

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



Programación del riego en base a la radiación en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero y manejo agronómico a uno y dos tallos.

**Por:**

**Melquicedec Olea Valencia**

**TESIS**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo de 2005**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**Programación del riego en base a la radiación en tomate (*Lycopersicum  
esculentum* Mill.) en invernadero y manejo agronómico a uno y dos tallos.**

**TESIS:**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**PRESENTA:**

**Melquicedec Olea Valencia**

**APROBADA:**

**M.C. Luis E. Ramírez Ramos**

**Dr. Juan P. Munguía López**

---

**Asesor Principal**

---

**Asesor**

**M.C. Dr. Raúl Rodríguez García**

**M.C Boanerges Cedeño Rubalcava**

---

**Asesor**

---

**Asesor**

**M.C. Luis E. Ramírez Ramos**

---

**Coordinador de la división de Ingeniería**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo de 2005**

## DEDICATORIA

*A MIS PADRES: Aureliano Olea Burgoa y Ma. Celia Valencia Ávila.*

*Quienes me han enseñado que los mejores logros de la vida se obtienen con mucha dedicación y trabajo. Por todos los sabios consejos que me han dado en el transcurso de mi existencia y por todo su apoyo incondicional para prepararme profesionalmente. Para papá y mamá con amor...*

*A MIS HERMANOS: Ela, Eunice, Josafat, Noemí, Jehú y Uriel.*

*Porque han sido parte esencial en mi vida. En ustedes nunca faltaron palabras de ánimo con tal de verme lograr esta meta, apoyándome siempre. Con mucho cariño y amor que les tengo...*

*A MIS TÍOS (AS), SOBRINOS Y CUÑADOS (AS)...*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **Dios** por darme a su **Hijo Jesucristo** para salvación...y por sus bendiciones.

A mis **papás y hermanos** por todos sus apoyos.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas para mi formación profesional.

Al **Dr. Juan Munguía López** por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación bajo su asesoría y por su paciencia en la revisión del mismo.

A **M. C. Luís E. Ramírez Ramos, Dr. Raúl Rodríguez García, y al M.C. Boanerges Cedeño Rubalcava**, quienes hicieron posible la realización de este trabajo. Les estaré siempre agradecido.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** por permitir la realización de este trabajo de investigación en el proyecto “Programación de riegos en tiempo real en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero” de la Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación 2004.

Al **Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT)** por el apoyo económico para la realización de este trabajo de investigación.

Al **personal que labora en el Departamento de Riego y Drenaje** de la UAAAN por sus enseñanzas.

A **mis amigos(as)** por todos los momentos que hemos pasado, y por que con ustedes e aprendido mucho de la vida.

## RESUMEN.

En el presente trabajo se considera la alta relación que tiene la radiación solar como variable en cuanto al consumo de agua en tomate de crecimiento indeterminado en invernadero y en simihidroponia, pues la es la principal fuente de energía que se tiene para el paso del agua del estado líquido a gaseoso; además se hacen algunas observaciones del cultivo en cuanto a dos manejos agronómicos (a uno y dos tallos). La investigación se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) con coordenadas 25° 27' lat. Norte., 25° 27' long. Oeste y a una altura de 1610 msnm. Durante el ciclo primavera otoño.

Se trataron dos temas de análisis: el primero, consistió en correlacionar el consumo acumulado de agua / planta y la PAR (incidente en el interior del invernadero medida con un sensor quantum) integrada acumulada cada 15 minutos en días específicos, y así se obtuvieron funciones lineales para cada día analizado; además también observar la diferencia del consumo diario de agua / planta en base a diferentes programas de riego que se manejaron durante el ciclo del cultivo, así como la influencia de dichos programas en el drenaje instantáneo durante días específicos. El segundo, según el manejo agronómico(a uno y dos tallos), en observar la diferencia en el consumo de agua por planta, la incidencia y reflejo de la PAR (medidas con "barras de luz" y sensores quantum) en días específicos a diferentes puntos del dosel del cultivo ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ ), y los rendimientos obtenidos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO.

	Pág.
	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1    Objetivos.....	4
1.2    Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
2.1    Concepto de evapotranspiración.....	5
2.1.1    Evapotranspiración potencial.....	5
2.1.2    Evapotranspiración máxima.....	6
2.1.3    Evapotranspiración real.....	6
2.2    Radiación, definiciones y características.....	6
2.3    Transmisividad de cubiertas plásticas.....	8
2.4    Cultivo de tomate.....	9
2.4.1    Importancia del tomate.....	9
2.4.2    Clasificación taxonómica.....	10
2.4.3    Desarrollo vegetativo.....	11
2.4.4    Fructificación.....	11
2.4.5    Factores climáticos y productividad en tomate.....	12
2.4.5.1    Luz.....	12
2.4.5.2    Temperatura.....	12
2.4.5.3    Humedad relativa.....	13
2.4.6    Factores en el entorno de raíces.....	13
2.4.6.1    Sustrato.....	13
2.4.6.2    pH.....	14
2.4.6.3    Salinidad.....	14
2.5    Manejo agronómico del cultivo.....	14
2.5.1    Producción de Plántulas.....	14
2.5.1.1    Repicado.....	15
2.5.1.2    Acondicionamiento de las plántulas.....	15
2.5.4    Transplante.....	16
2.5.5    Entutorado.....	16
2.5.6    Poda de tallos.....	17
2.5.7    Poda de hojas.....	18
2.5.8    Poda de frutos.....	18
2.5.9    Polinización.....	18
2.6    Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo Invernadero.....	19
2.6.1    Radiación solar.....	19
2.6.2    Temperatura.....	20
2.6.3    Déficit de presión de vapor.....	20

2.7	Programación del riego en tiempo real.....	21
2.8	Productividad de los cultivos según la intercepción de luz por los doseles.....	25
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1	Descripción del sitio experimental.....	28
3.1.1	Localización.....	28
3.1.2	Clima.....	28
3.2	Material vegetativo.....	29
3.3	Establecimiento del experimento.....	29
3.3.1	Tamaño del invernadero.....	29
3.3.2	Preparación del invernadero.....	29
3.3.3	Siembra.....	31
3.3.4	Transplante.....	31
3.3.5	Fertirrigación.....	31
3.3.6	Labores culturales.....	32
3.3.6.1	Entutorado.....	32
3.3.6.2	Poda de tallos o brotes.....	33
3.3.6.3	Poda de hojas.....	33
3.3.6.4	Poda de frutos.....	34
3.3.6.5	Control de plagas y enfermedades.....	34
3.4	Metodología en la toma de datos.....	35
3.4.1	Toma de datos de la radiación total diaria en el interior del invernadero.....	35
3.4.2	Toma de datos de la Radiación fotosintética activa (PAR).....	35
3.4.3	PAR reflejada, en días específicos, en el dosel del cultivo con manejos a uno y dos tallos.....	37
3.4.4	Toma de datos de la radiación neta (Rn).....	38
3.4.5	Toma de datos para la obtención del por ciento de transmisividad de la cubierta plástica.....	38
3.4.6	Estimación del agua consumida diariamente con la bandeja de drenaje.....	38
3.4.6.1	Descripción de la bandeja de drenaje.....	39
3.4.7	Toma de datos con pluviómetros electrónicos.....	40
3.4.8	Toma de datos para registrar el comportamiento de la humedad en el sistema "raíces - sustrato".....	41
3.5	Metodología para la obtención de los resultados.....	42
3.5.1	Radiación solar en el interior del invernadero.....	42
3.5.2	PAR en el dosel del cultivo según el tipo de manejo.....	42
3.5.3	Radiación neta integrada en el interior del invernadero....	42
3.5.4	Por ciento de tramitancia de la cubierta plástica del invernadero.....	43
3.5.5	Riego, drenaje y consumo de agua diarios.....	43
3.5.6	Drenaje de agua /planta en días con diferentes programas de riego.....	44
3.5.7	Radiación (MJ) y consumo de agua (lts).....	44
3.5.8	Consumo instantáneo de agua durante el día.....	45

