sobre la superficie del suelo dado que las plantas aun no tenían suficiente follaje, por lo que el acolchado plástico retuvo el agua figura 10. En la etapa productiva del cultivo un riego entre 1.5 y 2 litros planta⁻¹ cada dos días mantuvo el Ψ_m de este suelo en el rango óptimo de humedad. Marouelli *et al.*, (2003) reportaron que se obtiene más rendimiento cuando se suministra el riego durante la etapa vegetativa a 70 cbar y a 15 cbar durante la etapa productiva

Las recomendaciones del programa de riego es determinado por las condiciones específicas que son afectadas por las condiciones climáticas y del suelo (Prieto *et al.*, 1999)

Cuadro 4. Riegos suministrados al cultivo en función del potencial mátrico

Suelo	Potencial mátrico	Numero de Riegos	L agua- planta ⁻¹
Suelo + abono bovino	Ψ_{mv}	88 b	131.80 a
Suelo + lombricomposta	Ψ_{ml}	89 a	121.60 b
Suelo normal	Ψ_{mn}	72 c	111.00 c

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

Las plantas establecidas donde se adiciono al suelo abono bovino y lombricomposta requirieron 20.8 y 10.6 litros más de agua que las ubicadas en el suelo normal. Lo que demando mayor frecuencia de riegos cuadro 4.

La temperatura incidió sobre el requerimiento de riego por las plantas figura 11.

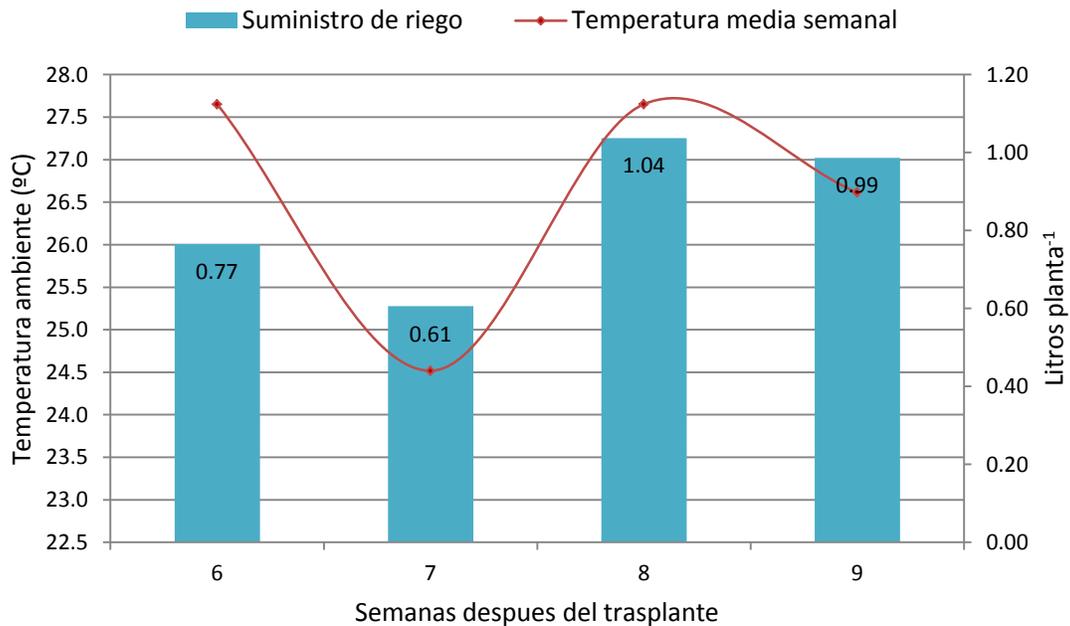


Figura 11. Temperatura diaria & requerimientos de riego durante el intervalo (34 – 64 ddt) octubre 2011

Durante la semana 6 ddt la temperatura media diurna fue de 27.7 °C, esta descendió a 24.5 °C durante la semana siete, lo que determinó una menor demanda de agua durante esta última figura x. Durante la semana ocho la temperatura se incrementó hasta 27.7 °C lo que demandó más suministro de agua debido también al mayor desarrollo de las plantas, en promedio se suministró un volumen de un litro planta⁻¹. En la semana nueve nuevamente descendió la temperatura a 26.6 °C y el suministro de riego se redujo ligeramente.

