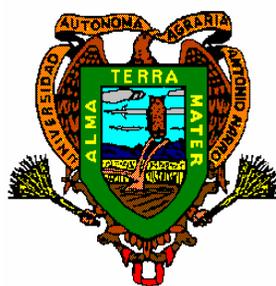


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Estimación del consumo de agua en el cultivo de tomate (*Lycopersicon
esculentum Mill.*) en dos sistemas de producción sustrato y suelo, bajo
condiciones de invernadero.

Por:

César Martínez Martínez

TESIS

Presentada como requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre de 2007.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Estimación del consumo de agua en el cultivo de tomate (*Lycopersicon
esculentum Mill.*) en dos sistemas de producción sustrato y suelo, bajo
condiciones de invernadero.

TESIS:

Que se somete a consideración del H. Jurado examinador, como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Realizado por :

César Martínez Martínez

APROBADA:

MC. Luís E. Ramírez Ramos
Asesor Principal

Dr. Juan P. Munguia López
Coasesor

Ing. Tomas Reyna Cepeda
Coasesor

MC. Boanerges Cedeño Rubalcava
Coasesor

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre de 2007.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo poderoso por haberme dado un cuerpo, un alma, y la vida los cuales juntos forman mi persona. Y por haberme permitido tener esta experiencia de superarme como profesionista.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada**, en especial al Departamento de Agropásticos por permitirme realizar este trabajo dentro de sus instalaciones y por todo el apoyo recibido.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** a través del fondo sectorial y de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura, agro biotecnología y recursos fitogenéticos, a través del proyecto titulado: Modelo en base a los componentes del balance de energía para medir el consumo de agua en los cultivos de tomate, chile y papa, con numero de registro 133, de la convocatoria SAGARPA – 2003, por el apoyo recibido.

Mi agradecimiento al **Dr. Juan P. Mungía López**, por su valiosa sugerencia y aportación en la realización del presente trabajo de tesis y por su paciencia en la revisión del mismo.

Al **MC. Luís Edmundo Ramírez Ramos, Ing. Tomás Reyna Cepeda, MC. Boanerges Cedeño Rubalcava y al Ing. Felipe Hernández Castillo**, por su valiosa cooperación durante todo el proyecto de investigación y que además son quienes hicieron posible la realización de este trabajo. Les estaré siempre agradecido.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” y al Departamento de Riego y Drenaje** por abrirme sus puertas para mi formación profesional.

A mis compañeros de la generación por compartir tantas experiencias a lo largo de nuestra carrera profesional, Saúl, Guillermo, Héctor, Juan, Fernando, Crispín, Heber, Luciano, Manuel, Gerardo, Edwy, Jesús, Ángel Arturo, José del Carmen, Claudio, Wiliam y Vicente.

A mis Maestros por contribuir fuertemente en mi educación, por enseñarme que un número no refleja el conocimiento adquirido y poner a mi alcance un gran número de herramientas necesarias para salir adelante.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. Feliciano Martínez Martínez

Sra. Silvia Martínez Cortés

Por ser dos personas excepcionales y únicas en mi vida, por todos los esfuerzos y sacrificios que han hecho por darnos una educación, se que cualquier palabra no expresaría todo mi agradecimiento hacia ustedes, por esto y más les dedico este trabajo.

A mis Hermanos : *Enedina, Raúl , Elizabeth, Eva y Abraham, no puedo agradecer específicamente a uno de ellos por que a todos los quiero por igual, gracias por ser tan buenas personas.*

A mi Cuñada : *Martha Patricia y a mi sobrino Raúl Said.*

A mis Abuelos : Sr. Otilio (+) y Juana (+), Francisco(+) y Lucrecia(+).

A mis Tías(os) : Columba, Gonzalo, Laurentino, Arcadio, Baltazar, Emilia .

Especialmente a mi tía Columba Martínez Martínez, por encontrar en ella una madre en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis primos (as) por ser grandes amigos y porque con ustedes he aprendido mucho de la vida.

A toda mi familia que, han compartido a mi lado momentos difíciles y también alegrías, gracias por la confianza que depositaron en mi.

A todos mis amigos gracias por su amistad y que donde quiera que se encuentren dios los bendiga y que sus deseos y metas sean todo un éxito.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN	xii
1. INTRODUCCION	1
1.1. OBJETIVOS	4
1.2. HIPÓTESIS	4
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades del cultivo.....	5
2.1.1. Importancia del tomate	6

2.1.2. Clasificación Taxonómica	7
2.1.3. Descripción botánica	7
2.2. Requerimientos Climáticos y Edáficos	8
2.3. Manejo Agronómico del cultivo	10
2.4. Concepto de evapotranspiración	12
2.4.1. Evapotranspiración potencial	13
2.4.2. Evapotranspiración máxima	13
2.4.3. Evapotranspiración Real.....	13
2.5. Sustrato	14
2.5.1. Clasificación de los sustratos.....	14
2.5.2. Propiedades físicas de los sustratos.....	14
2.5.3. Propiedades químicas de los sustratos.....	16
2.6. Sustrato de fibra de coco.....	19
2.7. Invernaderos.....	20

2.8. Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo	
Invernadero	20
2.8.1. Radiación solar	21
2.8.2. Temperatura	22
2.8.3. Déficit de presión de vapor	22
2.8.4. Programación del riego en tiempo real	23
2.9. Investigaciones realizadas sobre el consumo de agua en tomate..	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Descripción de Sitio Experimental	28
3.1.1. Localización	28
3.1.2. Clima	28
3.2. Material vegetativo	29
3.3. Establecimiento del experimento	29
3.3.1. Tamaño del invernadero.....	29
3.4. Preparación del invernadero	30

3.4.1. Preparación del terreno	30
3.4.2. Preparación del terreno en la sección del sistema sustrato ...	30
3.4.3. Preparación de camas en el sistema suelo	31
3.5. Producción de plántulas	32
3.5.1. Transplante	32
3.5.2. Fertirrigación	32
3.6. Labores culturales	33
3.6.1. Entutorado	33
3.6.2. Poda de tallos o brotes	34
3.6.3. Poda de hojas	34
3.6.4. Control de plagas y enfermedades	35
3.7. Metodología en la toma de datos	35
3.7.1. Toma de datos de la radiación total diaria en el interior del Invernadero	35
3.7.2. Estimación del agua consumida diariamente con la bandeja de drenaje.....	36

3.7.3. Descripción de la bandeja de drenaje.....	36
3.7.4. Toma de datos con los pluviómetros electrónicos.....	37
3.8. Metodología para la obtención de resultados	38
3.8.1. Riego, drenaje y consumo de agua diarios	39
3.8.2. Radiación (MJ) y consumo de agua en litros	39
3.8.3. Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias.....	39
3.8.4. Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de producción.	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES	58
7. LITERATURA CITADA	59
8. APENDICE	67

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig 2.1 Principales Estados Productores de Tomate en México (1991-2000).....	6
Fig 2.1. Evolucion a lo largo de un día nublado y un día soleado de la Radiación solar y la transpiración de un cultivo de melón entutorado bajo invernadero, en Almería, España.(Datos cedidos por la Estación Experimental de Zonas Aridas, EEZA, CSIC)....	21
Fig. 3.1 Croquis del invernadero en el cultivo de Tomate en dos sistemas de producción sustrato y suelo	29
Fig. 3.2 Accesorios utilizados para el sistema de riego	31
Fig. 3.3 Instalación de los goteros en el taco con sustrato de Fibra de coco	31

Fig. 3.4 Vista del cultivo de Tomate después de poda de hojas y tallos ...	34
Fig. 3.5 Medición del riego y drenaje con el pluviómetro TR-5251 de Texas, Electronics , Inc.....	37
Fig. 3.6 Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251.....	38
Fig. 3.7 Micrologger Modelo 23 X de Campbell SCI.....	38

Fig. 4.1. Evolución diaria del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate bajo invernadero en sustrato de los días 10 -194 DDT.....	41
Fig. 4.2. Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de Tomate de los dos primeros periodos, en los días después del transplante 10-30 y 31-50 DDT.....	42
Fig. 4.3 Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate en los últimos tres periodos, en los días después del transplante 51- 194.....	43
Fig.4.4. Por ciento de drenaje diario de agua por planta de tomate, en los días después de transplante 10 -194.....	44
Fig. 4.5. Evolución de riego y consumo de agua por planta de tomate bajo invernadero, sección suelo.....	45
Fig. 4.6. Radiación Total Diaria en el interior del invernadero en los días después del transplante 10 – 194 del año 2006.....	47
Fig. 4.7. Comportamiento del Consumo Diario y la Radiación Total Diaria en el interior del invernadero en la sección de sustrato.....	47
Fig. 4.8. Comportamiento del Consumo Diario y la Radiación Total Diaria en el interior del invernadero, en el sistema suelo.....	49
Fig. 4.9. Relación del consumo de agua acumulado del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en sección sustrato.....	50
Fig. 4.10. Relación del consumo de agua acumulado del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en sección suelo.....	50

Fig. 4.11. Relación del consumo de agua acumulado y los MJ m ⁻² de la radiación total diaria, en el sistema de producción sustrato ...	51
Fig. 4.12. Relación del consumo de agua acumulado y los MJ m ⁻² de la radiación total diaria, sección suelo.....	51
Fig 4.13. Temperaturas máxima, media y mínima diarias dentro del invernadero en los días después de transplante 10-194.....	53
Fig. 4.14. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate bajo invernadero en dos sistemas de producción sustrato y suelo.....	54
Fig. 4.15 Rendimiento total acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en sistema sustrato.....	55
Fig. 4.16. Rendimiento total acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en sistema suelo.....	55

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Valor nutritivo de tomate	5
Cuadro 3.1 Aportación proporcional de nutrimentos para el cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo condiciones de invernadero	33
Cuadro 4.1. Etapas del cultivo de Tomate Híbrido Gabriela bajo de invernadero.....	40
Cuadro 4.2. Valores promedio de Consumo de agua de tomate bajo invernadero de acuerdo a las diferentes etapas del cultivo en sistema sustrato.....	44
Cuadro 4.3. Valores promedio de Consumo de agua de Tomate bajo invernadero de acuerdo a las diferentes etapas del cultivo en sistema de producción suelo.....	46
Cuadro 4.4 Valores promedio de Consumo (lt) y Radiación Total , para el ciclo el cultivo de Tomate, en el sistema sustrato.....	48
Cuadro 4.5. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate bajo invernadero (2006)	53

RESUMEN

Esta investigación, presenta la relación que existe entre el consumo de agua por el cultivo de tomate de crecimiento indeterminado bajo condiciones de invernadero y la radiación solar, por ser la principal fuente natural que suministra la energía que el cultivo necesita para el proceso de transpiración.

La investigación se llevo acabo durante el ciclo Primavera - Verano - Otoño de 2006 en Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con coordenadas de 25° 27' Latitud Norte, 101° 02' Longitud Oeste y a una altitud de 1610 msnm. El análisis de los datos esta hecha para dos sistemas de producción (sustrato y suelo)

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de la radiación solar y el consumo de agua por la planta durante todo el ciclo del cultivo. Todo esto para poder correlacionar la variable radiación con el consumo de agua por la planta durante el ciclo. Las relaciones encontradas en le análisis son aceptables con porcentajes de correlación mayores al 88 % en ambos sistemas de producción.

El consumo de agua es mayor en la parte de producción en sustrato de fibra de coco con un consumo promedio por día de 1.35 lts/planta comparado

con el sistema suelo de 0.65 lts/planta/día. Mientras que el rendimiento es mayor en el sistema suelo, por lo tanto, existe un uso eficiente del agua para este sistema.

Los resultados obtenidos muestran que al tener una radiación promedio de 8.44 MJ en el sistema sustrato se puede regar 1.35 lts/planta/día comparado con el sistema suelo de 0.65 lts/planta/día. Pero va a depender en gran parte, de la etapa del cultivo y de la capacidad que tienen para retener humedad entre estos dos tratamientos.

I. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes en la Tierra y además uno de los elementos que para el ser humano es de mayor importancia, no solo para sobrevivir sino también para desarrollar prácticamente cualquier actividad productiva; se considera que aproximadamente el 70 % del planeta está cubierta de agua, cuyo volumen se estima en 1400 millones de km^3 (Helweg, 1992). Del volumen total de agua, el 97.5 % es salada y esta contenida en los mares y océanos, de los cuales 35 millones km^3 (2.5 %) es agua dulce y el 70 % del agua dulce está congelada en los casquetes polares, el resto está presente en la humedad del suelo o se encuentra en acuíferos muy profundos e inaccesibles, esto hace que menos del 1 % del agua dulce sea accesible para el consumo humano (CNA, 2004).

Para el año 2001 se estimó que se extrajeron de ríos, lagos y acuíferos del país 72.56 km^3 de agua para los principales usos consuntivos, lo cual representa 15% de la disponibilidad natural media nacional. El uso consuntivo

predominante en México es la actividad agrícola con el 76%; abastecimiento público 14% y la actividad industrial utiliza el 10%.

En México, destacan dos grandes zonas de disponibilidad natural media de agua, la primera de ellas comprende el sur y sureste y la segunda el norte, centro y noroeste del país. La disponibilidad natural de agua en la zona sureste es 7 veces mayor que en el resto del país. Las zonas con mayor demanda de agua se ubican en la zona norte, centro y noreste del país, y se asienta el 77 % de la población, se genera el 85% del PIB y sólo se tiene el 32% de la disponibilidad natural media. Mientras que en otras zonas no hay un aprovechamiento pleno del mismo, lo que ha propiciado una fuerte competencia

por el agua, la contaminación del recurso y la sobreexplotación de acuíferos. (SEMARNAP y CNA, 2000).

El 29 de diciembre del 2003, en el Diario Oficial de la Federación (DOF) se publico la disponibilidad de agua de 202 acuíferos. Del total de acuíferos en el país, 102 se encuentran sobreexplotados, es decir, la extracción es mayor a su recarga. Desde 1975 ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados: 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, y 102 en el 2003. De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente el 57% del agua subterránea para todos los usos. Además, existen 17 acuíferos con problemas de intrusión salina ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz. Entre éstos se encuentran Maneadero y San Quintín en Baja California, Santo Domingo en Baja California Sur; Caborca, Costa de Hermosillo y San José de Guaymas en Sonora (CNA, 2005).

México se divide geohidrológicamente en trece grandes regiones administrativas. Las zonas de mayor presión hídrica, con excepción de las aguas del valle de México y Sistema Cutzamala, se localizan en el norte del país. Es precisamente en estas zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste donde se extraen volúmenes de agua superiores a la recarga y por consiguiente donde se localizan los acuíferos sobreexplotados. En la región VII Cuencas Centrales del Norte se encuentra un total de 72 acuíferos, 23 de ellos sobreexplotados. En ella se ubica la región de la comarca lagunera, conformada por 15 municipios de los estados de Coahuila y Durango (CNA, 2004).

Con el crecimiento de la industria hortícola bajo condiciones protegidas se han ido perfeccionando los sistemas de producción y uno de los cambios que se ha venido dando es el paso gradual del cultivo en suelo al sistema de cultivo sin suelo o en sustratos, obteniéndose altos rendimientos (100 a 350 ton/ha) cuando se le compara con el cultivo en suelo al aire libre (20 a 35 ton/ha). Además la técnica de producción en sustrato permite incorporar al

cultivo en regiones en que en que las condiciones de clima y suelo no son las favorables para el desarrollo de las plantas. Los cultivos sin suelo pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes) y cultivos en sustrato (Urrestarazu, 2000).

Se estima que actualmente en campo abierto se ocupan aproximadamente 6,000 metros cúbicos por hectárea de agua para producir 65 toneladas de tomate lo cual es igual a 92 litros de agua por kilogramo de tomate producido. Un agricultor avanzado obtiene 90 toneladas por hectárea a campo abierto lo cual es igual a 78 litros de agua por kilogramo de tomate. Al utilizar el sistemas de producción en invernadero el consumo de agua es de 10,000 metros cúbicos por hectárea con un rendimiento de 320 toneladas, lo cual mejora la eficiencia en el uso del agua ya que con este sistema la relación sería únicamente de 31 litros por kilogramo producido. Si monitoreamos los factores asociados a sustrato, clima, nutrimentos y planta (sistema integrado de fertirrigación) pueden obtenerse hasta 450 toneladas por hectárea con relación a 17.7 litros de agua por kilogramo de tomate producido. (Revista, Productores de Hortalizas, 2006)

El cultivo de tomate sobresale en la agricultura Mexicana por ser una de las hortalizas que mas ha contribuido al desarrollo y crecimiento del sector hortícola; de la producción total en el 2002 (1.9 millones de toneladas) se destino el 61.2 % al consumo nacional y el 38.8 % al mercado externo (Revista, Productores de Hortalizas, 2004).

Dada la problemática anteriormente expuesta, se ha buscado diversos métodos, para determinar el momento de aplicación del riego el cual la planta no se ve afectada, y con ello hacer un uso mas eficiente del agua. Uno de los sistemas mas utilizados es el riego por goteo, dada la elevada frecuencia de riegos, se suele ignorar el papel del suelo como almacén de agua y se considera que el contenido de agua en el suelo no varia con el tiempo.