3.5.9	PAR incidente integrada cada 15 minutos durante el día..	45
3.5.10	Acumulación de los valores del consumo instantáneo de agua /planta y de la PAR integrada cada 15 minutos.....	46
3.5.11	Comportamiento del contenido de humedad base volumen (CH <sub>v</sub> ) del sustrato.....	46
3.5.12	Correlación del consumo acumulado de agua / planta y los mol m <sup>-2</sup> acumulados.....	46
3.5.13	Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias.....	46
3.5.14	Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de manejo.....	46
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>VI</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>76</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Fig. 2.1	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.....	22
Fig.2.2	Evolución estacional de los valores diarios medios semanales de la evapotranspiración (ETo) y la radiación solar dentro de invernadero en Almería durante el año 994.....	24
Fig. 3.1	Ensamble de accesorios del sistema de riego.....	30
Fig. 3.2	Instalación de los goteros en el taco con sustrato perlita.....	31
Fig. 3.3	Vista del cultivo después de la poda de hojas y tallos.....	33
Fig. 3.4	Torre para medir la PAR en el dosel del cultivo.....	37
Fig. 3.5	Medición del drenaje con el Pluviómetro TR-525I de Texas Electronics, Inc.....	40
Fig. 3.6	Instalación del sensor TDR.....	41
Fig. 4.1	Radiación total diaria en el interior del invernadero en los días después del transplante 28-203.....	47
Fig. 4.2	PAR reflejada en las diversas alturas del dosel del cultivo de tomate ( $H_0$ , $H_{1/3}$ y $H_{2/3}$ ), según el tipo de manejo (a uno y a dos tallos), en los días 149 (a), 151 (b) y 154 (c) después del transplante.....	48
Fig. 4.3	PAR incidente directa en el interior del invernadero y en los estratos del dosel del cultivo de tomate( $H_0$ , $H_{1/3}$ y $H_{2/3}$ ), según el tipo de manejo (a uno y a dos tallos) en los día 149 (a), 151 (b) y 154 (c) después del transplante.....	49
Fig.4.4	PAR (integrada diariamente) incidente directa en los estratos del dosel del cultivo de tomate ( $H_0$ , $H_{1/3}$ y $H_{2/3}$ ), según el manejo agronómico (a uno y dos tallos) de los días 137 – 203 después del transplante.....	50
Fig. 4.5	Radiación neta (Rn) integrada diariamente –para valores positivos- en el interior del invernadero en el manejo agronómico a un tallo.....	51
Fig. 4.6	Radiación solar (Rs) en el interior y exterior del invernadero para obtener la tramitancia promedio del día 97 del año.....	53
Fig. 4.7	Por ciento de tramitancia promedio de la cubierta del invernadero para el día 97 del año.....	53
Fig. 4.8	Por ciento de tramitancia promedio diaria de la cubierta del invernadero para los días 63 – 130 del año.....	53
Fig. 4.9	Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de tomate, según el manejo agronómico uno y dos tallos (a y b) medidos manualmente con la bandeja de drenaje en los días después del transplante (DDT) 56 – 140.....	54
Fig. 4.10	Evolución del riego, drenaje y consumo de agua por planta de	

	tomate, medidos con los pluviómetros.....	55
Fig. 4.11	Riego, drenaje y consumo promedio diario de agua por planta de tomate (en todo el invernadero) en los días después del trasplante 56- 187.....	56
Fig. 4.12	Por ciento de drenaje diario de agua por planta de tomate (en todo el invernadero) en los días después del trasplante 56-187.....	56
Fig. 4.13	Drenaje instantáneo tomado con pluviómetro electrónico en los días después del trasplante 163 (a), 174 (b), 182 (c) y 187 (d).....	58
Fig. 4.14	Comportamiento del consumo diario y la Radiación total diaria en el interior del invernadero.....	60
Fig. 4.15	Riego, drenaje y consumo instantáneos de agua por planta de tomate de los días después del trasplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).....	62
Fig. 4.16	Comportamiento de los mol m <sup>-2</sup> integrados cada 15 minutos de la PAR través del día. de los días después del trasplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).....	63
Fig. 4.17	Comportamiento del contenido de humeado en el sustrato durante el día, medido con un sensor TDR.en los días después del trasplante 151 (a), 152 (b) y 158 (c).....	64
Fig. 4.18	Consumo acumulado de agua por planta de tomate en los días después del trasplante 151(a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).....	65
Fig. 4.19	mol m <sup>-2</sup> (integrados cada 15 minutos) acumulados en los días después del trasplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (c).....	66
Fig.4.20	Relación del consumo de agua acumulado y los μmol m <sup>-2</sup> integrados (cada 15 minutos) acumulados en los días después del trasplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).....	67
Fig.4.21	Temperaturas máxima, media y mínima diarias en el interior del invernadero, en los días después del trasplante 28 – 203.....	69
Fig. 4.22	Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate, variedad Gabriela, en invernadero.....	70

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 2.1 Superficie cosechada y volumen de producción del tomate en México bajo condiciones de cielo abierto.....	10
Cuadro 3.1 Aportación proporcional de nutrientes al el cultivo de tomate.....	32
Cuadro 4.1 PAR reflejada e incidente integrada diariamente, según el manejo agronómico y los puntos en el dosel del cultivo de tomate para los días 149, 151 y 154.....	50
Cuadro 4.2 Radiación neta (Rn) diaria integrada para valores positivos(calentamiento de la superficie), negativos (pérdida de calor de la superficie) y en 24 Horas, de los días después del transplante (DDT) 7 – 222.....	52
Cuadro 4.3 Frecuencia y tiempo de riego de los días después del transplante 142, 150,158, 163, 174, 182, 187 obtenidos del equipo de fertirrigación de NETAFIN.....	59
Cuadro 4.4 Rendimiento en ton / ha del cultivo de tomate, variedad Gabriela en invernadero bajo condiciones de sustrato.....	70

## I. INTRODUCCIÓN

La irrigación tiene como objeto principal suministrar el agua necesaria a las plantas a fin de que estas lleven a cabo procesos para su óptimo desarrollo, y así poder tener altos rendimientos de producción. Esto indica la vitalidad que desempeña el agua en la producción de alimentos; en referencia a esto, estudios realizados por la FAO en el año de 1979, estiman que el 13 % (233,637 millones de hectáreas) de la superficie arable en el mundo se cultiva bajo riego; este porcentaje se encuentra distribuido en los países que potencialmente poseen grandes superficies de riego como: Estados Unidos de Norteamérica, Unión Soviética, China, India, Pakistán, etc.

La superficie del suelo destinada a la agricultura ha aumentado un 12% desde los años sesenta, hasta abarcar casi  $1.5 \times 10^8$  ha. Se estima que la cantidad de agua extraída en el mundo para el riego está entre 2,000 y 2,555  $\text{km}^3$  al año. Las prácticas de riego y el escaso drenaje han conducido a la salinización de aproximadamente el 10% de las tierras irrigadas del mundo.

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

El número de acuíferos reportados en el país para el año 2000 fue de 653, distribuidos en todo el territorio nacional. El volumen estimado de agua que se extrae de los acuíferos según la FAO (1994) es de 18,994  $\text{hm}^3$ /año, cantidad que no varió de manera importante en los últimos diez años. Este

volumen corresponde al 38% del estimado de recarga anual para el país, lo que indicaría un balance positivo y, en teoría, todavía una reserva aprovechable importante. Sin embargo, a nivel regional la situación es muy diferente, las regiones de la Península de Baja California, las Cuencas Centrales y el Valle de México tienen déficit estimados de 17, 38 y 32%, respectivamente, y la región Noroeste está prácticamente con un balance de cero (0.8%).

Este problema es grave. En 1975 existían 35 acuíferos sobreexplotados, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985 y a 96 en el año 2000 (CNA, 2002), lo cual representa ya el 14% del total de acuíferos registrados en el país. Estos acuíferos se concentran en las regiones de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales, Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico. Además de la sobreexplotación, 17 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (13 de ellos están sobreexplotados), sobre todo aquellos que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima.

Sin duda, los acuíferos se convertirán en un recurso patrimonial estratégico (CNA, 2001). De hecho, en la actualidad el 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene de acuíferos y con ésta se abastece a 75 millones de personas (55 millones en ciudades y 20 millones en comunidades rurales). Por eso para reducir los problemas de sobre-explotación de acuíferos, los esfuerzos en la investigación se han enfocado en el desarrollo de tecnologías para el ahorro y conservación del agua; y esto seguirá siendo muy importante para continuar mejorando las técnicas de conservación e incrementar la eficiencia en el uso del agua.

La reconversión productiva de varias zonas de riego ha considerado la producción de hortalizas en invernaderos como una alternativa ante la escasez e incertidumbre de los recursos hidráulicos; con estas tecnologías se reduce la demanda evapotranspirativa, en algunos casos es del 50 por ciento en

invernadero con respecto a la evapotranspiración exterior. Además se puede controlar un microclima más adecuado para las plantas y por esto podemos obtener mayor producción y calidad de producto.

En la actualidad se estima que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombras en México, es del orden de 1200 hectáreas (Urrutia, 2002). Siendo los principales estados productores de hortalizas en invernadero: Jalisco (262 ha), Sinaloa (249 ha), Baja California Sur (206 ha), Baja California Norte (125 ha), Colima (80 ha) y Sonora (44 ha). Debemos considerar que entre más se incremente la superficie con mejores tecnologías (como es el caso de cultivos en invernaderos), seremos más eficientes en el manejo sostenible del agua; así por ejemplo, algunos gobiernos han considerado como modelo de desarrollo agrícola a implementar en otros países a la región de Almería España (Costa y Heuvelink, 2000), pues ha logrado pasar de una agricultura de subsistencia a una agricultura empresarial (Molina, 1999).

Los requerimientos hídricos de los cultivos al interior de un invernadero distan mucho de los existentes a campo abierto, y para la estimación de la demanda hídrica en invernadero existe muy poca información. El manejo adecuado del riego en el invernadero es muy importante para conseguir altos rendimientos y alta calidad del producto; esta actividad adquiere una mayor relevancia debido a que el uso de sustratos es muy común en los invernaderos y la cantidad de agua que estos pueden almacenar es muy reducida. En tales condiciones se hace necesario suministrar, con mucha precisión, láminas de riego muy pequeñas y muy frecuentes. Por otro lado, la dinámica del consumo de agua por las plantas en el interior del invernadero está sujeta a cambios de corto plazo en el clima, por ejemplo, un día medio nublado, o un día completamente nublado en el que la demanda de agua del cultivo se reduce; y si el evento del estado del tiempo sigue permaneciendo nublado, y si no se modifica el programa de riegos, puede haber efectos negativos sobre la planta y la calidad del fruto.