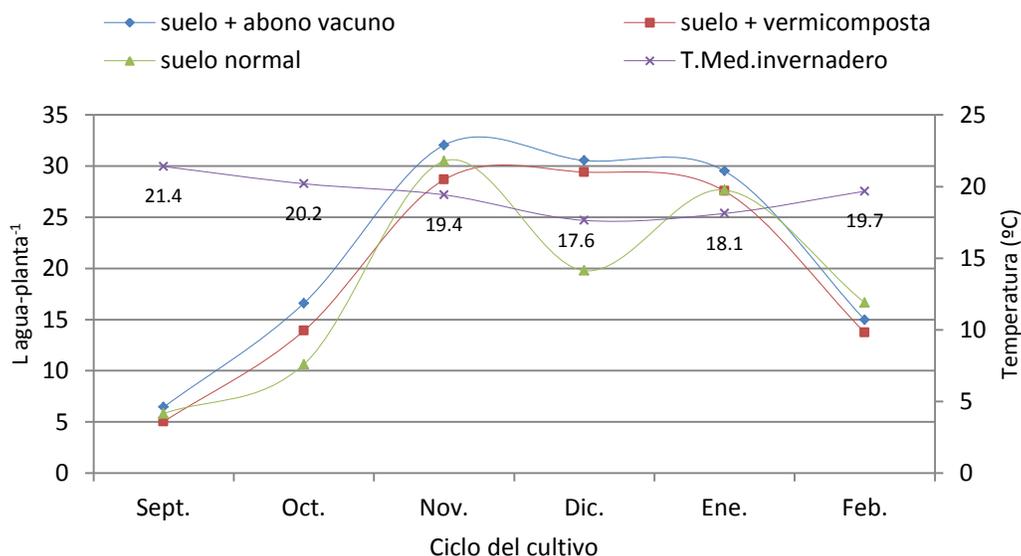


Figura 12. Demanda media mensual de agua del cultivo y temperatura media

El periodo de cultivo fue desde septiembre de 2011 y hasta los primeros 15 días de febrero 2012, la demanda de agua fue incrementándose conforme las plantas

fueron creciendo. Demandaron más agua durante el mes de noviembre 32 y 30.5 L planta⁻¹ en los tratamientos suelo + abono bovino y suelo normal respectivamente figura 12. El tiempo corresponde a la etapa fenológica de fructificación, a finales de noviembre el ápice de la mayoría de plantas llegó a 2.70 m de altura, con amarre de frutos hasta el octavo racimo. Durante diciembre enero y febrero se cosecharon los frutos, se podaron hojas, por lo que las plantas fueron mermando su demanda de agua, en febrero el ataque de nematodos se hizo más severo en los tratamientos con abonos, por lo que también influyó en una menor demanda de agua en estos tratamientos. En diciembre resalta la disminución de requerimiento de agua en el tratamiento con suelo normal, debido a la disminución de la temperatura ambiental y también por la temperatura del suelo que descendió hasta 12.9 °C.

Aspectos morfológicos de las plantas

Según la prueba de Tukey, el diámetro del tallo se incrementó con el uso de materiales orgánicos cuadro 5. Sin embargo respecto de la altura no hubo diferencias significativas. Con el uso de enmienda de ovinos Ortega-Martínez *et al.*, (2010) reportó incrementos significativos sobre la altura y el grosor del tallo en tomate indeterminado variedad sun 7705

Cuadro 5. Efecto del suelo sobre la morfología del cultivo

suelo	Diámetro de tallo (cm)	Altura planta (m)	Longitud entre racimos (cm)
Suelo + abono bovino	1.57 a	2.72 a	33.8 a
Suelo + lombricomposta	1.51 a	2.52 a	31.6 a
Suelo normal	1.32 b	2.72 a	33.9 a

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

Con el uso de lombricomposta para la producción de plántulas de tomate Lazcano *et al.*, (2009) observó incrementos significativos en su morfología al observar mayor superficie foliar y radicular. La floración se adelantó 10 días en tomate variedad big beef y red chief según lo reportado por (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007)

(Grijalva-Contreras *et al.*, 2010) con la variedad de tomate denominada “Beatriz”, reporto que la altura se vio afectada cuando se incremento la densidad de plantación. (Leperen *et al*, 2003) menciona que el estrés hídrico afecta la distribución de agua por el tallo repercutiendo sobre el amarre de frutos. Gaona y Juárez (2005) reportaron valores de 1.49 cm de grosor de tallo para la variedad Badro en tomate tipo bola y 1.39 cm en tomate saladette variedad Pitenza, valores cercanos a los obtenidos en este experimento.