1.1. OBJETIVOS

Determinar el consumo de agua del cultivo de tomate bajo condiciones de suelo y sustrato de fibra de coco en condiciones de invernadero con base a la radiación solar.

1.2. HIPÓTESIS

La eficiencia en el consumo de agua en la producción de tomate será mayor bajo el sistema con sustrato al compararlo con el sistema suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades del Cultivo

El tomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas. Existen variedades de crecimiento determinado y de crecimiento indeterminado. De esto se deriva su gran amplitud en su potencial de rendimiento. En condiciones a campo abierto y dependiendo de la adaptación del híbrido, técnicas de fertirriego, acolchado, podas y tutores, etc., se logran rendimientos de hasta 200 Ton/Ha. Bajo condiciones de invernadero en cultivo sin suelo se pueden obtener hasta 400 toneladas por hectárea.

Nuez (1995) menciona el valor nutritivo de tomate expresado por 100 gr. lo cual se muestra en el cuadro 2.1

Residuos	6%	Caroteno	0.5 mg
Materia seca	6.2 g	Tiamina	0.06 mg
Energía	20.0 Kcal	Riboflavina	0.04 mg
Proteínas	1.2 g	Niacina	0.6 mg
Fibra	0.7 g	Vitamina C	23.0 mg
Calcio	7.0 mg	Valor nutritivo medio(VNM)	2.39
Hierro	0.6 mg	VNM por 100 g de materia seca	38.5

2.1.1. Importancia del tomate

En la producción nacional, el tomate es la hortaliza número uno en volumen producido, peso absoluto y relativo en las exportaciones hortícolas y su papel como motor en la introducción del progreso tecnológico en la agricultura Mexicana.

El cultivo de tomate se cultiva en 26 estados de la Republica Mexicana; Sinaloa sobresale entre los estados productores de tomate en México, que abastece tanto al mercado nacional como el de exportación. En los ciclos otoño-invierno 1993-1994 a 2000-2001 se sembró en promedio, 24,100 hectáreas, lo cual equivale al 50 % de la superficie sembrada en nuestro País, le siguen en importancia Baja California Norte, San Luís Potosí, Jalisco, Nayarit y Sonora.

La producción total del cultivo de tomate en México, durante los últimos diez años (1999 – 2000), fue de 19 millones de toneladas concentrándose principalmente en el estado de Sinaloa (Fig. 2.1).

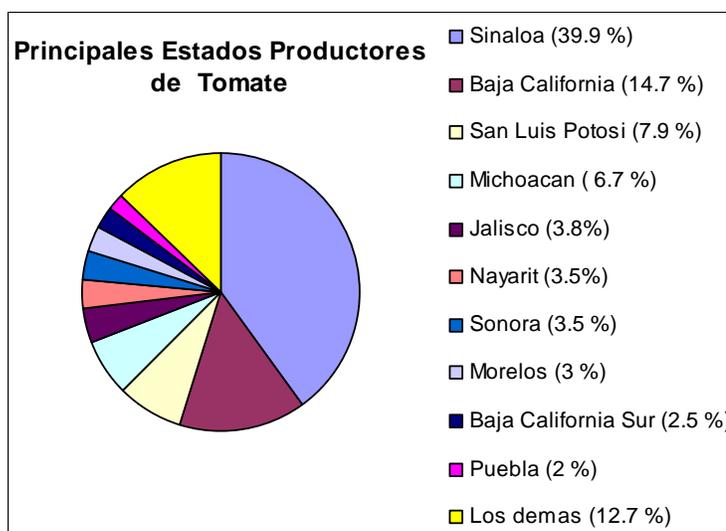


Fig 2.1 Principales Estados Productores de Tomate en México (1991-2000).

2.1.2. Clasificación Taxonómica

Según Garza (1984), el tomate tiene una clasificación que pertenece a la familia Solanáceae, al género *Lycopersicum* y a la especie *Esculentum*.

2.1.3. Descripción botánica

Raíz: El sistema radicular está constituido por una raíz principal, provista de una gran cantidad de ramificaciones secundarias y reforzado por la presencia de un gran número de raíces adventicias surgidas desde la base de los tallos, aunque el sistema radicular puede profundizar hasta 1.5m, la mayor parte del mismo se sitúa en los primeros 50cm (Maroto, 1995).

Tallo: Es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos, por ello es importante vigilar su vigor y sanidad; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al llegar a cierto número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento) (Marín, 2001).

Hojas: Son pinadas compuestas. Una hoja típica llega a tener unos 50 cm de largo con un gran foliolo terminal y hasta ocho grandes foliolos laterales que pueden ser a su vez compuestos (Nuez, 1995). Maroto (1989) menciona que las hojas se disponen sobre los tallos alternadamente y son compuestas e imparipinadas, constituidas generalmente por 7-9 foliolos lobulados o dentados.

Flores: La flor es perfecta, regular e hipógea, consta de: 5 ó más sépalos, 5 ó más pétalos dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular.

Las flores, en número variable, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (Greyson y Sawhney, 1972). La primera flor se forma en la yema apical y las

demás flores se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje principal (Varga y Bruinsma, 1986).

Fruto :Es una baya bi o plurilocular que se desarrolla de un ovario siendo su peso de 5 a 10 mg alcanzando un peso final en la madurez que oscila entre 5 y 500 g, el fruto esta constituido por pericelo, tejido placentario y las semillas (Nuez, 1995). El diámetro de los frutos varia entre 3 y 16 cm (Serrano, 1979).

Semilla: La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de la semilla son 5x4x2 mm (Nuez,1995). La germinación de las semillas ocurre de manera relativamente fácil (Escudero, 1999).

2.2. Requerimientos Climáticos y Edáficos

Temperatura

El tomate es una hortaliza de clima cálido que no tolera heladas. El rango de temperatura del suelo debe ser de 12 a 18 °C, y la temperatura ambiental para su desarrollo de 21 a 24 °C, siendo la optima de 22 °C; a temperaturas menores de 15 °C y mayores de 35 °C puede detenerse su crecimiento. Se afirma que a temperatura de 22 a 28 °C se obtiene una optima pigmentación roja (Valadez, 1998).

Las temperaturas optimas del tomate según la etapa fenológica de desarrollo son las siguientes:

Temperatura nocturnas 15 a 18 °C

Temperatura diurna 24 a 25°C

Temperatura ideal a floración 21°C

Temperatura ideal para su desarrollo vegetativo 22 a 30°C

Temperatura por debajo de 7°C causa daños fisiológicos (Rodríguez, 1997).

Humedad relativa

La humedad relativa óptima para los invernaderos de tomates esta en un rango de 60 y el 70 % (Maroto, 2002) La humedad relativa del aire sobre todo durante la dehiscencia polínica y la consiguiente polinización y fecundación, oscila entre un 55 y un 60%. Si la humedad relativa es menor a 50% no hay una buena retención de los granos de polen y las flores se desprenden de la planta (Guenkov,1974).

Humedades relativas inferiores al 90 % son deseables, pues valores superiores favorecen al desarrollo de las enfermedades fungosas (Nuez, 1995).

Luz

La iluminación es con frecuencia, un factor limitante en invierno en los cultivos bajo invernadero. El factor que mas afecta el desarrollo del cultivo es la iluminación total diaria, mientras que la calidad de la luz y el fotoperiodo desempeñan un papel secundario. Incluso a la máxima radiación que se puede alcanzar al medio día solar en un día despejado del solsticio de verano ($1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en el interior del invernadero (Lorenzo et al., 2003).

Para mejorar la luminosidad natural se recomienda usar materiales de cubierta con buena transparencia, orientación adecuada del invernadero, acolchado del suelo con plástico blanco. Y en verano para reducir la luminosidad se puede emplear mallas de sombreo (Matallana, 1995).

Suelo

No es exigente en cuanto a suelos, aunque prefiere los sueltos y ricos en materia orgánica. La planta del tomate se clasifica como una hortaliza tolerante a la acidez, cuyos valores de pH se ubica entre 5.0 y 6.8, en lo referente a la salinidad, se clasifica como medianamente tolerante, teniendo valores máximos de 6400 ppm, con respecto a la textura del suelo, el tomate se desarrolla en suelos livianos (arenosos) y en suelos pesados (arcillosos),

siendo los mejores los arenosos y limo-arenosos con buen drenaje (Valadez, 1993).

2.3. Manejo Agronómico del Cultivo

Trasplante

Las plántulas se transplantan cuando tienen 15 a 20 cm de altura y 3 o 4 hojas verdaderas. Consiste en trasladar las plántulas del semillero al sitio en donde desarrollaran completamente su ciclo. A los 30 o 35 días de la siembra.

Entuturado

Es una práctica necesaria en el invernadero porque permite un crecimiento adecuado de la planta, facilita los labores de poda y la cosecha; también permite una alta densidad de población del cultivo. El tutorado debe realizarse por lo menos una vez por semana para lograr un crecimiento vertical y evitar que los tallos se trocen (Nuez, 2001).

Poda de tallos

La poda consiste en eliminar los brotes de tallos que salen en las axilas de las hojas (chupones); las hojas viejas o de poca viabilidad cuando el follaje es muy intenso y el corte del ápice para controlar la altura de las plantas de habito indeterminado.

León y Arosemena (1980), mencionan que para efectuar la poda se toman en cuenta los siguientes pasos:

1. Se inicia la poda o desbrote cuando aparece el primer racimo floral y se ha diferenciado la rama secundaria, inmediatamente abajo del primer racimo de flores.
2. Sin eliminar las hojas, se quitan los brotes o yemas vegetativas que aparecen debajo de la primera rama secundaria, unicamente se

permitira el desarrollo del tallo principal y la rama secundaria que se forma abajo del primer racimo floral

Poda de hojas

Es recomendable tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo (Rodríguez, 2006).

Polinización

La polinización ocurre cuando la temperatura nocturna es entre 13-24 °C y cuando la temperatura del día es de 15.5 a 32 °C. Temperaturas mas altas o bajas, particularmente en la noche, provocan que las flores caigan sin tener fruto. También se fundamenta que con fotoperiodo menor de 8 horas o baja radiación o ambos, las flores abortan (Jones, 1999).

Gonzáles (1996) y Muñoz (2003) mencionan que el uso de insectos básicamente concierne a la polinización con abejorros (*Bombus terrestres*), es el que por su rusticidad se ha impuesto. El abejorro visita las flores en busca de polen como fuente de proteína para alimentar las larvas de la colonia. Visita entre 6 y 10 flores por minuto, de manera que una colmena llega a polinizar entre 20 y 50 mil flores diariamente. La vida útil de la colmena va de 5 a 8 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales, siendo el invierno el que más las castiga (Escudero, 1993).

Aclareo de frutos

Se realizan con el fin de homogeneizar y aumentar el tamaño de los frutos restantes, así como su calidad. De forma general podemos distinguir dos tipos de aclareo: el aclareo sistemático es una intervención que tiene lugar sobre los racimos, dejando un número de frutos fijo, eliminando los frutos

inmaduros mal posicionados. El aclareo selectivo tiene lugar sobre frutos que reúnen determinadas condiciones independientemente de su posición en el racimo; como pueden ser: frutos dañados por insectos, deformes y aquellos que tienen reducido diámetro (Rodríguez, 2006). El número de frutos por ramillete incide sobre el tamaño final de los mismos. La poda de frutos debe ser tan oportuna como sea posible, poco después de que los frutos han sido cuajados. Se eliminan todos aquellos mal formados, así como los que relativamente llevan un retraso significativo con respecto al resto (Escudero, 1993).

Cosecha

La cosecha se realiza entre los 85-90 días después de la siembra, y se hace de manera manual al ser previamente determinados para su corte. Debe iniciarse cuando los frutos principian a cambiar de su color verde característico a rojo pálido,. El número de cortes depende del manejo dado del cultivo y de las condiciones climáticas durante su ciclo. Pueden realizarse en promedio de siete a ocho cortes en variedades de crecimiento determinado y de 12 a 15 cortes en variedades indeterminadas (Rodríguez, 2006).

2.4. Concepto de evapotranspiración

La evapotranspiración (Et) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas. En este último proceso, denominado transpiración (T), el agua absorbida por medio de las raíces, se transfiere a la atmósfera fundamentalmente a través de los estomas situados en las hojas (Sanchez-Toribio. 1992). Por tanto la evapotranspiración constituye la transferencia total de agua desde una superficie vegetada a la atmósfera.

La importancia cuantitativa de este proceso es tal que, como promedio global, el 57% de la precipitación anual es devuelta a la atmósfera por

evapotranspiración, alcanzando valores del 90 y 100% (Sanchez-Toribio. 1992) en zonas áridas y desérticas. Por tanto la ET es un componente fundamental del ciclo hidrológico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera

2.4.1. Evapotranspiración potencial

Se define como evapotranspiración potencial (Etp) el consumo de agua por la planta cuando este se lleva a cabo bajo condiciones optimas de humedad, y es medido en un cultivo agrícola bajo y de cobertura completa (Hargreaves y Samani, 1985; Doorembos y Pruitt, 1990).

La ETp es nombrada también como evapotranspiración de referencia (ETo). Es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia (Hargreaves y Samani, 1982). Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias.

La ETo depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc. (Allen, 2000; Allen et al., 1994).

2.4.2. Evapotranspiración máxima

Es la máxima pérdida de agua de un cultivo sano, sin restricciones de humedad en el suelo y varia según la demanda del clima y el desarrollo del cultivo (Jensen et al., 1990).

2.4.3. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real (ETr), es la cantidad de agua que un cultivo a evapotranspirado realmente, en condiciones de campo; es decir, en las condiciones limitadas del cultivo comercial bajo riego (Elizondo y Contreras, 1996). La evapotranspiración es expresada en unidades de mm/día, cm/día.

2.5. Sustratos

Abad (1997), define al termino sustrato a todo mineral sólido distinto del suelo natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico. El sustrato adecuado al cultivo es aquel capaz de retener un volumen suficiente de agua, aire y nutrimentos en forma disponible para la planta. Permite el anclaje del sistema radicular y por lo tanto, desempeña un papel de soporte para la planta.

2.5.1. Clasificación de los sustratos

Sustratos químicamente inertes

Estos materiales actúan única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrimentos. Estos han de suministrarse mediante la solución nutritiva, que debe ajustarse al máximo con el fin de no crear deficiencias en la planta. Entre las mas utilizados son la arena, grava, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.(Canovas, 1993).

Sustratos químicamente activos.

Estos materiales además de actuar como soporte a la planta, a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrimentos aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal, entre ellos se encuentran turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, etc.

2.5.2. Propiedades físicas de los sustratos.

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son de primerísima importancia. Una vez que el sustrato esté en el contenedor y la planta esté creciendo en él; no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato.

Entre las características físicas más importantes se encuentran: El espacio poroso total, agua fácilmente disponible, agua de reserva, capacidad de

aireación, distribución del tamaño de partículas, densidad aparente, las cuales se describen a continuación:

Espacio poroso total

El espacio poroso total deseable en un sustrato para obtener buenos resultados de crecimiento y desarrollo del tomate, debe ser de alrededor del 85 por ciento del volumen total (Abad ,1997). El total de poros existentes en un sustrato se divide en: 1) poros capilares, de tamaño pequeño ($< 30 \mu\text{m}$), que son los que se requieren para almacenar agua, y 2) poros no capilares o macroporos, de mayor tamaño ($> 30 \mu\text{m}$), que son los que se vacían después de que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Bunt,1988).

Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua, el valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20 por ciento y el 30 por ciento del volumen (Abad et al., 1993). En los buenos sustratos hortícolas, la mayor parte del agua se retiene a bajo potencial, entre 10 y 100 centímetros de columna de agua, lo que permite una disponibilidad de agua para la planta y la aireación suficiente para las raíces (Florian, 1997)

Agua de reserva

Abad et al (1993), indican que el agua de reserva es la cantidad de agua (por ciento en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua. El nivel óptimo se sitúa entre el 4 por ciento y el 10 por ciento en volumen.

Capacidad de aireación

Se define como la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y ha dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20 y 30 por ciento del volumen total. Si la textura o la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros permanecen llenos de agua después del riego, se provocará una inhibición del crecimiento y a veces, el marchitamiento de la planta. La distribución del tamaño de los poros es el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (Cadaña, 2000).

Distribución del tamaño de las partículas

El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas a través del tamaño de las partículas y de los poros, determina el balance entre el contenido en agua y el aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. El mejor sustrato es aquel material de textura bien gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μm , equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire (Abad, 1997).

Densidad aparente

La densidad aparente se define como el cociente que resulta de dividir el peso del suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros, usualmente se expresa en g/cm^3 (Aguilera y Martínez, 1996). La densidad aparente de los sustratos no debe exceder de $0.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ bajo condiciones de cultivo protegido (Abad, 1997).

2.5.3. Propiedades químicas de los sustratos

pH

El pH ejerce efectos muy importantes sobre la disponibilidad de los nutrientes en el sustrato, así como la capacidad de intercambio catiónico y

la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993).