En atención a todo lo anterior, en el presente trabajo se plantea lo siguiente:

### **1.1 Objetivos:**

Programación de riego en base a la radiación solar para estimar consumo de agua /planta en el interior del invernadero.

Observar la incidencia de la radiación PAR en el dosel del cultivo con manejo a uno y a dos tallos.

### **1.2 Hipótesis.**

Es posible aplicar las cantidades necesarias de agua al cultivo de tomate cuando se toma en cuenta la Radiación solar.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Concepto de evapotranspiración:

Este término se usa para indicar la cantidad de agua que consume el cultivo por transpiración más el agua que se evapora del suelo o sustrato (Doorenbos y Pruit, 1990); y en los invernaderos prácticamente toda el agua que se pierde es debido a la transpiración y el agua que se evapora de la superficie del suelo o del sustrato es muy pequeña (Villalobos *et al.*, 2004).

La transpiración es la pérdida de agua a través de los estomas y la cutícula; ésta es verdaderamente importante y podría decirse que es un mal inevitable, debido a la necesidad que tienen las plantas de realizar el intercambio gaseoso  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  en una atmósfera con déficit de presión de vapor (DPV). Así mismo juega un papel muy importante en la refrigeración de la hoja. La transpiración es el factor esencial en la absorción del agua por el xilema al tiempo que es fundamental en la distribución de los nutrientes en la planta (Jones, 1990; Elizondo y Contreras, 1996).

Para comprender mejor el concepto de evapotranspiración, es necesario considerar los siguientes términos (Hatfield y Allen, 1996; Villalobos *et al.*, 2003):

#### 2.1.1 Evapotranspiración potencial

Se define como Evapotranspiración potencial (ETp) al consumo de agua por la planta cuando este se lleva a cabo bajo condiciones óptimas de humedad,



y es medida en un cultivo agrícola bajo y de cobertura completa (Hargreaves y Samani, 1985; Doorembos y Pruitt, 1990).

La ETp es nombrada también como evapotranspiración de referencia (ETo). Es un concepto establecido para indicar la cantidad que se trasfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia (Hargreaves y Samani, 1982). Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias. La ETo depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: radiación, temperatura, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, velocidad del viento, etc. (Allen *et al.*, 1994; Allen, 2000).

### 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 (ETr), es la cantidad de agua que un cultivo a evapotranspirado realmente, en condiciones de campo; es decir, en las condiciones limitadas por el cultivo comercial bajo riego.

## 2.2 Radiación, definiciones y características.

**Radiación:** Es energía radiada en forma de ondas o partículas; fotones. **La radiación electromagnética** tiene ambas propiedades ya sea de una onda o de una partícula discreta.

Pearcy *et al* (1989) definen los siguientes términos: **Densidad de flujo radiante incidente o irradiación:** es la energía incidente de todas las direcciones sobre una superficie; las unidades son:  $W.m^{-2}$ . **Irradiación espectral:** es la energía incidente de todas las direcciones sobre una superficie con unidad de longitud de onda específica; sus unidades son:  $W.m^{-2} \mu m^{-1}$ .

**Intensidad de radiación:** es el flujo de un punto fuente a través de una unidad de ángulo sólido; las unidades son  $W \text{ steradian}^{-1}$ . De esta manera la intensidad se refiere a un origen y a menudo es mal empleada en lugar del término correcto irradiación o densidad de flujo radiante. **Un fotón** es un paquete discreto de energía electromagnética. **Un quantum** es la cantidad de energía contenida en un fotón. Un **Einstein** es  $6.02 \times 10^{23}$  fotones (Einstein = 1 mol de fotones). **Flujo de fotones** es el número neto de fotones que un área emite o absorbe por unidad de tiempo; tiene las unidades de  $\text{mol s}^{-1}$ . **Densidad de flujos de fotones incidentes sobre área** es el número de fotones incidentes por unidad superficie plana por unidad de tiempo, sus unidades son:  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y usualmente es referido solo como densidad de flujo.

En un intento para estandarizar los términos de esas medidas, un comité de la Crop Science Society of America propuso las siguientes definiciones (Silbes, 1976).

- 1.-radiación fotosintética activa (PAR por su siglas en ingles): es la radiación entre los  $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$  de longitud de onda.
- 2.-densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD): es el número de fotones ( $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$ ) incidentes por unidad de tiempo sobre unidad de superficie. Sus unidades son  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- 3.-irradiación fotosintética (PI): es la energía radiante ( $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$ ) incidente por unidad de tiempo sobre una superficie; la unidades son  $W.m^{-2}$ .

Alrededor del 98% de la energía emitida por el sol está en la longitud de onda de  $0.3$  a  $3.0 \mu\text{m}$ . Antes de que llegue a la atmósfera terrestre el espectro de energía de esta radiación llega a su pico en  $0.48\mu\text{m}$  (Coombs *et al*, 1987). Moreno (2000) menciona que un 45 por ciento del espectro de radiación es de radiación visible con una intensidad máxima en las proximidades de los  $0.474\mu\text{m}$ .

En la superficie de la tierra la radiación solar se puede clasificar en dos componentes, en base a si la radiación procede directamente del sol (directa) o

si es dispersada o reflejada por la atmósfera y las nubes (difusa). La radiación difusa tiene una composición espectral diferente a la radiación directa debido a que las longitudes de onda corta son dispersas por las moléculas de aire más que las largas, dando el color azul a los cielos claros. Sin embargo, las partículas más grandes como el polvo y el agua, dispersan igualmente todas las longitudes de onda, de tal manera que cuando el sol aparece cubierto de nubes aparece blanco. La cantidad de luz varía según el ángulo del sol y la cubierta de nubes (Coombs *et al*, 1987).

### **2.3 Transmisividad de cubiertas plásticas**

La fracción de radiación transmitida dentro del invernadero es designada como “transmisividad global del invernadero” (Zabeltitz, 1998). Y está en función, entre otros factores, de las condiciones climáticas (nubosidad, principalmente, que determina la proporción de radiación directa mas difusa), de la posición del sol en el cielo (que dependerá de la latitud y longitud del lugar, fecha y hora del día), de la geometría de la cubierta del invernadero, de su orientación (este – oeste, norte-sur), del material de cerramiento o cubierta (características ópticas y radiométricas, estado de limpieza, condensación de agua en el interior,...) y de los elementos estructurales y equipos que limitan el paso de la radiación.(Bot, 1983; Zabeltitz, 1998). De este modo cuanto mas perpendicular incida la radiación sobre la cubierta del invernadero la transmisividad será mayor (Bot, 1983); lavar las cubiertas plásticas y restringir en lo posible el blanqueo de los invernaderos, junto con una buena elección de la lámina de plástico, permiten una mayor disponibilidad de radiación dentro del invernadero (Montero *et al.*, 1985; Morales *et al.*, 2000); otras medidas como limitar las sombras de estructuras y de equipos son necesarias al implantar los invernadero (Zabeltit, 1998).

Algunas técnicas de cultivo que optimizan el aprovechamiento de radiación son: la orientación de las líneas de cultivo este-oeste, densidad de plantas, entutorado, poda, uso de acolchado, (Castilla, 1994).

## **2.4 Cultivo de tomate**

### **2.4.1 Importancia del tomate.**

El tomate es un fruto con alto valor comercial y con una enorme importancia mundial. La aceptación general del fruto es debido a su forma variada de utilización. Además de su excelentes cualidades organolépticas, alto valor nutricional y en contenido de licopeno y vitamina C.; estos últimos, como antioxidantes, han demostrado estar inversamente relacionados con el desarrollo de cierto tipo de cánceres. En Europa, las proposiciones que motivan más al consumo de frutas frescas son por consejo médico, mejor sabor y que no sean tratadas industrialmente. Respecto a lo anterior es importante mencionar que los frutos de tomate comparándolo con otros vegetales son menos perecederos y más resistentes a daños por transporte (Villareal, 1980)

EL tomate es la hortaliza que en México, en volumen, más se produce y se exporta (esto genera divisas). La máxima exportación de esta hortaliza es en los meses de de enero o abril, la cual representa el 60% de las exportaciones anuales. No obstante también hay un volumen importante durante los meses de noviembre y diciembre y en los meses de julio – agosto, siendo octubre el mes de menos demanda.

Cook (2003) indica que el consumo per cápita de tomate fresco en Estados Unidos se ha incrementado de 7.6 kg en 1994 a 8.7 kg en el 2000. Esto sin considerar el tomate para proceso, el cual podría ascender a otros 30kg.