Aspectos productivos de las plantas

Donde se adicione al suelo abono bovino y lombricomposta se obtuvieron 23.3 y 24.3 % más frutos que en el suelo normal Cuadro 6

Cuadro 6. Efecto de los materiales orgánicos sobre la productividad de las plantas

Suelo	Frutos planta ⁻¹	Rendimiento kg planta ⁻¹	Rendimiento kg m ⁻²
Suelo + abono bovino	71.3 a	7.0 a	24.61 a
Suelo + lombricomposta	72.3 a	6.7 ab	23.6 ab
Suelo normal	54.7 b	4.9 b	17.3 b

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey P ≤ 0.05)

Se obtuvieron 2.1 y 1.8 kg-planta⁻¹ adicionales en los tratamientos con abono bovino y lombricomposta en comparación al suelo normal cuadro 6. El mayor rendimiento al usar abono bovino concuerda con el reportado por de la Cruz-Lázaro *et al.*, (2009) donde comparo composta y lombricomposta sobre el rendimiento del tomate sun-7705. Coincide también con Ortega-Martínez *et al.*, (2010) donde observo el mayor rendimiento en tomate variedad sun 7705 al usar enmiendas de ovinos. Según Rodríguez-Dimas *et al.*, (2007) El uso de lombricomposta es apropiado para la producción de tomate bajo invernadero. Los ácidos húmicos que contiene la lombricomposta restauran las propiedades

químicas y físicas de los suelos y mejoran el crecimiento y producción de las plantas (Calderín *et al.*, 2012).

Cuadro 7. Efecto del suelo sobre el tamaño del fruto

Suelo	Extragrande	Grande	Mediano	Chico	Destrío
Suelo + lombricomposta	0.67 a	21.16 a	18.33 a	16.66 a	16.66 a
Suelo + abono bovino	0.16 ab	21.83 a	21.16 a	14.66 a	14.83 ab
Suelo normal	5.5 E-17 b	11.66 b	19.83 a	16.66 a	6.50 b

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

Calidad del fruto

Cuadro 8. Efecto del suelo sobre los parámetros de calidad del fruto

Suelo	Firmeza externa del fruto	Sólidos solubles totales	Materia seca del fruto
	kg cm ⁻³	° Brix	%
Suelo + lombricomposta	1.84 a	4.71 a	5.53 a
Suelo + abono bovino	1.48 a	4.30 b	5.21 c
Suelo normal	1.83 a	4.18 b	5.35 b

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey $P < 0.05$)

Estadísticamente no hay diferencias significativas en cuanto a la firmeza del fruto de tomate, sin embargo esta fue mayor con el uso de lombricomposta cuadro 8. Según (Casierra *et al.*, 2008) la firmeza de los frutos de tomate disminuye al cosecharlos tardíamente, mientras que los sólidos solubles totales aumentan. En este experimento los sólidos solubles totales y materia seca se incrementaron significativamente al usar lombricomposta, coincide con Rodríguez-Dimas *et al.*, (2008) donde reportaron un aumento de estos parámetros, aunado al incremento del espesor en el pericarpio del fruto de tomate.

Los frutos obtenidos en este experimento no presentaron fisiopatías derivadas del estrés hídrico, como fruto hueco, rajado del fruto y pudrición apical. Como las descritas por (Álvarez *et al.*, 2005) o por las fluctuaciones drásticas del potencial

hídrico como el rajado de fruto o pudriciones apicales (Gil y Miranda, 2000; Saure 2001)

Vida de anaquel

Los frutos cosechados para esta prueba se mantuvieron a una temperatura media ambiental durante el día de 19.6 °C. Los frutos maduraron paulatinamente presentando una coloración roja intensa, quince días posteriores al corte, los frutos aun mantenían su calidad comercial aunque ligeramente más blandos que al inicio figura 13 y 14. La calidad de la mayoría de frutas y hortalizas se ve severamente afectada por las pérdidas de agua durante el almacenamiento, que dependen de la temperatura y de la humedad relativa (Pérez et al., 2003) De manera visual y al tacto no se observó diferencias entre los tratamientos. Según (Fraser *et al.*, 1994) El color es la característica externa más importante en la determinación del punto de maduración y de la vida poscosecha y un factor determinante en la decisión de compra por los consumidores.