La asimilabilidad de los elementos nutritivos es afectada por el pH. Cuando el pH esta entre 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrimentos mantienen su máximo nivel de asimilabilidad, Cuando el pH es menor a 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc, por encima de pH= 6.5 puede disminuir la asimilabilidad de P, Fe, Mn, B, Zn Y Cu.

Capacidad de intercambio cationico

Se define como la suma de los cationes cambiables que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles, para la planta (Abad, 1997)

El valor óptimo para la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lamiare et al., 1985). Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada ó elevada capacidad de intercambio catiónico, en todo caso superior a 20 meq/100 g (Ansorena, 1994).

Disponibilidad de nutrimentos

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen biológica ni químicamente, y desde el punto de vista práctico, se puede considerar desprovistos de nutrimentos. Por el contrario, los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre si en el contenido de nutrimentos asimilables. Así, algunos (turba rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrimentos asimilables, mientras que otros (compost) presentan niveles elevados,

dependiendo dicho nivel del origen del compost y del proceso de compostaje (Nuez, 1995)

La cuantía y la fertilización dependen de la capacidad de intercambio catiónico del sustrato y del régimen de riego. Una capacidad de intercambio catiónico elevada aumenta la eficiencia de la aplicación de fertilizantes de base durante el proceso de fabricación del sustrato. Cuando se usan sustratos con baja capacidad de intercambio catiónico, los fertilizantes se aplican usualmente a través del sistema de riego (Cadahía, 2000).

Salinidad

La salinidad se refiere a la concentración total de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. Se puede producir un incremento en la salinidad del sustrato después de que este se coloque en el contenedor, debido a la cantidad de sales absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación (Abad, 1997).

La respuesta de la planta a la salinidad depende de la edad de esta, de las condiciones ambientales y de las prácticas de manejo del cultivo. En el cultivo sin suelo del tomate, el nivel óptimo de salinidad, determinada en la solución del sustrato, oscila entre 3 y 5 dS/m (Escudero, 1993).

Relacion Carbono Nitrógeno (C/N)

La relación C/N en sustratos de origen orgánico se usa como un índice sobre el estado de descomposición de la materia orgánica, en la que intervienen los microorganismos que, en el proceso de transformación del material consumen nitrógeno y oxígeno principalmente. La relación C/N permite apreciar el estado de degradación en el que se encuentra el material a emplear como sustrato y su estabilidad a lo largo del cultivo (Florián, 1997). Abad et al (1993) menciona que si la relación C/N esta entre 20 y 40 se considera optima para el cultivo en sustrato, y es un índice de un material orgánico maduro y estable.

Otras propiedades que debe tener un sustrato según (Cadahia, 2000).

- Libres de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos.
- Reproducibilidad y disponibilidad.
- Bajo costo.
- Fáciles de mezclar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

Sustratos más utilizados

Sustratos Naturales: agua, gravas, arenas, peat moss, fibra de coco.

Sustratos Artificiales: lana de roca, agrolita, vermiculita, arcilla expandida, tezontle (Cadahia, 2000)

Acontinuación se hace una descripción general del sustrato utilizado en el experimento:

2.6. Sustrato de fibra de coco

Es un sustrato orgánico obtenido apartir de transformación industrial del mesocarpio y el exocarpio del fruto del cocotero (*Cocos Nucifera. L*). Es un material compuesto por fibras cortas y polvo de varios tamaños de partículas que puede ser empleado como sustrato para uso agrícola. Posee excelentes propiedades físicas como son, un alto nivel de retención de agua hasta 3 o 4 veces su volumen, presenta una porosidad bastante buena y está bien aireado.

En cuanto a las propiedades químicas se encuentra un excelente capacidad de intercambio cationico, un valor de pH superior a 5.8 - 6.3, y una densidad aparente de 200 g/cm³, debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee (Rodríguez, 2004).

2.7. Invernaderos

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, permitiendo producir en épocas en que las condiciones climáticas no son favorables. Este incremento permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en la construcción de un invernadero, que posteriormente se refleja en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto. Por ello se exponen aquellos parámetros mas relevantes que intervienen en el control climático de los invernaderos.

Las ventajas del uso del invernadero son el aumento en el rendimiento, frutos de mayor calidad, ahorro de agua, control de plagas y enfermedades, instalación de un sistema de riego automático, obtener de dos a tres cosechas al año. Y una de las desventajas principales es el alto costo de inversión inicial (Alpi, 1999).

Existen diversos tipos de invernaderos, entre ellos podemos mencionar los siguientes: Invernadero tipo parral, Invernadero tipo capilla, Invernadero tipo diente de sierra, Invernaderos de techumbre curvada, Invernadero baticenital, Invernadero tipo tunel individual, Invernadero tipo tunel en bateria, Invernadero de ventila cenital (Cadahia, 2000)

2.8. Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo invernadero

El cultivo utiliza la radiación solar, el CO₂ de la atmósfera ,agua y nutrimentos para producir biomasa (frutos, hojas, tallos y raíces) mediante el proceso de la fotosíntesis. Cuando los estomas de las hojas están abiertos, para permitir la entrada de CO₂, se produce la emisión de agua en forma de vapor desde la planta a la atmósfera mediante el proceso de la transpiración. Esta cantidad de agua, unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo. Con el riego se debe aplicar la cantidad justa para cubrir el consumo de agua del cultivo. Un exceso de agua de riego supone el lavado de

fertilizantes, lo que puede llegar a tener problemas medioambientales por la contaminación de las aguas subterráneas (Fernández et al., 2001).

Los factores que más influyen en la evapotranspiración dentro de invernaderos son la radiación solar, la temperatura y el déficit de presión de vapor.

2.8.1. Radiación solar

La radiación solar por ser la fuente principal de energía tiene relación prácticamente en todos los procesos fisiológicos de la planta. Y como la transpiración consiste en la evaporación del agua desde la planta (a través de los estomas y la cutícula), la fuente natural que puede suministrar la energía para que ocurra este fenómeno es proporcionada por la radiación solar. El aumento de la iluminación abre los estomas y esto provoca que aumente la transpiración.

En la Fig. 2.2 Se observa que la transpiración depende de la radiación, reduciéndose en un día nublado respecto a un día soleado, por otro lado se observa que la transpiración de las plantas dependió en un alto grado de la radiación.

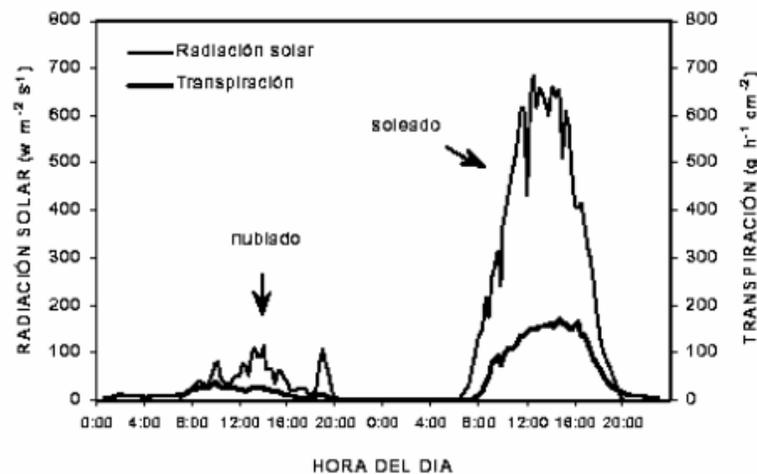


Fig 2.2. Evolución a lo largo de un día nublado y un día soleado de la radiación solar y la transpiración de un cultivo de melón entutorado bajo invernadero, en Almería, España. (Datos proporcionados por la Estación Experimental de Zonas Áridas , EEZA, CSIC). (Fernandez et al., 2001).

2.8.2. Temperatura

Las temperaturas altas favorecen la transpiración aumentando la velocidad de salida de agua por el estoma. Como en la atmósfera al aumentar la temperatura hace que disminuya la humedad relativa y aumente el gradiente de difusión del vapor de agua entre la cámara subestomática y el exterior, es por ello que aumenta la transpiración. La temperatura no afecta directamente a la ETc, pero sí es un indicador de la cantidad de radiación, de tal modo que en los meses en los cuales la radiación es mayor la temperatura también es más alta.

2.8.3. Déficit de presión de vapor

La diferencia entre la presión máxima de vapor de aire y la presión de vapor actual se le denomina déficit de presión de vapor (DPV), el cual representa la presión de succión del aire con respecto a otros cuerpos que retienen humedad. El DPV puede ser utilizado para estimar la evapotranspiración (Baille et al, 1994).

Si aumenta la humedad atmosférica, disminuye la transpiración. La humedad atmosférica favorece una mayor apertura estomática, con lo que un cierto modo podría incrementar la transpiración. De estos efectos siempre predomina el primero, y en realidad disminuye la velocidad de transpiración, favoreciendo en cambio la entrada de bióxido de carbono (CO₂), para la fotosíntesis (Elizondo y Contreras, 1996).

La temperatura y humedad influyen en el déficit de presión de vapor. Humedades altas, próximas a saturación, pueden disminuir la ETc e inhibir la absorción de nutrientes, particularmente el calcio, así como acarrear problemas de enfermedades (Garzoli, 1989).

2.8.4. Programación del riego en tiempo real

La programación de riegos permiten decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos y su importancia se pone de manifiesto cuando el agua es un recurso escaso y su costo es elevado. Ante la certeza de obtener una disminución en la producción con un riego deficitario y unido a la falta de información sobre las necesidades de agua de los cultivos, esto puede conducir a aplicar riegos en exceso. Pero el regar en exceso puede conducir a problemas de asfixia radicular, condición que reduce la producción y aumenta los costos de agua y fertilizantes (Jensen y Robb, 1970).

En la programación del riego en tiempo real las estimaciones de la ET_c se realizan a partir de los datos climáticos obtenidos el día anterior, y de la situación concreta del cultivo en ese momento. En este tipo de programación se necesitan buenas estimaciones diarias de la ET_c (ET_c). Las estimaciones diarias de la ET_o se pueden obtener a partir de los datos diarios de evaporación medidos dentro de invernadero o de radiación solar. Los valores diarios de K_c se estiman a partir de datos de temperatura máxima y mínima del día anterior.

Cuando se utilizan sistemas de riego por goteo, dada la elevada frecuencia de riegos, se suele ignorar el papel del suelo como almacén de agua y se considera que el contenido de agua en el suelo no varía con el tiempo. Por tanto, bajo invernadero la programación del riego se simplifica, ya que no hay que preocuparse por determinar el momento del riego y el proceso de programación se enfoca hacia cuanta agua hay que aplicar basándose en estimaciones de la ET_c (Fererres, 1996).

2.9. Investigaciones realizadas sobre el consumo de agua en tomate.

Se han realizado varias investigaciones con el objetivo de determinar el volumen de agua a aplicar en cada periodo de crecimiento del cultivo de tomate.

Antón (2001), realizo en un invernadero localizado en Barcelona, España. Cubierto con material plástico tricapa, polietileno y etil vinil acetato, el cultivo de tomate, variedad Bond, plantado a una densidad de 2.2 plantas por metro cuadrado en sacos de perlita B-12. El ciclo de cultivo en invernadero en esta area va de mediados de Enero a Julio. Se determino el consumo de agua mediante balanza gravimetrica, registrándose las variables climáticas para el calculo de la evapotranspiracion mediante la formula de Penman-Monteith.

Se determino las necesidades de agua para un cultivo al aire libre, plantado a la misma densidad que el anterior directamente en el suelo, suelo franco arenoso. El ciclo de cultivo al aire libre va desde los mediados de Mayo a finales de Octubre.

Para el cálculo de las necesidades de agua utilizo la Evapotranspiracion potencial(ETp) calculada apartir de las variables climaticas de la estacion meteorologica de Cabrils (Barcelona). El calculo de la evapotranspiracion real (ETr) se realizo multiplicando dicho valor por los coeficientes de cultivo Kc, del tomate para diferentes estadios de desarrollo. Los valores de la ETr acumulada para un cultivo de tomate al aire libre son de 392.4 L.m⁻², mientras que en invernadero de 336.5 L.m⁻².

La eficiencia en el uso del agua, es de 44.5 gr.L⁻¹ para cultivo de tomate en sustrato bajo invernadero (producción 15 kg.m⁻²) y de 20.4 gr.L⁻¹ para el cultivo al aire libre (producción 8 kg.m⁻²). Esta diferencia se debe a dos factores, el primero a que el ciclo de cultivo en invernadero se realiza en meses de menor radiación.

González y Hernández (2000) realizaron en el Campo Experimental de la Zona Henequero, cinco tratamientos que consistieron en la aplicación de diferentes volúmenes de agua (láminas de riego) calculadas a partir de los registros diarios de evaporación en un tanque evaporímetro tipo "A" y afectados por diferentes Kc (0.6, 0.8, 1.0 y 1.2). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones. La parcela experimental constó de dos hileras dobles de tomate de 6 m de longitud, separados a 2 m que ocuparon 24 m².

Las variables evaluadas fueron: rendimiento de cultivo (total, comercial y rezaga).

El rendimiento mayor de tomate en las categorías total, comercial y de tercera se logró con el coeficiente Kc de 0.8 con 35.8, 23.9 y 12.5 ton/ha, respectivamente. Igualmente este mismo tratamiento de Kc de 0.8 resultó el más eficiente en el uso de agua, con valores 5.5 y 8.3 Kg m⁻³ de agua aplicada. Por lo anterior, señalan que afectar las lecturas del tanque evaporímetro por un coeficiente de 0.8 resulta un buen indicador para determinar las necesidades hídricas del cultivo de tomate en la zona Henequenera de Yucatán, Mexico.

Aunque las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas, se observó que el parámetro de Kc de 1.2 donde más agua se aplicó, fue el más ineficiente por su relación inversa con el rendimiento de fruto, ya que la proporción de fruto podrido por humedad con relación al rendimiento total osciló entre 8 % para coeficiente Kc de 0.8, y 17 % para el Kc de 1.2.

Ortega y Farias (2001), realizaron en la Estación Experimental Panguilemo de la Universidad de Chile, el efecto de cuatro laminas de riego.

Las variables evaluadas son el rendimiento, calidad y desecho de tomate producido bajo invernadero. El diseño estadístico fue en bloque completo al azar con cuatro tratamientos de riego y cuatro repeticiones dando como resultado 16 unidades experimentales de 7,2 m² de superficie. Los tratamientos consistieron en aplicar tres láminas de riego: 60% (T1), 100% (T2) y 140% (T3) de la evapotranspiración real, según el tanque evaporímetro clase "A", las

cuales fueron comparadas con las láminas de riego (T4) que aplican los agricultores en la zona. Así, el volumen de agua aplicado en T4 ($5.493 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) fue dos veces mayor que el volumen aplicado en T2 ($2.419 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

Los rendimientos total y comercial aumentaron a medida que se incrementó la dosis de agua de riego. El mayor rendimiento total ($180 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) fue obtenido en el tratamiento T3 seguido por el testigo. Por otro lado, los mayores rendimientos comerciales fueron observados en los tratamientos T3 y T4, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí.

En relación con la distribución del rendimiento comercial según peso, el estudio indicó que los tratamientos T3 y T4 presentaron la mayor proporción de frutos con calidades extra y de primera en comparación a los tratamientos T1 y T2. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para las calidades segunda y tercera.

Henríquez (2001), realizó un estudio para validar un modelo para estimar el coeficiente de cultivo (K_c) en tomate, usando los grados días acumulados (GDA) durante la temporada 2000-2001. Este estudio fue realizado en la Estación Experimental Panguilemo, Chile perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca. Para ello se midieron variables climáticas y balances de energía a través de sistemas meteorológicos automatizados, ubicados sobre una cubierta vegetal (referencia) y en un cultivo de tomate respectivamente. El sistema de riego fue por surco y la programación del riego fue realizada, mediante el "Time Domain Reflectometry (TDR)". Las mediciones fenológicas fueron hechas en forma semanal para obtener un valor de K_c para cada etapa del cultivo y compararlos con los K_c estimados por el modelo de los GDA.

Una buena comparación entre los valores de K_c observado y K_c estimado obteniendo un error absoluto 2.04%. Por otro lado, los errores absolutos entre K_c estimado y los K_c observado para cada etapa fenológica, no afectaron la estimación de la frecuencia de riego y el consumo de agua total para el tomate.

Además, se observó que el consumo acumulado de agua durante el ciclo del cultivo se diferencia solo en 9 mm (577 mm para kc observado y 586 mm para kc estimado). Finalmente, el modelo de los GDA es una buena herramienta para estimar tanto Kc como los requerimientos hídricos en tomate, en las condiciones edafoclimáticas de Chile.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del Sitio Experimental

3.1.1. Localización

El presente trabajo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2006, en un invernadero tipo doble capilla del campo agrícola experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

3.1.2 Clima.

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen, modificada por García (1987) el clima de Saltillo corresponde aun seco estepario, con fórmula climática BsoK (x') (e').

Donde:

Bso: Es el clima más seco de los Bs.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18°C.