Cuadro 2.1 Superficie Cosechada y Volumen de Producción del Tomate en México Bajo Condiciones de Cielo Abierto. (Fuente: SIACON-SAGARPA)

<b>Año</b>	<b>Superficie cosechada Ha</b>	<b>Vol. Producido ton</b>
1993	72222	1692651
1994	65189	1368291
1995	75506	1935470
1996	68218	1948080
1997	69554	1875697
1998	74539	2138898
1999	81422	2385525
2000	74264	2084350
2001	74173	2145044

En cuanto a la demanda de tomate de invernadero en el mercado de los Estados Unidos, esta a tenido un crecimiento sin precedente en los últimos años, pues la importación creció de 19,000 ton en 1994 a 180,000 ton en el año 2000. Los orígenes de este volumen de importación son: 101,000 ton de Canadá; 44,000 ton de México; 35,000 ton de la Unión Europea y el resto de países como Marruecos e Israel (Cook, 2003)

#### **2.4.2 Clasificación taxonómica.**

Según Flores (1982), el tomate tiene la siguiente clasificación: *Lycopersicum esculentum* Mill (Tomate o Jitomate); pertenece a la familia Solanaceae, a la subclase Personatae, a la clase Angiospermae, a la subdivisión Pteropsidae, a la división Tracheophyta y al reino vegetal.

#### **2.4.3 Desarrollo vegetativo**

En un 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 ó 11 hojas son producidas por debajo de la primera inflorescencia. (Cárdenas, 1999).

Una alta disponibilidad de asimilados en condiciones altas de luminosidad, ambas estimulan la actividad del meristemo y el crecimiento foliar. Pero cuando las plantas están limitadas en fotoasimilados (bajo altas temperaturas o baja luminosidad) el crecimiento de las hojas jóvenes es favorecido a expensas del desarrollo apical. Este efecto es contrarrestado con la continua remoción de hojas jóvenes o poda temprana de hojas. Mediante el manejo hay que alcanzar un equilibrio entre la fase vegetativa y reproductiva (Muñoz, 2003).

#### **2.4.4 Fructificación**

La inflorescencia del tomate es un corimbo iniciado por el meristemo apical y consiste en un eje principal sosteniendo la flor lateral sin brácteas (sin hojas en el pedúnculo) (Kinet y Peet, 1997).

Si las condiciones ambientales de temperatura (23-25 °C en el día; 15 a 17 en la noche) y humedad relativa (60 a 80 % de HR) no son ideales, lo cual puede llegar a ocurrir en invierno. En tal caso, para el cuaje de frutos se recurre al empleo de hormonas del grupo de las auxinas. En caso de que no sea así, se emplean métodos auxiliares para remover 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 (Muñoz, 2003).

## **2.4.5 Factores climáticos y productividad en tomate**

### **2.4.5.1 Luz**

En un sentido estricto la luz es el espectro de la radiación solar que es visible para el ojo humano. Y en el desarrollo del cultivo resulta crucial la interrelación existente entre la luminosidad, la temperatura diurna y nocturna.

La planta de tomate es de *alta saturación lumínica* cuyo dosel no llega a saturarse, incluso a la máxima radiación que se puede alcanzar al medio día solar en un día despejado del solsticio de verano ( $1400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) en el interior del invernadero (Lorenzo *et al.*, 2003). Y la iluminación es con frecuencia, un factor limitante en invierno en los cultivos bajo invernadero. El factor que mas afecta el desarrollo del cultivo es la iluminación total diaria, mientras que la calidad de la luz y el fotoperiodo desempeñan un papel secundario. La producción potencial disminuye proporcionalmente a la reducción de la iluminación (Lorenzo, 1996) pues se ha determinado que reducciones del 1% estiman reducciones del 1% en producción (Cockshull, 1988, 1989).

Tratar de superar las limitaciones de luz a nivel comercial, económicamente rara vez se justifica. Por lo que generalmente es mejor maximizar la iluminación natural; es posible mejorar las condiciones de iluminación con prácticas como la optimización de la orientación del invernadero y la limpieza de su cubierta (Muñoz, 2004).

### **2.4.5.2 Temperatura**

Serrano (1978), menciona que la actividad vegetativa del tomate se paraliza con temperaturas ambientales inferiores a 10 °C durante 24 Hrs. Y con

temperaturas superiores a 35°C; la planta puede deshidratarse si la humedad relativa es baja (<60% HR). Por tanto la disminución de temperaturas ambientales limita severamente el desarrollo de las plantas (Vallejos *et al*, 1983).

Muñoz (2003) menciona que las temperaturas óptimas para el desarrollo del tomate es de 23 a 25 °C en el día y de 15 a 17 °C.

Los umbrales mínimos y máximos de temperatura del suelo son 13 y 15°C y 30-35°C (Bugbee y White, 1984) respectivamente.

#### **2.4.5.3 Humedad relativa**

La humedad relativa óptima debe de ser del 70% (Muñoz, 2003), y puede oscilar entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas (>80%HR) favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. También una humedad relativa baja (<60% HR) dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

#### **2.4.6 Factores en el entorno de raíces.**

##### **2.4.6.1 Sustrato**

Lo que demanda el cultivo de tomate en cuanto al sustrato es que sea de excelente drenaje y que tenga buena aireación; y en el mercado existen muchos. Así por ejemplo: el sustrato perlita es un aluminosilicato que se fabrica a partir de rocas volcánicas vítreas (con densidades originales de 1.5 g/cm<sup>3</sup>). En su tratamiento industrial se calienta a temperaturas de 1000 °C durante unos minutos y se logra una expansión de este y reducir la densidad hasta 0.12g/cm<sup>3</sup> (Maroto, 1990). Este sustrato tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja



capacidad de intercambio catiónico ( $0.15 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ ), su pH es casi neutro (7), es ligero y de fácil manejo (Fonteno, 1996). Y el tipo de sustrato de perlita B12 es el que más se usa en la horticultura, tiene una granulometría de 0-5 mm de diámetro y una densidad aparente de 0.10 a 0.12 g/cm<sup>3</sup> (Marfá et al, 1993; Martínez *et al.*, 1993).

#### **2.4.6.2 pH.**

Se desarrolla correctamente con pH próximos a la neutralidad; Escudero (1993) menciona que el nivel óptimo del pH en el cultivo de tomate sin suelo debe ser de 5.5 – 6.8; y como regla general el pH al final del gotero debe de ser de 5.5-6.0 (Muñoz, 2003).

#### **2.4.6.3 Salinidad.**

Es bastante resistente a salinidad; de forma que según estudios de Soil Improvement Committe 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 del rendimiento de un 50% es necesaria una conductividad en suelo de 8 dS/m a 25°C.

### **2.5 Manejo agronómico del cultivo.**

#### **2.5.1 Producción de Plántulas.**

En la producción de Plántulas se requiere atender todos los detalles, desde la siembra hasta el embarque para el transplante. Así por ejemplo, se debe de desinfectar las charolas que contendrán el sustrato (40 % de cloro activo o sumergimiento en agua caliente). Desde la siembra de la semilla hasta antes del transplante, el sustrato -por ejemplo Peat moss- debe tener buena

humedad y aireación. Los valores óptimos de temperatura y humedad relativa para la germinación de semillas son: 20-30 °C y una humedad relativa del 55-60 %. Por lo general la germinación ocurre en 3 días y la nascencia a los 4 días. Cuando se presenta la primera hoja verdadera de la plántula la temperatura se debe mantener en los 25 °C y una humedad relativa de 85 %. El riego en las plántulas a menudo se realiza con nebulizadores para mantener alta la humedad relativa (Muñoz, 2004).

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

#### **2.5.1.1 Repicado.**

Es una operación intermedia entre la siembra y el transplante. Consiste en pasar a las plántulas del semillero (con 2-4 hojas y un tallo de 3-4 cm de largo) a un recipiente que contiene una mezcla de sustratos para que enraícen adecuadamente en las condiciones favorables y protegidas del semillero (Bueno, 2001).

El objetivo de esta práctica es obtener plántulas de mayor calidad y homogeneidad ya que permite seleccionar aquellas plantas que se encuentran mas sanas y en mejor estado general, también es útil para incrementar la biomasa radical. En tomate se realiza a los 15 días después de la siembra (García, 1999).

#### **2.5.1.2 Acondicionamiento de las plántulas.**

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

1999). Este tratamiento puede ser por contacto con la planta (tocar, frotar, cepillar) aspecto que a sido llamado “thigmomorfogénesis” (Jaffe, 1973) o sin tocar la planta (viento, vibración o sacudida), respuesta que se le ha llamado “seismomorfogénesis” (Mitchel *et al.*, 1975). Los resultados de Lenscak (2001) indican que el cepillado redujo un 8.5% la altura de plántulas de tomate sin detrimento del peso seco total hacia el final del ensayo; además, en el mismo trabajo, la interacción de este tipo de acondicionamiento con la aplicación de sustancias húmicas produjo menor altura, menor biomasa aérea y un mayor desarrollo radical.

#### **2.5.4 Transplante.**

Consiste en trasladar al sitio definitivo las plantas que han alcanzado la etapa de semilleros en contenedores especiales, cuando estas reúnen las características deseada. Se deben desechar las plantas dañadas o que no están sanas. Durante la transición del semillero al sitio del cultivo las plantas deberán conseguir un rápido establecimiento y retrasar en lo mínimo sus procesos, para conseguir una ventaja significativa en la producción precoz.

#### **2.5.5 Entutorado**

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo 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 (destallado, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

En consecuencia con el crecimiento de los tallos, estos se van guiando con un hilo de rafia. La rafia debe ser especial para utilizarse en invernadero,

esta se enrolla en gancho que existe para tal fin. La longitud de la rafia, varía dependiendo de la altura del emparrillado para tutoreo, de la longitud de entrenudos de la variedad. Para las condiciones de El Bajío, en Guanajuato, con una altura de emparrillado a 4.5 m, y 10 meses de cultivo de tomate bola (variedad Girona) se requiere una longitud de 11 m (Muños, 2003).