Figura 13. Apariencia de los frutos recién cosechados el día 26/12/2011



Figura 14. Apariencia de los frutos 15 días después (10/01/2012)

Las pérdidas poscosecha en cultivos hortícolas se originan principalmente por daños mecánicos, almacenamiento inadecuado, manipulación, transporte incorrecto y tiempo en el anaquel (Ferreira et al., 2005)

Eficiencia de uso del agua

Cuadro 9. Eficiencia en el uso del agua por las plantas de tomate

Suelo	Potencial mátrico	Kg frutos-planta ⁻¹	Litros agua-planta ⁻¹	Kg fruto-m ⁻³ agua
Suelo + abono bovino	Ψ_{mv}	7.01 a	131.80 a	53.19 a
Suelo + lombricomposta	Ψ_{ml}	6.71 a	121.60 b	55.18 a
Suelo normal	Ψ_{mn}	4.95 b	111.00 c	44.59 a

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey $P < 0.05$)

Estadísticamente no existen diferencias significativas en los tratamientos, sin embargo con el uso de abono bovino y lombricomposta se incremento 16 y 19 % la EUA en comparación al uso del suelo sin la agregación de MO. En cuanto al uso del suelo sin la adición de MO los resultados coinciden con Ojodeagua *et al.*, (2008) donde obtuvo una EUA de 43 kg-m⁻³ en tomate cultivado sobre suelo, 1.59 kg-m⁻³ menor que en este experimento. El mismo autor con el uso del tezontle como medio de cultivo obtuvo una EUA de 28 kg-m⁻³ con una pérdida de agua por drenaje del 36%. En tomate cultivado bajo invernadero a una densidad de 4.3 plantas m² Flores *et al.*, (2006) obtuvo una EUA de 35 kg-m⁻³ al usar tezontle como sustrato, 9.5 kg-m⁻³ menor que con el uso del suelo normal del presente experimento cuya densidad de plantación fue de 3.5 plantas-m⁻². En un cultivo con tomate en invernadero y sin utilizar un dispositivo de monitoreo de la humedad del suelo (Macías-Duarte *et al.*, 2010) obtuvo una EUA de 22.5 kg-m⁻³ al evaluar tres volúmenes diferentes de riego, 12.5 kg-m⁻³ menor a la obtenida por Flores *et al.*, 2006) en tezontle y 22 kg-m⁻³ por debajo de la obtenida en este experimento para la condición del suelo normal. Usando el método del tanque evaporímetro para programar el riego González y Hernández (2000) obtuvieron 5.5 y hasta 8.3 kg-m⁻³ como máximo de EUA utilizando riego por gravedad en tomate de tipo determinado cultivado en suelo a campo abierto, 36 kg-m⁻³ menor que la obtenida para el suelo normal del presente experimento. En la planicie del norte de China Wang *et al.*, (2006) obtuvo un máximo de 25.3 kg-m⁻³ de EUA en tomate cultivado en suelo a campo abierto con sistema de riego por goteo y con el uso del tensiómetro ubicado justo debajo del gotero a 0.20 m de profundidad con límite

superior en la decisión del riego de 50 cbar de potencial mátrico, 67 % mas eficiente al mejorar el sistema de riego respecto de González y Hernández, (2000) sin embargo 43.2 % menos eficiente en el uso del agua que el obtenido en el suelo normal de este experimento.

VII. CONCLUSIONES

Al interior del invernadero durante el periodo de cultivo que correspondió al ciclo (otoño-invierno) se presentó una temperatura media de 18.4°C y humedad relativa de 52.5 %.

La adición al suelo de 25 t ha⁻¹ de lombricomposta incrementó el rendimiento 6 kg frutos m⁻² y con la adición de abono bovino en una proporción similar a la anterior se incrementó el rendimiento 7 kg frutos m⁻² respecto del suelo sin abono.

Con el monitoreo del potencial mátrico de la primera capa superficial del suelo (15 cm) mediante tensiómetros, las plantas cultivadas en suelo + abono bovino demandaron hasta la cosecha del octavo racimo (174 días) 131.8 L agua planta⁻¹, las establecidas en suelo + lombricomposta 121.6 L agua planta⁻¹ y las cultivadas en suelo sin abono requirieron 111 L agua planta⁻¹. El mayor requerimiento de agua con el uso de abonos se debió a un mayor vigor de las plantas; el diámetro de tallo se incrementó hasta 16 %, hubo mayor cantidad de frutos, hasta 46.5 % más frutos clasificación comercial grande, la calidad respecto de los sólidos solubles totales (°Brix) se elevó un 11% con lombricomposta. El uso de acolchado plástico al suelo color plata–negro favoreció posterior al trasplante que el riego se aplazara hasta 12 días. Incremento en promedio 1.6 °C la temperatura del suelo. Las plantas de tomate establecidas en suelo + lombricomposta y suelo + abono bovino aunque requirieron en promedio 8.7 y 15.7 % más de agua.

