

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



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).

**Por:**

**Crispín González Argandar.**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo de 2006.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Programación del riego en base a la radiación solar en Tomate  
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero,  
en dos sistemas de producción (Suelo y Perlita).

**TESIS**

**Presentada por:**

**Crispín González Argandar.**

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

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Aprobada:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**MC. Luís E. Ramírez Ramos**  
**López**  
**Asesor Principal**

**Dr. Juan P. Munguía**  
**Asesor**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Dr. Raúl Rodríguez García**  
**Castillo**  
**Asesor**

**Ing. Felipe Hernández**  
**Asesor**

---

**Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**  
**Coordinador de la División de Ingeniería**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**  
**Mayo de 2006.**

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ser mi guía en todo momento, y sobre todo por darme la dicha y la fortuna de tener lo máspreciado en el mundo, la vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en especial al Departamento de Riego y Drenaje, por abrirme sus puertas para la continuar con mi formación académica.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, en especial al Departamento de Agroplásticos 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 de 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 de SAGARPA 2003-002, por el apoyo recibido.

Al Dr. Juan P. Mungía López, por haberme permitido realizar este trabajo de tesis bajo su ascesoria y supervisión, para que la investigación se hiciera lo mejor posible.

Al M.C. Luís Edmundo Ramírez Ramos, Al Dr. Raúl Rodríguez García y al Ing. Felipe Hernández Castillo, por su cooperación y aportaciones a este trabajo.

A las Hermanas de Maria, Villa de los niños, por dejarme pertenecer en su momento a esa gran familia, en donde recibí la mejor de las formaciones, tanto académica como humana.

A todos y cada uno de los integrantes de mi familia, por haber aportado en su momento su granito de arena en mi formación y por haber compartido momentos a mi lado.

A todos mis compañeros y amigos, por su amistad y por todas las experiencias de vida que en su momento llegamos a compartir. En especial a Luís A., Ma. Dolores y Edith, por brindarme su apoyo y amistad incondicional, independientemente de las circunstancias.

## **DEDICATORIA**

Con mucho respeto y cariño, les dedico este sencillo trabajo a dos seres humanos excepcionales, que han dedicado su vida entera a la formación de sus hijos, a mis padres que con humildad y sencillez, me han formado como ser humano y me dieron la oportunidad de formarme como profesionalista.

A mi padre:

Sr. Eusebio González Arenas.

Que me ha enseñado que con dedicación, trabajo y metas fijas, se llega muy lejos en la vida.

A mi madre:

Sra. Francisca Argandar Iturvide.

Que con su cariño, me ha sabido guiar en los momentos difíciles y que con sus innumerables sacrificios y esfuerzos, ha sabido hacer de mi un hombre de bien.

Por su confianza y amor, les reitero mi agradecimiento por darme la mejor de las herencias, una formación profesional, de la cual les estaré siempre agradecido.

A toda mi familia que, han compartido a mi lado momentos difíciles y también alegrías y que me ha brindados su apoyo incondicional, mil gracias por su cariño y confianza:

- ✧ A mis hermanos y hermanas, J. Natividad, Irma, Modesta y Gustavo, por brindarme su confianza y alentarme a continuar.
- ✧ A Tereso mi cuñado, por su amistad.
- ✧ A mis tíos, Martín, Buenaventura y Virgilia, por su cariño y respeto.
- ✧ A mis sobrinos Miguel Ángel y Efrén David, por su cariño y por ser la alegría de la casa.

- ✧ A mi abuelita, la Sra. Carlota, por ser una persona fuerte a pesar de su edad de la cual e aprendido que se necesita mucho carácter, para ser cada vez mejor en la vida y para poder sobrellevar una familia.
- ✧ A mis familiares que ya no están con nosotros y que me brindaron su apoyo y cariño.

## **INDICE DE CONTENIDO**

	Página
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis .....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Evapotranspiración .....	4
2.1.1. Evapotranspiración potencial.....	5
2.1.2. Evapotranspiración máxima.....	5
2.1.3. Evapotranspiración real.....	5
2.2. Radiación solar.....	6

2.2.1. Radiación neta.....	7
2.2.2. Radiación fotosintética activa .....	8
2.3. Transmisividad de cubiertas plásticas .....	8
2.4. Cultivo del Tomate .....	9
2.4.1. Importancia del Tomate .....	9
2.4.2. Clasificación taxonómica.....	11
2.4.3. Desarrollo vegetativo .....	11
2.4.4. Fructificación .....	12
2.5. Factores climáticos y su influencia con la productividad.....	13
2.5.1. Luz .....	13
2.5.2. Temperatura .....	13
2.5.3. Humedad Relativa.....	13
2.6. Factores del entorno de raíces.....	14
2.6.1. Sustrato.....	14
2.6.2. pH.....	14
2.6.3. Salinidad.....	15
2.7. Manejo agronómico del cultivo .....	16
2.7.1. Producción de plántulas .....	16
2.7.2. Acondicionamiento de la plántulas .....	16
2.7.3. Transplante.....	17
2.7.4. Entutorado .....	17
2.7.5. Poda de tallos .....	18
2.7.6. Poda de hojas .....	18
2.7.7. Poda de frutos.....	19
2.7.8. Polinización.....	19
2.8. Factores climáticos que afectan el consumo de agua bajo invernadero.....	20
2.8.1. Radiación solar.....	20
2.8.2. Temperatura .....	21
2.8.3. Déficit de presión de vapor .....	21



2.9. Programación del riego .....	22
2.10. Productividad de los cultivos según la intercepción de luz por el dosel .....	25
<b>3. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1. Descripción del sitio experimental.....	26
3.1.1. Localización .....	26
3.1.2. Clima .....	26
3.2. Material vegetativo .....	27
3.3. Establecimiento del experimento .....	28
3.4. Preparación del invernadero .....	29
3.4.1. Preparación de camas para el cultivo en sustrato.....	29
3.4.2. preparación de camas para el cultivo en suelo .....	30
3.4.3. Siembra .....	30
3.4.4. Transplante .....	30
3.4.5. Fertirrigacion.....	31
3.5. Labores culturales .....	31
3.5.1. Entutorado.....	31
3.5.2. Poda de brotes o crecimiento axilar .....	32
3.5.3. Poda de hojas .....	32
3.5.4. Control de plagas y enfermedades .....	33
3.6. Metodología para la toma de datos y obtención de resultados .....	33
3.6.1. Toma de datos de la radiación total diaria en el interior del invernadero.....	33
3.6.2. Toma de datos de la Radiación Fotosintética Activa (PAR) Incidente.....	33
3.6.3. Estimación del agua consumida diariamente con la bandeja de drenaje .....	35
3.6.4. Toma de datos con pluviómetros electrónicos.....	36
3.6.5. Toma de datos para el registro del comportamiento de la	

humedad en el sistema radicular, tanto en suelo como en perlita .....	38
3.6.6. Obtención de la ETo.....	39
3.6.7. Toma de datos de las variables físicas del cultivo (longitud, área foliar y materia seca) .....	39
3.6.8. Rendimiento del cultivo de tomate según el sistema de producción.....	40
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BLIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1 Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua (Acumulado a diciembre de 2004).	2
Fig. 2.1 Evolución de la producción mundial del tomate	10
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 (Datos cedidos por la Estación Experimental de Zonas Áridas, EEZA, CSIC).	20

Fig. 2.3	Evolución estacional de la ETo y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería	24
Fig. 3.1	Croquis de los tratamientos y repeticiones dentro del invernadero	28
Fig. 3.2	Esquema de la bandeja de drenaje	36
Fig. 3.3	Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251	37
Fig. 3.4	Pluviómetro Li-COR, Modelo 1000-20	37
Fig. 3.5	TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) modelo CSG615-L*282316	38
Fig. 3.6	Vista de la posición del TDR en el saco de perlita	39
Fig. 4.1	Radiación total diaria en el interior del invernadero desde el día uno después del trasplante hasta el día 212 después del trasplante en el año 2005.	42
Fig. 4.2	Radiación total diaria en el interior del invernadero desde el día 28 después del trasplante hasta el día 203 después del trasplante en el año 2004.	42
Fig. 4.3	Evolución de la Radiación y de la ETo a lo largo del ciclo del cultivo para el año 2005	43
Fig. 4.4	Evolución de la Radiación y de la ETo a lo largo del ciclo del cultivo para el año 2004	44
Fig. 4.5	Relación entre la ETo y la Radiación para el ciclo de cultivo 2005 en el sistema de producción en perlita.	44
Fig. 4.6	Comportamiento la radiación ( $W m^{-2}$ ) durante todo un día, en los días con más alta (a) y más baja (b) radiación solar total, para los días 68 y 170 respectivamente	45
Fig. 4.7	PAR Incidente en el interior del invernadero a diferentes alturas del dosel (H, $H_{1/3}$ , $H_{2/3}$ ), según el sistema de producción (suelo y perlita) en días específicos de los periodos de observación, a (DDT 37), b(48), c(72), d(138) y e (159).	

		48
Fig. 4.8	PAR (Integrada Diariamente) Incidente a diferentes alturas del Dosel del Cultivo de Tomate ( $H_0$ , $H_{1/3}$ , $H_{2/3}$ ), según el tipo de producción (suelo y perlita), correspondientes a los 4 últimos periodos de observación	42
Fig. 4.9	Comportamiento del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por la Planta de Tomate, durante todo el ciclo del cultivo, para el sistema de producción en perlita.	53
Fig. 4.10	Por Ciento de Drenaje Diario de Agua por la planta de tomate, en todo el ciclo del cultivo	54
Fig. 4.11	Comportamiento del Riego, Drenaje y Consumo instantáneos por la planta de tomate en días específicos de las últimas 4 etapas fenológicas del cultivo, estos días corresponden a días después del transplante: a) 53, b) 72, c) 138 y d) 159	55
Fig. 4.12	Comportamiento del Consumo de Agua por la planta de Tomate en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del cultivo 2005.	56
Fig. 4.13	Comportamiento de la radiación total diaria y el consumo de agua por la Planta de Tomate, en el sistema de producción en perlita, para todo el ciclo del cultivo.	57
Fig. 4.14	Comportamiento de la radiación total diaria y el consumo de agua por la Planta de Tomate, en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del cultivo.	58
Fig. 4.15	Relación del Consumo de Agua Acumulado y los $MJ\ m^{-2}$ de la Radiación Total Diaria, en el sistema de producción en perlita, para el ciclo del Cultivo de tomate.	60

Fig. 4.16	Relación del Consumo de Agua Acumulado y los MJ m <sup>-2</sup> de la Radiación Total Diaria, en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del Cultivo de Tomate	60
Fig. 4.17	Rendimiento, de tomate variedad Gabiella en condiciones de invernadero y par dos sistemas de producción en perlita y en suelo	61
Fig. 4.18	Rendimiento acumulado, de tomate variedad Gabiella en condiciones de invernadero y par dos sistemas de producción en perlita y en suelo	60

## INDICE DE CUADROS

	Pági na	
Cuadro 3.1	Aportación Proporcional de Nutrimentos para el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en condiciones de Invernadero.	31

Cuadro 4.1	Valores maximos y minimos de radiacion y ETo para los años 2005 y 2004.	43
Cuadro 4.2	Porcentajes promedio de PAR incidente, en las alturas $H_{1/3}$ y $H_{2/3}$ , por periodos de observacion, primer periodo (a), segundo periodo (b), tercer periodo (c), cuarto periodo (d) y quinto periodo (e)	49
Cuadro 4.3	Variación de los rangos de porcentajes de PAR incidente integrada en los diferentes estratos del dosel del cultivo para ambos sistemas de producción, según el periodo del cultivo: segunda etapa (a), tercera etapa (b), cuarta etapa (c) y quinta etapa (d).	51
Cuadro 4.4	Valores promedios de Consumo y Radiación total, para el ciclo del cultivo de Tomate, en el sistema de producción bajo perlita	57
Cuadro 4.5	Valores de consumo de agua acumulado con respecto a la cantidad de Radiación total acumulada en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero	59
Cuadro 4.6	Rendimiento del cultivo de tomate Gabriella bajo condiciones de invernadero y para dos sistemas de producción, suelo y perlita	62

## RESUMEN

Esta investigación, presenta la relación que existe entre el consumo de agua por el cultivo de tomate de ciclo indeterminado bajo condiciones de invernadero y la radiación solar, el análisis esta hecho en dos sistemas de producción (suelo y perlita). La investigación corrobora que la radiación solar

es la principal fuente de energía que el cultivo necesita para el proceso de transpiración. La investigación fue llevada a cabo en el Departamento de Plásticos en la Agricultura del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), el análisis de los datos esta hecho para dos sistemas de producción, suelo y perlita.

En este trabajo se analiza el comportamiento de la radiación solar durante todo el ciclo de cultivo y el comportamiento de PAR incidente en el dosel del cultivo, también se analiza el consumo de agua por la planta durante el ciclo, todo esto para poder correlacionar la variable radiación con el consumo de la planta durante el ciclo. Las relaciones encontradas en los análisis fueron buenas, con porcentajes de correlación mayores al 95 % en ambos sistemas de producción. El consumo de agua es mayor en la parte de producción en suelo puesto que se asume que el agua aplicada es la misma que se consume, mientras que el rendimiento es mayor en el sistema de producción e perlita, por lo tanto existe un uso más eficiente del agua en el sustrato.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El uso inadecuado de los recursos hidráulicos es un problema que cada vez reclama mayor atención. Este problema se agudiza por la sobre explotación de estos recursos para satisfacer la demanda de productos alimenticios, por lo que es necesario efficientar el uso de agua en los sistemas de producción agrícola utilizando métodos y técnicas de riego que permitan aplicaciones del riego oportunas y que satisfagan los requerimientos reales de los cultivos.

No se sabe con exactitud cuanta agua se utiliza en el país; sin embargo, se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) en el cual se tienen los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. Se infiere que los usuarios utilizan aproximadamente el mismo volumen que tienen concesionado o asignado.

El 31 de enero de 2003, en el Diario Oficial de la Federación (DOF) se publicó la disponibilidad de agua de 188 acuíferos, de los cuales se extrae el 66% del agua subterránea que se utiliza en el país y en los que se capta el 79% de la recarga de agua subterránea. El 29 de diciembre de 2003, se publicó en el DOF, la disponibilidad media anual de 14 acuíferos más, y la actualización de la disponibilidad del acuífero Valles Centrales, estado de Oaxaca, con lo que se alcanza un poco más del 80% del volumen de agua subterránea total que se extrae de los acuíferos del país.

A partir de la década de los 70's ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados, de: 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 104 en el 2004. De éstos se extrae casi el 60% 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.

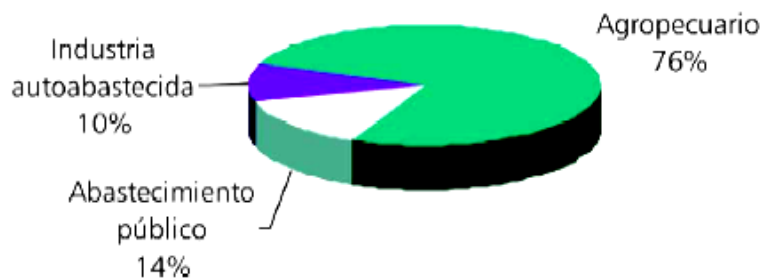


## **Objetivo**

Programación de riegos con base a la radiación solar en tomate bajo condiciones de invernadero, en dos sistemas de producción (suelo y perlita).

## **Hipótesis**

- La radiación solar es un factor viable para la determinación de la cantidad de riego en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero.
- La radiación es la fuente principal de energía para la transpiración del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.



Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

**Fig. 1.1 Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua (Acumulado a diciembre de 2004)**

La agricultura en nuestro país se realiza aproximadamente en 23, 369 millones de hectáreas, de las cuales el 23 % (5.4 millones de hectáreas) se cultivan bajo condiciones de riego y esta superficie genera el 50 % del valor del total de la producción agrícola nacional, el resto de la superficie 77 % se explota bajo condiciones de temporal.

Un manejo adecuado de los recursos hidráulicos debe garantizar la satisfacción de una demanda media de agua, siempre que sea posible. Así, Llamas (1996) señaló que en una planificación racional de los recursos hidráulicos debe asegurarse de que en todo momento exista una seguridad razonable de que la curva de demanda no intercepte la de disponibilidad, o bien, lo que es más usual en regiones de baja disponibilidad de agua, de que existan reservas suficientes para atenuar las consecuencias de los déficits probables.

Las técnicas de 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.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración ( $E_t$ ) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye desde la evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo o de 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 de 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 (Sánchez - Toribio, 1992). Debido a la dificultad de separar  $E$  y  $T$  en condiciones naturales, se definió el concepto de evapotranspiración ( $ET$ ). Por lo tanto la evapotranspiración constituye la transferencia total de agua desde el sistema suelo – vegetación hacia la atmósfera.

En una comunidad de plantas, los mecanismos de disipación de energía son la evapotranspiración, la convección y la radiación. Cuando las plantas transpiran, la temperatura de las hojas permanece constante, ya que la energía radiante del sol es compensada por transferencia de calor (Monteith, 1981).

La evapotranspiración es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía que es proporcionada por la radiación solar.



### **2.1.1 Evapotranspiración potencial**

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

### **2.1.2 Evapotranspiración máxima**

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

### **2.1.3 Evapotranspiración real**

La evapotranspiración real o actual es la cantidad de agua, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. Es el proceso total de la transferencia de agua como vapor de las superficies de tierra con cultivos a la atmósfera (Elizondo, y Contreras, 1996). La evapotranspiración es expresada en unidades de mm/día, cm/día, o como flujo de calor latente.

Los requerimientos hídricos de los cultivos o evapotranspiración real (ET real) puede ser cuantificada por la evapotranspiración de un pasto en referencia (Etr), la cual es corregida para cada periodo fenológico por un coeficiente de cultivo (Kc) (Jensen et al., 1990; Allen et al., 1998).