(x'): Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.

(e'): Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C.

En general la temperatura y precipitación media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre Julio y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.2. Material vegetativo.

Para la realización de este experimento se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera, es de madurez tardía, de vida prolongada, apta para producción en invernadero y recomendada para cultivarse durante los ciclos de otoño, invierno y primavera temprana.

3.3 Establecimiento del experimento.

3.3.1 Tamaño del invernadero.

El experimento se realizó en un invernadero de tipo doble capilla de una superficie de 1250 m², con dimensiones de 50 m de largo (Este - Oeste) y 25 m de ancho (Norte - Sur) de estructura metálica con cubierta de polietileno, de 200 micras de espesor (calibre 800). El invernadero estuvo equipado con control de clima y equipo de fertirriego computarizado.

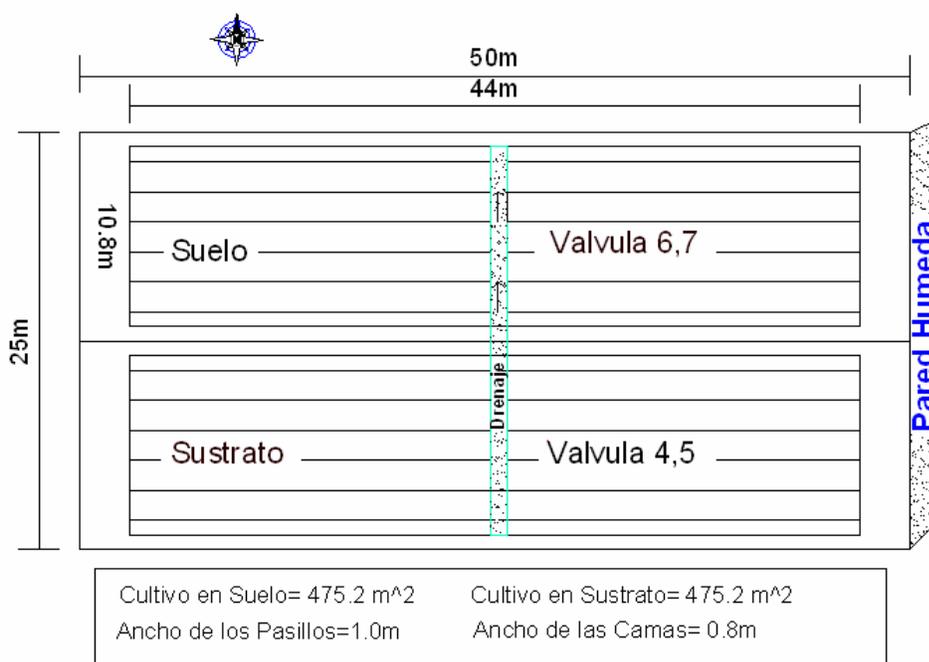


Fig 3.1 Croquis del invernadero en el cultivo de tomate en dos sistemas de producción sustrato y suelo

El área de cultivo fue de 950 m² y estuvo dividida en: manejo de cultivo en sustrato por las válvulas 4 y 5 y en la sección con manejo del cultivo en suelo, con las válvulas 6 y 7.

3.4. Preparación del Invernadero

3.4.1. Preparación del terreno

Con tiempo previo se realizaron las labores culturales del terreno destinado a la realización del experimento como son: barbecho del terreno a una profundidad de 30 a 40 cm, rastra, nivelación y formado de las camas.

3.4.2. Preparación del terreno en la sección del sistema sustrato

Se hicieron seis camas en la parte sur del invernadero con un canal en el centro, las camas fueron hechas con una pendiente aproximadamente 1 % de tal manera que el drenaje de los sacos tendiera a dirigirse al canal principal ubicado en la parte central del invernadero. La distancia entre camas fue de 1.80 m. El sustrato utilizado para este experimento fue fibra de coco de la marca comercial germinaza, en sacos de aproximadamente 105 cm de largo, 28 cm de ancho y 14 cm de alto, con un volumen total de 41160 cm³

El largo de la cama es de 44 metros los cuales fueron colocados un total 36 sacos, cada uno albergaría a 6 plantas, para tener un total de 216 plantas por cama.

Se tendieron mangueras de poliducto de flujo horizontal de ½" con goteros de 4 LPH de tal manera que en cada saco sería abastecido por 1.5 goteros. Los goteros contaban con un distribuidor de 4 salidas unidas a una estaca por un tramo de tubin.



Fig. 3.2 Accesorios Utilizados para el Sistema de Riego



Figura. 3.3 Instalación de los Goteros en el Taco con Sustrato Fibra de Coco

La frecuencia de riego durante los primeros 30 días después del trasplante fue cada 30 minutos con una duración de 4 minutos por riego. Después se cambió con una frecuencia de riego a cada 25 minutos con 5 minutos de riego. Los riegos empezaban a las nueve de la mañana y el último riego se hacía a las 19 hrs.

3.4.3. Preparación de camas en el sistema suelo

El acolchado se realizo en forma manual, consistiendo en la colocación de la película plástica color blanco sobre las seis camas, anclando los extremos y laterales con tierra. Una vez terminado el acolchado, se procedió a la perforación del mismo a lo largo de la cama. Las perforaciones se hicieron a 30 cm de distancia, cada cama tenía una distancia promedio de 44 metros con 216 plantas

Una vez que se levantaron todas las camas, se procedió a la instalación del sistema de riego, colocándose una cinta de riego de la marca Netafim modelo SL – 60 – F, con un espaciamiento entre goteros a cada 30 cm y con un gasto por gotero de 0.87 lph.

3.5. Producción de Plántulas.

El 23 de marzo del 2006 se preparo la semilla para sembrarse en charolas de unicel de 200 cavidades con peat moss. Después de haber sembrado las semillas se trasladaron a un invernadero para su germinación y desarrollo.

Las plántulas estuvieron en estas condiciones aproximadamente 46 días.

Los fertilizantes que se utilizaron para la producción de plántulas fueron los siguientes: LOBI, Raizal, Superfos, Grofol.

Antes del trasplante se desinfecto el suelo con pentacloronitrobenceno (PCNB), con una dosis de 350 ml/500 m², esto con el fin de evitar la proliferación de hongos y otros patógenos del suelo.

3.5.1. Transplante

El transplante se llevo acabo el día 08 de mayo del 2006 en el invernadero.

3.5.2. Fertirrigación

La solución nutritiva se hizo de acuerdo a la siguiente formula de fertilización que se presenta en el cuadro 3.1

Cuadro 3.1 Aportación Proporcional de Nutrimentos para el Cultivo de Tomate
Híbrido Gabriela bajo condiciones de invernadero

PERIODO	N ppm (gr/m ³)	P ₂ O ₅ ppm (g r/m ³)	K ₂ O ppm (gr/m ³)
Del transplante al primer racimo	75-100	75-100	75-100
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5° racimo	120-150	72-90	180-225
Del 5° racimo al comienzo de la cosecha	150-200	90-120	225-300
Cosecha	180-200	108-120	275-300
Ultimas 8° semanas hasta el fin de la cosecha	120-150	72-90	180-25

El control del riego y la fertilización se hizo con un equipo de Inyección de Fertilizante marca NETAFIM modelo ELGAL 2000. Este equipo se fue programando conforme se requería, según las demandas del clima y el manejo agronómico (cultivo en sustrato y en suelo con acolchado).

3.6.. Labores Culturales

3.6.1. Entutorado

Esta práctica se realizo con hilo de rafia sujeto de un extremo del tallo, las cuales se ataron lo suficientemente flojos con el fin de que no les afecte en su crecimiento. Estos antes de comenzar la práctica fueron atados y enrollados en ganchos especiales. Esta labor se inicio desde el momento del transplante hasta el final del ciclo del cultivo, realizándose aproximadamente cada 8 días. Conforme se iban desarrollando las plantas esta se fue guiando al hilo tutor y se comenzó a descolgar de manera progresiva. Con esta actividad hacemos que la planta se mantenga erguida y evitamos que toquen al suelo, por lo que esto incide en una mejora en la calidad del fruto y un incremento en la producción.

3.6.2. Poda de tallos o brotes

Es una labor que consiste en ir quitando los brotes de las axilas de las hojas, que dan lugar a nuevos tallos, y se llega a tener demasiada biomasa y los frutos serán mucho mas pequeños. Con esto tendremos una planta mas fuerte, con menos follaje que dedicará toda su energía a los frutos. La poda se realizo con tijeras especiales.

3.6.3. Poda de hojas

Es recomendable en las hojas inferiores senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, para evitar una posible disipación de patógenos. Se trató que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada para evitar estresar a la planta. Esta práctica se llevaba acabo cada 8 días.



Figura. 3.4 Vista del Cultivo de Tomate Después de la Poda de Hojas y Tallos.

3.6.4. Control de plagas y enfermedades

Los primeros dias después del transplante se hizo presente la caída de plantas o “damping-off”, aquellas plantas que presentaron este problema se desecharon inmediatamente del invernadero para evitar la reproducción del hongo. Posteriormente durante el periodo de producción se hizo manifiesto la

alteración del podredumbre apical, esta fisiopatía estuvo relacionada con los niveles deficientes de calcio en el fruto, para la solución de este problema se aplicaron fertilizantes foliares tales como Grofol, Poliquel, Sultron. También se hicieron aplicaciones de insecticidas tales como Platino, Leverage, Confidor, Perfekthion, Metonate para combatir insectos tales como la mosca blanca, esto se hizo con el fin de mantener en buenas condiciones a nuestro cultivo. Después de realizar las podas de hojas y tallos, estas se retiraban del invernadero, esto se hacía con el finalidad de evitar posibles enfermedades y la proliferación de estas. También se llevó a cabo la eliminación de las malas hierbas dentro y fuera del invernadero.

3.7. Metodología en la toma de datos

3.7.1. Toma de datos de la radiación total diaria en el interior del invernadero

Estos datos fueron tomados dentro del invernadero con un sensor piranómetro, modelo LI-200SA de LI-COR; el cual estaba conectado a un Datalogger modelo LI-200 de LI - COR (esto se instaló en el interior del invernadero del 10 a 194 DDT).

Los datos de la radiación solar total diaria se graficaron tal y como se obtuvieron del equipo Datalogger.

3.7.2. Estimación del agua consumida diariamente con la bandeja de drenaje.

Para el cálculo de consumo de agua de forma directa se llevó a cabo el procedimiento de la bandeja de drenaje. La cual se basa en medir el volumen de agua de entrada en la bandeja y el volumen de salida en el drenaje. El volumen de agua que consumió el cultivo se calculó por la siguiente ecuación .

$$CA = [(VE - VD) / N_{pb}] * N_{pm}$$

Donde:

CA = Volumen de agua consumido de la superficie de la bandeja (l/m²/día)

VE = Volumen de agua de entrada en la bandeja (litros/día)

VD = Volumen de agua drenada de la bandeja (litros/días)

N_{pb} = Números de plantas puestas en la bandeja de drenaje

N_{pm} = Número de plantas por metro cuadrado de superficie

El volumen de entrada o de riego en la bandeja (VE) se obtiene multiplicando el volumen aplicado por un gotero (Vg) por el número de goteros (Ng) que riegan en la bandeja.

$$VE = Vg * Ng$$

Donde:

VE = Volumen de entrada o de riego (litros)

Vg = Volumen aplicado por un gotero (litros)

Ng = Número de goteros que riegan en la bandeja

3.7.3. Descripción de la bandeja de drenaje

Se usaron charolas ligeramente mas grandes que los tacos que contenian el sustrato. Los componentes de la bandeja de drenaje son los siguientes.

- Bandeja de drenaje de de 2 m de largo por 45 cm de ancho y 20 cm de profundidad.
- Saco con sustrato (fibra de coco)
- Manguera flexible de 1 pulgada
- Goteros de control de referencia



Fig. 3.5. Medición del riego y drenaje con el pluviómetro TR-5251 de Texas Electronics , Inc.

Para estimar el calculo tanto de riego (volumen de entrada) como del drenaje se utilizaron dos pluviómetros electrónicos, una para medir el volumen de entrada y otra para el drenaje, el cual dentro de la bandeja contenia 12 plantas de tomate. Para obtener el volumen riego se colocaban doce estacas en uno de los pluviometros y para obtener el volumen de drenaje el pluviometro se coloco por debajo de la bandeja de drenaje. Obteniéndose de esta manera por diferencia de datos de riego y drenaje el volumen de agua consumida por las plantas y después el volumen de riego que se obtenía se divide entre los doce plantas, para asi obtener el riego por planta. Y lo mismo se hacia con el drenaje.

3.7.4. Toma de datos con pluviómetros electrónicos

Se utilizaron 2 pluviómetros electrónicos. uno para medir el volumen de agua aplicado y el otros registraba el volumen drenado.

Para medir el volumen de agua aplicada (de doce goteros) y drenados de dos sacos de sustrato fibra de coco (con doce plantas) que estaba en la sección en sustrato fibra de coco, se utilizaron dos pluviómetros modelo TR-5251 de Texas Electronics, inc. conectado a un micrologger modelo 23 X de Camphel SCI.



Figura 3.6 Pluviometro Texas Electronic, Modelo TR-5251



Figura 3.7 Micrologger Modelo 23 X de Campbell SCI.

En el caso del consumo de agua para la sección en suelo (válvula 7 y 8) el consumo de agua se tomo de los datos registrados por el equipo de fertirriego.

3.8. Metodología para la obtención de resultados

Los datos de la radiación solar diaria se graficaron tal y como se obtuvieron del equipo de Datalogger modelo Li – 1200 de LI-COR (a los 10-194 DDT del cultivo).

3.8.1. Riego, drenaje y consumo de agua diarios

Para la obtención de los consumos de agua por día, en el sistema de producción en sustrato fibra de coco (válvula 4 y 5), el consumo se obtuvo, por la diferencia de agua aplicada menos agua drenada de la bandeja de drenaje y para obtener el consumo por planta se dividió entre el número de plantas (doce

plantas), con los datos obtenidos de los pluviómetros, se obtuvo el por ciento diario de drenaje, dividiendo el drenaje diario sobre el riego diario y esto multiplicado por el factor 100, y para obtener el consumo de agua en el sistema de producción en suelo se promediaron los valores de riego aplicados por las válvulas 6 y 7, ya que se asume que todo el riego aplicado era consumido por la planta, y por lado en esta sección no se contaba con sistema de drenaje en el cual se pudo contabilizar y así tener un mejor resultado del agua consumido por planta. Esto se hizo en los días después del trasplante 10-194 para graficar solamente el riego y consumo en sección de suelo.

3.8.2. Radiación (MJ) y consumo de agua (lts).

Para observar el comportamiento del consumo diario de agua / planta y la energía solar total diaria (MJ), se presentan los valores de ambas variables solo en intervalo de 10-194 DDT, el consumo de agua diario se obtuvo de los datos registrados por los pluviómetros y para la sección en suelo los datos de consumo de agua se contó con el apoyo con el equipo de fertirrigación de Netafím.

3.8.3. Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias.

Las temperaturas se muestran tal como los registro el Datalogger modelo LI - 1200 de LI-COR.

3.8.4. Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de producción

Los valores de los rendimientos reales del cultivo de tomate se obtuvo en kg y posteriormente fue extrapolado a Ton / Ha en base al área de producción en el interior del invernadero que fue de 475.2 m² en cada sistema de producción.

IV. DISCUSION Y RESULTADOS

Para llevar acabo la discusión del consumo de agua en el cultivo de tomate, los resultados se presentan en cinco etapas del cultivo, estas fueron referenciadas de la siguiente manera.

Cuadro 4.1. Etapas del cultivo de Tomate Hibrido Gabriela bajo condiciones de invernadero

DDT	ETAPA
0 - 30	Del transplante al primer racimo
31 - 50	Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5° racimo
51 - 60	Del 5° racimo al comienzo de la cosecha
61 -137	Cosecha
138 -194	Ultimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha.

Los resultados de esta investigación se discutirán básicamente por medio de técnicas de correlación y análisis de graficas.

Consumo diario de agua por la planta en la sección sustrato

En la figura 4.1. se observa el comportamiento del consumo, riego y drenaje, a lo largo de todo el ciclo del cultivo, como se puede observar con respecto a las variaciones de consumo de agua se debe a las condiciones climáticas dentro del invernadero y etapa del cultivo, como se observa claramente en los primeros días después del transplante las plantas son muy pequeñas lo cual hace que capte menos radiación solar, y con ello favorece a una menor transpiración y conforme se va desarrollando las plantas la demanda de agua incrementa y al final del ciclo nuevamente empieza a descender. Además las fluctuaciones del riego se puede atribuir a fallas

del equipo de fertirriego o taponamientos de goteros. En forma general el consumo promedio fue de 1.35 litros/planta/día. Con un drenaje promedio de 0.98 litros/planta/día en todo el ciclo. González, 2006, reporta un consumo de agua promedio de 0.96 litros/planta/día en sustrato perlita, encontrándose muy castigada por estrés hídrico a la planta.