Bibliografía

- Aguilera, M. C., & Martinez, R. E. (1996). *Relaciones agua suelo planta atmosfera*. Mexico: Universidad Autonoma Chapingo.
- Álvarez, Z. R. (2005). Manejo integrado de cultivos en invernadero y casa sombra en el sur de sonora. *Memoria. Dia del agricultor publicacion especial num 12*, 56-59.
- Baptista, F. J., Bailey, B. J., & Meneses, J. F. (2012). Effect of nocturnal ventilation on the occurrence of *Botrytis cinerea* in Mediterranean unheated tomato greenhouses. *Crop Protection volume 32*, 144-149.
- Baver, L. D., & Gardner, W. H. (1972). *Soil physics*. Inc. USA: Jonh Wiley and Sons.
- Bob, W. (2004). Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agric. Water Manage* 64, 169-181.
- Brown G. G., B. I. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interaction with other edaphic functional domain. *Soil Biology*, 177-198.
- Butler T. J., H. K. (2008). Dayri manure compost effects on corn silage production and soil properties. *Agron. J. (100)*, 1541-1545.
- Cadahia, C. L. (2005). *Fertirrigacion de cultivos horticolas, frutales y ornamentales*. Madrid España: Mundi-Prensa libros S. A.
- Cadena, T. F., J., G. V., & M., H. J. (2003). El cultivo protegido del tomate. *Tecnica de produccion en cultivos protegidos*, 481-537.
- Calderín, G. A., Azevedo, S. L., Guridi, I. F., Loss, S. M., Nora, C. R., & Louro, B. R. (2012). Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Ecological Engineering volumen 47*, 203-208.
- Castellanos, J. Z., & Borbon, C. M. (2009). *Manual de produccion de tomate en invernadero*. Mexico: INTAGRI, S. C.
- Castilla, N. (2005). *Invernaderos de plastico Tecnologia y manejo*. Madrid España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Catherine Baxevanou, T. B. (2007). Solar radiation distribution in a tunnel greenhouse. *Hig Technology for Greenhouse System Management*, 4-6.
- Comision Nacional del Agua (CONAGUA, 2008). (05 de octubre de 2012). *Programa Nacional Hidrico 2007 - 20012*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx>

- Comision Nacional del Agua (CONAGUA, 2011). (05 de octubre de 2012). *Programa Nacional Hídrico 2007 - 20012*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx>
- de la Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Marquez-Hernandez, C., & Sánchez-Hernández, R. (2009). Produccion de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia - Tropico húmedo* 25 (1), 59-67.
- de Santa Olalla, M. F. (2000). *Agricultura y desertificación*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Díaz-perez J.C., M. D. (2012). Impact of reduced irrigation rates on fruit yield and quality in seedlees watermelon. *Acta Horticulturae* 958.
- Endelmann, J. B. (2010). A new decay series for organic crop production. *Agron. J.* 102, 457-463.
- Erika, K. S. (1999). Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and climatic water balance model. *Sci. Hort. vol. 81*, 409-424.
- FAO. (24 de Agosto de 2012). *Deposito de documentos de la FAO, Departamento de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de por qué la productividad del agua es importante para el desafio global del agua: <http://www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s06.htm#TopOfPage>
- Feng-Xing, W., Yahohu, K., Shi-Ping, L., & Xiao-Yan, H. (2007). Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management vol. 88*, 34-42.
- Fernández M^a D., O. F. (4 de septiembre de 2012). *Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Obtenido de Estación experimental las palmerillas: <http://www2.larural.es/agrdatos/Documentos/PrgRieg.pdf>
- Flores, J., Ojeda-Bustamante, W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 127-134.
- Francisco Martín de Santa Olalla Mañas, P. L. (2005). *Agua y Agronomía*. Madrid España: Mundi-Prensa Libros S. A.
- Gajalakshmi, S. E. (2001). Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresources Technology*, 177-181.
- Gil, V. I., & Miranda, V. I. (2000). Produccion de tomate rojo en hidroponia bajo invernadero. Manual de manejo. Estado de Mexico: Serie de publicaciones AGRIBOT Universidad Autonoma Chapingo.
- González, M. A., & Hernandez, L. B. (2000). Estimacion de las necesidades hidricas del tomate. *Terra Latinoamericana volumen 18*, 45-50.
- González, N. J. (2009). La Agricultura protegida. Horticultivos. *Agro Sintesis S. A de C.V Mexico*, 6.