Es fundamental hacerlo con oportunidad, antes que las plantas se vuelquen. La rafia se sujeta al tallo, ya sea mediante un nudo o un clip (anillo).

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 la rafia o bien mediante clips, todo depende del costo de los mismos. (Escudero, 1999).

Normalmente el tutoreo se hace cada ocho días, pero varía conforme va apareciendo un ramillete. Acortándose el tiempo en verano y alargándose en invierno. Cuando las plantas han alcanzado una altura de 2 a 2.5 m, se proceden a descolgar de manera progresiva y no de manera súbita. El descuelgue consiste en desenrollar la rafia 1 ó 2 vueltas.

Esta operación tiene que ser oportuna, un retraso en el mismo aumenta el riesgo de daño en los brotes (Escudero, 1999; Muños, 2003).

#### **2.5.6 Poda de tallos.**

Consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10-15 días en invierno) para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas. Los cortes deben ser limpios para evitar la posible entrada de enfermedades. En

épocas de riesgo es aconsejable realizar un tratamiento fitosanitario con algún fungicida-bactericida cicatrizante, como pueden ser los derivados del cobre. No obstante, si no se podan oportunamente los brotes de tallos se convierte en bajas en el rendimiento (Cárdenas, 1999).

### **2.5.7 Poda de hojas.**

Es recomendable tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo. La poda de hojas debe ser equilibrada, también esta practica es útil para evitar el rajado de frutos en ciertas variedades (Garzón, et al., 2003).Escudero, (1993) con el deshojado se consigue una mayor ventilación y mejora el color de los frutos.

### **2.5.8 Poda de frutos**

Se realizan con el fin de homogeneizar y aumentar el tamaño de los frutos restantes, así como su calidad. El número de frutos por ramillete incide sobre el tamaño final de los mismos (Escudero, 1993). La poda de frutos debe ser tan oportuna como sea posible, poco después de que los frutos han sido cuajados. Se eliminan todos aquellos mal formados, así como los que relativamente llevan un retraso significativo con respecto al resto.

### **2.5.9 Polinización**

Para el cuajado de los frutos se utilizan varias técnicas: mecánico, mediante insectos o con hormonas del grupo de las auxinas (4 CPA, ANA,

MCPA) (Escudero, 1993; Muños, 2003). La temperatura óptima para la germinación del grano de polen es de 21°C.

La polinización a través de medios mecánicos (removimiento de ramilletes florales mediante vibradores, turbinas de aire) es eficiente, siempre y cuando las condiciones de humedad relativa (70 % HR) y temperatura sean favorables, cuando haya un mayor desprendimiento del polen de la flor.

Gonzáles (1999) y Muños (2003) mencionan que el uso de insectos básicamente concierne a la polinización con abejorros (*Bombus terrestres*), es el que por su rusticidad se ha impuesto. El abejorro visita las flores en busca de polen como fuente de proteína para alimentar las larvas de la colonia. Visita entre 6 y 10 flores por minuto, de manera que una colmena llega a polinizar entre 20 y 50 mil flores diariamente. La vida útil de la colmena va de 5 a 8 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales, siendo el invierno el que más las castiga. Los abejorros dejan unas marcas de color naranja en las flores visitadas (Escudero, 1993).

## **2.6 Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo Invernadero.**

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

### **2.6.1 Radiación solar**

La radiación solar por ser la fuente principal de energía tiene relación prácticamente con todos los procesos fisiológicos de la planta. Y como la

transpiración consiste en la evaporación del agua desde la planta (a través de los estomas y la cutícula), la fuente natural que puede suministrar la energía para que ocurra este fenómeno es la radiación solar. Por esto Jensen *et al.*, (1997); Pereira *et al.*, (1999) mencionan que la evapotranspiración está fuertemente asociada a la radiación recibida e incluso existen métodos basados o que incluyen a la radiación. El aumento de la iluminación abre los estomas y esto provoca que aumente la transpiración.

### **2.6.2 Temperatura**

La temperatura no afecta directamente a la evapotranspiración, pero sí es un indicador de la cantidad de radiación (el incremento de la temperatura indica un incremento de la cantidad de energía del aire), de tal forma que en los meses en los cuales la radiación es mayor la temperatura también es más alta (Fernández *et al.*, 2001). Y por tanto; temperaturas altas favorecen la transpiración aumentando la velocidad de salida de agua por el estoma. Como en la atmósfera al aumentar la temperatura hace que disminuya la humedad relativa y aumente el gradiente de difusión del vapor de agua entre la cámara subestomática y el exterior, es por ello que aumenta la transpiración. Las temperaturas superiores a 30 °C en la mayoría de las plantas favorecen el cierre de estomas (Drake *et al.*, 1970; Salisbury, 1994); y esto provoca la insensibilidad del estoma al CO<sub>2</sub> (Villalobos *et al.*, 2004)

### **2.6.3 Déficit de presión de vapor**

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

Si aumenta la humedad atmosférica, disminuye la transpiración. La humedad atmosférica favorece una mayor apertura estomática, con lo que 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 dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para la fotosíntesis (Michael, 1983; Jones, 1990; Ruiz, 1993; Elizondo y Contreras, 1996).

Existen otros factores de menor importancia como es el caso de la velocidad del viento, pero bajo invernadero, este efecto puede ser casi despreciable (Fernández *et al.*, 2001). Y en cuanto a la concentración de oxígeno, en general, una alta concentración de oxígeno favorece el cierre de estomas (Drake *et al.*, 1970; Salisbury, 1994).

## **2.7 Programación del riego en tiempo real**

La programación del riego es el proceso de calendarización de los volúmenes de agua a aplicar a un cultivo para reponer el agua que ha perdido, antes de causar un daño fisiológico debido a un estrés hídrico. En condiciones controladas donde el sustrato ya no funciona como un gran almacén de humedad, la programación de riegos es mucho más crítica, al requerirse un riego de muy alta frecuencia.

Las plantas interceptan energía solar para la fotosíntesis, pero normalmente se emplea menos del 5 % en este proceso, y el resto de esta energía calienta a la planta y su medio físico (Coombs *et al.*, 1987); así que dado que la transpiración es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, esto implica que para que ocurra este fenómeno, se requiere que exista una fuente de energía la cual es proporcionada por la radiación.



Para programación del riego, los modelos que más se ajustan a la realidad (valores de evapotranspiración) por lo general son los que están fuertemente asociados con la radiación (balance de radiación); como: Penman-Monteith, Relación de Bowen y Correlación Eddy.

La alternancia entre días con alta radiación seguidos por días nublados genera dificultades en el manejo del riego. También causan rajeteado de frutos de tomate, si no se ajusta el programa de riego a las necesidades del cultivo. Y las fluctuaciones de radiación durante el día marcan la pauta para que los sistemas de riego automatizados se programen en función de cierto grado de radiación sobre todo en cultivos en sustratos ya que la reserva de agua en estos es relativamente pequeña (Muñoz y Medina, 2004).

En la figura 2.1 se observa que la transpiración depende de la radiación, reduciéndose en un día nublado respecto a un día soleado. Además se puede observar la alta sensibilidad de la transpiración a las variaciones de radiación (Fernández *et al.*, 2001).

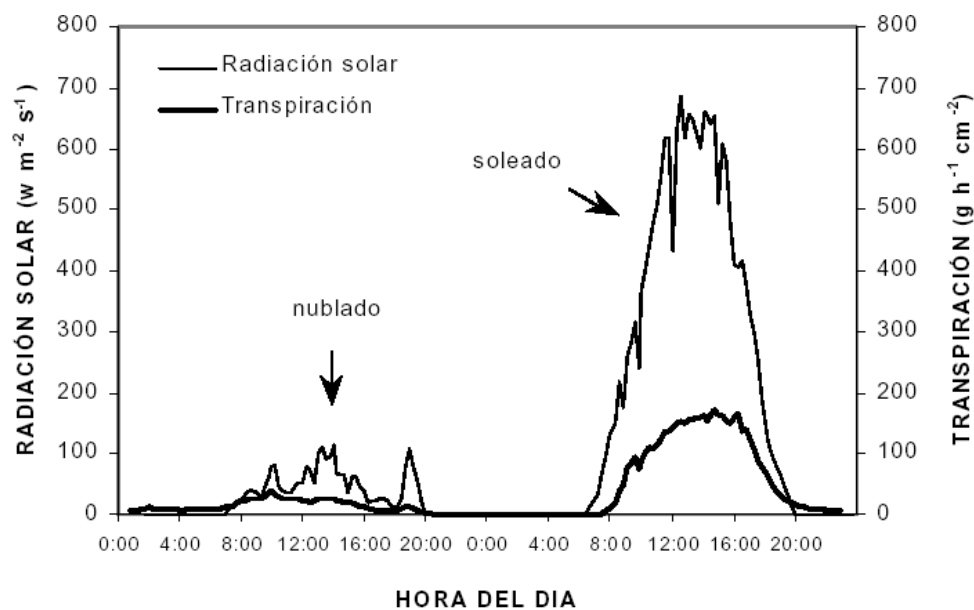


Fig. 2 1 Evolución a lo Largo de un Día Nublado y un Día Soleado de la Radiación Solar y la Transpiración de un Cultivo de Melón Entutorado Bajo Invernadero (Datos Optenidos por la Estación Experimental de Zonas Aridas, EEZA, CSIC). (Fernández *et al.*, 2001).