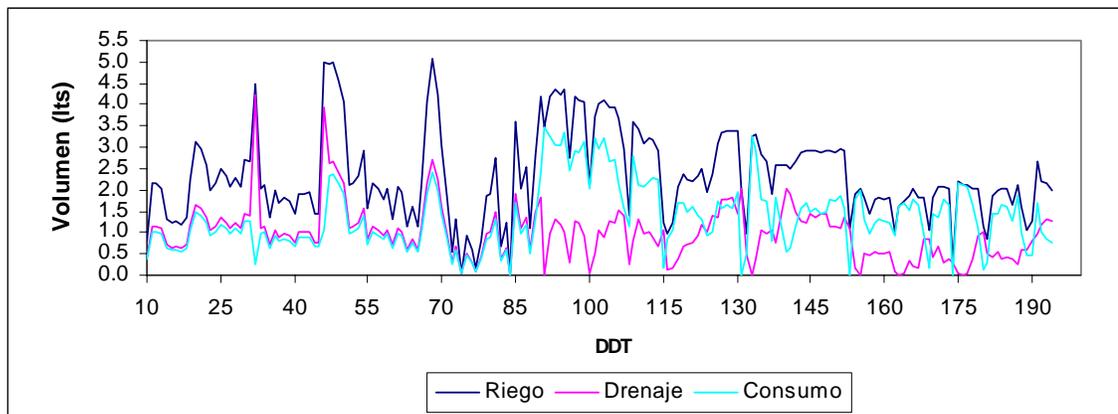


Fig. 4.1. Evolución diaria del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate bajo invernadero en sustrato de los días 10-194 DDT.

La Fig. 4.2. presenta dos graficas correspondientes al riego, drenaje y consumo por planta en tomate, durante los dos primeros periodos. Se observa que para el periodo 10-30 DDT el consumo promedio por día es de 0.95 lts/planta, y para el periodo 31-50 DDT el consumo promedio por día es de 1.10 lts/planta.

Como se observa claramente en las graficas 4.2 a y 4.2 b, los comportamientos de consumo de agua aumentan considerablemente conforme se va desarrollando la planta. Se observa que el día 32 DDT el volumen de riego aplicado, se llega a drenar un 94 por ciento, esto se debe probablemente a que las condiciones de este día presento nubosidades, de igual manera los días 46-50 DDT hubo aumento de la aplicación del riego, estos se debio a que se hicieron unos lavados de sales en los sustratos o podria ser que las plantas presentaban déficit hidrico por lo que se opto por hacer un riego pesado.

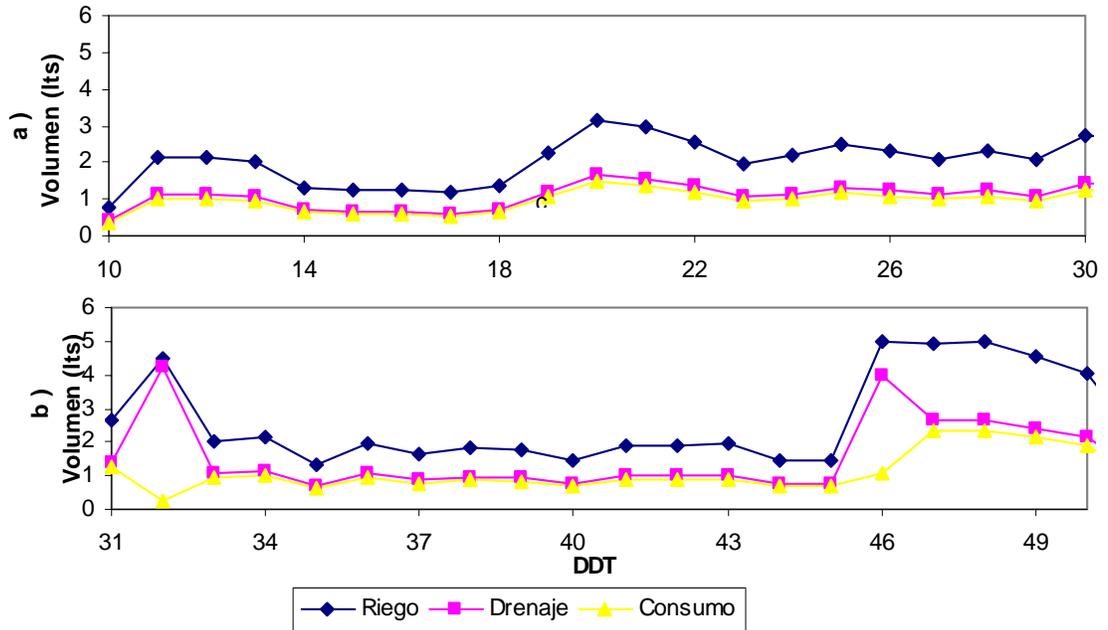


Fig.4.2. Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate de los dos primeros periodos, a)10-30 DDT Y b)31-50 días después del transplante

En la figura 4.3 se presenta los últimos tres periodos del cultivo, la cual se observa que en el tercer periodo el consumo promedio de agua fue de 0.96 lts/planta/día, y después de este periodo el consumo de agua empieza a incrementarse debido a que estas ultimas dos etapas es cuando demanda mas cantidad de agua al estar en plena producción. En el cuarto periodo del cultivo el consumo promedio fue 1.60 lts/planta/dia, que obedece en gran parte a la estación del año en donde se presentan valores de radiación muy elevadas. Por lo cual es preciso regar con mas frecuencia. Por ultimo en el quinto periodo que corresponde 138-194 días después de transplante el consumo promedio de agua empieza a descender hasta llegar a 1.30 lts/planta/dia.

Como se aprecia que el consumo promedio de agua por planta a los 31-50 DDT comparado a los 51-60 DDT hay cierta diferencia muy marcada esto se debió a las fallas que presento el equipo.

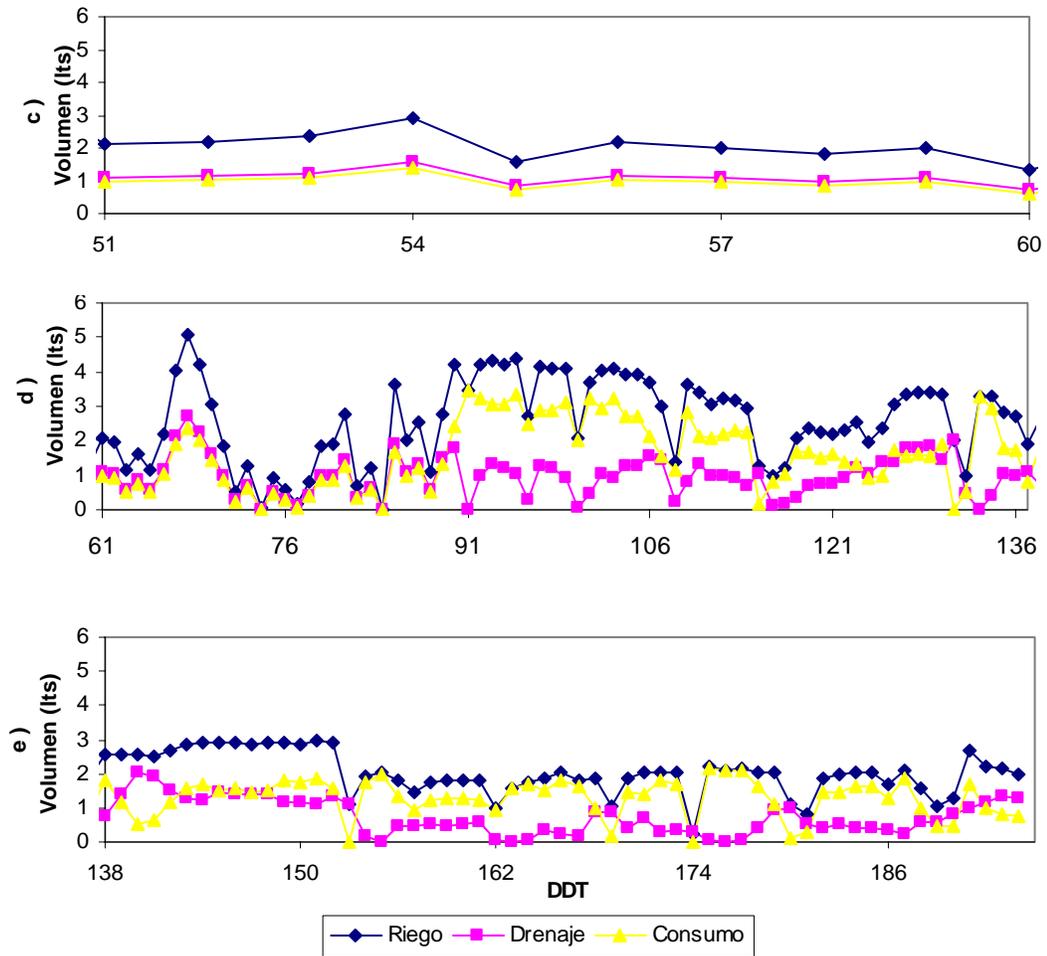


Fig.4.3 Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate en los últimos tres periodos, en los días después del transplante 51- 194.

En el cuadro 4.2. se observa el comportamiento general del consumo de agua diario por planta en sistema sustrato, en sus diferentes etapas. Se nota como al inicio del ciclo el volumen de consumo de agua presenta valores muy parecidos esto obedece a que las plantas tienen menos área foliar, por lo tanto su transpiración es baja, y el intervalo de riego fue dado en un periodo largo de tiempo. Y conforme la planta fue desarrollándose el intervalo de riego se hace con más frecuencia y aumentando el volumen de agua. En la etapa de plena producción el consumo de agua es superior a los demás.

Cuadro 4.2. Valores promedio de consumo de agua de tomate bajo invernadero en diferentes etapas del cultivo en el sistema sustrato.

DDT	Consumo promedio diario por planta (lts)
0-30	0.95
31-50	1.10
51-60	0.96
61-137	1.6
138-194	1.3

La Fig. 4.4. muestra los valores de drenaje, y en esta se aprecia que la tendencia del drenaje para cada etapa del cultivo esta relacionado con la edad de la planta, es importante señalar, que las diferencias bruscas de drenaje se deben principalmente a la etapa critica del cultivo, en donde se encuentra en plena producción y la demanda de agua aumenta. De igual forma se observa que los primeros 85 días después del transplante el porcentaje de drenaje permanece constante en un 53 %, por lo cual se podía haber reducido en el volumen aplicado para hacer un uso eficiente del agua. La línea transversal que se muestra representa la media de los porcentajes de drenaje cuyo valor es de 43.08 %, esto quiere decir que por cada litro aplicado en la planta solo era aprovechado el 57 % durante todo su ciclo. González, 2006 reporta un valor promedio de drenaje en todo el ciclo de 55.18 % lo cual mas de la mitad del agua suministrada nos es aprovechada por la planta.

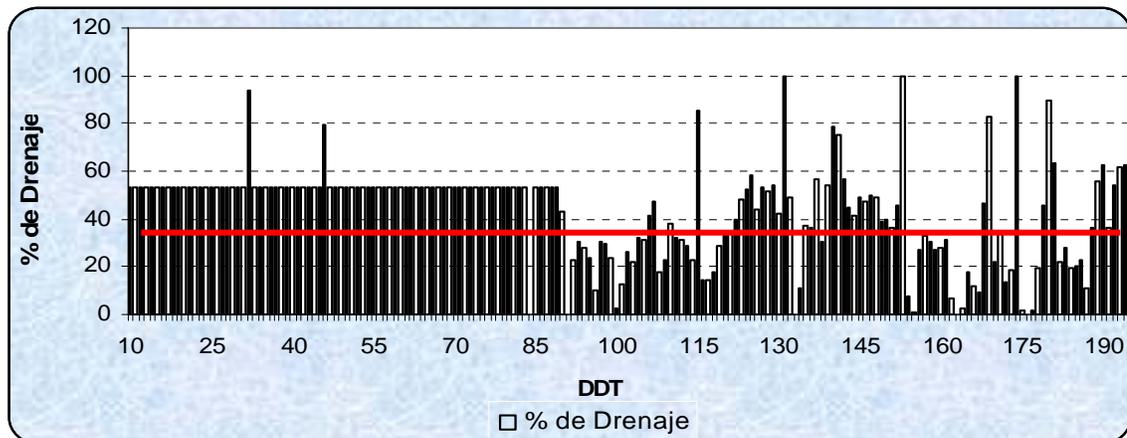


Fig.4.4. Por ciento de drenaje diario de agua por planta de tomate, a los 10-194 días después de transplante.

Consumo diario de agua por la planta en la sección en suelo.

La Fig. 4.5. Se observa el comportamiento del consumo de agua, el volumen de agua aplicado para este sistema se asume que es consumido por la planta, ya que el suelo actúa como almacén de humedad y la planta hace el esfuerzo para aprovecharla, el resto se filtra y no es aprovechada. Se puede notar que a los 70-100 días después del trasplante no hay una secuencia en el consumo, esto se debe a fallas que presentó el equipo de fertirriego. Y las variaciones de los incrementos repentinos en el consumo se da porque son días en los que se aplica el riego. Se asume que el consumo de agua promedio para este sistema durante todo su ciclo es de 0.65 litros/planta/día. Mazariegos, (2006), reporta un consumo promedio de 3.106 lts/planta/día encontrándose en mejores condiciones el cultivo.

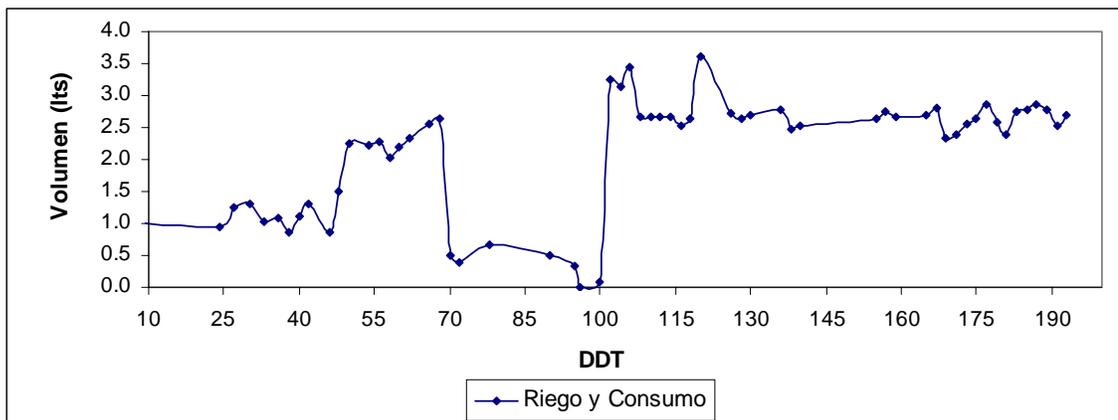


Fig. 4.5. Evolución de riego y consumo de agua por planta de tomate bajo Invernadero, sección suelo.

En el Cuadro 4.3. se observa el comportamiento general del consumo de agua diario por planta, en sus diferentes etapas. Se nota como al inicio del ciclo el volumen de riego aplicado presenta valores muy pequeños se debe principalmente a que el consumo de agua por planta es muy poca, y el intervalo de riego fue dado en un periodo largo de tiempo.

Conforme la planta fue desarrollándose, la frecuencia de riego se hizo en periodo mas corto de tiempo aumentando el volumen de agua.

Cuadro 4.3. Valores promedio de consumo de agua de tomate bajo invernadero en las diferentes etapas del cultivo en el sistema de producción suelo.

DDT	Consumo promedio diario de agua en litros por planta
0-30	0.21
31-50	0.342
51-60	0.902
61-137	0.605
138-194	1.064

Radiación solar

La Fig. 4.6. se muestra la radiación total diaria en MJ, en la cual los valores mínimos corresponden a los días nublados con 0.99 MJ y ocurre lo contrario con los valores altos que representan días despejados, por otro lado, existe cierta tendencia de los valores altos de radiación e influye mucho con las estaciones del año y también la duración de horas luz en este periodo, de tal manera que los valores máximos de radiación correspondiente a los 15 DDT con un valor de 14.45 MJ los podemos encontrar en días de verano. Se observan como los valores de radiación total empiezan a decaer al entrar el Otoño a con un promedio de 8.3 MJ a 6.7 MJ esto debido a que las horas de insolación empiezan a disminuir.