## 2.2 Radiación solar

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La energía consumida en casi todos los procesos atmosféricos proviene del sol. Esta energía se transfiere a través de la radiación del calor en forma de ondas electromagnéticas. Alrededor del 98% de la energía emitida por el sol esta en la longitud de onda de 0.3 a 3.0  $\mu\text{m}$ . Antes de que llegue a la superficie terrestre el espectro de energía de esta radiación llega a su pico en 0.48  $\mu\text{m}$  (Coombs et al., 1987).

La radiación solar es un término usado para describir la radiación visible y no visible emitida por el sol. Las diversas regiones son descritas por su gama de longitud de onda dentro de 200 a 100,000 nanómetros. La radiación terrestre es un término usado para describir la radiación infrarroja emitida de la tierra. Las gamas de longitud de onda de la radiación solar y terrestre son: ultravioleta 250-400 nanómetros, visible de 400-700 nanómetros, cercana al infrarrojo de 700-3000 nanómetros e infrarrojo de 3000-100,000 nanómetros (3-100  $\mu\text{m}$ ), (Apogee instruments).

La radiación global es la cantidad de radiación que se recibe en la superficie terrestre en un plano horizontal, y es la suma del flujo de radiación directa y de la difusa. La radiación directa es el flujo de radiación proveniente del sol después de ser

filtrada la radiación ultravioleta, esta radiación entra al sistema Tierra-Atmósfera y es de onda corta. Mientras que la radiación difusa es el flujo de radiación dispersado por la atmósfera y es de onda corta.

### **2.2.1. Radiación neta**

La radiación incidente que no es reflejada ni reirradiada se denomina radiación neta y es la expresión del balance de energía de ondas cortas y largas o energía disponible de una determinada superficie.

El flujo de  $R_n$  representa el balance de energía de onda corta (0,15 a 3 mm) y onda larga (3 a 100 mm) que tiene disponible una cubierta vegetal para realizar los procesos de transferencia de agua desde el suelo a la atmósfera. Esta variable puede ser medida directamente usando un radiómetro neto, o bien realizando una estimación de su valor, a través de modelos que integran las variables que componen el balance de energía de onda larga y onda corta. En el caso de la radiación de onda corta, se ha encontrado que entre 20 y 25% de la radiación solar, que es la principal variable de entrada de los modelos de  $R_n$ , es reflejada a la atmósfera por la cubierta vegetal ( ). Por otro lado, el balance de radiación de onda larga se cuantifica a través de la Ley de Stefan-Boltzmann y depende del gradiente de temperatura entre el aire y el cultivo ( ). Considerando lo



anterior, el flujo de  $R_n$  de un cultivo puede cuantificarse del siguiente modo ( ):

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + \epsilon_a \sigma T_a^4 - \epsilon_s \sigma T_s^4$$

$$\epsilon_a = \phi \cdot \left( \frac{e_w}{T_a} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Donde:

$R_n$  = flujo de radiación neta sobre una cubierta vegetal ( $W m^{-2}$ );  $\alpha$  = albedo o fracción de radiación de onda corta reflejada;  $R_s$  = flujo de radiación solar ( $W m^{-2}$ );  $\epsilon_a$  = emisividad del aire;  $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ );  $T_a$  = temperatura del aire (K);  $T_s$  = temperatura de la superficie o cubierta vegetal (K);  $\epsilon_s$  = emisividad de la superficie o cubierta vegetal,  $f$  = coeficiente empírico;  $e_w$  = presión de vapor del aire (kPa).

### 2.2.2. Radiación fotosintética activa.

La radiación solar total que incide en un dosel de los cultivos, tiene un intervalo de longitud de onda de 0.300 a 4.00  $\mu m$  para la fotosíntesis la planta utiliza solo la radiación de 0.400 a 0.700  $\mu m$ , definida como la radiación fotosintética activa (PAR) y corresponde aproximadamente al 48 % de la radiación total incidente (Nobel, 1991; Jones 1992). El resto de la radiación solar absorbida por las la hojas induce efectos térmicos, afectando la temperatura foliar y la tasa de transpiración (Gallo y Daughy, 1986).

### **2.3 Transmisividad de las cubiertas plásticas.**

Las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia en el uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogenéticos (Baille, 1998).

La fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero es designada como transmisividad global del invernadero (Zabeltitz, 1998).

La transmisividad es función, entre otros factores, de las condiciones climáticas, de la posición del sol en el cielo, de la geometría de la cubierta del invernadero, de su orientación, del material de recubrimiento y de los elementos estructurales y equipos del invernadero que limitan, al sombrear, la radiación dentro del invernadero (Bot, 1983; Zabeltitz, 1998). La transmisividad a la radiación solar directa varía en función del ángulo de incidencia, siendo mayor dicha transmisividad cuando menor sea dicho ángulo, es decir, cuando más perpendicularmente incida la radiación sobre la cubierta del invernadero (Bot, 1983)

La aparición en el mercado de cubiertas plásticas más transmisivas a la radiación solar (multicapa), que las cubiertas convencionales de polietileno normal, larga duración y térmico (Montero et al., 2000), confirman el interés de aumentar la radiación dentro del invernadero. Lavar las cubiertas plásticas y evitar en lo posible el blanqueo en los invernaderos, junto con una elección adecuada de la cubierta plástica permite una mayor disponibilidad de la radiación dentro del invernadero

(Montero et al., 1985; Morales et al., 200). Otras medidas, como limpiar la sombra de estructuras y de equipos y de cortavientos exteriores, son necesarias al limpiar los invernaderos (Zabeltitz, 1998). Los buenos materiales dependiendo de su composición y espesor dan una transmisividad de luz visible entre 83 y 90%, el resto corresponde a la luz reflejada y la absorbida por el propio material.

## **2.4 Cultivo del tomate**

### **2.4.1 Importancia del tomate**

En México el tomate es uno de los cultivos mas importantes en cuanto a generación de empleo y divisas se refiere, ya que estadísticas han reportan un volumen de exportación de 963,798 toneladas (USDA, 1998).

En el año agrícola 2000 la superficie sembrada con tomate rojo fue de 76, 243 has., siendo los estados de Sinaloa, Michoacán y Baja California Norte los mas importantes de esta producción.

Cook (2003) menciona que el volumen de las importaciones de tomate en Estados Unidos se ubica en las 860, 000 ton, de las cuales un promedio de 600, 000 toneladas se importan de México y el resto de Canadá, Unión Europea, Marruecos e Israel. Es decir que si consideramos el consumo neto de tomate fresco en Estados Unidos asciende a 2.35 millones de toneladas, entonces de cada cuatro tomates que se consumen en fresco en ese país, uno procede de México. Con este antecedente podemos inferir que si desarrollamos adecuadamente esta industria en México, y aprovechamos la cercanía a este mercado, podemos desplazar una

proporción aún mayor de esta hortaliza y compensar así por las pérdidas que hemos tenido en la balanza comercial de granos.

En cuanto a la demanda de tomate de invernadero en el mercado de Estados Unidos, esta ha tenido un crecimiento sin precedentes en los últimos años, pues la importación creció de 19,000 toneladas en 1994 a 180,000 toneladas en el año 2000, es decir un incremento de casi 10 veces en solo seis años. En cuanto al origen de este volumen de importación 101,000 toneladas proceden de Canadá, 44,000 toneladas proceden de México, 35,000 toneladas de la Unión Europea y el resto de países como Marruecos e Israel (Cook, 2003).

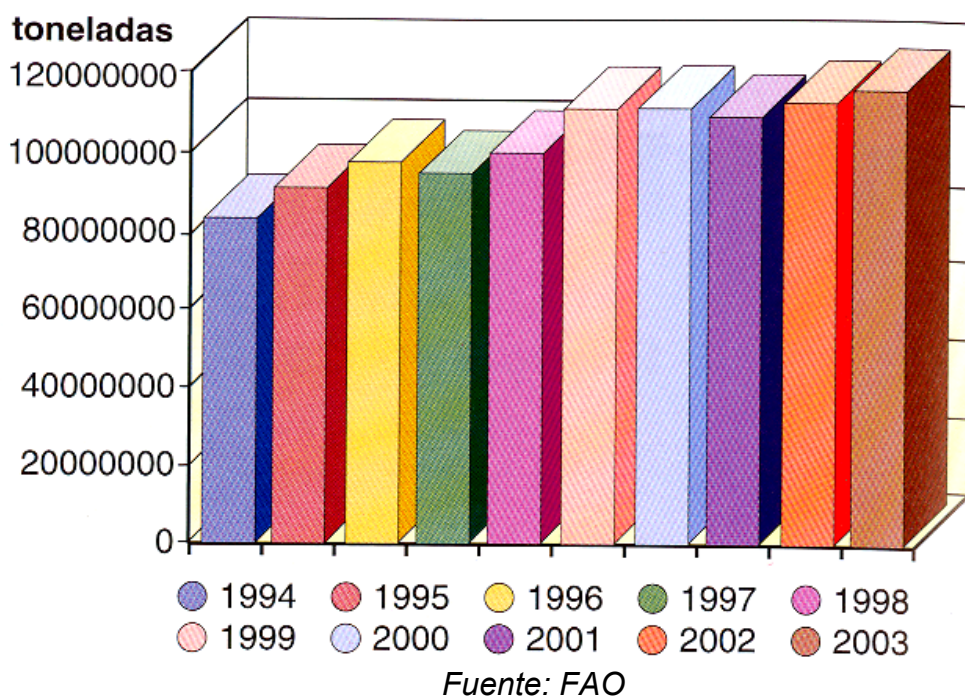


Fig. 2.1 Evolución de la producción mundial del tomate.

### **2.4.2 Clasificación taxonómica**

Según Valdez (1997) el tomate se clasifica de la siguiente manera:

Familia: Solanaceae

Genero: *Lycopersicon*

*Especie: esculentum*

### **2.4.3 Desarrollo vegetativo**

En sentido estricto la fase vegetativa, es relativamente corta, ya que la transición floral ocurre en la mayoría de las variedades cuando la tercera hoja es expandida, aproximadamente tres semanas después de la expansión de las hojas de los cotiledones. Usualmente solo 6 o 11 hojas son producidas por debajo de la primera inflorescencia (Cárdenas, 1999).

En cultivos de crecimiento indeterminado la primera inflorescencia suele aparecer tras la 7° a 11° hoja, mientras que en cultivos determinados aparece normalmente tras la 5° a 7° hoja (Geisenberg y Stewart, 1986), aunque las condiciones ambientales puedan alterar estos procesos.

En cultivos de crecimiento indeterminado, la aparición de hojas tras la primera inflorescencia suele alternarse con otra inflorescencia cada 3 hojas, mientras que los cultivos de crecimiento determinado o semi determinado cada inflorescencia se alterna con 1 ó 2 hojas (Nisen et al., 1990). En cultivos de crecimiento determinado, el crecimiento aparente del tallo principal se interrumpe al finalizar en una inflorescencia sin yema axilar (ni hoja) que los prolongue.

El crecimiento del tomate puede limitarse o incluso interrumpirse por diversos factores (estrés hídrico, baja temperatura, día corto, etc.) (Nisen et al., 1990), pero si las condiciones son idóneas el crecimiento es lineal en el tiempo en cultivos indeterminados.

#### **2.4.4 Fructificación**

La fecundación de los óvulos marca el inicio del crecimiento de del fruto. Dado que el peso final del fruto depende, entre otros factores del número de semillas, la fecundación es un proceso crucial en el desarrollo del mismo.

El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas, en función del cultivo, la posición en el racimo y las condiciones ambientales. Los cultivos comerciales de tomate crecen a partir de un ovario de 5 a 10 mg y alcanza, en la madurez, un peso de 5 a 500 g en función de la variedad y de las condiciones de desarrollo.

Si las condiciones necesarias de temperatura (23 a 25 °C en el día, 15 a 17 °C en la noche) y humedad relativa (60 a 80 %) no son ideales, lo

cual puede llegar a ocurrir en invierno. En este caso, para el cuaje de frutos se recurre a hormonas del grupo de las auxinas. En caso de no ser así, se emplean métodos auxiliares para mover los ramilletes florales mediante vibradores, turbinas de aire o con abejorros (*Bombus sp.*) de preferencia, los cuales han tenido buen rendimiento y evitan el uso de hormonas (Muños, 2003).

## **2.5 Factores climáticos y su influencia con la productividad**

### **2.5.1 Luz**

La luminosidad tiene una gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el foto periodo, crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos. El tomate es un cultivo insensible al foto periodo, entre 8 y 16 horas, aunque requiere buena iluminación. Iluminaciones limitadas, al reducir la fotosíntesis neta, implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Aung., 1976).

En cuanto a la exigencia de luz para que se formen buenos frutos, es necesario un mínimo de luz de 4000 – 6000 luxes (Guenkov, 1974). En caso de escasez de luminosidad el ciclo vegetativo puede alargarse demasiado.

### **2.5.2 Temperatura**

Leskovar, (2001), la planta controla su temperatura mediante la transpiración, disipando hasta un 50 por ciento de la energía que absorbe. Todas las especies responden a un rango de temperatura, dado que las relaciones bioquímicas están controladas por enzimas sensitivas al calor.

Las altas temperaturas durante la fructificación provocan caída de la flor y limitan el cuajado, tal como han descrito Stevens y Rudich, (1978) aunque hay diferencia entre los cultivos, de origen genético. Muñoz (2003), Menciona que las temperaturas optimas para el desarrollo del tomate son de 23 a 25 °C en el día y de 15 a 17 °C por la noche.

### **2.5.3 Humedad relativa**

Backer (1990), menciona que la humedad relativa optima para el cultivo de tomate oscila entre el 70% y el 80%, y que mayor del 90 % favorece al desarrollo de enfermedades criptogamitas, especialmente *Botrytis sp.*, y en condiciones muy bajas de humedad relativa, la tasa de transpiración crece y se reduce la fotosíntesis.

## **2.6 Factores del entorno de raíces**

### **2.6.1 Sustrato**



Rodríguez et al., (1997) respecto a los suelos, el tomate no es una planta especialmente exigente, creciendo en las mas variadas condiciones y, aunque prefiere suelos profundos y con buen drenaje su sistema radicular poco profundo le permite adaptarse a suelos pobres y de poca profundidad con tal de que tenga asegurado un buen drenaje.

Las funciones más importantes de un sustrato de un cultivo son de proporcionar un medioambiente ideal para el crecimiento de las raíces y construir una base adecuada para el anclaje de las plantas.

Desde el punto de vista hortícola, el objetivo de cualquier sustrato de cultivo es de producir una cosecha elevada y de calidad en el más corto periodo de tiempo de tiempo con los costos más bajos de producción. En adición, la obtención y la eliminación del sustrato, una vez que haya sido utilizado no debe de provocar un impacto medioambiental (Abad, et al 1993).

### **2.6.2 pH**

El pH ejerce sus efectos principalmente sobre la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio cationico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido.

El tomate esta considerado como una hortaliza tolerante a la acidez con valores de pH de 5.0 a 6.8 (Richards, 1954; Mass, 1984).

Escudero (1993) menciona que el nivel optimo de pH en el cultivo de tomate sin suelo debe de ser de 5.4 a 6.8; y como regla general el pH al final del gotero debe de ser de 5.5 a 6.0 (Muñoz, 2003)

### **2.6.3 Salinidad**

La respuesta de la planta de tomate a la salinidad depende de la edad de ésta, de las condiciones ambientales y de las practicas de manejo del cultivo (ASCE, 1990). La fase de crecimiento inicial (vegetativo) es más sensible a las sales que la fase de crecimiento posterior y desarrollo reproductivo. Las plantas cultivadas en condiciones ambientales frescas y húmedas, o durante las épocas calurosas del año, son mas tolerantes a la salinidad que aquellas cultivadas en períodos más cálidos, con baja humedad relativa y elevada transpiración.

En el cultivo de tomate sin suelo, el nivel optimo de salinidad, determinado en la disolución del sustrato, oscila entre 3 y 5 dS/m (Escudero, 1993).

Según estudios de Soil Improvement Comittee California Fertilizer Association (1975) una conductividad de 4 dS/m hace decrecer el rendimiento en un 10 % sobre el normal y para que se produzca una disminución de rendimiento de un 50 % es necesaria una conductividad en el suelo de 8 dS/m.

## **2.7 Manejo agronómico del cultivo**

### **2.7.1 Producción de plántulas**

Para el cultivo intensivo de tomate se emplean plantas provenientes de semillero, no siendo normal en la actualidad la siembra directa, que solo se emplea en algunos casos en cultivo extensivo.

La germinación de la semilla tiene lugar a valores óptimos de temperatura entre 18 °C y 24 °C (Wittwer y Honma, 1979).

La siembra se efectúa en seco y, tras el riego, se introducen las bandejas en la cámara de germinación (25 °C y 90 % de humedad).

Aguas con CE > 1.4 dS/m y > 1 ppm de boro, no son aptas para semillero (De la torre, 1999; Navarro, 1999).

A los 30-35 días de la siembra, la planta con tres hojas verdaderas (unos 12 cm de altura) esta en condiciones de transplante al terreno. Una buena planta debe tener una anchura igual o mayor que su altura (Wittwer y Honma, 1979).

### **2.7.2 Acondicionamiento de las plantas**

La preparación de planta en semillero tiene duración variable según el tamaño deseado. Si el cultivo va a tener lugar en invernadero con calefacción en tipo de invierno tiene lógica demórela al máximo la plantación, pues es mas barato calentar el semillero conde la densidad de plantas es mucho más alta, que en invernadero donde transcurrirá su ciclo.

Las plantas sometidas a movimiento tienden a ser cortas de estatura. Por lo tanto, es deseable tener plántulas de porte bajo (tallos gruesos) sin decremento de la materia seca (Lenscak, 2001). Para seguir lo anterior existen varias técnicas y una de ellas es el cepillado (Garner y Bjorkman, 1996).