La transpiración de un cultivo bajo invernadero en Almería está estrechamente asociada a la radiación solar. Por ello, el modelo de FAO-Radiación muestra una alta precisión en estas condiciones de cultivo. Sin embargo, este modelo requiere datos medidos dentro del invernadero de temperatura y radiación solar. Una simplificación consistiría en ajustar una relación lineal del tipo  $ET_o = b \times R_s$ , sin embargo, el valor del coeficiente  $b$  varía a lo largo del año (Fernández, 1993). La Figura 2.2 muestra la evolución estacional de la  $ET_o$  y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería. Como se puede observar, la evolución de la  $ET_o$  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  $ET_o$  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 (Fernández *et al.*, 2001). El modelo propuesto fue:

\* Si  $DDA < 220$

$$ET_o = (0.288 + 0.0019 \times DDA) \times R_{s_{inv}}$$

\* Si  $DDA > 220$

$$ET_o = (1.339 - 0.00288 \times DDA) \times R_{s_{inv}}$$

donde,  $DDA$  es el día del año, siendo el 1 de enero el día 1 y el 31 de diciembre el día 365,  $R_{s_{inv}}$  es la radiación solar dentro de invernadero expresada en  $mm \text{ día}^{-1}$  ( $mm \text{ día}^{-1} = MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1} / (2.454 MJ \text{ kg}^{-1} \text{ de } H_2O)$ ). 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.

$$R_{s_{inv}} = R_{s_{ext}} \times \tau$$

Donde,  $R_{s_{ext}}$  es la radiación solar medida en exterior y  $\tau$  es la transmisividad de la cubierta. Este modelo presenta la ventaja sobre el modelo del Tanque, de

su adaptación a cualquier tipo de invernaderos y condiciones de cultivo sí se conoce. 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).

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.

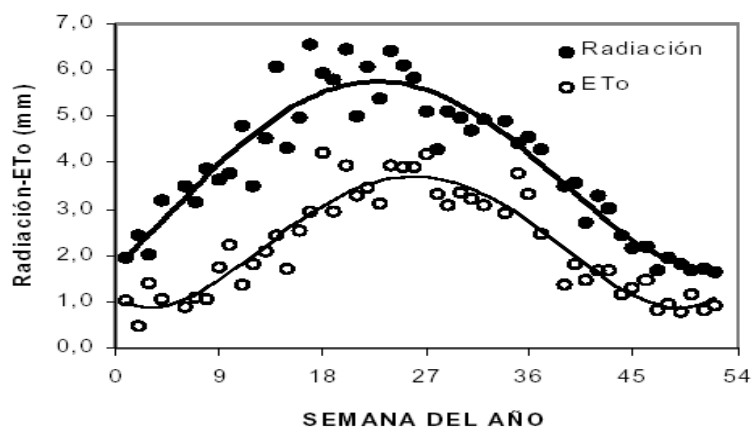


Fig.2.2 Evolución Estacional de los Valores Diarios Medios Semanales de la Evapotranspiración (ETo) y la Radiación Solar Dentro de Invernadero en Almería Durante el Año 1994. (Fernández *et al.*, 2001).

En los últimos años, con el desarrollo de los computadores personales se han elaborado varios software para calcular las necesidades de riego de los cultivos a partir de datos climáticos, como el del USDA (Jensen, 1969), CIMIS (Snyder, 1985), CROPWAT (Smith, 1992). Estos software no sólo permiten predecir las fechas y las dosis de riego a lo largo de la campaña, pueden ser

muy útiles para evaluar el manejo del riego y para planificar las actividades de finca desde el inicio de la campaña (Fererres *et al.*, 1981).

Es necesario generar un software que permita estimar la ETc bajo invernadero a partir de datos climáticos y su difusión a técnicos y agricultores, así como la posibilidad de ejecutarlo en computadoras para controlar el riego.

Debido a la escasa importancia de la velocidad del viento dentro de invernadero (Fernández *et al.*, 1995), la expresión de Penman-FAO que incorpora un término aerodinámico, no mejora las estimaciones de la ETo respecto al modelo de radiación (Fernández *et al.*, 2001).

Esta programación se adapta a una programación individual, para cada agricultor y puede llevarse a cabo si se dispone de los datos climáticos necesarios, que pueden proceder de su invernadero o bien de alguna estación agrometeorológica bajo invernadero próxima (Fernández *et al.*, 2001).

## **2.8 Productividad de los cultivos según la intercepción de luz por los doseles.**

Es importante que se considere el tipo de manejo agronómico del cultivo (si es a un tallo o a dos tallos); ya que éste puede modificar el índice de área foliar y por tanto la productividad del cultivo.

Una de las principales funciones de las hojas de las plantas es interceptar la radiación solar necesaria para poder llevar a cabo la fotosíntesis. Por tanto, los cultivos deben desarrollarse de tal forma que su área foliar les permita una máxima absorción de la radiación solar para así lograr el máximo desarrollo fisiológico (Monteith y Unsworth, 1990; Jones, 1992). En contraste el primer efecto de una baja disponibilidad de radiación visible es una reducción

de la fotosíntesis y por tanto menor aporte de fotosintatos para la producción de biomasa (Monteith, 1977; Kiniry y Ritchi, 1985; Hashemi-Dezfouli y Herbet, 1992; Westgate *et al.*, 1997)

Varias investigaciones (Shibles y Weber, 1965; Williams *et al.*, 1965) han mostrado que el máximo rendimiento de un determinado cultivo está en función de su índice de área foliar óptimo, el cual es función de la densidad de población. A valores menores o mayores de este índice de área foliar, el rendimiento decrece (Karlen y Camp, 1985; Hashemi-Herbert, 1992, Andrade *et al.*, 1992). Para valores menores del índice de área foliar óptimo, parte de la radiación solar no será interceptada por el follaje; mientras que para valores mayores, la relación de follaje sombreado se incrementa, la relación fotosíntesis respiración disminuye y el rendimiento decrece (Wells, 1991; Andrade *et al.*, 1993).

De la radiación solar total incidente sobre el dosel de los cultivos que está en el rango de longitud de onda de entre 0.380 a 4.00  $\mu\text{m}$ , el espectro que la plantas utilizan para el proceso de fotosíntesis está entre 0.400 a 0.700  $\mu\text{m}$  y corresponde a aproximadamente 48% de la radiación solar total incidente (Nobel, 1991; Jones, 1992). El resto de la radiación solar absorbida por el dosel induce efectos térmicos, al afectar la temperatura de la hoja y la tasa de transpiración (Gallo y Daughtry, 1986).

Zermeño *et al* (2005) mencionan que la eficiencia de captación de radiación de un dosel podría evaluarse en referencia de sus propiedades espectrales: un dosel eficiente sería aquel con un alto índice de absorción a la PAR, pero con alta reflectividad a la banda de radiación cercano al infra-rojo (0.74-1.2  $\mu\text{m}$ ) para así reducir los efectos de calentamiento foliar e incremento de la tasa de transpiración.

En la región de la PAR del espectro, la hoja absorbe el 90% de la radiación incidente (Coombs et al., 1987). Zermeño *et al* (2005) Al evaluar las propiedades espectrales del cultivo de maíz bajo tres densidades de población y su relación con la fotosíntesis encontraron que en promedio la radiación solar total es absorbida en 75%, mientras que la radiación fotosintética activa es de 95%. Al aumentar las densidades del cultivo se incrementó ligeramente la absorción de la radiación fotosintética activa, y se observó lo contrario en la banda de la radiación solar total.

En las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, la reflectividad a la radiación total es mayor, debido a un mayor ángulo de incidencia de la radiación (Campbell, 1986; Zermeño et al., 2005), siendo este efecto menos notable para la PAR.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1 Descripción del sitio experimental.**

##### **3.1.1 Localización.**

El presente trabajo se realizó durante el ciclo Primavera-Otoño de 2004, en un invernadero del campo agrícola experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

##### **3.1.2 Clima.**

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

Donde:

Bso: Es el clima más seco de los Bs.

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

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

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

En general la temperatura y precipitación media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre Julio y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el

mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente.

### **3.2 Material vegetativo.**

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

### **3.3 Establecimiento del experimento.**

#### **3.3.1 Tamaño del invernadero.**

El experimento se realizó en un invernadero de 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 PVC “larga duración” de color blanco translúcido, de 188 micras de espesor (calibre 720).El invernadero estuvo equipado con control de clima y equipo de fertirriego computarizado.

El área sembrada fue de 1000 m<sup>2</sup> y estuvo dividida en: sección con manejo a dos tallos por las válvulas 4 y 5 y en la sección con manejo a un tallo por las válvulas 6 y 7.