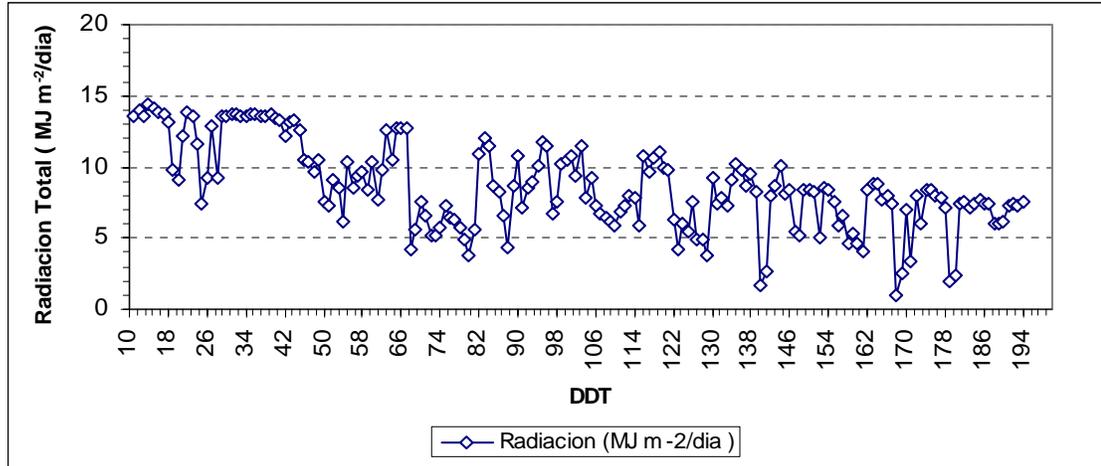


Fig. 4.6. Radiación Total Diaria en el interior del invernadero en los 10 – 194 días después del transplante del año 2006.

Radiación y Consumo Diario de agua por la planta de Tomate

Como se muestra en la figura 4.7. las variaciones diarias del consumo de agua tiene cierta relación con el total de energía solar diaria recibida, en días con menor energía solar el consumo es menor, comparado con días en los que la radiación solar es mayor el consumo diario suele aumentar. Por otra parte se puede notar que la principio del ciclo los valores de radiación son muy altas y los consumos de agua por planta son menores, esto se debe principalmente a que su desarrollo de área foliar es pequeña.

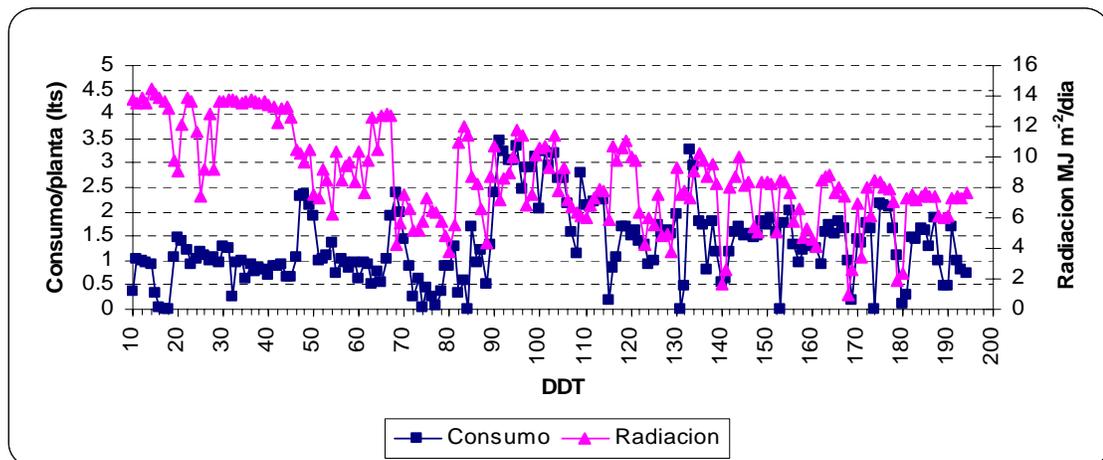


Fig. 4.7. Comportamiento del Consumo Diario y la Radiación Total Diaria en el interior del invernadero en la sección de sustrato.

En el cuadro 4.4 muestra el consumo promedio de acuerdo a la etapa y al valor promedio de la radiación la cual podría ser recomendado para el cultivo de tomate.

DDT	Consumo promedio por planta en lts	Radiación (MJ)
0-30	0.95	11.704
31-50	1.10	8.019
51-60	0.96	8.723
61-138	1.6	7.163
139-194	1.3	6.579

Cuadro 4.4 Valores promedio de Consumo (lt) y Radiación Total , para el ciclo del cultivo de Tomate, en el sistema sustrato.

La Fig. 4.8. presenta algo idéntico con la radiación y el consumo de agua, en la mayoría de los datos presentados de consumo para el sistema suelo tiene cierta relación con la radiación total diaria recibida, Para hacer un mejor análisis de la grafica nos podemos dar cuenta que al principio del ciclo del cultivo los valores de radiación son muy elevadas y el consumo de agua es mínima, esto se debe a que la planta presenta muy poca área foliar y su transpiración es baja. Así por ejemplo para el primer periodo de observación que corresponde a los 0-30 DDT, la radiación total promedio es de 11.7 MJ con un consumo de 0.21 lts/planta/día, comparado con el cuarto periodo que corresponde a los 61-138 DDT al acumular una radiación total promedio de 7.1 MJ se puede suministrar al cultivo 0.66 lts/planta/día ya que en este periodo necesita de mas frecuencia de riego por estar en plena producción.

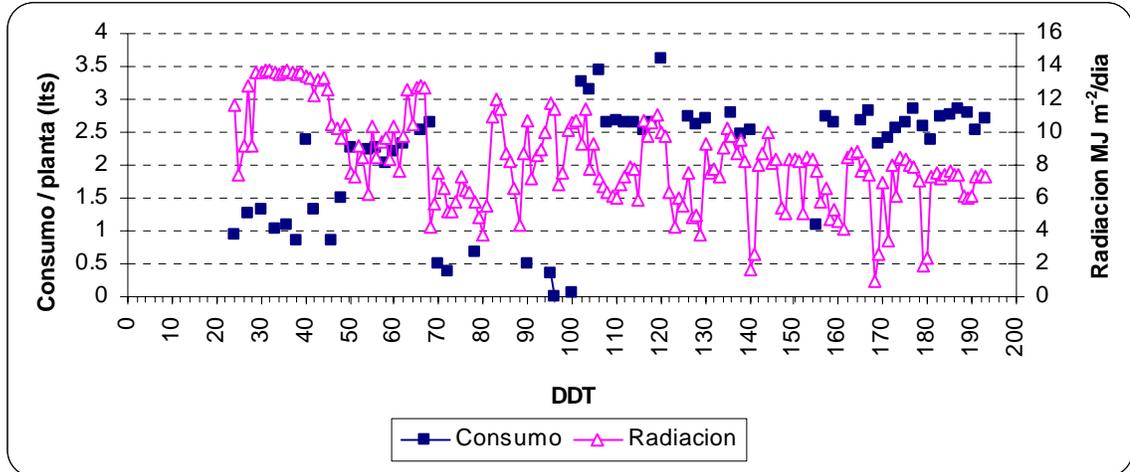


Fig. 4.8. Comportamiento del consumo de agua diaria y la Radiación Total en el interior del invernadero, para el sistema suelo.

Análisis de consumo de agua acumulado en el cultivo se tomate bajo condiciones de invernadero para el sistema sustrato y suelo.

La Fig.4.9. muestra el volumen de agua aplicado en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en el sistema de producción en sustrato de fibra de coco, se observa que el consumo de agua acumulado para todo el ciclo es de 246 lts / planta, mientras tanto en la Fig. 4.10., muestra que el consumo de agua acumulado en sistema suelo es de 126 lts / planta. Como puede notarse existe una diferencia del 52 por ciento entre el sistema suelo comparado con sustrato esto se debió a la programación se le dio al sistema de fertirrigacion. Por tanto en este trabajo se puede concluir que el sistema suelo fue mas eficiente en cuanto al uso del agua, sin dejar atrás los problemas que presento el equipo de fertirriego durante el desarrollo del cultivo.

Según (Hernández, 2006), reporta un consumo de agua acumulada de 738 lts/planta en condiciones de suelo, en tanto en sistema perlita el consumo de agua acumulado fue de 220 lts/planta para todo el ciclo del cultivo. Por lo tanto concluye que el cultivo de tomate en invernadero en sistema semi hidropónico, ayuda hacer uso eficiente del agua.

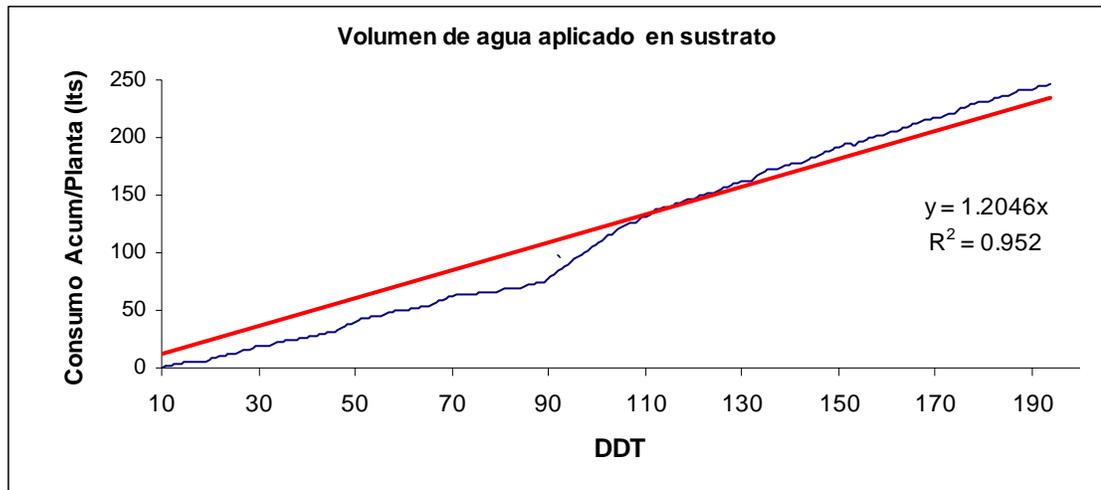


Fig. 4.9. Relación del consumo de agua acumulado del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en sección sustrato.

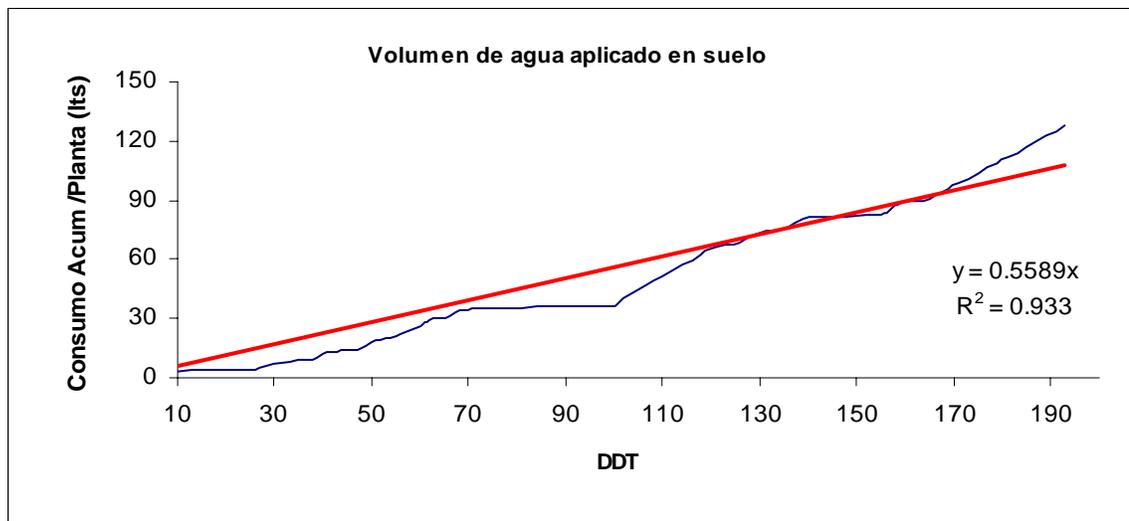


Fig. 4.10. Relación del consumo de agua acumulado del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en sección suelo.

A continuación se muestra en la Fig. 4.11. la correlación que existe entre el consumo acumulado y la radiación total acumulada para el sistema sustrato. Como se puede observar que el coeficiente de determinación para ambas variables es muy aceptable con un valor de $r^2 = 0.9161$, lo cual nos indica que los cambios existentes en la variable dependiente dependen de un 91.61 por ciento de la variable independiente. Además se observa que en condiciones de invernadero, por cada unidad de radiación recibida el consumo de agua es

afectado en un 13 por ciento, debiéndose a los factores de viento y la radiación que son menores en condiciones controladas del ambiente.

La Fig. 4.12 nos muestra un $r^2 = 0.88$, lo cual nos indica que las diferencias existentes en la variable dependiente, dependen de un 88 por ciento de la variable independiente. Por otra parte se observa que en condiciones de invernadero por cada unidad de radiación recibida el valor de consumo de agua es afectado en un 5.98 %

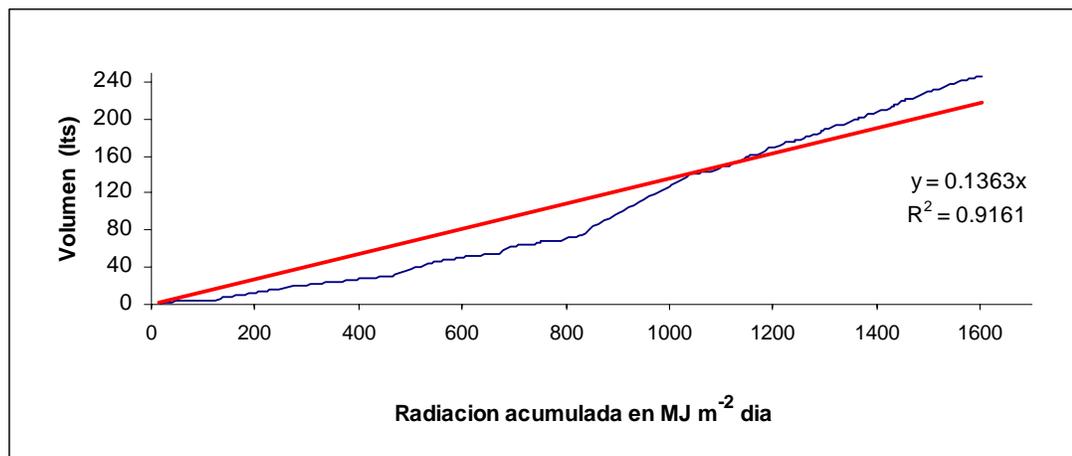


Fig. 4.11. Relación del consumo de agua acumulado y los MJ m⁻² de la radiación total diaria, en el sistema de producción sustrato.

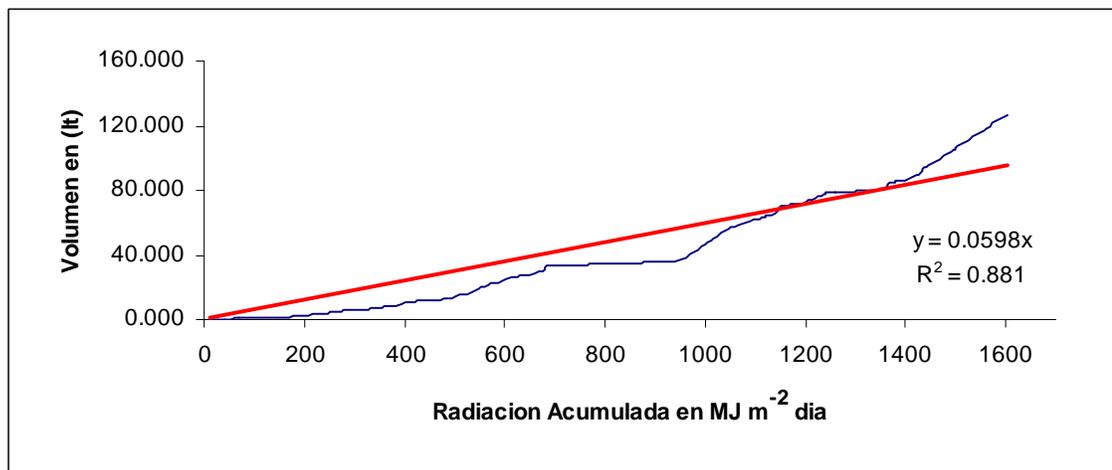


Fig. 4.12. Relación del consumo de agua acumulado y los MJ m⁻² de la radiación total diaria, sección suelo.

Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias dentro del invernadero.

Como se observa en la figura 4.13 los valores reportados de temperatura en promedio fueron; temperatura máxima de 31.1 °C , temperatura media 21.4 °C, temperatura mínima de 15.5 °C, sin embargo hubo días con temperaturas muy bajas (< 15 °C), la que no es adecuado durante el transcurso de la noche (Rodríguez, 1997), pero también se presentaron temperaturas muy altas > 35 °C lo que provoca que la planta sufra un estrés que conlleva a la pérdida de productividad. Cuando la temperatura es baja la humedad relativa es alta, lo que favorece el desarrollo de enfermedades que afectan la calidad de los frutos. Por lo tanto es recomendable mantener una humedad relativa en un rango de 60 - 80 % para el desarrollo del cultivo de tomate.