### **2.7.3 Transplante**

El transplante es la técnica tradicional de implantación del cultivo, tanto en la producción para el consumo en fresco, como en la destinada a la transformación industrial. Leskovar, (2001), menciona que la capacidad de un transplante a superar el shock, depende de cómo las plántulas soportan los cambios estructurales y funcionales de la raíz, de la capacidad radicular de absorción de agua y nutrimentos, y de la capacidad de regeneración de nuevas raíces. Para lograr la uniformidad de crecimiento en tiempo y espacio, un transplante de alta calidad debe tolerar el manipuleo durante la operación de transplante y estar bien aclimatado a condiciones extremas del campo. El objetivo es que el transplante se capacite de continuar rápidamente su crecimiento radicular y disminuir el lapso de tiempo expuesto al “Shok” o castigo del transplante para retornar su crecimiento vegetativo, y así poder alcanzar el potencial máximo de productividad.

### **2.7.4 Entutorado**

El entutorado permite una mejor aireación del cultivo, facilita las operaciones de tratamientos fitosanitarios y permite obtener frutos más limpios y sanos, evitando roces. En invernadero, el entutorado se sustenta

en un emparrillado de alambre, solidario con la estructura del invernadero. Para cada planta se emplea normalmente un hilo de plástico (normalmente rafia) al cual se une la planta sujeta por anillas de sujeción o liándolo al tallo.

En Europa el sistema tradicional de entutorado fue evolucionando a otras variantes (con poda a un tallo como el arco inglés tradicional o modificado, el de arriba o abajo, el de gancho holandés y el descolgado que hoy es de los más usados. Al anudar la rafia al tallo, el ojal debe quedar holgado, para no estrangular el tallo. Conforme se va desarrollando el tallo, este se va liando con rafia o bien mediante clips, todo depende del costo de los mismos (Escudero, 1999)

Esta operación tiene que ser oportuna, un retraso en el mismo aumenta el riesgo de daños en los brotes (Escudero, 1993).

### **2.7.5 Poda de tallos**

Nuez (2001), el despunte del tallo principal, en cultivos de crecimiento indeterminado, es práctica habitual tras haber conseguido el número de inflorescencias deseado. Con ello se limita el ciclo y se contribuye a mejorar el tamaño del fruto.

El destalle o supresión de brotes axilares, como ya se indicó, es faena obligada en cultivares de crecimiento indeterminado. En cultivares de crecimiento determinado hay que actuar con más prudencia en supresión (Nisen et al., 1990).

### **2.7.6 Poda de hojas**

Nuez (2001), la supresión de hojas senescentes o enfermas es, asimismo, faena habitual, especialmente en invierno y ciclos largos. Permitiendo mejorar la aireación y, en consecuencia, la sanidad. Al proporcionar una mejor iluminación mejora la calidad del fruto, principalmente, el color. En general, el cultivo de tomate indeterminado en invernadero (ciclo largo) solo se mantiene con las hojas la porción de tallo correspondiente a 4 ó 5 ramos cuajados.

Escudero (1993), con el deshojado se consigue una mayor ventilación y mejora el color de los frutos. Garzón, et al., 2003, en la poda de las hojas, se van eliminando todas aquellas inferiores senescentes por debajo del último racimo que va madurando o pintando color. El corte de la hoja debe ser limpio y al ras del tallo principal para evitar entrada de patógenos (Botrytis). Evitar la poda severa de hojas. Es importante supervisar la buena ejecución de estas tareas. La poda de hojas debe ser equilibrada, también esta practica es útil para evitar el rajado de frutos en ciertas variedades.

### **2.7.7 Poda de frutos**

En caso de inflorescencias muy grandes, es usual suprimir algunas flores o frutos recién cuajados, despuntado de inflorescencias, para limitar el número de frutos, lo que incidirá positivamente en su tamaño y calidad. Es deseable, asimismo, la supresión temprana de flores y frutos defectuosos, evitando que compitan con los normales (Nuez, 2001).

La poda de frutos, es realizada con el fin de homogenizar y aumentar el tamaño de los frutos restantes, así como su calidad. El numero de frutos por ramillete incide sobre el tamaño final de los mismos (Escudero, 1993).

### **2.7.8 Polinización**

La transferencia de los granos de polen al estigma depende en parte de la longitud del estilo y para que se produzca la auto polinización el estigma debe de estar situado a la altura del cono de las anteras o por debajo de el. La longitud del estilo esta determinada genéticamente (Rick., 1978) y resulta afectada por las condiciones del cultivo. Para que se produzca la germinación, los granos de polen deben adherirse al estigma, para lo que es aconsejable que la humedad relativa se encuentre por encima del 70 % y la temperatura este en el intervalo de 17 °C a 24 °C (Ravestjin., 1970).

Para el cuajado de los frutos se utilizan varias técnicas: mecánico, mediante insectos o con hormonas del grupo de las auxinas (4 CPA, ANA, 19 MCPA) (Escudero, 1993; Muños, 2003).

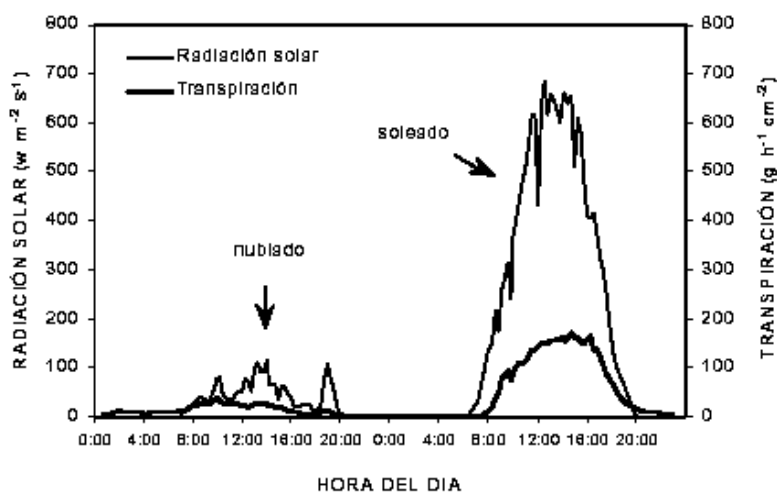
Si las condiciones necesarias de temperatura (23 a 25 °C en el día, 15 a 17 °C en la noche) y humedad relativa (60 a 80 %) no son ideales, lo cual puede llegar a ocurrir en invierno. En este caso, para el cuaje de frutos se recurre a hormonas del grupo de las auxinas. En caso de no ser así, se emplean métodos auxiliares para mover los ramilletes florales mediante vibradores, turbinas de aire o con abejorros (*Bombus sp.*) de preferencia, los cuales han tenido buen rendimiento y evitan el uso de hormonas (Muños, 2003).

## **2.8 Factores climáticos que el consumo de agua bajo invernadero**

### **2.8.1 Radiación solar**

La evapotranspiración ó ETc es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía que es proporcionada por la radiación.

La Figura 2.2 muestra la evolución diaria de la radiación y la transpiración de un cultivo de melón entutorado bajo invernadero en Almería durante un día soleado y un día nublado, esto nos demuestra la influencia de la radiación solar en el comportamiento de la transpiración de las plantas.



**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 (Datos cedidos por la Estación Experimental de Zonas Áridas, EEZA, CSIC).**

### 2.8.2 Temperatura

Leskovar, (2001), la planta controla su temperatura mediante la transpiración, disipando hasta un 50 por ciento de la energía que absorbe. Todas las especies responden a un rango de temperatura, dado que las relaciones bioquímicas están controladas por enzimas sensitivas al calor. 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).

El déficit de presión de vapor es una de las variables de entrada para la estimación de la evapotranspiración de referencia según el método patrón Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). 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).

Si aumenta la humedad atmosférica, disminuye la transpiración. La humedad atmosférica favorece una mayor apertura estomática, con lo que en 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 (CO<sub>2</sub>) para la fotosíntesis ( Elizondo y Contreras, 1996).

## **2.9 Programación del riego**

La programación del riego, es un elemento clave para el logro de altas eficiencias de uso del agua, requiere de indicadores capaces de detectar el momento de riego con la máxima precisión.

Una programación óptima del riego sería aquella en la que se pudiese medir con precisión el consumo de agua del cultivo. Sin embargo, a pesar de los avances en electrónica, tanto los sensores de medida del contenido de agua en el suelo, como los de medida del estado hídrico del cultivo presentan un alto costo y requieren de personal especializado para su mantenimiento. Por ello, su difusión a los agricultores puede verse limitada teniendo en cuenta que el agua de riego tiene un bajo costo en relación a otros insumos agrícolas (Caja Rural de Almería, 1997).

En la programación en tiempo real las estimaciones de la ET<sub>c</sub> 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<sub>c</sub>.

En invernaderos del norte de Europa, equipados con sistemas de control climático y cultivo sin suelo, se han desarrollado modelos para estimar la transpiración en cultivos de tomate (Stanghellini, 1987; Boulard y Jemaa, 1993) y ornamentales (Bailey et al., 1993; Baille et al., 1994), basados en parámetros climáticos (radiación solar, DPV) y propios del cultivo (índice de área foliar). La aplicación de estos modelos en otras zonas requiere que se contrasten las estimaciones, y en algunos casos será necesario realizar ajustes para adaptarlos a las nuevas condiciones climáticas.

En los últimos años se han desarrollado numerosas expresiones matemáticas o modelos para estimar la ET<sub>o</sub> a partir de datos climáticos.

Suele diferenciarse entre modelos de temperatura, radiación, combinadas, etc., en función de los datos climáticos necesarios. La elección de uno u otro modelo depende de la disponibilidad de datos climáticos y de la precisión de estos modelos en la zona donde se pretenda utilizarlos. Las expresiones combinadas son las más precisas pero requieren datos de temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del viento, los cuales no están disponibles en muchas zonas.

El modelo de la FAO Radiación es uno de los varios modelos que existen para la estimación del a Eto. Este modelo requiere de datos medidos dentro de invernadero temperatura y radiación solar.

La Figura 2.3 muestra la evolución estacional de la ETo y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería. Como se puede observar, la evolución de la ETo fue similar a la evolución de la radiación solar, pero la relación entre ambas varió a lo largo del año y estuvo relacionado con la evolución estacional de la temperatura. Por ello, se estableció una relación lineal entre la ETo y la radiación solar con el día del año, eliminando así el efecto de la temperatura y simplificando de esta forma el modelo FAO Radiación.

El modelo propuesto es:

- Si  $DDA < 220$

$$E_{To} = (0.288 + 0.0019 \times DDA) \times R_{sinv}$$

- Si  $DDA > 220$

$$E_{To} = (1.339 - 0.00288 \times DDA) \times R_{sinv}$$

Donde:

DDA es el día del año, siendo el 1 de enero el día 1 y el 31 de diciembre el día 365,  $R_{sinv}$  es la radiación solar dentro de invernadero expresada en mm día<sup>-1</sup> (mm día<sup>-1</sup> = MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> / (2.454 MJ kg<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O)). En caso de no disponer de sensor de radiación, los valores de radiación dentro de invernadero pueden estimarse a partir de datos medidos en exterior y un valor de transmisividad, que es función del material de cubierta, tipo de cubierta, encalado, etc.

$$R_{sinv} = R_{s\ ext} \times T$$

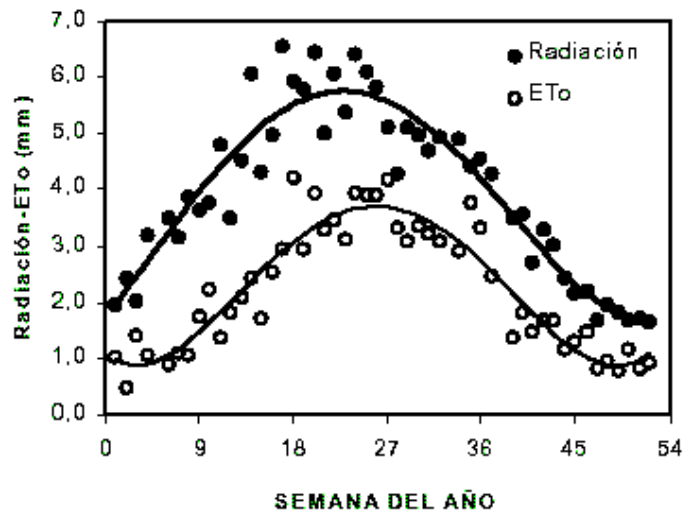
Donde:

$R_{s\ ext}$  es la radiación solar medida en exterior, T es la transmisividad de la cubierta.

Dado que la mayoría de los invernaderos no dispone de sensores climáticos, con este modelo es posible utilizar datos de radiación exterior medidos en estaciones meteorológicas próximas, ya que para una misma latitud la radiación que recibe una región es similar (Allen et al., 1998).

Fig. 2.3 evolución estacional de la ETo y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería

Fig. 2.3 Evolución estacional de la ETo y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería.



## 2.10 Productividad de los cultivos según la intercepción de luz por el dosel.

Una de las principales funciones de dosel de las hojas, es interceptar la radiación solar necesaria par llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

La producción de materia seca por un cultivo en un medio ambiente sin estrés, esta directamente relacionada con la cantidad de radiación fotosintética activa interceptada (IPAR). La relación entre la IPAR y la cantidad de materia seca producida por un cultivo es lineal (Gallagher y Biscoe, 1978).

La cantidad de energía potencialmente disponible para la fotosíntesis y que es capturada por el follaje del cultivo, es definida como radiación fotosintética activa absorbida por el cultivo (APAR) (Gallo y Daughtry.1986).

## III. MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Descripción del sitio experimental

#### 3.1.1 Localización

El presente trabajo de investigación se llevo a cabo en los ciclos Primavera-Verano-Otoño en dos años (2004 y 2005), en un invernadero en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Grenwich y a una altura de 1610 msnm.

#### 3.1.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y 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 pluvial 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**

Se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre Gabriella de la casa comercial Hazera, es de madurez tardía, de vida de anaquel prolongada, tiene la alternativa de cosecharse en racimos ya que la posición de los frutos le dan esta característica, el fruto madura preferentemente en rojo para ser un fruto de larga vida de anaquel.

Es un híbrido que no requiere de altas cantidades de nitrógeno y agua, su rango de adaptabilidad es muy grande aun en suelos con conductividad eléctrica alta. Es una planta apta para producción en invernadero, llegando bajo estas condiciones hasta 30-35 racimos y recomendada para utilizarse los ciclos de otoño temprano hasta primavera tardía.

#### Características generales de la planta

- Nombre de la variedad: H Gabriella (Fa-593)
- Tipo de planta: Indeterminada muy vigorosa
- Madurez relativa: Intermedia



- Resistencia a enfermedades: V (*Verticillium* F1 y F2, *Fusarium* 1 y 2), TMV (Virus del mosaico del tabaco), N (Nematodos)

#### Características generales de la fruta

- Peso (gr.): 180 – 210 gramos
- Forma: Achatado globoso
- Hombros: Hombros color verde claro
- Firmeza: Excelente
- Vida de anaquel: Muy prolongada

### 3.3 Establecimiento del experimento

El experimento se realizó en un invernadero de doble capilla de una superficie de 1250 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 50 m de largo (Este - Oeste) y 25 m de ancho (Norte - Sur) de estructura metálica con cubierta de polietileno térmico “larga duración” de color blanco translúcido, de 180 micras de espesor (calibre 720). El invernadero estuvo equipado con control de clima y equipo de fertirriego computarizado.

El área sembrada fue de  $1000 \text{ m}^2$  y estuvo dividida en: sección de manejo del cultivo en sustrato (perlita) con las válvulas 4 y 5 y en la sección con manejo del cultivo en suelo por las válvulas 6 y 7.

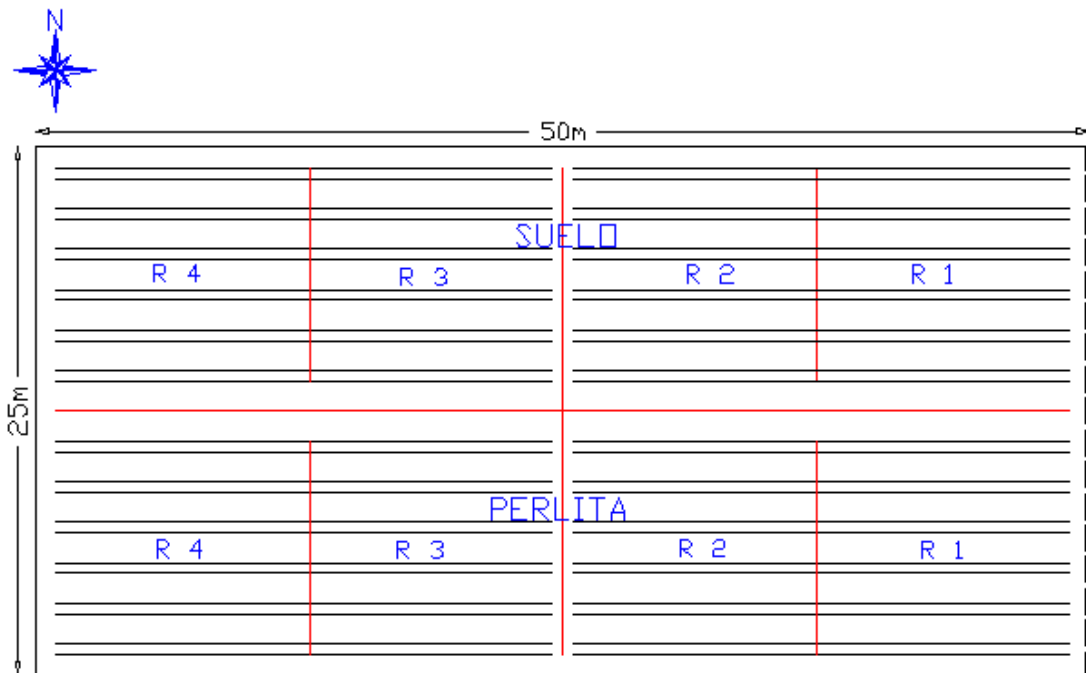


Fig. 3.1 Croquis de los tratamientos y repeticiones dentro del invernadero.

### 3.4 Preparación del invernadero

#### 3.4.1 Preparación de camas para el cultivo en sustrato

Se hicieron seis camas, en la parte sur del invernadero, con un canal en el centro, las camas fueron hechas con una pendiente leve de aproximadamente 0.5 % de tal manera que el drenaje de los sacos tendiera a dirigirse al canal principal ubicado en la parte central del invernadero orientado transversalmente. Cabe mencionar que se dejó un poco más

ancho uno de los costados (costado norte) de la cama para poder colocar los sacos con sustrato. La distancia entre camas fue aproximadamente de 1.80 m y se acolcharon con un plástico de color blanco, de tal forma que el plástico adoptara la forma de la cama para que este mismo fuera el material de recubrimiento del canal de drenaje.