- Grijalva-Contreras, R. L., Macias-Duarte, R., Grijalva-Durón, S. A., & Robles-Contreras, F. (2010). Evaluación de densidades y arreglos de plantación en tomate bola en condiciones de invernadero. *Biotecnia volumen XII*, 20-28.
- Haijun Liu, H. Y. (2012). Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-drip irrigated chili pepper in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 232-241.
- Hao X., C. C. (2003). Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agric. Eco. Environ.* 94, 89-103.
- Harmanto, V. S. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management*, 225 - 242.
- Hodnett, M. G. (1990). The control of drip irrigation of sugarcane using "index" tensiometers: comparisons with control by the water budget method. *Agric. Water Manage* 17, 189-207.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Value of water research. *UNESCO-IHE report No 12, Delft, the Netherlands*.
- Iversen, B. M. (2001). Air and water permeability in different textured soil at two measurement scales. *Soil Science volume 166*, 643-659.
- Kimball, B. A., & Bellamy, L. A. (1986). Generation of diurnal solar radiation, temperature and humidity patterns. *Energy in Agriculture volume 5*, 185-197.
- L. Ibarra-Jimenez; J. Flores; M. R. Quezada; A. Zermeño. (2004). Acolchado, riego y microtúneles en tomate, chile anaheim y chile pimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura 10 (2)*, 179 - 187.
- Lazcano, C. A. (2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research 7 (4)*, 944-951.
- Livingston, N. J. (1993). Soil Water potential. En: Soil Sampling and Methods of analysis. *Canadian Society of Soil Science. Carter, M. R. Lewis Publishers.*, 559-567.
- López, J., Lorenzo, P., Medrano, E., Sánchez-Guerrero, M. C., Perez, J., Puerto, H. M., & Arco, M. (2000). Calefacción de Invernaderos en el Sureste Español . *1a. d. Caja Rural de Almería. Junta de Andalucía. Almería, España*, 11-13.
- Losada, V. A. (2005). *El riego fundamentos de su hidrología y de su práctica*. Madrid España: Mundi-Prensa Libros S. A.
- M. Arellano-Gil; M. A. Gutiérrez-Coronado. (2006). Rendimiento y calidad poscosecha de tomate bajo diferentes esquemas de fertilización al suelo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 113-118.

- M., M. L. (1986). Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae volume 29*, 301-307.
- Macias-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., & Robles-Contreras, F. (2010). Efecto de tres volúmenes de agua en la productividad y calidad del tomate de bola (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Bajo condiciones de invernadero. *Biotecnia volumen 12 (2)*, 11-19.
- Marouelli, W. A., Sant'Ana, R. R., Silva, W. L., Moretti, C. L., & Vilela, N. J. (2003). Technical and economic evaluation of drip spacing for processing tomatoes under single- and double-row planting systems. *Horticultura brasileira volumen 21 (2)*.
- Martinez P. F., R. D. (5 de septiembre de 2012). *Horticoles*. Obtenido de Avances en el control de los factores del clima para el cultivo en invernadero: <http://www.ivia.es/sdta/pdf/revista/horticolos/20tema31.pdf>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & J., G. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas volumen 43*, 63-84.
- Mekonen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences volumen 15*, 1577-1600.
- Newton G. L., B. J. (2003). Managing manure nutrients through multi-crop forage production. *J. Dairy Sci Vol. 86*, 2243-2252.
- Ngouajio, M., Wang, G., & Goldy, R. (2007). Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agricultural Water Management 87*, 285-291.
- Nuez, F. (2005). *El cultivo del tomate*. Madrid España: Mundi-Prensa Libros S. A.
- O. Körner, H. C. (2003). Design for an improved temperature integration concept in greenhouse cultivation. *Computer and electronics in Agriculture volumen 39*, 39-59.
- OEIDRUS. (21 de noviembre de 2011). *Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable*. Obtenido de http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax
- Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable de Oaxaca (OEIDRUS). (05 de octubre de 2012). *Portal OEIDRUS Oaxaca*. Obtenido de Invernaderos datos Basicos 2008: <http://www.oeidrus-portal.gob.mx>
- Okushima L, S. S. (1989). Support system for natural ventilation design of greenhouses based on computational aerodynamics. *Acta Horticulturae*, 129-36.
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jaques-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno

- lechero como fertilizantes y mejoradores del suelo. *Universidad y Ciencia -Tropico humedo* 28 (1) , 27-37.
- Omid, M. (2004). A Computer-Based Monitoring System to Maintain Optimun Air Temperature and Relative Humidity in Greenhouses. *Int. J. Agri. Biol, Vol. 6, No. 5*, 869-873.
- ONU. (12 de agosto de 2012). *Un department of economic and social affair - Division for sustainable development*. Obtenido de Programa 21:
http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/res_agenda21_18.shtml
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS. (2 de noviembre de 2012). *Centro de documentacion de Naciones Unidas sobre Agua Y Saneamiento*. Obtenido de Agua y Agricultura en la economia verde:
http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/es/ultimasPer_Onu
- Ortega-Martinez, L. D., Sanchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *REDALCY*, 33 -346.
- P. Adams, L. C. (1993). effects of enviroment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *plant soil*, 127-132.
- Palacios, E. V. (2002). *¿por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? para lograr mejores cosechas*. Mexico: Trillas.
- Pascual B., B. A.-G. (1998). Influencia del riego y del potencial matricial en el rendimiento y en el rajado del tomate(*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Fawell). *Investigaciones agricolas: produccion y proteccion vegetal volumen 13*, 1-2.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente 3ª Edición*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Prieto, M. H., López, J., & Ballesteros, R. (1999). Influence of irrigation system and strategy of the agronomic and quality parameters of the processing tomatoes in extremadura. *Acta Horticulturae Volumen 487*, 575-579.
- Quiroga-Garza, H., Cueto-Wong, J. A., & Figueroa-Viramontes, U. (2010). Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperacion de Nitrogeno y conductividad eléctrica. *Terra Latinoamericana vol. 29*, 201-209.
- Rodriguez-Dimas, N. C.-R.-V.-G.-C.-Á.-H.-R. (2007). Vermicomposta como alternativa organica en la produccion de tomate en invernadero. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 185-192.
- Rodriguez-Dimas, N. C.-R.-V.-G.-C.-R.-H.-R. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 265-272.

- Rosegrant, M. W., Cai, X., & Cline, S. A. (2002). *World water and food to 2025: dealing with scarcity*. Washington DC, USA.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Sanchez, F. C., & Contreras, E. M. (2006). *Manual del cultivo hidropónico de jitomate bajo invernadero*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Saure, M. C. (2001). Review: Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) A calcium or a stress related disorder. *Sci. Hort* 90, 193-208.
- Serrano, Z. C. (2005). *Construcción de invernaderos*. Madrid España: Mundi-Prensa Mexico S. A. de C.V.
- Shock, C. C. (2000). Irrigation criteria for drip-irrigated onions. *HortScience* 35, 63-66.
- SMN. (20 de septiembre de 2011). *Servicio Meteorológico Nacional*. Obtenido de Estacion: 00020079 Oaxaca de Juárez Oaxaca (normales climatológicas 1971-2000): http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal - volumen 1*. Castellon de la plana: Universitat Jaume I.
- Teitel M., A. M. (2010). Gradientsof temperature, humidity and CO₂ along a fan-ventilated greenhouse. *Biosystems Engineering voume* 106, 166-174.
- Urbano, T. P. (2000). *Tratado de fitotecnia general*. Madrid- España: Mundi-Prensa.
- Urrestarazu M, M. C. (2001). Evaluation of diferent compost from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soilless copping. *Acta Hort.*, 147-152.
- Valadez, L. A. (2001). *Produccion de Hortalizas*. Mexico D.F: LIMUSA S. A DE C. V.
- Valverde, J. C. (2007). *Riego y Drenaje*. San José Costa Rica: Universidad estatal a distancia.
- Villa-Briones, A., Zavaleta-Mejía, E., Vargas-Hernández, M., Gomez-Rodriguez, O., & Ramirez-Alarcon, S. (2008). Incorporacion de vermicomposta para el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo serie horticultura* 14 (3), 240-255.
- Wang, D., Kang, Y., & Wan, S. (2007). Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. *Agricultural Water Management Volumen* 87, 180-186.
- Yaohu Kang, S. W. (2005). Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation. *Scientia Horticulturae volumen* 106, 275-292.
- Yongqiang Zhang, E. K. (2004). Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yiel, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management volume* 64, 107-122.

Zegbe-Dominguez, J., Behboudian, M. H., & Clotier, B. E. (2006). Responses of "Petropide" processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrig. Sci.* 24, 203-210.

Zegbe-Dominguez, J. A., Behboudian, M. H., Lang, A., & Clotier, B. E. (2003). Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in "Petropide" processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Sci. Hort.* 98, 505-510.