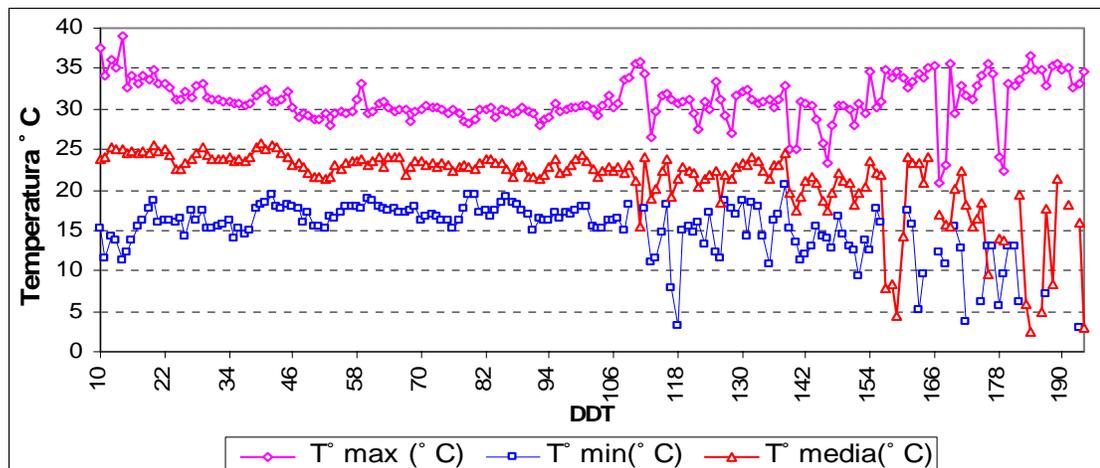


Fig 4.13. Temperaturas máxima, media y mínima diarias dentro del invernadero en los días después de transplante 10-194

Rendimiento del cultivo de tomate según el sistema de producción

En el Cuadro 4.5. muestra el rendimiento total en ton /ha que existió en cada corte. Aunque en un principio los rendimientos dominantes fueron para el sistema sustrato con respecto al suelo y a los 99 DDT empezó a disminuir, esto se debió a que hubo problemas en el equipo de fertirriego y el sistema sustrato se vio muy afectado en cuanto al riego y fertilización, mientras tanto en el suelo existió reservas de humedad y fertilizantes.

# Corte	Fecha	DDT	Rendimiento Total (Ton/Ha)	
			Sustrato	Suelo
1	6-Jul-06	60	1.21	1.13
2	10-Jul-06	64	2.11	1.83
3	12-Jul-06	66	3.91	3.74
4	18-Jul-06	72	3.86	3.33
5	25-Jul-06	79	4.28	3.10
6	28-Jul-06	82	3.22	3.15
7	1-Ago-06	86	6.06	5.25
8	7-Ago-06	92	9.24	6.69
9	14-Ago-06	99	18.51	17.33
10	22-Ago-06	107	13.51	14.29
11	28-Ago-06	113	13.24	15.10
12	4-Sep-06	120	8.22	12.80
13	11-Sep-06	127	7.00	6.98
14	18-Sep-06	134	5.98	9.24
15	2-Oct-06	148	3.03	7.97
16	9-Oct-06	155	3.53	11.54
17	16-Oct-06	162	3.05	8.49
18	23-Oct-06	169	5.18	7.39
19	30-Oct-06	176	4.17	7.19
20	6-Nov-06	183	2.52	5.54
21	17-Nov-06	194	4.65	14.02
		Total	126.47	166.09

Cuadro 4.5. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate bajo invernadero (2006)

La Fig. 4.14. muestra las variaciones de producción en ton /ha, para sistema sustrato y suelo. Como se observa que en los días 99 DDT en el sistema de producción fue superior en un con respecto al sistema en suelo. Y en las días 107 DDT hasta el final del ciclo en el sistema suelo fue superior en cuanto al rendimiento con respecto al sistema sustrato.

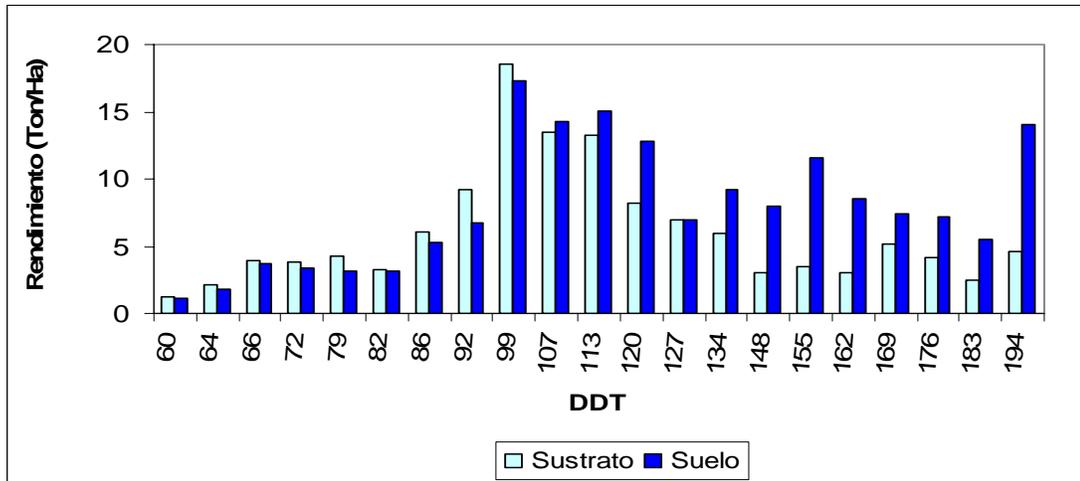


Fig. 4.14. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate bajo invernadero en dos sistemas de producción sustrato y suelo.

La fig. 4.15. muestra el rendimiento acumulado en el cultivo de tomate, para el sistema sustrato con 126.47 ton/ha, y la fig. 4.16 se muestra el rendimiento acumulado para el sistema suelo es de 166.09 ton/ha. Como podemos apreciar en el sistema suelo fue superior un 33.33 % comparado con el sistema sustrato.

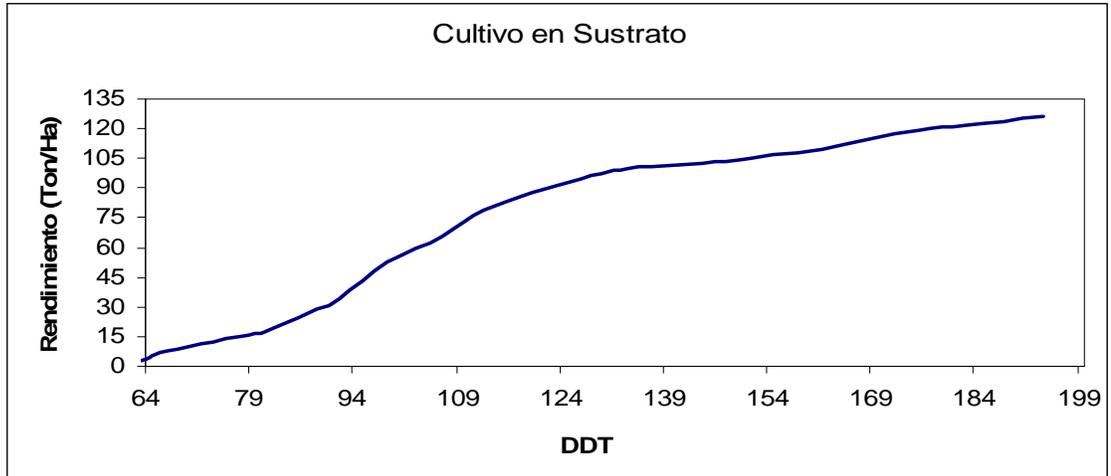


Fig. 4.15 Rendimiento total acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en sistema sustrato

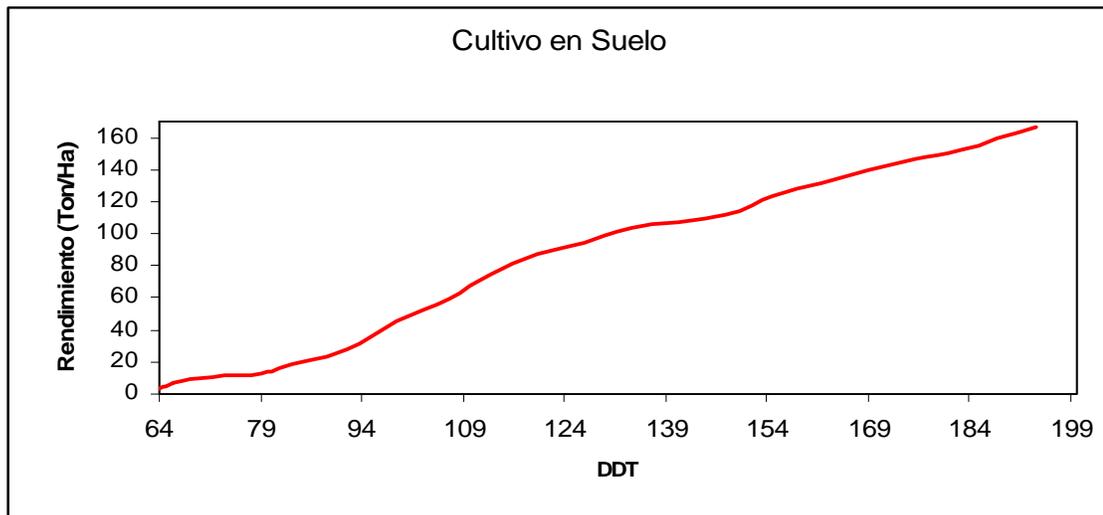


Fig. 4.16. Rendimiento total acumulado en el cultivo de tomate bajo invernadero en sistema suelo.

Uso eficiente del agua

En cuanto al uso eficiente del agua con el rendimiento obtenido en el sistema sustrato es de 18.82 kilogramos de tomate por metro cúbico de agua aplicado comparado con el sistema suelo de 48 kilogramos de tomate por metro cúbico de agua suministrado.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

En cuanto al consumo de agua / planta en el cultivo de tomate, en los resultados obtenidos, el comportamiento obedece gran parte de la radiación solar diaria, como se noto que al inicio del cultivo, los valores de la radiación fueron altas y el consumo de agua fue mínimas, esto influye la edad de la planta, ya que presenta menor área foliar y conforme se desarrolla los consumos de agua tienden aumentar

En lo que respecta al consumo de agua acumulado y la radiación total acumulada en sustrato el coeficiente de determinación para ambas variables es aceptable con un valor de $r^2 = 0.9161$, lo cual nos indica que los cambios existentes en la variable dependiente dependen de un 91.61 por ciento de la variable independiente. Por tanto en sistema suelo el coeficiente de determinación nos muestra un $r^2 = 0.88$, lo cual nos indica que las diferencias existentes en la variable dependiente, dependen de un 88 por ciento de la variable independiente.

Determinar el consumo de agua del cultivo de tomate basado en la radiación solar puede ser una de las formas más prácticas y eficientes de suministrar agua a los cultivos bajo condiciones de invernadero, puesto que para cierta cantidad de radiación acumulada existe una cantidad de consumo de agua por la planta, de tal manera que, considerando un valor optimo de drenaje durante el día para un cultivo en sustrato se puede eficientar las cantidades de aplicación sin estresar la planta, teniendo de esta manera el uso

eficiente de agua. También podemos tener ahorros de agua en periodos de días nublados y en días de máxima intensidad de radiación el intervalo de riego se hará con más frecuencia y el consumo será mucho mayor.

El comportamiento de la radiación solar entre los dos sistemas de producción, se concluye que puede llegar la misma cantidad de radiación pero el consumo de agua por planta puede comportarse de acuerdo a la capacidad que tiene cada tratamiento para la retener humedad, en este caso la que tiene mayor disponibilidad de es el sistema suelo ya que actúa como deposito de humedad y en sustrato si no hay un riego el cultivo tiende a tener estrés hídrico y después a la muerte de la planta.

De acuerdo al rendimiento obtenido se concluye que el mejor sistema de producción para este experimento es el sistema suelo con 166.09 ton/ha, comparado en sistema sustrato con 126.47 ton/ha. El uso eficiente de agua en suelo es de 48 kilogramos de tomate por m^3 de agua aplicado comparado en en el sistema sustrato que es de 23.69 kilogramos de tomate por m^3 de agua suministrado.

RECOMENDACIONES

Por otro lado este trabajo se le puede dar un seguimiento mas estricto para tener un conocimiento mas profundo sobre el comportamiento del consumo de agua en los dos sistemas de producción (sustrato y suelo), ya que los resultados obtenidos para el sistema sustrato no fueron los esperados, ante todo por el problema que presento el equipo de fertirriego la cual repercutió drásticamente el rendimiento y la calidad del fruto.

Lo que debemos considerar para el tiempo de riego, son las condiciones del día, pues una vez conociendo el volumen de consumo, se debe programar el equipo para que el drenaje sea del 30 %, en esta investigación el drenaje promedio es de 42 por ciento. Además se recomienda establecer la correlación del consumo de agua/planta, con el factor del que más dependa como es la edad de la planta y así poder programar el equipo de riego con mayor precisión.

A pesar de la mayor precisión de un programa de riego en tiempo real, el alto costo de los equipos dificulta que los agricultores adopten programas complejos que requieran mucha información y tecnología. Pero puede llevarla acabo si dispone de los datos climáticos necesarios, que pueden proceder de su invernadero o bien de alguna estación agrometeorológica bajo invernadero próxima.

De otra manera se le recomendaría utilizar el método de la bandeja de drenaje si opta por sembrar en sustrato, la cual el costo estaría económico. Y con el paso del tiempo, la experiencia lo llevaría a tomar mejores decisiones en cuanto agua hay que aplicar al cultivo.

LITERATURA CITADA

Abad, M., V. Noguera., M. D. Martínez. 1993. Evaluación Agronómica de los Sustratos de Cultivo. *Acta Horticulturae*. 11: 141-154.

Abad, B., M. 1997. Sustratos: propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos inertes y activos. España.

Aguilera C. M. Y Martínez E. R. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Departamento de irrigación. UACH, 4ta. Edición, Chapingo, México.

Alpi, A. Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-prensa. Madrid España. 337 pp.

Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., Pereira. L. S., 1994. An Update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43 (2), 1-92.

Allen R. G. 2000 Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evaporation intercomparison study. *J Hydrol* 229: 27-41.

Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-prensa. Barcelona, España. 172 p.

Antón, Montero J.I, Muñoz,P.(2001) Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero, comparación con el cultivo al aire libre. pp 369-373.

- Baille M., A. Baille, Jc. Laury. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. Climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, 59(3-4): 217-232.
- Bunt, A.C., 1988, media and mixes for container –Grown plants. 2nded. Unwin Hyman Ltd., London, 309pp
- Cadahía, C. 2000. *Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. Madrid, España. 475 p.
- Canovas, F., 1993. Principios básicos de hidroponia. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con o sin suelo. Almería, España. pp. 29-42.
- Comisión Nacional de Agua, 2004. Situación de los recursos hídricos. pp. 23-50
- Comisión Nacional de Agua, 2005. Estadísticas del Agua en México. Síntesis, 106 p.
- Doorembos, J. and W. O. Pruitt. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos, FAO Riego y drenaje No 24. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 194p.
- Elizondo René M. y Contreras Mauricio Aguilera. 1996. *Relación Agua Suelo Planta Atmósfera*. UACH. México.
- Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería. Almería, España. pp. 263-270.

- Escudero, S. J. 1999. Cultivo hidropónico del tomate. P. 451_483. In: Milagros Fernández F. e Isabel Ma. Cuadrado G. (Eds.) Cultivo sin suelo II. Curso superior de especialización. Junta de Andalucía, FIAPA, Caja Rural de Almería.
- Fernández M. D., F. Orgaz, E. Fereres, J. C. López, A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela, M. Gallardo. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el Sudeste español. (Eds.) CAJAMAR (Caja Rural de Almería y Málaga). 71p. España.
- Fereres E. 1996 a. Irrigation scheduling and its impact on the 21st century. Proceedings of the International Evapotranspiration and irrigation scheduling Conference, ASAE: 547-553. San Antonio (Texas).
- Florián, M. P. 1997. Sustratos: propiedades, ventajas y desventajas. Conferencia internacional en Hidroponía Comercial. UNA La Molina. Lima, Perú.
- García. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. Instituto de Geografía, UNAM, México. 246p.
- Garza, 1984. Producción de Hortalizas en México. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México.
- Garzoli, K.V. 1989. Energy efficient greenhouse. Acta Hort. 245: pp 53-62.
- Greyson, R.I.; Sawhney, V.K. (1972). Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. Bot. Gaz., 133: 184-190.