Se colocaron los tacos contenedores del sustrato, estos fueron hechos de plástico de color blanco calibre 400, con una longitud aproximada de 90 cm y un ancho de 40 cm, el total de sacos por cama fue de 40 sacos y cada uno contendría a 6 plantas de tomate. El sustrato utilizado fue perlita mineral expandida de la marca comercial multiperl.

Se tendieron mangueras de poliducto de flujo horizontal de ½" con goteros de 4 lph de tal manera que cada taco sería abastecido por 1.5 goteros, los goteros constaban con un distribuidor de 4 salidas unidas a una estaca por un tramo de tubin.

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 a una frecuencia de riego a cada 15 minutos con el mismo tiempo de aplicación. Los riegos tenían inicio diariamente a las 8 a.m.

### **3.4.2 Preparación de las camas para el cultivo en suelo**

En la parte norte del invernadero se hicieron seis camas normales, de la misma manera fueron acolchadas con plástico blanco. Cada cama albergaría aproximadamente a 240 plantas.

Cada una de las camas estaba equipada con una cinta de riego netafim modelo SL – 60 – F, con un espaciamiento entre goteros a cada 30 cm y con un gasto por gotero de .87 lph.

### **3.4.3 Siembra**

Si la siembra se hace en charolas que ya han sido utilizadas anteriormente, es recomendable que se haga una desinfección, en este caso la desinfección de las charolas se hizo el 17 de enero del 2005. Las charolas de 200 cavidades cada una se llenó posteriormente con peat moss.

El 04 de febrero de 2005 se preparó la semilla para sembrarse, se depositó la semilla en cada cavidad y se humedeció el sustrato, posteriormente se trasladaron a un invernadero donde se apilaron y fueron cubiertas con un plástico color negro para proporcionarles la temperatura adecuada, se revisaba todos los días hasta que la semilla germinara, una vez aparecida la plúmula, se retiraban y recibían dos riegos por día de dos minutos cada uno. Posteriormente la frecuencia de riego fue de cuatro riegos por día de un minuto de duración, las plántulas estuvieron en estas condiciones aproximadamente 2 meses.

### 3.4.4 Transplante.

El transplante se llevó acabo el día 27 de abril del 2005; para el caso del transplante en suelo, los agujeros donde seria depositada la plántula, fueron desinfectados con pentacloronitrobenceno (PCNB), a una dosis de 350 ml/500 m<sup>2</sup>, esto con el fin de evitar la proliferación de hongos y otros patógenos.

### 3.3.5 Fertirrigación

La solución nutritiva se hizo de acuerdo a lo que muestra en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Aportación Proporcional de Nutrimientos para el Cultivo de Tomate Variedad Gabriela en condiciones de Invernadero.

<b>PERIODO</b>	<b>N ppm (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>P2O5 ppm (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>K2O ppm (g/m<sup>3</sup>)</b>
Del transplante al primer racimo.	75 – 100	75 - 100	75 – 100
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5º racimo.	120 - 150	72 – 90	180 - 225
Del 5º. 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 NETAFIN modelo ELGAL 2000. Este equipo se fue programando conforme se requería, según las demandas del clima y el manejo agronómico.

### **3.5 Labores culturales**

#### **3.5.1 Entutorado**

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales.

Este procedimiento se realizó con rafia de color blanco la cual estaba enrollada a un gancho de metal, mismo que se suspendía al emparrillado (malla de alambre sujeta a la estructura del invernadero) del invernadero, la rafia estaba sujeta a la base de la planta por un anillo de plástico. La planta se fue guiando por el hilo tutor según su crecimiento, de tal manera que siempre el desarrollo fue hacia arriba para que esta recibiera siempre la máxima cantidad de luminosidad. Cabe mencionar que esta labor fue realizada desde el transplante hasta el fin del ciclo, llevándose a cabo aproximadamente cada ocho días.

#### **3.5.2 Poda de brotes o crecimiento axilar**

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó aproximadamente cada 10 días, con la aparición de los tallos laterales, tratando de que fuera lo más oportuno posible. La poda se realizó con tijeras especiales para este fin.

### 3.5.3 Poda de hojas

Es recomendable en las hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que va madurando con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas. Se trató que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada posible y que se realizara con cuidado para evitar estresar la planta.

Se realizó aproximadamente cada 15 días, sacando inmediatamente del invernadero todas aquellas hojas enfermas para evitar una posible disipación de patógenos; al igual que en la poda de brotes esta práctica se hizo con tijeras especiales.

### 3.5.4 Control de plagas y enfermedades

Se realizaron aplicaciones semanales para un control preventivo con los siguientes productos: Endusolfan, Foltrón, Cupertrón, Flonex Cupravit, Azinfos, Cuperhidro, Rescate, Metox y Trigard. También se presentaron algunas plagas como fue la Mosquita blanca y Pulgón, los cuales fueron combatidos con MemidoFos.

Después de las podas de tallos y hojas, los residuos se retiraban del invernadero, así como hojas y plantas que estuviesen enfermas, esto con la finalidad de evitar posibles enfermedades y proliferación de estas.

### **3.6 Metodología en la toma de datos y obtención de los resultados.**

#### **3.6.1 Toma de datos de la radiación total diaria en el interior del invernadero**

Estos datos fueron tomados dentro del invernadero con un sensor pyranómetro, modelo LI-200SA de LI-COR; el cual estaba conectado a un datalogger modelo LI-200 de LI-COR.

Los datos de la radiación solar total diaria se graficaron tal y como se obtuvieron del equipo Dataloger (referidos a los Días Depuse del Transplante (DDT) del cultivo).

#### **3.6.2 Toma de datos de la Radiación fotosintética activa (PAR) incidente.**

Para la medición de este parámetro se instalaron dos torres dentro del invernadero, una para cada tipo de producción (suelo y perlita), cada torre medía, hasta el punto H, 2.4 m de altura con respecto al suelo con las siguientes especificaciones:

##### **1) Torre instalada en el sistema de producción bajo sustrato perlita**

En la parte superior, por encima del dosel del cultivo, a 2.4m (H) con respecto al suelo, se instaló un sensor quantum modelo QSO de Apogee



Instrument Inc.; orientado hacia el cenit para medir la PAR incidente en el dosel a la altura H (la cual no correspondía a la altura del dosel del cultivo pues la altura del cultivo se mantenía menor). En seguida, a  $1/3$  de la H ( $H_{1/3}$ ), se instaló una barra de luz Modelo: LQS7010: de 10 sensores, 70 cm de longitud de Apogee Instruments Inc. para tomar datos de la PAR incidente en este estrato; de la misma manera se instaló otra barra de luz a  $2/3$  de H, igualmente para obtener datos de la PAR incidente en este punto del dosel ( $H_{2/3}$ ).

## **2) Torre instalada en el sistema de producción en suelo**

Se llevó a cabo el mismo tipo de instalación que en la sección de producción en perlita (dos barras de luz del mismo modelo), además la altura H fue la misma, solo que ya no se tenía un sensor para volver a tomar la PAR incidente a la altura H, pues se consideró que la distribución espacial de la PAR incidente dentro del invernadero era la misma.

En ambas torres se instalaron los sensores (para medir la PAR), los cuales mandaban la señal a un micrologger modelo CR 23X de Campbell SCI.,Inc, que almacenaba los datos cada 15 minutos, para conocer la evolución de la PAR en el dosel del cultivo.

En este caso se muestran los valores instantáneos de la PAR incidente que se obtuvieron directamente en campo durante el ciclo del cultivo. Sin embargo para la obtención de la energía incidente diaria de la PAR en

diferentes alturas del dosel, los valores instantáneos de la PAR incidente fueron integraron.

### **3.6.3 Estimación del agua consumida diariamente con la bandeja de drenaje.**

Para el cálculo del consumo de agua de forma directa se hizo por el método volumétrico; en este se llevó a cabo el procedimiento de la bandeja de drenaje. 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 calculo por la siguiente ecuación.

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

Donde:

CA = Volumen de agua consumido de la superficie de la bandeja (l/m<sup>2</sup>/día)

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

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

N<sub>pb</sub> = Números de plantas puestas en la bandeja de drenaje

N<sub>pm</sub> = Número de plantas por metro cuadrado de superficie

La elección del material de la bandeja se hizo de acuerdo a lo que dice la literatura. Se usaron charolas ligeramente más grandes que los tacos que contenían el sustrato. Los componentes de la bandeja de drenaje son los siguientes:

- Bandeja de drenaje de 2 m de largo por 45 cm de ancho.
- 2 tacos con sustrato.
- Manguera flexible de 1/2 pulgada.
- Tanque colector de drenaje (ánforas de plástico de 22 litros).
- Recipiente para captar el volumen de entrada (garrafones de Plástico de 19.7 litros).
- Goteros de control o de referencia.

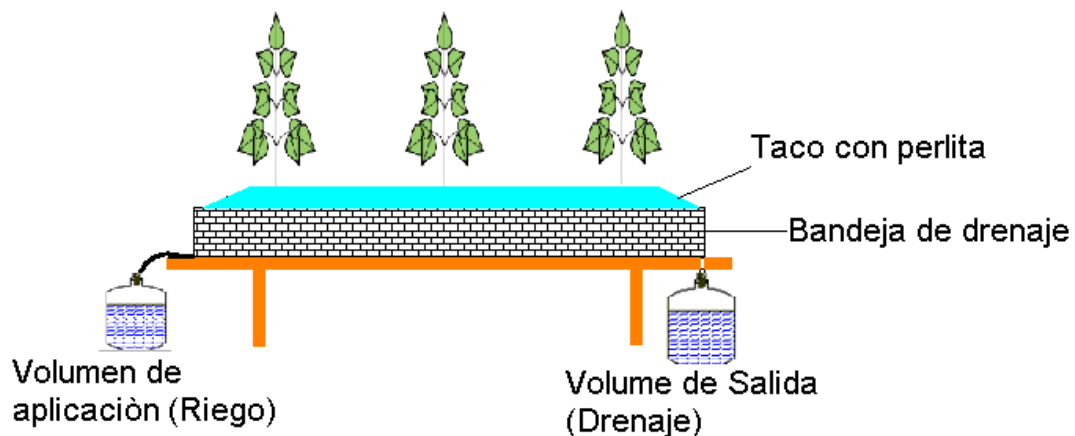


Fig. 3.2 Esquema de la bandeja de drenaje.

La toma de los datos se hizo con dos bandejas, una bandeja automatizada equipada con dos pluviómetros electrónicos que registraban datos de riego y drenaje durante todo el día, y una bandeja manual en la que las lecturas de riego y drenaje fueron tomadas diariamente a las 8:00 de la

mañana poco antes de que se diera el primer riego, para que de esta forma se obtuviera el consumo del día anterior mediante la diferencia de los datos de riego menos los de drenaje.

### **3.6.4 Toma de datos con pluviómetros electrónicos**

Los volúmenes de agua aplicados (de seis 6 goteros) y drenados de un taco de perlita (con seis plantas) se obtuvieron utilizaron los siguientes pluviómetros: pluviómetro modelo 1000-20 de LI-COR conectado a un datalogger modelo LI-1200 (que daba un valor total integrado diariamente) y otro pluviómetro modelo TR-5251 de Texas Electronics, Inc. conectado a un micrologger modelo CR 23 X de Campbell SCI (que registraba valores cada 15 minutos las 24 hrs).



Fig. 3.3 Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251



Fig. 3.4 Pluviómetro Li-COR, Modelo 1000-20.

En el caso del consumo en la parte de producción en suelo, este se obtuvo evaluado el comportamiento de la humedad del suelo mediante las lecturas de los TDR.

### **3.6.5 Toma de datos para el registro del comportamiento de la humedad en el sistema radicular tanto en suelo como en perlita.**

Para medir el comportamiento de la humedad en el sistema raíces – sustrato, se utilizó un sensor TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) modelo

CSG615-L\*282316, el cual estaba conectado a un micrologger modelo CR 23X de Campbell SCI.

En el caso de perlita sensor TDR se instaló en el taco que contenía 6 plantas de la válvula 4(al cual se le tomaba el drenaje con 6 goteros).

En el caso de suelo el sensor TDR se colocó directamente en el suelo, esto se hizo en lugares que fueran representativos en esa área.

En las 24 hrs del día, los datos de los TDR eran registrados cada 15 minutos en el micrologger CR 23X de Campbell SCI. .

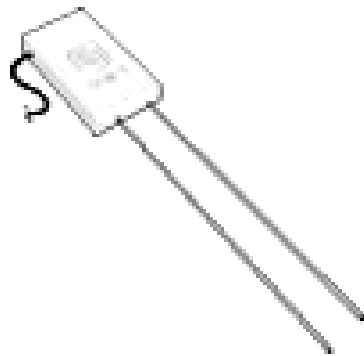


Fig. 3.5 TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) modelo CSG615-L\*282316.



Fig. 3.6 Vista de la posición del TDR en el saco de perlita.

### 3.6.6 Obtención de la ETo.

La ETo del cultivo fue obtenida mediante el modelo propuesto por la FAO basado en la radiación solar como se muestra a continuación:

- Si  $DDA < 220$

$$E_{To} = (0.288 + 0.0019 \times DDA) \times R_{sinv}$$

- Si  $DDA > 220$

$$E_{To} = (1.339 - 0.00288 \times DDA) \times R_{sinv}$$

### 3.6.7 Toma de datos de las variables físicas del cultivo (área foliar, longitud y materia seca).

La toma de datos de estas variables, se hizo a partir de muestreos realizados cada 15 días, para los últimos dos periodos de observaron. Se muestrearon plantas representativas de cada uno de los tratamientos las cuales se trasladaron al laboratorio para, tomar su longitud con una cinta métrica, y el área foliar con integrador de área foliara marca LI-COR, mientras que para materia seca se metieron las muestras a la estufa de secado de para después pesar por separado, hojas tallos y frutos.

#### **3.6.8 Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de producción.**

El rendimiento del cultivo que se obtenía en kg fue extrapolado a toneladas por hectárea en base al área de producción en el interior del invernadero.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Radiación solar ( $R_s$ )

Los datos recavados de radiación solar ( $R_s$ ) en el año 2005 se muestran en la figura 4.1, mientras que los datos de radiación solar para el 2004 están representados por la gráfica de la figura 4.2, cabe mencionar que existe una diferencia entre los días después del transplante (DDT) entre ambos años puesto que la fecha del transplante no se hizo el mismo día del año (DDA) existiendo una diferencia de aproximadamente 10 días.

El comportamiento de la radiación total diaria (MJ) para el ciclo completo del cultivo de tomate observa una tendencia que obedece a las estaciones del año, de tal manera que los valores mas elevados de radiación de 22.09 MJ para el 2005 y de 20 MJ para el 2004 los podemos encontrar en días correspondientes a verano, se observa como los valores tienden a disminuir al comienzo del otoño, en ambas figuras los días que tienen valores pequeños con respecto al los datos consecutivos o que los anteceden, corresponden a días nublados.

Haciendo una comparación del comportamiento de la radiación total (MJ) para el 2004 y 2005, se nota claramente como en ambas figuras 4.1 y 4.2 el comportamiento de los datos es parecido, por ejemplo, para los meses de junio y julio (DDT 65-95 para el 2005 y DDT 49-109 para el 2004) en ambos casos estos meses son en los que se encuentra la mayoría de datos con la radiación mas elevada, llegan a sobrepasar los 20 MJ, esto debido a que son meses que

corresponden a pleno verano en donde los foto períodos son mas largos, sin embargo a mediados del mes de septiembre, a partir del DDT 141 para el 2005 y el DDT155 para el 2004, la radiación total diaria tiende a decaer en promedio a 11.6 MJ, esto es debido al comienzo del otoño y a que el tiempo de horas luz disminuye considerablemente.

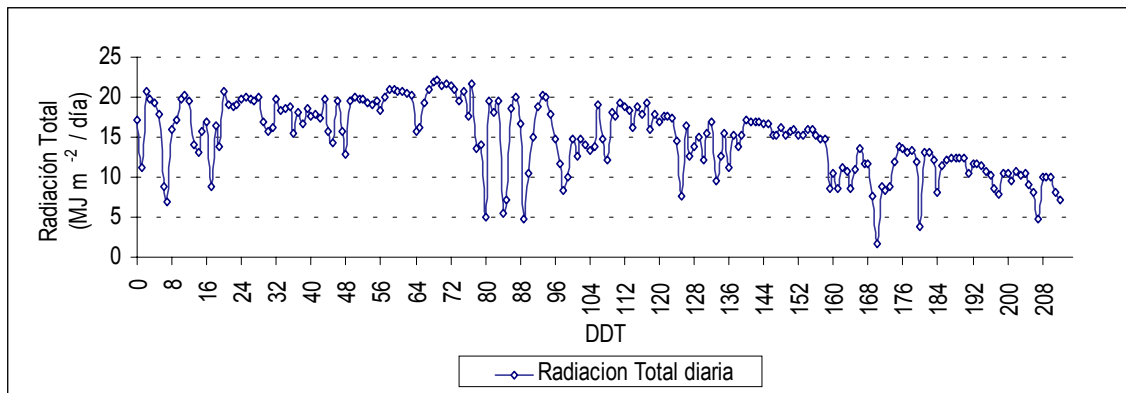


Fig. 4.1 Radiación total diaria en el interior del invernadero desde el día uno después del transplante hasta el día 212 después del transplante en el año 2005.