#### **3.3.2 Preparación del invernadero**

Antes de transplantar las plántulas, el invernadero se acondicionó realizando lo siguiente:



1. Las camas se hicieron manualmente, a lo largo de esta se dejó un canal con cierto desnivel hacia el canal principal de drenaje, esto con la intención de que el agua drenada de cada taco se vertiera por esta vía y finalmente fuera drenado al canal principal. Además se dejó más ancho un costado de cada cama para colocar los tacos. La distancia entre camas fue en promedio de 1.80 m.
2. Las camas se acolcharon con un plástico de polietileno de color blanco, haciendo que el plástico tomara la forma del diseño de la cama para no tener problemas con la distribución del drenaje.
3. A continuación se colocaron los tacos sobre el costado más ancho de cada cama.
4. Se construyó el canal principal de drenaje (hecho de aluminio).
5. El sistema de riego por goteo se instaló. De tal forma que quedó un gotero de estaca de 1 lpm por planta (Ver Figuras 3.1 y 3.2)
6. Se tendieron las mangueras de poliducto de flujo horizontal de ½" en cada cama con sus respectivos goteros de 4 lph para cada taco, cada gotero con su respectivo distribuidor y estaca como se ilustra en la figura 2.0.



Figura 3.1 Ensamble de Accesorios del Sistema de Riego.



Fig. 3.2 Instalación de los Goteros en el Taco con Sustrato Perlita.

7. Se instalaron 4 ventiladores de flujo horizontal, uno en cada válvula del experimento.

### **3.3.3 Siembra**

El 13 de febrero de 2004 se preparó la semilla para sembrarse en charolas de unicel de 200 cavidades, posteriormente se dejaron en un invernadero cubriéndolos con plástico color negro de polietileno donde permanecieron 45 días.

### **3.3.4 Transplante**

El transplante se llevó a cabo el 13 de Abril de 2004 en el invernadero (de tal manera que este día se tomó como el día 0 después del transplante “DDT”).

### **3.3.5 Fertirrigación**

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

Cuadro 3.1 Aportación Proporcional de Nutrientes a el Cultivo de Tomate.

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

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 (a uno y dos tallos).

### **3.3.6 Labores culturales**

#### **3.3.6.1 Entutorado**

Esta práctica se realizó con hilo de rafia sujeto de un extremo del tallo de la planta mediante un anillo y de otro a un hilo de alambre que forma el emparrillado del invernadero situado a determinada altura por encima de la planta en cada tipo de manejo (a uno y dos tallos). Conforme la planta iba creciendo, ésta se fue guiando al hilo tutor, se comenzó a descolgar de manera progresiva. Por lo que esto incide en una mejora de la calidad del fruto y un incremento de la producción. Esta labor se inicio desde el momento del trasplante hasta el final del ciclo de cultivo, realizándose aproximadamente cada ocho días.

### 3.3.6.2 Poda de tallos o brotes

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó en promedio 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.

### 3.3.6.3 Poda de hojas

Es recomendable en las hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que iba 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 a la planta en su balance hídrico y energético (ver Figura 3.3).

Esta práctica se llevaba a cabo 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 labor se hizo con tijeras especiales.



Fig. 3.3 Vista del Cultivo Después de la Poda de Hojas y Tallos.

#### **3.3.6.4 Poda de frutos**

Se realiza con el fin de homogeneizar y aumentar el tamaño de los frutos, así como su calidad, eliminando los frutos dañados, deformes y aquellos que tienen un reducido calibre, así como en aquellas inflorescencias o ramilletes con gran número de flores o frutos (más de 6) para evitar el desprendimiento total de éstos. Este tipo de poda no fue muy frecuente, pero se realizó oportunamente.

#### **3.3.6.5 Control de plagas y enfermedades**

Los primeros días después del trasplante se hizo presente el parásito *Botrytis cinerea* Pers; provocando la enfermedad de la caída de plantas o “damping-off”, este hongo fue atacado con el fungicida Rally 40w, además de tener un mejor cuidado en el drenaje de los sacos, las plantas que presentaron este problema se desecharon del invernadero inmediatamente para evitar reproducción del hongo. También se presentaron enfermedades provocados por los siguientes virus: virus del rizado amarillo del tomate (TYLV), virus del bronceado del tomate (TSWV), y el virus del enanismo ramificado del tomate (TBSV).

Para combatir las enfermedades se aplicaron fungicidas como el Trevanil, Promyl, Tecto, Previcuir, Pro F + B, Cupravit, y Endosulfan. Siguiendo con el control de virus, se eliminaban las plantas afectadas, también se eliminaban las malas hierbas dentro y fuera del invernadero y se hicieron aplicaciones de insecticidas para combatir insectos vectores tales como mosca blanca (*Bemisia tabaci* G. y *Trialeurodes vaporariorum* W.) y trips (*Frankliniella occidentalis* P.).

Las plantas que presentaban algún síntoma de enfermedad se eliminaban del invernadero.

A partir del periodo de producción se hizo manifiesto alteración en algunos frutos por podredumbre apical (Blossom-end rot). Esta fisiopatía estuvo relacionada con los niveles deficientes de calcio en el fruto y el estrés hídrico para la solución de este problema se aplicaron fertilizantes foliares tales como Foltron plus, Poliquel, Bionex y Quelatos de calcio, ya que esta alteración en ocasiones es debido a que la planta puede necesitar más calcio del que puede asimilar por medio de las raíces.

Por otro lado también se presentó rajado de frutos, esta alteración se debió a los desequilibrios tanto en los riegos como en la fertilización y a las disminuciones bruscas de radiación solar durante el día. Esto se observó con mas intensidad en los últimos días del ciclo del cultivo (esto influyó en menor calidad del fruto).

### **3.4 Metodología en la toma de datos.**

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

Los datos se obtuvieron con un sensor pyranómetro, modelo LI-200SA de LI-COR; el cual estaba conectado a un datalogger modelo LI-200 de LI-COR. Este se instaló en el interior del invernadero del 28 a 203 DDT.

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

Se instalaron 2 torres (Fig.3.4) una en cada sección (válvulas 5 y 6) las cuales representaban cada una un manejo agronómico del cultivo -a uno y dos tallos- sobre las cuales estaban los sensores (para medir la PAR) que

mandaban la señal a un micrologger modelo CR 23X de Campbell SCI., Inc, en el que se almacenaban los datos cada 15 minutos, para conocer la evolución de la PAR en el dosel del cultivo. El periodo del registro de datos fue de 135 a 204 DDT.

En días específicos los doseles se trataron de mantener a 1.95m de altura con respecto al suelo.

Cada torre medía, hasta el punto  $H_0$ , 2.4m de altura con respecto al suelo y tenía lo siguiente:

### **1) Torre instalada en la sección a un tallo:**

En la parte superior, por encima del dosel del cultivo con manejo a un tallo, a 2.4m ( $H_0$ ) 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 la sección a dos tallos:**

Se llevó a cabo el mismo tipo de instalación que en la sección a un tallo (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  $H$  ( $H_0$ ), pues se consideró que la distribución espacial de la PAR incidente dentro del invernadero era la misma.



Fig. 3.4 Torre Para Medir la PAR en el Dosel del Cultivo.

### **3.4.3 PAR reflejada, en días específicos, en el dosel del cultivo con manejos a uno y dos tallos.**

Con una barra de luz modelo LQS7010 (de 10 sensores, 70 cm de longitud) de Apogee Instruments Inc. conectada a un voltímetro que daba los datos de salida en mV , se tomaban lecturas de la PAR de forma manual (con el factor de conversión:  $mV = 10 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) aproximadamente cada 30 minutos a las alturas del dosel ya establecidas ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$  ) en los dos doseles, a uno tallo y dos tallos. Cada toma de datos tenía una duración aproximada de 10 minutos por los dos doseles.

Por lo general el registro fue de las 7:30 a las 19:30 hrs.

Los registros de datos se hicieron en los días 149, 151 y 154 DDT.

Los doseles en ambos manejos agronómicos a un tallo y dos tallos (en las torres principalmente) se mantuvieron en promedio a 1.95 m con respecto al suelo y la separación entre hileras de plantas en las camas fue de 70cm.



#### **3.4.4 Toma de datos de la radiación neta (Rn).**

Estos datos se obtuvieron con un radiómetro neto modelo Q -7.1 de Radiation and Energy Balance System Inc. El cual estaba conectado a un datalogger modelo 21X (L).

El periodo del registro de datos fue de 7 a los 223 DDT cada 15 minutos las 24hrs.

#### **3.4.5 Toma de datos para la obtención del por ciento de transmitancia de la cubierta plástica.**

Para la toma de datos de radiación solar instantánea se utilizaron dos sensores **Pyranómetros (Silicon Piranometer Sensor)**, Modelo PYR de Apogee Instrument Inc. conectados a un micrologger modelo 21X (L) de Campbell SCI., los cuales se instalaron el día del año 63 (antes del transplante de la planta) hasta el día del año 131 el cual correspondió a 10 DDT y los datos promediados se registraron cada 30 minutos.

#### **3.4.6 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 basan en medir el volumen de agua de entrada en la bandeja y el volumen de salida en el drenaje. Para calcular el volumen de agua que consumió el cultivo se aplicó la siguiente ecuación:.

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

Donde:

CA = Volumen de agua consumido de la superficie de la bandeja ( $l/m^2/día$ )

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

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

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

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

#### **3.4.6.1 Descripción de la bandeja de drenaje.**

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 1 m de largo por 30 cm de ancho.
- Taco con sustrato.
- Manguera flexible de 1 pulgada.
- Tanque colector de drenaje (ánforas de plástico de 22 litros).
- Recipiente para captar el volumen de entrada (garrafrones de Plástico de 19.7 litros).
- Goteros de control o de referencia.