- Gonzalez, A.C. (2006). Programación del riego con base a la radiación solar en Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bajo condiciones de invernadero, en dos sistemas de producción (Suelo y Perlita). Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila México.
- Gonzalez M. A y Hernandez L. B. A. (2000), Estimación de las necesidades hídricas del tomate. Chapingo, México. pp 45-50
- González, V. F. 1996. El cultivo de tomate en la Cañada y Vega de Almería. Vol. 1/3: 255-292. En: Francisco Camacho F. (coord.) Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Instituto Rural, Almería, España.
- Guenkov G. 1974, Fundamentos de horticultura cubana, Instituto Cubano del libro, La habana Cuba.
- Hargreaves, G. H., y Samani, 2.A. 1982. Estimating potential Evapotranspiration. Tech note. J. Irrig. and drain. Engrg., ASCE, 108 (3): 225-230.
- Hargreaves, G. H., y Samani, 2.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperatura. Applied Engrg. In Agric., 1 (2): 96–99.
- Hernandez, P. H. (2006). Estimación de evapotranspiracion real en el cultivo d e tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), bajo condiciones de invernadero en base a las lecturas del tanque evaporimetro tipo “A”.
- Henríquez, S, G. 2001 validación de un método para estimar el consumo de agua en tomate industrial, cv. Heinz 9665.
- Helweg, O. J. Water Resources. Planning and Management. Texas A&M University. John Wiley & Sons, Inc., 1992.

- Jensen M.E., D.C.N. Robb. 1970. Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 96(IR1): 25-38.
- Jensen, M. E., E. D. Burman and R. G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. Asce. Manual and report on engineering practice n.70. American Society of Civil Engineers. USA.
- Jones, H. .E (2000), Evaluación de tres metodologías para estimar el consumo de agua en tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill*) y su efecto sobre la frecuencia de riego, Universidad de Talca.
- Jones, J. B. Jr. 1999. Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. Florida, U.S.A.
- Lamaire, F. A. Dartigues and L. M. Riviere. 1985. Properties of substrate made with spent mushroom com-post. Acta Horticultrae 172: 13.29.
- Leon G y Arosemena D. 1980. El cultivo del tomate para consumo en fresco en el valle de Culiacán. INIA. DF. México.
- Lorenzo, P.; Sánchez-Guerrero, M.C.; Medrano, E.; García, M.L.; Caparrós, I.; Giménez, M. 2003. El sombreado móvil exterior: Efecto sobre el clima del invernadero, la producción y la eficiencia en el uso del agua y la radiación, En: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Curso Superior de Especialización 7. Eds: M. Fernández. P. Lorenzo y I. Cuadrado. DGIFA, FIAPA y CAJAMAR: 207-229pp.
- Marín R. J. 2001. Portagrano 2001 Vademécum de Variedades Hortícolas. Ecir Ddit. p. 229, 237, 272, 292.

- Maroto, J. V. 1989. Horticultura herbácea especial. Tercera edición. Editorial Mundi – Prensa. Madrid, España.
- Maroto, J. V. 1995. Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Maroto, J. V. 2002. Hortalizas aprovechables por sus frutos. En: Horticultura herbácea especial. Ed. Grupo Mundi-Prensa. España.
- Matallana. Y J.I. Montero. 1995. Invernaderos, Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundi-Prensa. 209 pp
- Mazariegos, S. S. (2006). Programación del riego en base a diferencias térmicas entre el follaje y el aire en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Bajo invernadero en dos medios de producción (Suelo y Perlita). Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila México.
- Muñoz- Ramos, J. J. 2003. Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. P. 18-39. En: J. J. Muñoz- Ramos y J. 2. Castellanos (Eds.). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México.
- Nuez F.1995. El cultivo del tomate, Editorial Mundi-Prensa, Barcelona , España.
- Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España.
- Olea V. M. (2005). Programación del riego en base a la radiación en tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill.*) en invernadero y Manejo Agronómico a uno y dos Tallos. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila México.

Ortega- Farías, S., J. Márquez, H. Valdés, y H. Paillán. 2001. Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., CV. FA-144) de invernadero producido en otoño. *Agric. Téc. (Chile)* 61: 479-487.

Revista, Productores de Hortalizas, México, D.F. Noviembre 2006, pag.42

Revista Productores de Hortalizas. Cultivo de tomate. México, D.F. Agosto, 2004, p. 44

Rodríguez, R, R., 1997. Cultivo moderno del tomate. Editorial: Mundi-Prensa. 2° Ed. Madrid, España.

Rodríguez D. E. 2004. Técnicas de caracterización de sustratos. Universidad de Guadalajara. CUCBA. México.

Rodríguez , F. H. 2006. El tomate rojo; sistema hidropónico, ed. trillas, 82 p.

Sánchez - Toribio, M. I. 1992. Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Geofoma Ediciones, 35 pp.

SEMARNAP y Comisión Nacional del Agua (2000), El Agua en México: retos y avances, México, pp.161.

Serrano C. Z. 1979, invernadero; Instalación y mantenimiento, Ministerio de agricultura Madrid España.

Urrestarazu, G. M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. P. 51-87. En: Manual de cultivo sin suelo. M. Urretarazu (coord). 2ª Edición. Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones.

Valadéz, L. A. 1993. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa. México D.F.

Valadéz, L. A. 1998. Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México.

Varga, A.; Bruinsma, J. (1986). Tomato. En "Monselise, S.P. (De). Fruit set and development. C.R.C. Press Inc., Boca Raton, Florida".

A P E N D I C E

Cuadro 4.7. Valores de Riego , Drenaje y Consumo , por ciento de drenaje, riego en suelo y la radiación en (MJ), de los días después de transplante 10-194 reportados por el equipo de fertirrigación de Netafím y del Datalogger.

DDT	Riego en sustrato (Lt por planta)				Riego en Suelo (Lts por planta)	Radiacion (MJ)
	Riego	Drenaje	Consumo	% Drenaje	Riego	
10	0.79	0.42	0.37	53.00	0.13	13.80
11	2.16	1.14	1.01	53.00	0.13	13.13
12	2.14	1.13	1.00	53.00	0.13	13.55
13	2.04	1.08	0.96	53.00	0.13	13.94
14	1.33	0.70	0.62	53.00	0.13	13.51
15	1.22	0.65	0.58	53.00	0.13	14.45
16	1.26	0.67	0.59	53.00	0.13	14.15
17	1.17	0.62	0.55	53.00	0.13	13.86
18	1.37	0.73	0.64	53.00	0.13	13.67
19	2.25	1.19	1.06	53.00	0.13	13.21
20	3.13	1.66	1.47	53.00	0.13	9.777
21	2.96	1.57	1.39	53.00	0.13	9.074
22	2.57	1.36	1.21	53.00	0.13	12.12
23	1.98	1.05	0.93	53.00	0.13	13.84
24	2.17	1.15	1.02	53.00	0.13	13.61
25	2.52	1.33	1.18	53.00	0.32	11.65
26	2.34	1.24	1.10	53.00	0.32	7.398
27	2.09	1.11	0.98	53.00	0.32	9.205
28	2.30	1.22	1.08	53.00	0.42	12.86
29	2.06	1.09	0.97	53.00	0.42	9.234
30	2.70	1.43	1.27	53.00	0.42	13.59
31	2.67	1.41	1.25	53.00	0.44	13.61
32	4.50	4.24	0.26	94.19	0.44	13.72
33	2.04	1.08	0.96	53.00	0.44	13.72
34	2.13	1.13	1.00	53.00	0.34	13.61
35	1.35	0.72	0.64	53.00	0.34	13.52
36	1.98	1.05	0.93	53.00	0.34	13.68
37	1.67	0.89	0.79	53.00	0.54	13.76
38	1.82	0.97	0.86	53.00	0.54	13.59
39	1.75	0.93	0.82	53.00	0.43	13.54
40	1.46	0.77	0.68	53.00	0.43	13.68
41	1.89	1.00	0.89	53.00	1.19	13.36
42	1.89	1.00	0.89	53.00	1.19	13.3
43	1.93	1.02	0.91	53.00	0.33	12.2
44	1.42	0.75	0.67	53.00	0.33	13.17
45	1.43	0.76	0.67	53.00	0.33	13.29
46	5.00	3.95	1.05	79.05	0.33	12.63
47	4.95	2.62	2.32	53.00	0.42	10.47
48	5.00	2.65	2.35	53.00	0.42	10.28
49	4.56	2.41	2.14	53.00	0.75	9.662

50	4.05	2.15	1.90	53.00	0.75	10.45
51	2.10	1.11	0.99	53.00	0.56	7.548
52	2.15	1.14	1.01	53.00	0.56	7.236
53	2.34	1.24	1.10	53.00	0.56	9.138
54	2.93	1.55	1.38	53.00	0.56	8.487
55	1.56	0.83	0.73	53.00	1.11	6.21
56	2.15	1.14	1.01	53.00	1.11	10.34
57	2.02	1.07	0.95	53.00	1.14	8.483
58	1.79	0.95	0.84	53.00	1.14	9.414
59	2.03	1.08	0.95	53.00	1.02	9.642
60	1.32	0.70	0.62	53.00	1.02	8.363
61	2.06	1.09	0.97	53.00	1.10	10.35
62	1.95	1.03	0.92	53.00	1.10	7.695
63	1.13	0.60	0.53	53.00	0.58	9.758
64	1.62	0.86	0.76	53.00	0.58	12.58
65	1.14	0.61	0.54	53.00	0.58	10.44
66	2.17	1.15	1.02	53.00	0.58	12.72
67	4.05	2.15	1.90	53.00	1.27	12.78
68	5.09	2.70	2.39	53.00	1.27	12.76
69	4.24	2.25	1.99	53.00	1.32	4.197
70	3.04	1.61	1.43	53.00	1.32	5.664
71	1.87	0.99	0.88	53.00	0.24	7.499
72	0.54	0.29	0.25	53.00	0.24	6.623
73	1.29	0.68	0.61	53.00	0.07	5.212
74	0.05	0.03	0.02	53.00	0.07	5.209
75	0.95	0.50	0.45	53.00	0.07	5.799
76	0.59	0.31	0.28	53.00	0.07	7.262
77	0.18	0.09	0.08	53.00	0.07	6.479
78	0.80	0.42	0.38	53.00	0.07	6.348
79	1.84	0.98	0.87	53.00	0.06	5.758
80	1.89	1.00	0.89	53.00	0.06	4.858
81	2.76	1.46	1.30	53.00	0.06	3.773
82	0.69	0.37	0.32	53.00	0.06	5.544
83	1.23	0.65	0.58	53.00	0.06	10.96
84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	11.98
85	3.62	1.92	1.70	53.00	0.06	11.4
86	2.04	1.08	0.96	53.00	0.06	8.695
87	2.54	1.35	1.20	53.00	0.06	8.265
88	1.09	0.58	0.51	53.00	0.06	6.544
89	2.79	1.48	1.31	53.00	0.06	4.389
90	4.20	1.80	2.40	42.86	0.06	8.664
91	3.47	0.00	3.47	0.00	0.10	10.7
92	4.21	0.97	3.24	22.96	0.10	7.159
93	4.35	1.30	3.04	30.00	0.10	8.574
94	4.23	1.19	3.04	28.10	0.10	8.912
95	4.37	1.02	3.34	23.44	0.10	10.04
96	2.74	0.28	2.46	10.25	0.34	11.79
97	4.18	1.27	2.91	30.34	0.00	11.47
98	4.12	1.23	2.89	29.84	0.00	6.781
99	4.07	0.95	3.12	23.26	0.00	7.548

100	2.09	0.05	2.04	2.37	0.00	10.16
101	3.72	0.49	3.23	13.08	0.04	10.54
102	4.02	1.06	2.96	26.42	0.04	10.7
103	4.12	0.91	3.21	22.02	1.62	9.308
104	3.94	1.25	2.68	31.85	1.62	11.46
105	3.94	1.24	2.69	31.58	1.57	7.808
106	3.68	1.53	2.15	41.54	1.57	9.296
107	2.98	1.41	1.56	47.47	1.71	7.232
108	1.41	0.25	1.16	17.94	1.71	6.714
109	3.61	0.81	2.80	22.47	1.33	6.406
110	3.43	1.31	2.11	38.30	1.33	6.121
111	3.07	0.98	2.09	31.82	1.34	5.944
112	3.22	1.00	2.21	31.14	1.34	6.852
113	3.19	0.91	2.28	28.47	1.33	7.241
114	2.94	0.68	2.26	23.22	1.33	7.921
115	1.24	1.06	0.18	85.65	1.33	7.773
116	0.96	0.13	0.83	13.99	1.33	5.941
117	1.23	0.18	1.06	14.27	1.26	10.71
118	2.05	0.37	1.68	18.08	1.26	9.718
119	2.38	0.69	1.69	29.02	1.32	10.58
120	2.23	0.73	1.50	32.92	1.32	11.01
121	2.20	0.76	1.62	34.76	0.60	9.972
122	2.32	0.93	1.39	40.13	0.60	9.725
123	2.51	1.20	1.31	47.75	0.60	6.307
124	1.94	1.02	0.92	52.54	0.60	4.193
125	2.39	1.38	1.00	57.97	0.60	6.023
126	3.08	1.36	1.72	44.06	0.60	5.482
127	3.33	1.77	1.56	53.12	1.37	7.522
128	3.40	1.77	1.63	51.93	1.37	4.85
129	3.38	1.82	1.56	53.80	1.31	4.925
130	3.37	1.44	1.93	42.66	1.31	3.778
131	2.02	2.02	0.00	100.00	0.45	9.237
132	0.97	0.48	0.49	49.00	0.45	7.476
133	3.27	0.00	3.27	0.00	0.45	7.816
134	3.31	0.38	2.93	11.40	0.45	7.284
135	2.83	1.04	1.79	36.80	0.45	9.066
136	2.69	0.97	1.72	36.05	0.45	10.27
137	1.89	1.08	0.81	56.99	1.39	9.758
138	2.57	0.77	1.80	30.02	1.39	8.649
139	2.57	1.40	1.18	54.29	1.23	9.538
140	2.57	2.02	0.55	78.59	1.23	8.266
141	2.52	1.90	0.62	75.31	0.17	1.611
142	2.66	1.50	1.16	56.36	0.17	2.646
143	2.86	1.29	1.57	45.14	0.17	7.97
144	2.91	1.21	1.70	41.67	0.17	8.649
145	2.94	1.44	1.50	49.04	0.17	10.02
146	2.92	1.37	1.55	46.98	0.17	8.176
147	2.88	1.42	1.45	49.51	0.17	8.345
148	2.92	1.42	1.49	48.82	0.17	5.404
149	2.93	1.14	1.80	38.72	0.17	5.111

150	2.87	1.14	1.73	39.76	0.17	8.398
151	2.97	1.09	1.88	36.73	0.17	8.403
152	2.91	1.34	1.57	45.99	0.17	8.19
153	1.12	1.12	0.00	99.71	0.17	5.01
154	1.91	0.15	1.76	7.93	0.17	8.469
155	2.02	0.01	2.01	0.54	0.17	8.328
156	1.81	0.49	1.32	27.08	0.54	7.6
157	1.43	0.48	0.96	33.22	0.54	5.819
158	1.76	0.54	1.22	30.67	1.37	6.564
159	1.80	0.49	1.31	27.23	1.37	4.666
160	1.79	0.50	1.29	28.09	0.44	5.29
161	1.80	0.57	1.24	31.40	0.44	4.612
162	1.00	0.07	0.94	6.58	0.44	4.069
163	1.60	0.00	1.60	0.00	0.44	8.434
164	1.75	0.04	1.71	2.35	0.44	8.758
165	1.86	0.33	1.53	17.61	0.44	8.83
166	2.02	0.23	1.78	11.46	1.34	7.666
167	1.81	0.17	1.64	9.42	1.34	7.983
168	1.84	0.85	0.99	46.11	1.41	7.376
169	1.04	0.86	0.18	82.54	1.41	0.994
170	1.84	0.41	1.43	22.30	1.17	2.57
171	2.06	0.69	1.37	33.47	1.17	6.93
172	2.05	0.28	1.78	13.39	1.20	3.405
173	2.04	0.37	1.67	18.34	1.20	7.945
174	0.24	0.28	0.00	114.12	1.28	6.079
175	2.19	0.03	2.16	1.51	1.28	8.427
176	2.12	0.00	2.12	0.00	1.32	8.394
177	2.13	0.04	2.09	1.94	1.32	8.016
178	2.02	0.39	1.64	19.15	1.43	7.866
179	2.05	0.94	1.11	45.77	1.43	7.079
180	1.13	1.01	0.12	89.67	1.29	1.913
181	0.83	0.53	0.30	63.68	1.29	2.403
182	1.87	0.41	1.46	21.97	1.19	7.348
183	1.99	0.55	1.44	27.55	1.19	7.545
184	2.04	0.40	1.64	19.46	1.37	7.122
185	2.02	0.41	1.61	20.32	1.37	7.465
186	1.66	0.38	1.29	22.66	1.38	7.64
187	2.10	0.23	1.87	11.13	1.38	7.431
188	1.59	0.58	1.00	36.72	1.43	7.438
189	1.06	0.60	0.47	56.06	1.43	6.062
190	1.28	0.81	0.47	62.93	1.39	6.028
191	2.66	0.97	1.69	36.36	1.39	6.148
192	2.19	1.19	1.00	54.33	1.27	7.324
193	2.15	1.33	0.83	61.61	1.27	7.387
194	2.00	1.25	0.75	62.68	1.35	7.256
	*2.32	*0.98	*1.35	**42 %	*0.65	

* Valor promedio de consumo de agua por día en lts/planta durante su ciclo.

** Porcentaje promedio de drenaje por planta por día.