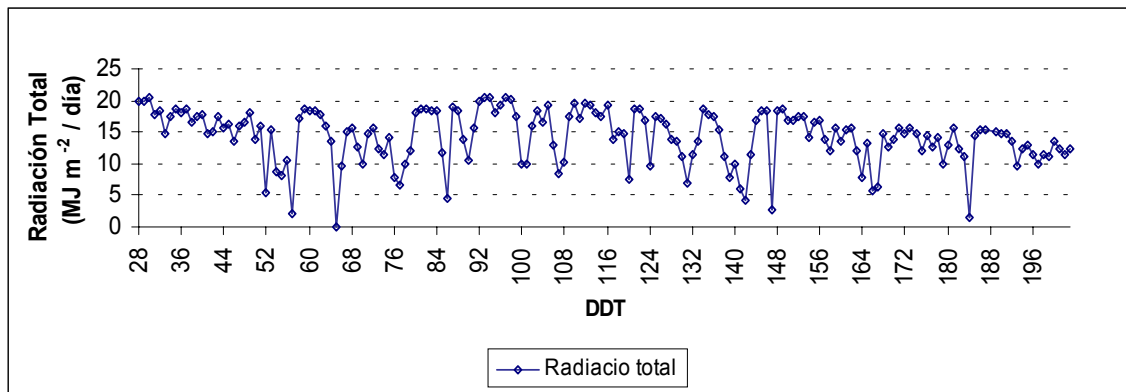


Fig. 4.2 Radiación total diaria en el interior del invernadero desde el día 28 después del transplante hasta el día 203 después del transplante en el año 2004.

Las figuras 4.3 y 4.4 muestran el comportamiento de la radiación solar y la ETo en mm, para el año 2005 y 2004 respectivamente. La tendencia de los datos concuerda con lo señalado por el modelo de Radiación de la FAO de<sub>60</sub>

tal manera que en verano se dan los valores mas altos de radiación y en invierno se dan los valores mas bajos, la tabla 4.1 muestra los valores maximos y minimos para cada caso. En las figuras observa como la tendecia de la Radiación es muy similiar a la tendencia de los datos de ETo, esto quier decir que al aumentar la radiación aumenta la ETo y de la misma manera al disminuir la radiación disminuye la ETo.

Cuadro 4.1 Valores maximos y minimos de radiacion y ETo para los años 2005 y 2004.

	Radiación (mm)		ETo (mm)	
	Máximo	Minimo	Máximo	Minimo
2005	9.0	2.86	5.82	1.22
2004	8.33	4.00	5.57	1.90

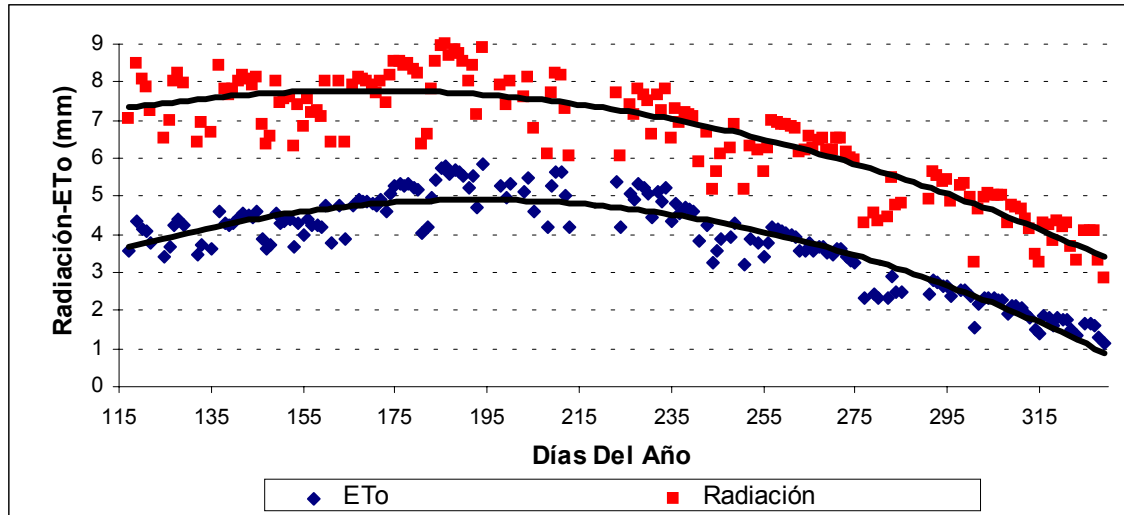


Fig 4.3 Evolución de la Radiación y de la ETo a lo largo del ciclo del cultivo para el año 2005.

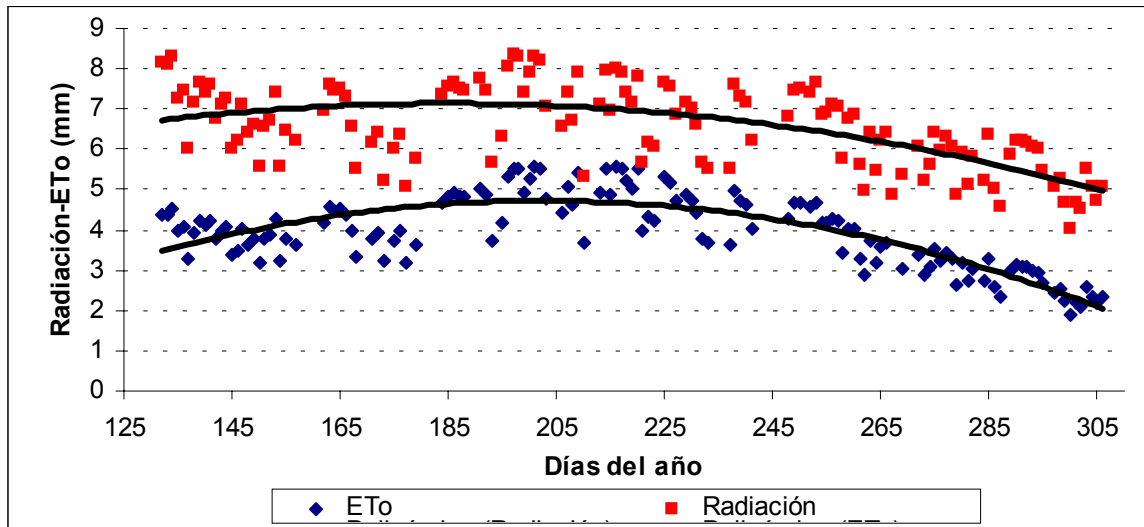


Fig. 4.4 Evolucion de la Radiación y de la ETo a lo largo del ciclo delcultivo para el año 2004.

La figura 4.5 presenta la correlacion que existe entre el cosumo de agua ETo y la Radiacion solar total expresada en milimetros, como se obserava el coeficiente de correlacion es aceptable ( $r^2 = 0.9174$ ), la ecuacion precentada en la figura 4.5 especifica que por cada unidad que aumenta de radiación la ETo es influenciada en un 78.5 % con una exatitud del 91.74 %, en este caso para cada valor de radiación existe uno de consumo, por ejemplo para un valor acumulado de radiación de 0.683 mm el consumo acumulado por la planta es de .350 mm.

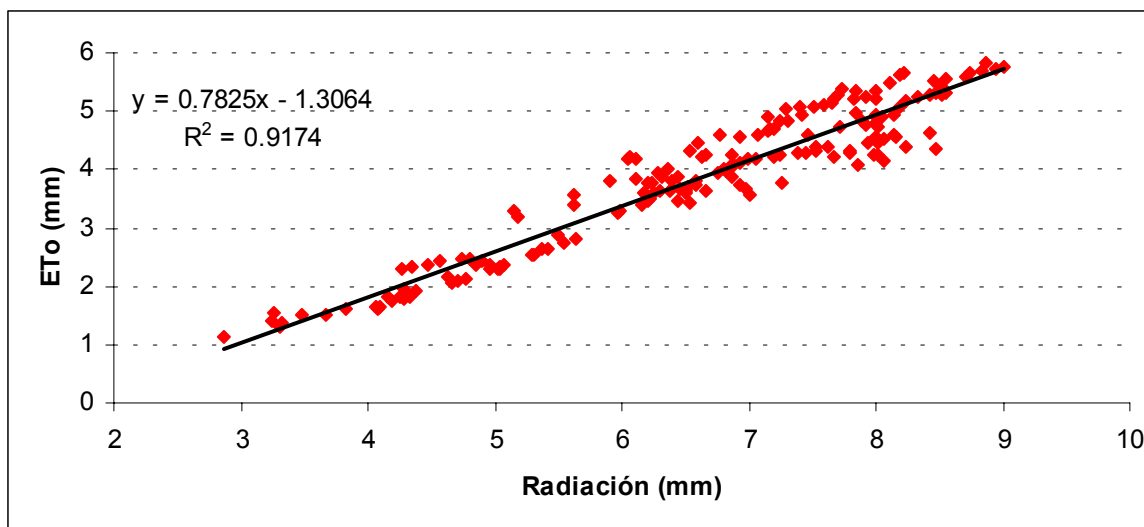


Fig. 4.5 Relación entre la ETo y la Radiación para el ciclo de cultivo 2005 en el sistema de producción en perlita.

En la figura 4.6, se observa el comportamiento de la radiación en  $W m^{-2}$  de todo un día, para el día con mas alta radiación total (a) y para uno de los días con menor radiación (b) en el ciclo de cultivo 2005, se obseva claramente como el comportamiento de las curvas es similar, los valores mas altos para el día con mayor radiación total van de 709-764  $W m^{-2}$  para el DDT 68 y para el DDT 202 con menor radiación total estos van de 550-590  $W m^{-2}$ , en ambos casos estos valores de radiación se dan entre las 13:00:00 y las 15:00:00 horas, el comportamiento de los valores obedece al recorrido y a la pocición del sol durante el día, este comportamiento coincide con el obsevado por Ortega (2002) en un cultivo de tomate industrial en Talca Chile, en donde los valores maximos de radiación tamados cada 20 minutos se dieron a medio dia.

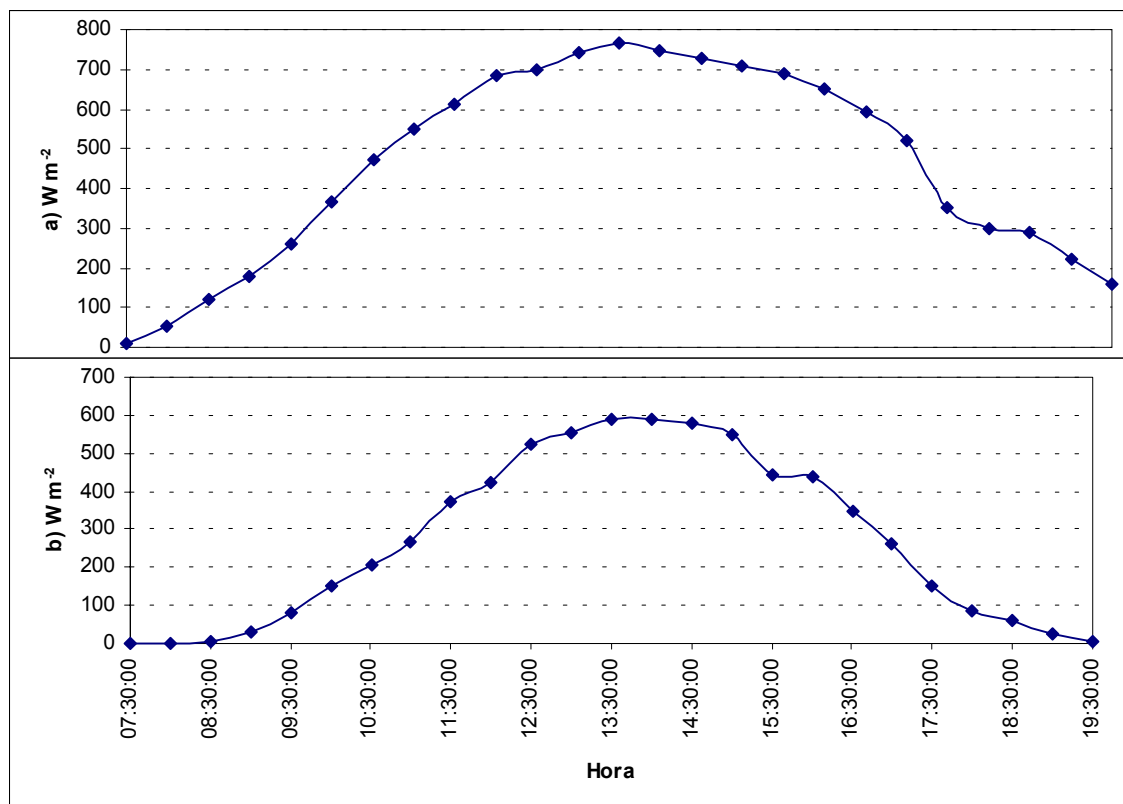


Fig. 4.6 Comportamiento la radiación ( $W m^{-2}$  ) durante todo un día, en los días con mas alta (a) y mas baja (b) radiación solar total, para los días 68 y 170 respectivamente.

## **Radiación fotosintética activa (PAR) (0.4 a 0.7 $\mu\text{m}$ de longitud de onda)**

En este caso se analizan el comportamiento de la Radiación Fotosintética Activa (PAR) en el dosel de cultivo. Para el análisis de los datos, el ciclo del cultivo se divide en 5 periodos de observación: primer periodo (del trasplante al primer racimo), segundo periodo (del primer racimo hasta el cuajado completo del 5° racimo), tercer periodo (del 5° racimo al comienzo de la cosecha), cuarto periodo (cosecha) y quinto periodo (últimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha).

La tendencia de la Radiación fotosintética activa (PAR) a diferentes alturas del dosel  $H_{1/3}$  (0.8 m),  $H_{2/3}$  (1.6 m) y  $H$  (2.4 m), del cultivo es muy similar para ambos tipos de producción (perlita y suelo). En la figura 4.7 se muestra el comportamiento de la PAR en el cultivo de tomate en días específicos de los periodos de observación del cultivo, para ambas formas de producción. En esta figura, se puede ver que el comportamiento de la PAR en día 28 DDT correspondiente al primer periodo las alturas inferiores del dosel ( $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ ), difiere en gran medida con las otras cuatro etapas, esto se debe principalmente a que en esta periodo el cultivo aun no alcanzaba la altura suficiente para cubrir las barras de luz y además las hojas del cultivo aun no se desarrollaban al grado de influir significativamente en la medición de las barras.

Las gráficas en la figura 4.7, muestran claramente la evolución de la PAR incidente que se dio en el desarrollo del cultivo, entre la gráfica b (del primer racimo hasta el cuajado completo del quinto racimo) y c (del quinto racimo hasta el comienzo de la cosecha), existe una variación bien marcada en la altura  $H_{1/3}$  del dosel, se nota claramente que en ambos sistemas de producción la PAR incidente en esa altura decae considerablemente con respecto a la altura  $H_{2/3}$ , esto se debe principalmente a que para el último de estos periodos el dosel del cultivo se encuentra más desarrollado y por ser la parte más baja del dosel la radiación que llega hasta este es escasa. Entre las gráficas c (del quinto

racimo hasta el comienso de la cosecha) y d ( Cosecha), tambien existe diferencias marcadas pero ahora en la altura  $H_{2/3}$  del dosel, la PAR incidente decrece para ambos tipos de produccion, de igual manera esto se debe principalmete al desarrollo del cultivo, para el cuarto periodo (Cosecha) la planta esta totalmete desarrollada con laturas promedio de 3.74 m y con un área folira promedio de  $0.83 \text{ m}^2$ , porlotanto el dosel influye directamente en la medición de las barras de luz.

En el ultimo periodo (Ultimas ocho semanas hasta el fin de la cosecha), el comportamiento varia un poco en ambas alturas del dosel, la PAR en la parte baja del dosel ( $H_{1/3}$ ) se incrementa, esto se debe mas que nada al manejo agronomico del cultivo ya que los sensores respondian rapidamente, en este peroido las plantas alcanzan longitudes promedio de 5.0 m y area foliar promedio de  $0.606 \text{ m}^2$ .

Haciendo una observación general del comportamieto de la PAR en la figura 4.7, es notorio que para la mayoria de los días seleccionados los máximos valores de la PAR incidente en las alturas H,  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ , y para ambos sistemas de produccion se dan entre las 13:00 y las 15:00 horas, coincidiendo de esta manera con la posición de sol en el senit. Tambien es claro que el comportamiento de la PAR a diferentes alturas esta relacionada con el desarrollo del cultivo durante su ciclo.

Olea 2005, reporta la mismas tendencias de la PAR incidente en el cultivo de tomate, llegando a los maximos valores entre las 13:00 y las 15:00 horas, con valores maximos de PAR proximos a  $1400 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .



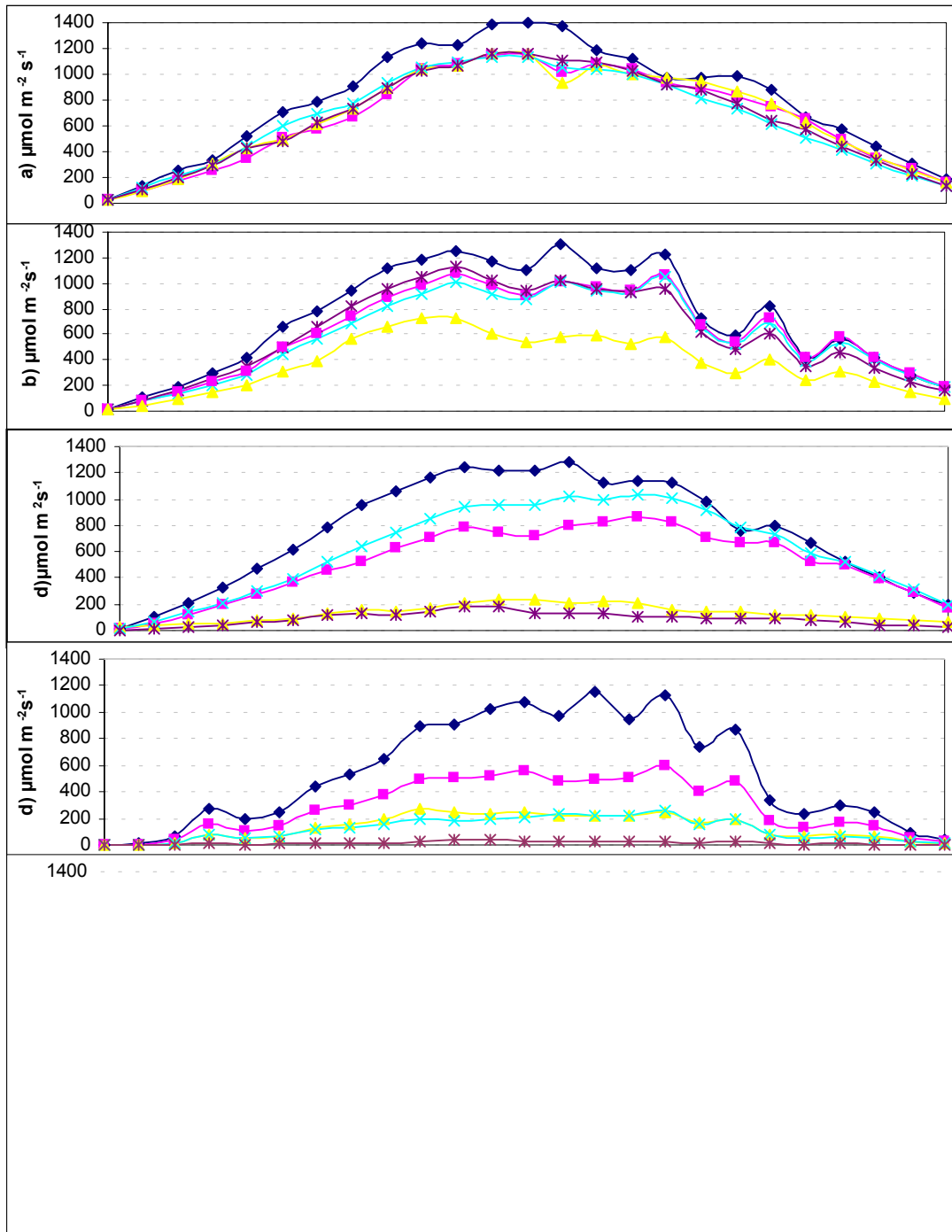


Fig. 4.7 PAR Incidente en el interior del invernadero a diferentes alturas del dosel (H, H<sub>1/3</sub>, H<sub>2/3</sub>), según el sistema de producción (suelo y perlita) en días específicos de los periodos de observación, a (DDT 37), b(48), c(72), d(138) y e (159).

Cuadro 4.2 Porcentajes promedio de la de PAR incidente, en las alturas  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ , por periodos de observacion, primer periodo (a), segundo periodo (b), tercer periodo (c), cuarto periodo (d) y quinto periodo (e).

<b>Altura</b>	<b>% Suelo</b>	<b>% Perlita</b>
$H_{1/3}$ (a)	82.706	82.197
$H_{2/3}$ (a)	85.619	83.538
$H_{1/3}$ (b)	83.631	48.708
$H_{2/3}$ (b)	80.281	82.428
$H_{1/3}$ (c)	11.375	18.267
$H_{2/3}$ (c)	82.643	66.154
$H_{1/3}$ (d)	2.512	21.836
$H_{2/3}$ (d)	20.639	49.007
$H_{1/3}$ (e)	28.116	37.131
$H_{2/3}$ (e)	30.063	68.624

En la figura 4.8, se presenta el comportamiento de la PAR incidente integrada a diversas alturas del dosel del cultivo ( $H$ ,  $H_{1/3}$ ,  $H_{2/3}$ ), en los últimos cuatro periodos del mismo, los días con radiación baja corresponde a días con alta nubosidad, mientras que los días con valores altos de PAR incidente integrada corresponden a días despejados o con nubosidad no significativa.

La primera grafica (a) de la figura 4.8, muestran el comportamiento del segundo periodo, las barras prácticamente no tiene influencia del dosel del cultivo, esto simplemente se debe a que el cultivo no tiene el suficiente desarrollo como para influir el la toma de los datos.

En la grafica b (tercer periodo), se nota como la PAR incidente integrada en la parte baja del dosel ( $H_{1/3}$ ) empieza a decaer para la parte de producción en suelo, mientras que en la parte de perlita el comportamiento de la PAR es el mismo en ambas alturas del dosel, esto puede deberse principalmente al desarrollo del cultivo en estas etapas.

En la gráfica c (cuarto periodo), existe una tendencia de la PAR a disminuir en el estrato inferior de ambos sistemas de producción, también se observa que la PAR a la altura  $H_{2/3}$  de la parte de producción en suelo disminuye considerablemente, en este caso la longitud promedio de las plantas para este período es de 4.78 m con una área foliar de  $0.8 \text{ m}^2$  para el sistema de producción en suelo, mientras que para el sistema de producción en perlita la longitud promedio es de 5 m con un área foliar de  $0.6 \text{ m}^2$ , esto explica que la PAR en el estrato superior del dosel en el sistema de producción en suelo tenga una tendencia más marcada a disminuir, puesto que el área foliar es mayor en la partes en suelo.

En la última grafica (d) en la parte de producción en suelo los primeros días del período tomado (154-64), la PAR incidente en  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$  es prácticamente nula y a partir del DDT 157 comienza a llegar a valores más altos que  $H_{1/3}$  de perlita, en este caso el dosel provocó un cubrimiento total de las barras impidiendo de esta manera la penetración de la PAR en los estratos del dosel.

En general, la mayor parte de la PAR se distribuye en la parte superior del cultivo, mientras que en la parte baja del dosel la radiación por lo regular es menor. Al igual que en la PAR incidente instantánea, el comportamiento de la PAR integrada también obedece al desarrollo del cultivo de tomate.

Olea 2005, reporta que la PAR integrada en el cultivo de tomate bajo

condiciones de invernadero tiene un comportamiento que obedece a las estaciones del año, y al desarrollo de la planta, coincidiendo con lo que se muestra en la figura 4.4 de esta investigación.

Es preciso señalar que algunas variaciones en las mediciones pueden deberse que los sensores respondían rápidamente a factores físicos que podían influir un poco en algunas de las mediciones, por lo tanto para evitar este tipo de errores en la medición, se debe de revisar su nivelación y estado de limpieza en periodos de tiempo cortos. La diferencia de en las mediciones entre sistemas de producción se debe mas que nada a la diferencia en crecimiento entre estos.

Cuadro 4.3 Variación de los rangos de porcentajes de PAR incidente integrada en los diferentes estratos del dosel del cultivo para ambos sistemas de producción, según el periodo del cultivo: segunda etapa (a), tercera etapa (b), cuarta etapa (c) y quinta etapa (d).

Estrato	PAR incidente integrada en Perlita ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	PAR incidente integrada en Suelo ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
	% máximo	% máximo
H <sub>1/3</sub> (a)	86.05	84.5
H <sub>2/3</sub> (a)	86.05	85.06
H <sub>1/3</sub> (b)	85.7	18.39
H <sub>2/3</sub> (b)	85.7	86.4
H <sub>1/3</sub> (c)	24.7	4.6
H <sub>2/3</sub> (c)	59.6	42.1
H <sub>1/3</sub> (d)	57.8	68.2
H <sub>2/3</sub> (d)	79.9	89.5

El cuadro 4.1 presenta el valor máximo de los porcentajes de la PAR integrada en las alturas H<sub>1/3</sub>, H<sub>2/3</sub>, con respecto a la PAR incidente a la altura

H, el la parte de perlita para el segundo periodo (a) y tercer periodo (b) el porcentaje máximo, es el mismo para ambas alturas, esto corrobora el comportamiento de los datos presentados en las gráficas de la figura 4.5.

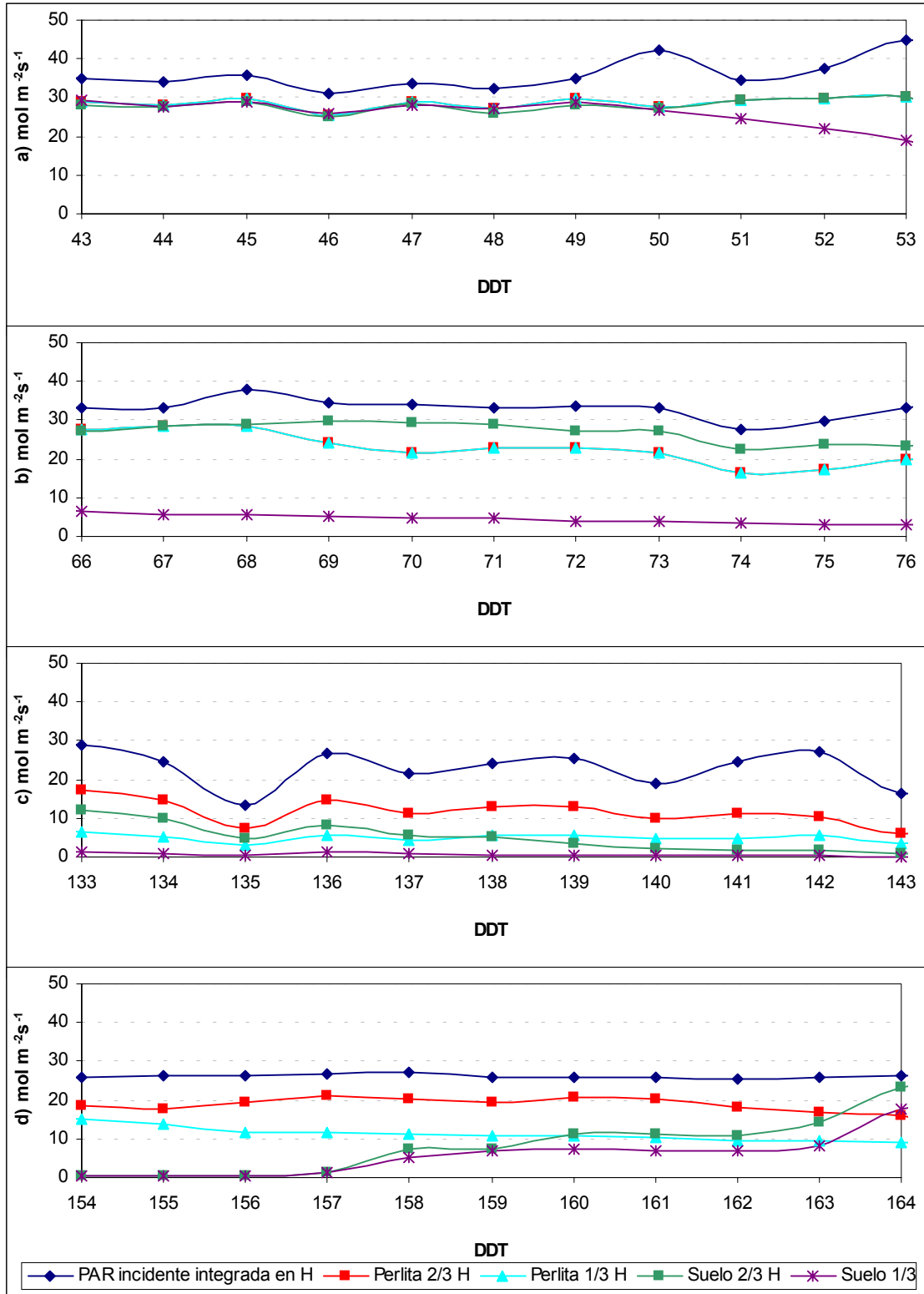


Fig. 4.8 PAR (Integrada Diariamente) Incidente a diferentes alturas del Dosel

del Cultivo de Tomate ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$ ,  $H_{2/3}$ ), según el tipo de producción (suelo y

perlita), correspondientes a los 4 últimos periodos de observación.

### Consumo agua en el sistema de producción en perlita

En esta parte se analizan, los datos de consumo, riego y drenaje diarios obtenidos mediante el método de la bandeja, para sistema de producción con perlita.

La figura 4.9 muestra el comportamiento del riego, el drenaje y el consumo de agua por planta de tomate para todo el ciclo del cultivo, el consumo promedio durante el ciclo del cultivo fue de 1.029 litros por planta por día.

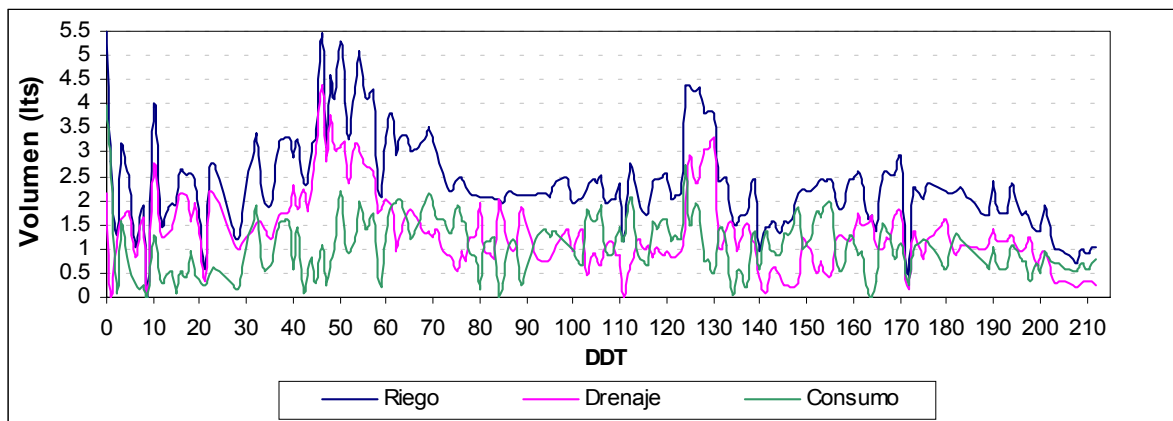


Fig. 4.9 Comportamiento del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por la Planta de Tomate, durante todo el ciclo del cultivo, para el sistema de producción en perlita.

La gráfica de la figura 4.10 presenta la evolución del drenaje en porcentaje por planta de tomate, en base a la cantidad de riego suministrado durante todo el ciclo del cultivo, la línea transversal representa la media de los porcentajes cuyo valor es de 55.18 %, esto quiere decir que mas de la mitad de agua suministrada durante todo el ciclo de cultivo no es aprovechada por la planta, Baxiauli y Aguilar 2002, reportan un

valor ideal de drenaje del 25 % durante el día, con valores bajos al principio y al final del día en un cultivo de tomate, en fase de crecimiento en un día soleado, en un invernadero ubicado en Valencia, España.

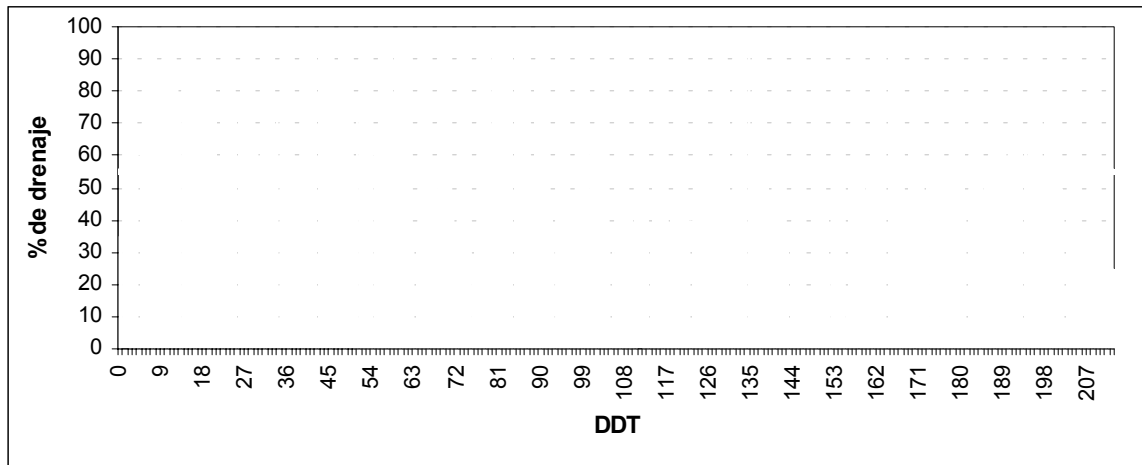


Fig. 4.10 Por Ciento de Drenaje Diario de Agua por la planta de tomate, en todo el ciclo del cultivo.

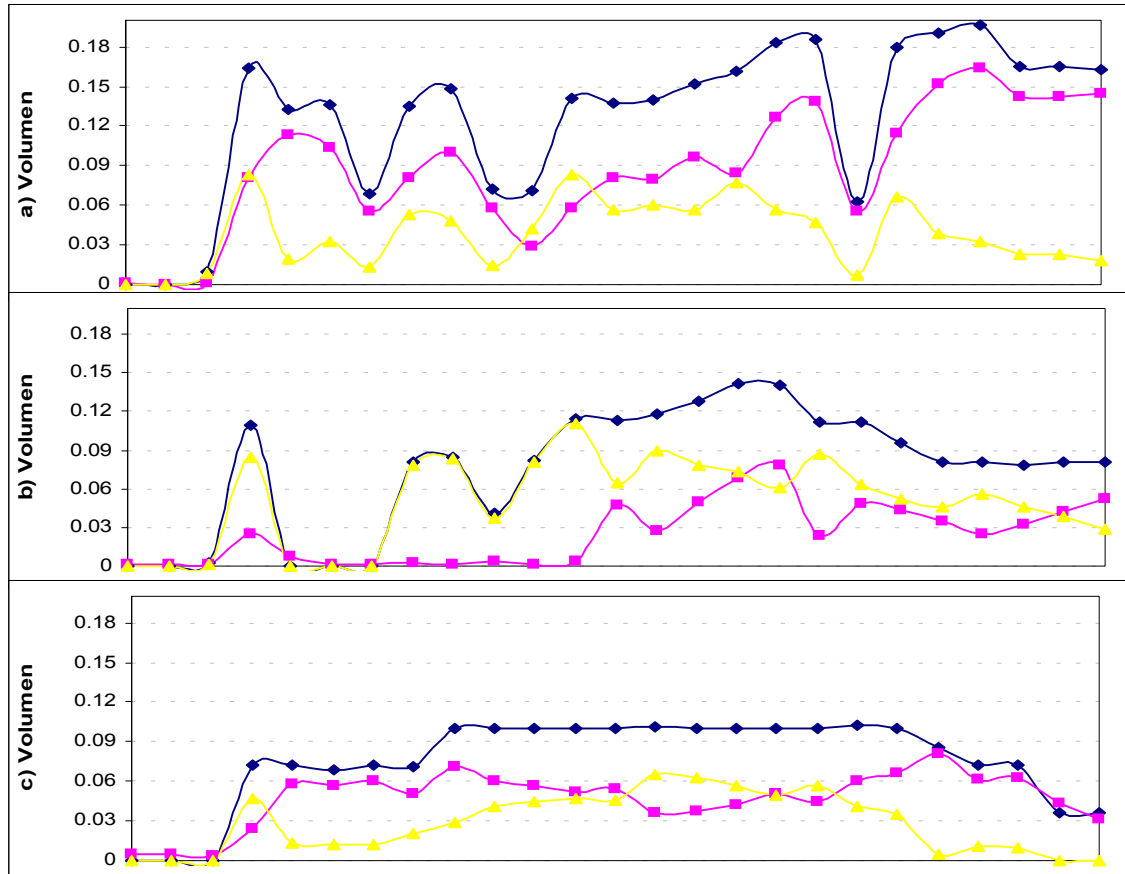
### Riego, drenaje y Consumo instantáneo de agua por la planta de Tomate

La figura 4.11, presenta cuatro graficas correspondientes al riego, drenaje y consumo instantáneos por la planta de tomate, durante los cuatro últimos periodos del cultivo, se analizan datos de días específicos durante un periodo de tiempo de doce horas a partir de las 07:30:00 a las 19:30:00, para el día 53 DDT (a) correspondiente al segundo periodo del cultivo, en este periodo el consumo promedio es de 0.0385 lts/hora ( $38.5 \text{ cm}^3$ ). En la grafica b (DDT 72) muestra un comportamiento esperado del consumo durante el ciclo, en este caso el consumo promedio por la planta durante el día es de 0.0504 lts/hora ( $50.4 \text{ cm}^3$ ).