Anexos

Cuadro a). Niveles de tensión de humedad del suelo y su interpretación para los tres grupos texturales en cultivos en condiciones de riego por goteo

Tensión de humedad (cbar)	Tipos de textura	Observaciones sobre el contenido de humedad del suelo y la respuesta en la planta
0-4	gruesa	A esta humedad, el suelo se encuentra prácticamente saturado y es la condición que adquiere después de un riego normal. Cuando esta se mantiene por un periodo prolongado, la planta puede sufrir por falta de oxígeno; sin embargo el sistema radical y la condición de tener un bulbo reducido de humedad, hace que en condiciones normales, en un periodo corto, la humedad se redistribuya, la tensión se incremente y la aireación se recupere rápidamente.
0-7	media	
0-9	fina	
5-10	gruesa	Este rango de humedad se considera óptimo para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, aunque puede variar entre cultivos. El valor inferior es el que normalmente ocurre después del riego; el superior indica que hay que aplicar un riego. En el criterio de riego es importante considerar la etapa fenológica del cultivo. la coincidencia de algunas etapas fenológicas con condiciones climáticas especiales puede requerir de una menor tensión de humedad. tal es la etapa de crecimiento del fruto de tomate bajo una alta temperatura y baja humedad relativa
8-15	media	
10-20	fina	
11-20	gruesa	Esta es una condición subóptima de humedad. El rendimiento de los cultivos se puede ver afectado por falta de humedad; sin embargo hay que tener en cuenta que cada cultivo responde de manera diferente al nivel de tensión. Estos valores pueden variar de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climatológicas.
16-30	media	
21-35	fina	
21-35	gruesa	Esta condición se considera limitativa del rendimiento de la mayoría de los cultivos que se establecen en condiciones de riego por goteo. Aunque en condiciones de riego por aspersión o gravedad, donde la reserva de agua es mucho mayor, los niveles de tensión y su interpretación varían sustancialmente.
31-45	media	
36-50	fina	
> 60	general	El suelo está demasiado seco para un cultivo hortícola en riego por goteo, el agua dentro de la capsula porosa está a punto de perder su continuidad y el tensiómetro corre el riesgo de dejar de operar. Si el cultivo no se riega y el tensiómetro da una lectura de cero en condiciones de baja humedad del suelo, significa que ya se perdió la continuidad y es necesario regar y abrir con cuidado la tapa del tensiómetro para llenarlo de agua de nuevo, una vez lleno de agua, se vuelve a tapar y se espera a que se restablezca la lectura para reiniciar las mediciones de tensión del suelo.

Instalación y lectura del tensiómetro

Antes de instalar el tensiómetro, se debe mojar el instrumento en un recipiente con agua durante 2 ó 3 días. Luego se procede de la siguiente manera:

- Saturar la capsula porosa con agua para eliminar cualquier burbuja de aire.
- Llenar el tubo con agua destilada, coloreada y tratada con alguicida.
- Remover las burbujas de aire (del tubo y del manómetro de vacío) golpeando suavemente la parte superior del tensiómetro.
- Vaciar el aire del tubo del tensiómetro con una bomba manual de vacío hasta que el manómetro indique una lectura de 80-85.
- Sellar la tapa adecuadamente.
- Comprobar que la lectura que se obtiene en el manómetro cuando la punta del tensiómetro se sumerja en agua indique cero centibares.
- Instalar el tensiómetro cuidando que la cápsula de cerámica esté a la profundidad de la zona de raíces del suelo. Se necesitan dos tensiómetros en cada sitio. Para cultivos con raíces superficiales tales como las hortalizas, se debe instalar un tensiómetro a 6 pulgadas y otro a 12 pulgadas de profundidad. Para cultivos con raíces más profundas, se debe instalar un tensiómetro a 12 pulgadas y otro a 24 o a 36 pulgadas.
- Usar una broca de 7/8 o que tenga el mismo diámetro que el tubo del tensiómetro para perforar un agujero a la profundidad deseada (menos la altura del extremo de la cerámica). Termine el agujero inicial con una sonda de diámetro más pequeño y empuje el tensiómetro para colocarlo en el lugar. La precisión de la lectura depende del buen contacto del dispositivo con el suelo.
- Tapar bien el agujero y vertir agua alrededor del tensiómetro para mejorar su contacto con el suelo, acumule de 3 a 4 pulgadas de tierra alrededor del tubo. También se puede rellenar el agujero con lodo del mismo suelo, vertiéndolo dentro del agujero antes de colocar el tensiómetro.