En días correspondiente a los últimos dos periodos el consumo promedio es de 0.0281 lts/hora ( $28.1 \text{ cm}^3$ ) para la grafica c (DDT 245) y de 0.0431 ( $43 \text{ cm}^3$ ) lts/hora para la grafica b (DDT 266), se nota como entre la 13:00:00 y las 15:00:00 horas, el consumo alcanza sus máximos valores coincidiendo así con las horas del día en las que la radiación solar alcanza sus mas altos valores,73



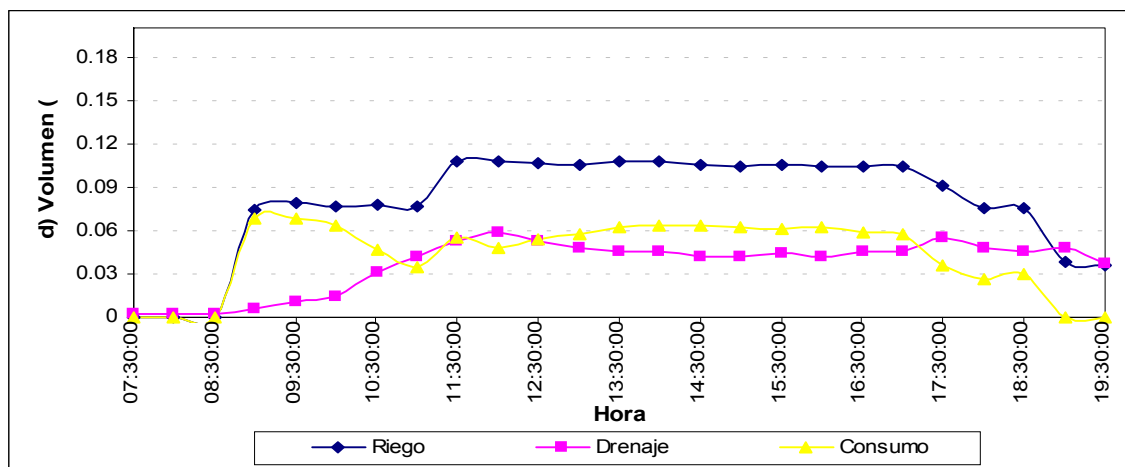
de tal manera que el consumo obedece al comportamiento de la radiación solar total diaria y a la PAR incidente diaria, para estos periodos la plantas tenia una longitud promedio de 3.35 m y una área promedio de 0.83 m<sup>2</sup> en el cuarto periodo y longitud promedio de 5 m con un área foliar de 0.6 m<sup>2</sup> para el 5°



periodo.

Fig. 4.11 Comportamiento del Riego, Drenaje y Consumo instantáneos por la planta de tomate en días específicos de los últimos 4 periodos del cultivo, estos días corresponden a días después del transplante: a) 53, b) 72, c) 138 y d) 159.

Baxiauli y Aguilar 2002, reportan valores de consumo hasta de 114 cm<sup>3</sup> a



medio día en un cultivo de tomate, en fase de crecimiento en un día soleado con valor máximo de radiación  $780 \text{ W m}^{-2}$ , en un invernadero ubicado en Valencia, España, muy por encima de los valores que se presentan en esta investigación.

## Consumo en el sistema de producción en suelo

A continuación se presentan los datos de consumo en el sistema de producción en suelo, estos datos fueron obtenidos evaluando el comportamiento del la humedad del suelo.

Los datos presentados de consumo en el sistema de producción en suelo son muy elevados, esto es principalmente por que se asume que el volumen de agua aplicado es el que se consume, el promedio del consumo por día durante el ciclo es de 4.889 lts/día, cabe mencionar que las variaciones incrementos repentinos en el consumo se da por que son días en los que se aplica riego y el contenido de humedad en el suelo es elevado.

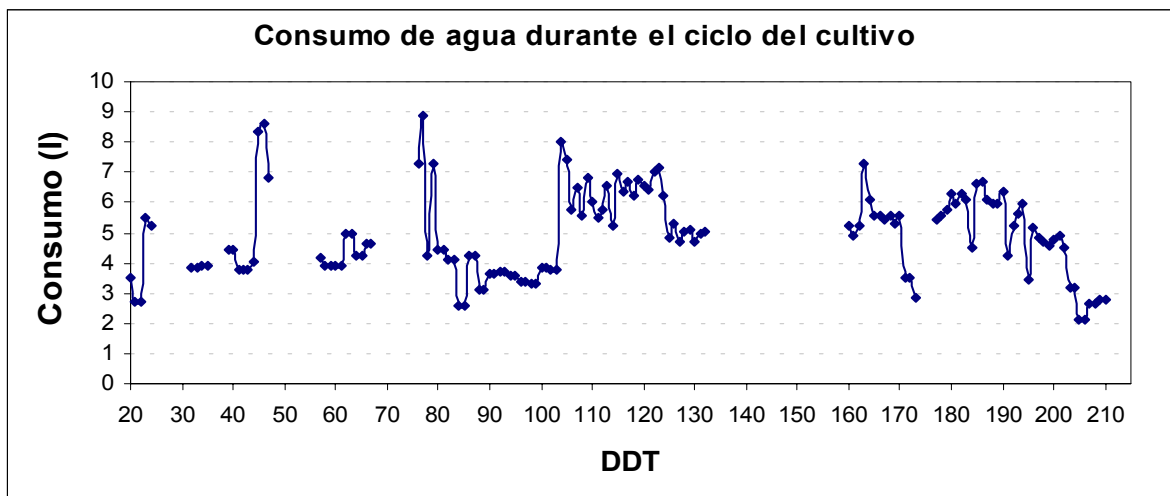


Fig. 4.12 Comportamiento del Consumo de Agua por la planta de Tomate en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del cultivo 2005.

## Radiación y consumo diario de agua en el interior del invernadero

El consumo diario tiene una tendencia muy parecida a la radiación total diaria durante casi todo el ciclo del cultivo como se muestra en la figura 4.13, esto significa que la radiación total tiene relación con el consumo de agua por la planta durante el día, la gráfica presenta los valores de la radiación total diaria y el consumo diario por planta durante todo el ciclo de cultivo, para el sistema de producción en perlita.

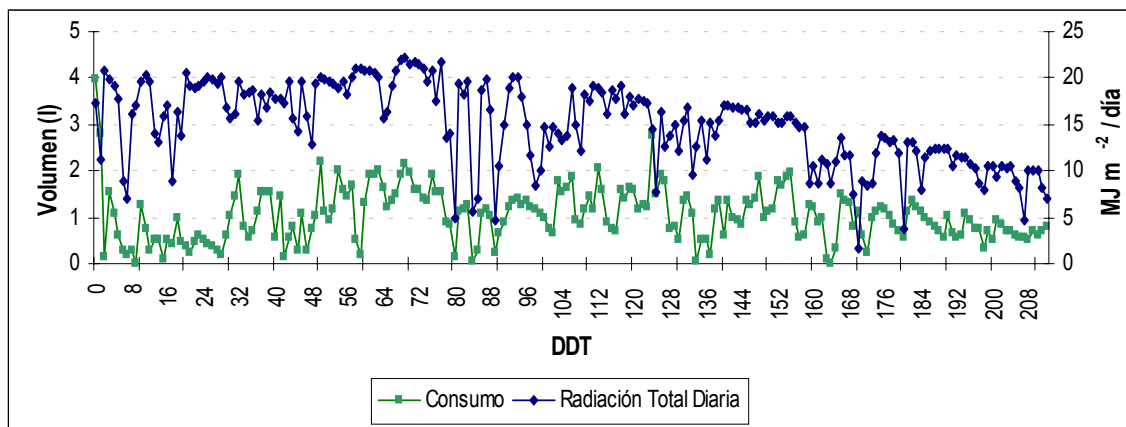


Fig. 4.13 Comportamiento de la radiación total diaria y el consumo de agua por la Planta de Tomate, en el sistema de producción en perlita, para todo el ciclo del cultivo.

Cuadro 4.4 Valores promedios de Consumo y Radiación total, para el ciclo del cultivo de Tomate, en el sistema de producción bajo perlita.

**Periodo Consumo (l) Radiación Total (MJ)**

---

1	0.785	17.012
2	1.107	18.057
3	1.218	17.437
4	1.205	15.515
5	0.884	10.904

---

En la parte con suelo se presenta algo similar con la radiación y el consumo, en la mayoría de los datos presentados de consumo para suelo tiene cierta relación con la radiación total diaria, como se puede ver en la figura 4.14, de tal manera que al igual que en la figura 4.13 al aumenta la radiación total aumenta el consumo de agua por la planta. En el caso de sistema de producción en suelo el promedio de radiación total es de 18.559 MJ y el promedio de consumo es de 3.898 lts para el primer periodo y para el quinto periodo el promedio de radiación es de 11.015 MJ, mientras que el de consumo es de 4.873 litros. Por ejemplo los valores del primer periodo de observación indican que al tener en promedio 18.559 MJ se pueden aplicar 3.898 lts de agua durante el día.

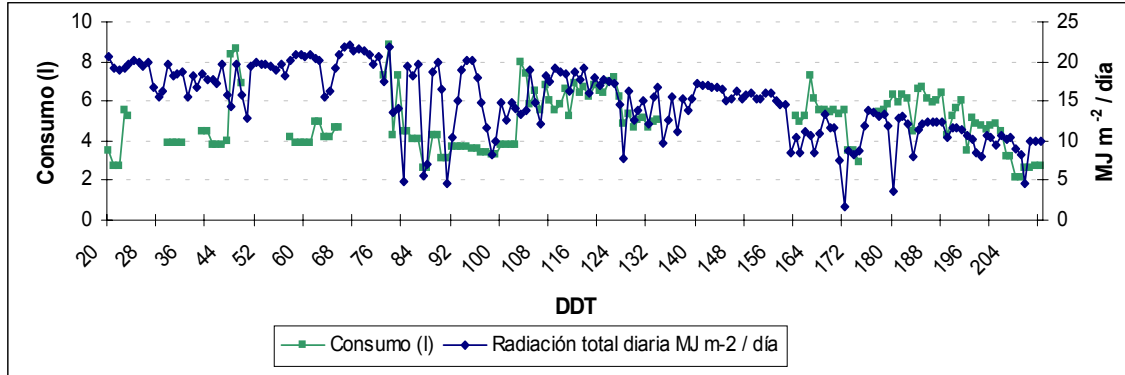


Fig. 4.14 Comportamiento de la radiación total diaria y el consumo de agua por la Planta de Tomate, en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del cultivo

### Correlación del consumo acumulado de agua por la planta y la Radiación total diaria acumulada ( $\text{MJ m}^{-2} / \text{día}$ )

La figura 4.15, presenta la correlación que existe entre el consumo acumulado y la radiación total incidente ( $\text{MJ m}^{-2} / \text{día}$ ), durante el ciclo completo del cultivo para el sistema de producción en perlita, el coeficiente de correlación es aceptable ( $r^2 = .98$ ), esto quiere decir que el consumo de agua por la planta depende en gran medida de la cantidad de radiación total en el interior del invernadero, de tal manera que al aumentar la radiación aumenta el consumo por planta (relación directamente proporcional). La ecuación de la pendiente mostrada en la figura 4.15 ( $y = 0.0653x$ ), indica que por cada unidad en MJ el consumo de agua es afectado en un 6.53 % con un grado de exactitud el 98 %.

De la misma manera en la parte de suelo la relación que existe entre el consumo y la radiación total diaria es directamente proporcional, el coeficiente de correlación es aceptable ( $r^2 = .97$ ), esto indica que el consumo aumenta a medida que la radiación solar total es mayor. En este caso la ecuación  $y = .2253x$  de la pendiente indica que por cada unidad de radiación recibida el consumo de agua es afectado un 22.53 % con una exactitud del 97.5 %.

Cuadro 4.5 Valores de consumo de agua acumulado con respecto a la cantidad de Radiación total acumulada en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero.

MJ	Consumo (l)	
	Perlita	Suelo
200	13.06	45.06
400	26.12	90.12
600	39.18	135.18
800	52.24	180.24
1000	65.3	225.3
1200	78.36	270.36
1400	91.42	315.42
1600	104.48	360.48
1800	117.54	405.54
2000	130.6	450.6
2200	143.66	495.66
2400	156.72	540.72
2600	169.78	585.78
2800	182.84	630.84

La tabla 4.4 muestra valores de consumo acumulado con respecto a cantidades acumuladas de radiación solar, esto indica que al acumularse una cierta cantidad de radiación, se puede estimar la cantidad de agua a aplicara, por ejemplo al acumularse 200 MJ, la aplicación en el sustrato perlita seria de 13.06 lts y en suelo de 45.06.

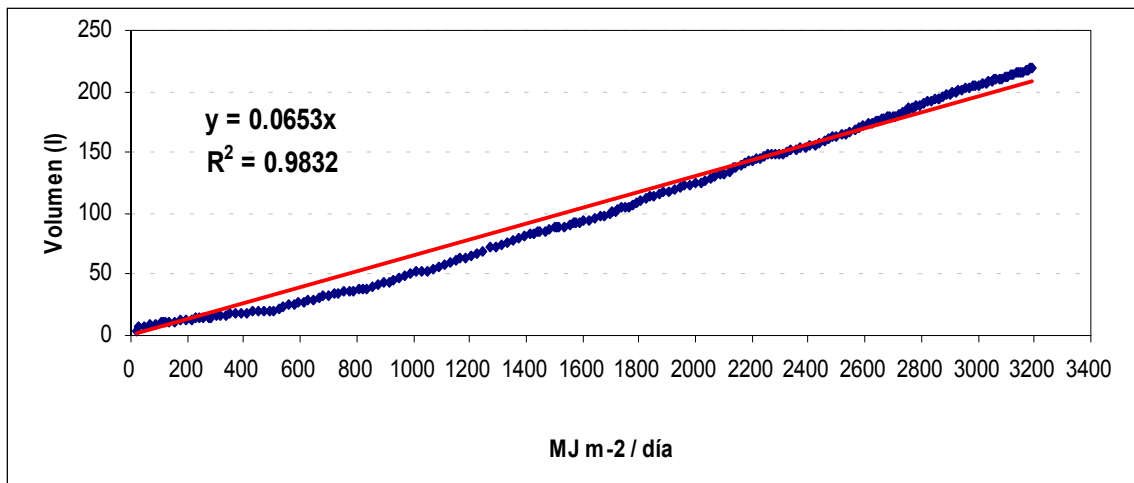


Fig. 4.15 Relación del Consumo de Agua Acumulado y los MJ m<sup>-2</sup> de la79

Radiación Total Diaria, en el sistema de producción en perlita, para el ciclo del Cultivo de tomate.

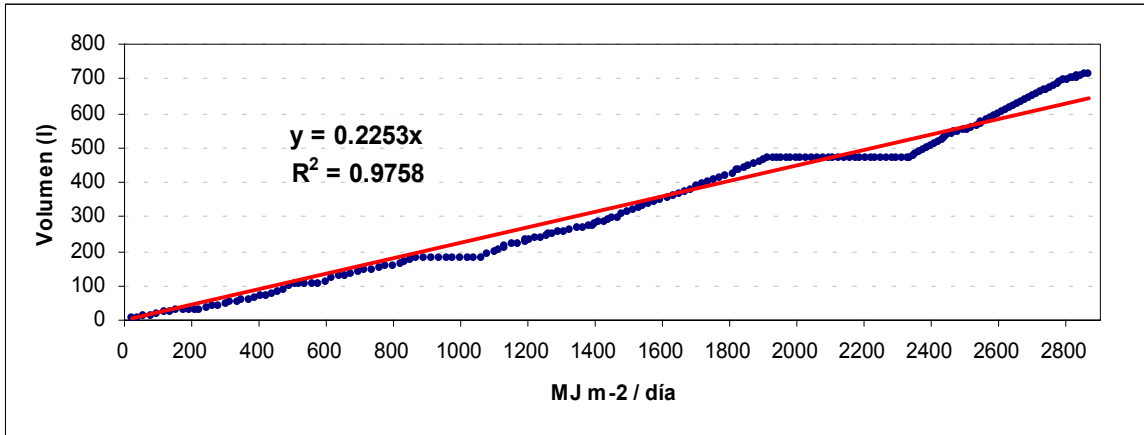


Fig. 4.16 Relación del Consumo de Agua Acumulado y los MJ m<sup>2</sup> de la Radiación Total Diaria, en el sistema de producción en suelo, para el ciclo del Cultivo de Tomate.

Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de producción.

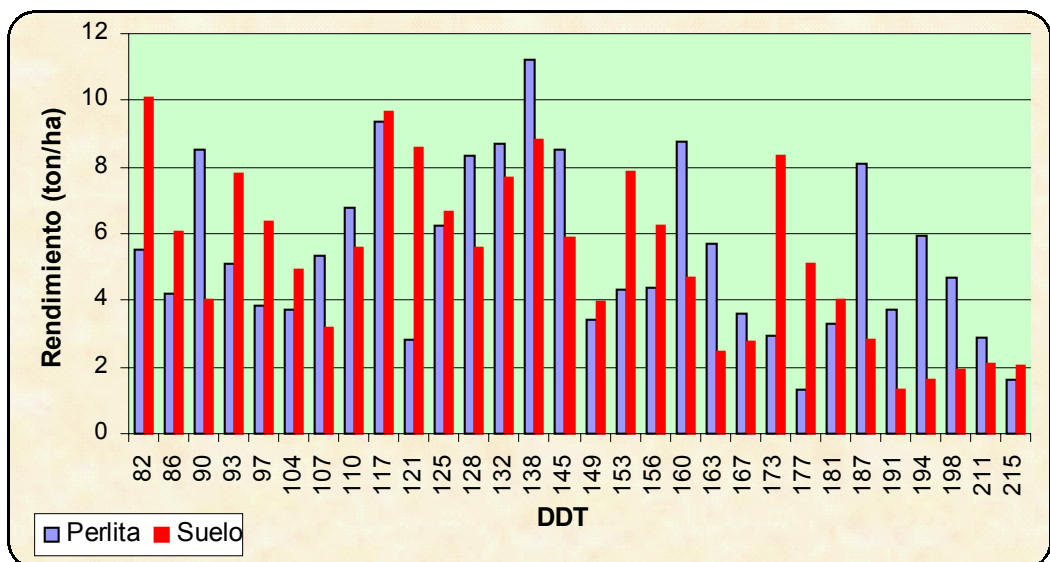


Fig. 4.17 Rendimiento, de tomate variedad Gabiella en condiciones de invernadero y par dos sistemas de producción en perlita y en suelo.

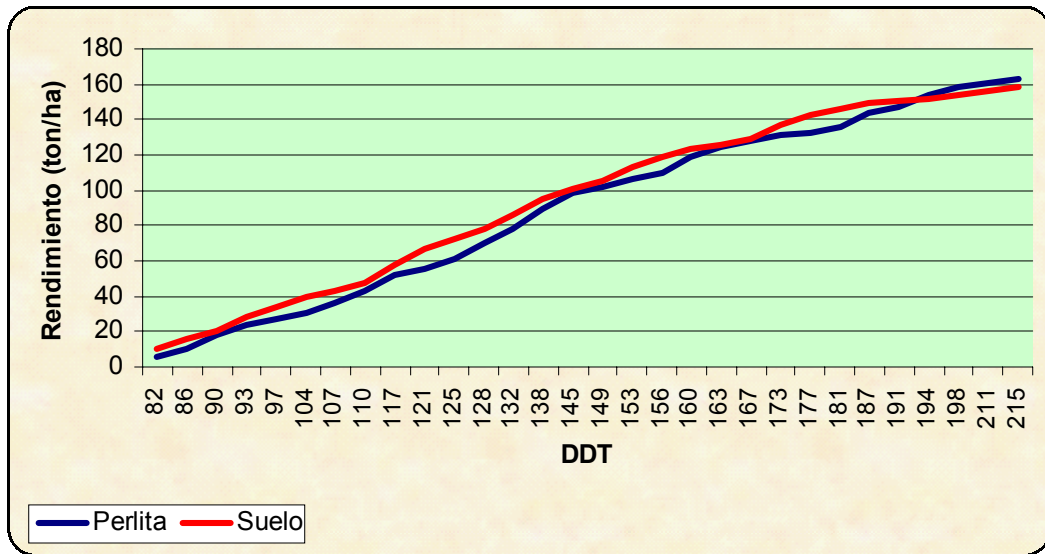


Fig. 4.18 Rendimiento acumulado, de tomate variedad Gabiella en condiciones de invernadero y par dos sistemas de producción en perlita y en suelo.

Para el rendimiento del cultivo, la figura 4.17 presenta los rendimientos por corte en ambos tipos de producción, en el rendimiento total del cultivo para todo el ciclo solo existe una diferencia entre sistemas de producción del 2.8% con respecto al valor máximo de rendimiento que fue de 162.744 ton / ha que fue el rendimiento total para perlita, y el rendimiento total para suelo fue de 158.112 ton / ha. Con los valores de rendimiento el Uso Eficiente del Agua es de 19.033  $gk/m^3$  es perlita y de 176.36  $kg/m^3$  es suelo, la diferencia muy marcada en ambos sistemas, es principalmente por que en el sistema de producción en suelo se asume que el agua aplicada es la que se consume.

Cuadro 4.6 Rendimiento del cultivo de tomate Gabriella bajo condiciones de



invernadero y para dos sistemas de producción, suelo y perlita.

<b>DDT</b>	<b>Rendimiento (ton/ha)</b>	
	<b>Perlita</b>	<b>Suelo</b>
82	5.500	10.055
86	4.178	6.055
90	8.548	4.050
93	5.075	7.825
97	3.825	6.385
104	3.710	4.938
107	5.338	3.168
110	6.775	5.590
117	9.353	9.635
121	2.798	8.605
125	6.268	6.665
128	8.310	5.558
132	8.720	7.650
138	11.220	8.835
145	8.528	5.878
149	3.428	3.938
153	4.320	7.850
156	4.375	6.245
160	8.750	4.653
163	5.685	2.433
167	3.585	2.773
173	2.958	8.328
177	1.343	5.110
181	3.293	4.010
187	8.078	2.838
191	3.718	1.313
194	5.930	1.640
198	4.660	1.948
211	2.866	2.129
215	1.616	2.018

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los datos y los resultados que de estos se obtuvieron podemos concluir que:

- El comportamiento de la ETo para los dos años observados obedece al comportamiento de la radiación solar total diaria, con una correlación aceptable ( $r^2 = 0.9174$ ) para el 2005, indicando de esta manera que la ETo diaria depende un 91.74% de la cantidad de radiación total diaria dentro del invernadero. Por lo tanto, la hipótesis propuesta que dicta que la radiación es la fuente principal para la transpiración del cultivo de tomate, es aceptada.
- En cuanto al consumo de agua por la planta, la relación que existe entre el consumo acumulado y la radiación total diaria acumulada, es muy buena ( $r^2 = 0.9832$  para perlita y  $r^2 = 0.9758$ ), indicando de esta forma que en el sistema de producción en perlita el consumo de agua por la planta depende en un 98.32 % de la radiación total diaria en el interior del invernadero y en el sistema de producción en suelo el consumo de agua por la planta depende en un 97.58 % de esta radiación, en relación a lo anterior, por cada unidad de radiación total acumulada existe un volumen de consumo por la planta. Mientras que el comportamiento del consumo de agua instantáneo obedece al comportamiento de la PAR incidente, de tal forma que los valores máximos de ambas variables se da entre las 13:00 y la 15:00 horas. Por lo tanto, si las variables ambientales en el interior del invernadero se manejan adecuadamente, la radiación solar sería una variable muy importante para determinar el consumo dentro del invernadero y por ende en la programación de los riegos. Con relación a todo lo antes citado, la hipótesis que sita que la radiación solar es un factor viable para la determinación de la cantidad de riego en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero es aceptada.

- La programación del riego basado en la radiación solar, puede ser eficiente y práctica, puesto que para cierta cantidad de radiación acumulada existe una cantidad de consumo por la planta, de tal manera que, considerando un valor óptimo 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 un uso más eficiente del agua.
- En cuanto a las diferencias entre sistemas de producción, el consumo de agua por planta es mayor en el sistema de producción en suelo, mientras que el rendimiento fue mayor en el sistema de producción en perlita, por lo tanto el uso eficiente del agua es mejor en el sistema de producción en perlita.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- La radiación puede ser utilizada para, programar las cantidades necesarias de riego en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, siempre y cuando se cuente con los instrumentos de medición dentro del invernadero o en su defecto que se cuente con datos de radiación de una estación meteorológica cercana al área de trabajo.
- Entre menor sea el periodo de acumulación de los datos de radiación durante el día, la precisión en cuanto a las cantidades de aplicación será mayor. Por lo tanto es recomendable tener sensores capaces de medir la intensidad de radiación solar en periodos de tiempo cortos.
- En el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y en semi hidroponía, es recomendable tener en consideración el porcentaje de drenaje para cada tipo de sustrato, de tal manera que al consumo por la planta se le agregue el porcentaje de drenaje, para evitar poner a la planta en estrés, ya sea por falta de agua, por acumulación de sales o por asfixia radicular.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Abad, M., Noguera, V., Martínez, M. D., Herrero, M. A., Fornés, F., Martines, J. (1990). Propiedades físicas y químicas de medios de cultivo a base de turba negra y su relación con el crecimiento de las plantas. Producción y Protección vegetal. INIA. Vol 5.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage.
- Aug, L.H., (1976). Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon Sculentum Mill.* J. Amer Soc.Hort
- ASCE/American Society of Civil Engineers, (1990). Agricultural Salinity Assessment and management. ASCE Manuals and reports on Engineers Practice nº 71. ASCE New York..
- Bailey, B. J., Montero, C. Biel, D.J., Wilkinson, A. Antón., O. Joliet. 1993. Evapotranspiration of *Ficus benjamina*: Comparison measurements whit prediction of the Penman-Monteith model and simplified version. Agric. And Forest Meteor.
- Ballie, M. A. Ballie, Jc. Laury. (1994). A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climates factor and lead area. Scientia Horticulturae.
- Baille, A. 1998. Energy Cycle. En: "Greenhouse Ecosystem". Stanhill, G., 86

Enoch, H.Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam.

Bakker, J. C. (1190). Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *J. Hort.*

Baixauli, S. C., Aguilar, O. J. (2002). Cultivo sin suelo de Hortalizas, Aspectos prácticos y experiencias. Conserjería General de Agricultura, Pesca y Alimentación. Fundación Caja Rural de Valencia. Valencia España.

Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: From physical processes to a dynamic model. PhD thesis. Univ. Wageningen. Holanda.

Brutsaert, W. 1982. Evaporation in the atmosphere: Theory, history, and applications. 229 p. D. Reidel, Higham, Massachusetts, USA.

CAJA RURAL DE ALMERIA. 1997. Gestión del regadío en el Campo de Dalías: las comunidades de regantes Sol y Arena y Sol-Poniente.

Cardenas, F., 1999. El cultivo de tomate en El Parador de Roquetas de Mar. Vol. 1/3. Francisco Camacho F. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en cultivos protegidos. Caja Rural de Almería España.

Castilla, P. N., Mejora del aprovechamiento de la radiación solar en invernadero en la Costa Mediterránea Española. CIFA. Junta de Andalucía. Granada.

Cook, R. 2003. Giannini Foundation of Agricultural Economics. U. C. Cooperative Extension Economics in the ARE department at UC. Davis.

De la Torre, M. F. (1999). Los semilleros Hortícola. En. Francisco Camacho F. (Coord.) Técnicas de producción de frutas y Hortalizas en los cultivos

protegidos. Instituto la Rural, Almería, España. Vol. 1/3.

Doorembos, J. y Pruitt, W. O. 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

Elizondo René M. y Contreras Mauricio Aguilera. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmosfera. UACH. México.

Escudero, J. (1993). Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivo sin suelo. Universidad de Almería. Almería España.

Escudero, S. J. (1999). Cultivo hidropónico del tomate. En: Milagros Fernández E. e Isabel Ma. Cuadro G. (Eds). Cultivo sin suelo II. Curso superior especialización. Junta de Andalucía. FIAPA, Caja Rural de Almería.

Gallager, J. N. And P.V. Biscoe, (1978). Radiation absorption, grow and yield of cereales

Gallo, K. P. and C.S.T. Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies Agronomy Journal.

García., E.1987.Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Gardner, F.P.; Brent Pearce, R; Mitchel, R.L. (1985) Carbon fixation by crop canopies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Pp. 31-57.

Garner, I. C. y Bjorkman, T. (1999). Mechanical conditioning of tomato<sub>88</sub>

seedling improves transplants quality without deleterious effects on field performance. Hortscience.

Garzón, T. A., Becerra, F. A., Marin A. Mejia A., y B Yerly M., K. F. (2003). Manejo integrado de la enfermedad “permanente del tomate”, en el Bajío. En: R, Burjanos M y A. Marin J. (coord.). Memoria del taller sobre insectos vectores de virus y fitoplasma en el cultivo de solanáceas. SAGARPA, INIFAP, SDA. Fundación Produce A. C. Gto. CONAPA Celaya Guanajuato, Febrero, 2003.

Garzoli, K. V. Energy efficient greenhouse. Acta Hort. 245.

Geisemberg, C. y Stewart, K (1986). Field crop management. En: Atherthon, J.G. y Rudich, J.(Ed.). The tomato crop. Chapman and Hall. London.

Hargreaves, G. H., y Samani, 2.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperatura. Applied Engrg. In Agric., 1.

Hernandez, V. H. (2003). Enfoque de la evapotranspiración a equilibrio en la determinación de la evapotranspiración real del pasto Rygrass en la agricultura de zonas aridas. Tesis. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México.

Irineo, L., Lopez, C., Ramirez A. A., y Rojano, A. A. 2004. Análisis de sensibilidad de un modelo dinamico de crecimiento para lechugas (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en invernadero. Postgrado de Ingeniería agrícola y Uso Integral del Agua y Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma Chapingo.

Jaimez, R. E., Da-Silva, R., D’Abetterre, A., Allende, J., Rada, F. y Figueroa, R. 2004. Variaciones microclimáticas en invernadero: efecto sobre lasgg



relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annuum*). Universidad de Los andes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Hechicera. Mérida 5101. Venezuela.

Jensen, M. E., Burman E. D. y Allen. R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requeriments. Asce. Manual and reportson engineering practice n. 70. American Society of Civil Engineers. USA.

Lenscak, M. P. (2001). Avances en la estrategia en la producción de plántulas de tomate. Tesis doctoral. Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior.

Leskovar, D. I. (2001). Produccion y ecofisiologia del trasplante agrícola. Texas A. University. USA.

Michael, A. M. 1983. Irrigation (Therory and Practice). Vikas Publishing House (Pvt) Ltd. New Delhi, India.

Monteith, J. L. 1981. Evaporation and surface temperature. Quart. J. Roy. Met. Soc. 107.

Monteith, J.L., and M.H. Unsworth. 1990. Principles of environmental physics. 291 p. Edward Arnold, London, England.

Montemayor , T. J. (2002). Propiedades espectrales del maíz bajo diferentes densidades de población e inclinación foliar y su relación con el desarrollo y crecimiento. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, Mexico.

Morales, M. I. Hernández, J., Soriano, M. T., Martínez, F. M., Escobar, I.,

Berenguer, J. J., y Castilla, N. 2000. Optimización de la radiación en invernaderos mediterráneos para aumentar la calidad de las producciones IV Jornadas del grupo de Horticultura de la SECH. Acta de horticultura.

Montero, J. I., Castilla, E. Gutiérrez, y F. Bretones. 1985. Climate under plastic in the Almeria Area. Acta Horticultura.

Montero, J.I, Anton, A., Hernande, J., Castillan, N. 2000. Direct and diffuse light transmission of insect proof screens and plastic films for cladding greenhouse. ISHS International Symposium on Protected Cultivation in mild winter climates. Acta Horticulture.

Munguía, L. J., y Quezada, M., R. 1997. Evaluación del índice de tensión de agua del cultivo en seis líneas de maíz. Centro de Investigación en Química aplicada, Saltillo, Coahuila. Agrociencia, agosto de 1997.

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.

Navarro, C., J. A. (1999). Estructuras para semilleros del 2002. En. Anna Vilarnau y Jerónimo González (coord.) Planteles Semilleros Viveros. Compendio de Horticultura 13. Ediciones de Horticultura S. L. Es.

Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., (1990). Protected cultivation in the mediterranean climate. FAO. Plant Production and Protection Paper. Rome Italy.

Nobel, P. S. 1991. Physicochemical and environmental plant physiology. 91

Academic Press, Inc.

Nuez, F. 2001. El cultivo de Tomate, Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España.

Olea, V. M. (2005). Programación del riego en base a la radiación en tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) en invernadero y Manejo Agronomico a uno y dos Tallos. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila Mexico.

Ortega, F., S., Calderón, R., Martelli, N. y Antoniolleti, R. (2002). Evaluacuion de un modelo para estimar la radiación neta sobre un cultivo de tomate industrial. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile.

Picken, A.J.F., Stewart, K. y Klapwijk, P. (1986) Germination and vegetative development. En: Atherthon, J.G.; Rudich, J.(Ed.). The tomato crop. Chapman and Hall. London.

Ravestjin, W. van (1970). Setting of fruit in tomatoes, peppers and strawberries. Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Exp. Stat. Naaldwijk.

Rick, C, M. (1978). El tomate investigación y ciencia. (The tomato. Sci. Amer. .239: 67-76.)

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

Stevens, M. A., Rudich, J. (1998). Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability yield and quality in the tomato.

The Fertilizer Han book. Soil Improvement Committee California Fertilizer92

Association (1975). The Interstate Printers Publisher, Inc. Danville IL.

Valdez, L. A. (1997). Producción de Hortalizas. Mexico. Ed. Limusa. Tercera edición.

Wittwer, S.H., Honma, S. (1979). Greenhouse tomatoes, lettuce and cucumbers. Michigan state University Press. East Lansing.

Zabeltitz, C.V. 1998. Greehouse strutures. En: "Greenhouse Ecosystems". Stanhill,G., Enoch, H.Z. (Eds.). elsivier. Amsterdam.