Para este caso las lecturas tanto de riego (volumen de entrada) como de drenaje se tomaron diariamente a las 8:00 de la mañana, antes de que comenzara a funcionar el sistema de riego, obteniendo de esta manera por diferencia de datos de riego y drenaje el volumen de agua consumida por las plantas del día anterior.

Estas mediciones se hicieron del 54 al 138 DDT en las 4 válvulas.

### 3.4.7 Toma de datos con pluviómetros electrónicos.

Para medir el volumen de agua aplicada (de seis 6 goteros) y drenada de un taco de perlita (con seis plantas) que estaba en la sección a dos tallos se 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-525I de Texas Electronics, Inc. conectado a un micrologger modelo CR 23 X de Campbell SCI (que registraba valores cada 15 minutos las 24 hrs).

El pluviómetro de LI-COR se instaló para medir el drenaje a los 28 Días Después del Transplante (DDT) hasta el DDT 151 y de ahí en adelante tomó datos de riego hasta el DDT 203. Por otro lado el pluviómetro de Texas Electronics Inc. se instaló para medir riego a partir del DDT 134 hasta el DDT 150, y después se instaló para medir drenaje del DDT 151 hasta el DDT 188.



Fig. 3.5 Medición del Drenaje con el Pluviómetro TR-525I de Texas Electronics, Inc.

### 3.4.8 Toma de datos para registrar el comportamiento de la humedad en el sistema “raíces - sustrato”.

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.

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



Fig. 3.6 Sensor TDR instalado en el taco con sustrato perlita.

### **3.5 Metodología para la obtención de los resultados**

#### **3.5.1 Radiación solar en el interior del invernadero**

Los datos de la radiación solar total diaria se graficaron tal y como se obtuvieron del equipo Dataloger modelo Li-1200 de LI-COR (referidos a los Días Depuse del Transplante (DDT) del cultivo).

#### **3.5.2 PAR en el dosel del cultivo según el tipo de manejo**

En la PAR reflejada se muestran los valores instantáneos que se obtuvieron directamente en campo en días específicos (149, 151 y 154 DDT); y de la misma manera se hizo con la PAR incidente en los mismos días específicos. Sin embargo para la obtención de la energía incidente diaria de la PAR, los valores instantáneos de la PAR incidente se integraron de la siguiente manera: dado que los valores de la PAR estaban cada 15 minutos, por lo tanto para obtener la energía en este tiempo, se promediaron cada 15 minutos los valores de PAR instantánea ( $\{PAR_{8:30Hrs} + PAR_{8:45Hrs}\} / 2$ ) y luego se multiplicó por los 900 segundos que contiene 15 minutos y esto se dividió sobre un millón (para convertir de  $\mu\text{mol m}^{-2}$  a  $\text{mol m}^{-2}$ ); después se sumaron los resultados de todo un día para así obtener la PAR integrada diariamente (esto se hizo para cada punto de los doseles:  $H_0$ ,  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$  según el manejo agronómico).

#### **3.5.3 Radiación neta integrada en el interior del invernadero.**

La obtención de la energía neta se hizo integrando los valores de radiación neta (positivos). Dado que los valores de  $R_n$  estaban cada 20 minutos, entonces para obtener la energía en 20 minutos, se promediaron cada 20 minutos los valores de  $R_n$  instantánea ( $\{R_{n8:30Hrs} + R_{n8:45Hrs}\} / 2$ ) y luego se

multiplicó por los segundos que contienen 20 minutos y esto se dividió sobre un millón (para convertir de Joule a MJ); después se sumaron los resultados para así obtener la Rn integrada diariamente (esto se hizo para todo el día y también solo para valores positivos).

#### **3.5.4 Por ciento de transmitancia de la cubierta plástica del invernadero.**

Se seleccionó un día (día 97 del año) para observar el comportamiento de la radiación solar en el exterior y el interior del invernadero y además, en este mismo día, analizar el por ciento de transmitancia durante el día. Para la estimación del por ciento de transmitancia se dividieron los valores instantáneos de radiación solar del interior del invernadero sobre los valores de radiación solar exterior y después se multiplico por 100 (estos fueron los valores del por ciento de transmitancia durante el día), el por ciento diario de transmitancia se obtuvo promediando los valores de transmitancia durante el día y el por ciento de transmitancia general promedio se obtuvo promediando los valores del por ciento de transmitancia diarios del intervalo de días que se evaluó (63 –131 días del año).

#### **3.5.5 Riego, drenaje y consumo de agua diarios**

Para la obtención de los consumos de agua diaria de forma manual (de las válvulas 4, 5, 6 y 7), el consumo se obtuvo, por la diferencia de agua aplicada menos agua drenada de cada taco y para obtener el consumo por planta se dividió entre el número de plantas del taco (seis plantas por taco). Se promediaron los valores de las válvulas 4 y 5 para obtener el consumo de agua en la sección a dos tallos, y para obtener el consumo a un tallo se promediaron los valores de las válvulas 6 y 7. Esto se hizo en los días después del transplante 56-140 para graficar solamente el riego, drenaje y consumo según el manejo agronómico.

Para conocer los consumos diarios de agua por planta por los pluviómetros que evaluaron un solo taco que se localizaba en la válvula 4, primero se ordenaron los datos de drenaje y precipitación diaria; y para la obtención de los volúmenes medidos por cada pluviómetro, estos se calcularon mediante “factores de medición” para cada pluviómetro. El factor del pluviómetro de modelo 1000-20 de LI-COR fue de 34.727 ml / señal o conteo. Para el pluviómetro modelo TR-525I de Texas Electronics, Inc. el factor fue 5.645 ml / señal o conteo; y en este caso se llevó a cabo la sumatoria por día de todos los valores para obtener el volumen total por día. Por lo tanto, los valores de riego, drenaje y consumo medidos con los pluviómetros se graficaron por aparte, de los días después del transplante 30 -189. Además también se hizo una sola gráfica del riego, drenaje y consumo promediando los datos obtenidos con la bandeja de drenaje (a uno y dos tallos) y agregando volúmenes obtenidos con los pluviómetros para completar más días; y con estos datos, se obtuvo el por ciento diario de drenaje dividiendo el drenaje diario sobre el riego diario y esto multiplicado por 100.

### **3.5.6 Drenaje de agua /planta en días con diferentes programas de riego.**

Por otro lado se seleccionaron días específicos (163, 174, 182 y 187 DDT) para revisar el efecto las variaciones del programa de riego en el drenaje instantáneo durante el día. El cual fue obtenido con el pluviómetro (modelo TR-525I de Texas Electronics, Inc.) y su respectivo factor de conversión de volumen.

### **3.5.7 Radiación (MJ) y consumo de agua (lts).**

Para observar el comportamiento del consumo diario de agua / planta y la energía solar total diaria (MJ), se presentan los valores de ambas variables

solo para el intervalo de días después del transplante (DDT) en los cuales tenemos las dos variables. Y en este caso, el consumo diario se obtuvo promediando los valores del consumo de los dos tipos de manejo y además se añadieron los consumos tomados por los pluviómetros.

### **3.5.8 Consumo instantáneo de agua durante el día.**

El consumo instantáneo se hizo con la diferencia del riego instantáneo menos el drenaje instantáneo, y esto se hizo solo para algunos días ya que se tuvo solo un pluviómetro que obtenía mediciones instantáneas (Pluviómetro TR-525I de Texas Electronics, Inc.) el cual por cierto periodo de tiempo midió riego (que nos fue de referencia en cuanto al riego instantáneo de días posteriores) y después drenaje.

En referencia a lo antes mencionado, con el apoyo de los datos registrados del funcionamiento instantáneo y diario en el equipo de fertirrigación de NETAFIN, al comparar los tiempos y frecuencias del riego, pudimos conocer el comportamiento del volumen de riego instantáneo para algunos días específicos en los cuales ya se registraban datos reales de drenaje cada 15 minutos por medio del pluviómetro. Por ejemplo en los días 151,152 y 163 el riego operó con el mismo programa del DDT 150 y algo similar ocurrió con el DDT 158.

### **3.5.9 PAR incidente integrada cada 15 minutos durante el día.**

Para la integración de la PAR cada 15 minutos, se promediaron cada 15 minutos los valores de PAR instantánea ( $\{PAR_{8:30Hrs} + PAR_{8:45Hrs}\}/2$ ) y luego se multiplicó por los 900 seg. y se dividió sobre 1000,000. Los días seleccionados corresponden a los días del consumo instantáneo de agua / planta.



### **3.5.10 Acumulación de los valores del consumo instantáneo de agua /planta y de la PAR integrada cada 15 minutos.**

Se llevó a cabo una acumulación de datos en cada variable. Y ésta corresponde a los mismos días analizados de cada variable.

### **3.5.11 Comportamiento del contenido de humedad base volumen (CH<sub>v</sub>) del sustrato.**

El contenido de humedad base volumen (CH<sub>v</sub>) del sustrato obtenidos en el TDR instalado en el taco de perlita se muestra en días seleccionados para la interpretación y análisis, pues corresponden a 3 días del comportamiento del consumo instantáneo de agua / planta.

### **3.5.12 Correlación del consumo acumulado de agua / planta y los mol m<sup>-2</sup> acumulados.**

Se estableció, para días específicos, una regresión lineal con los valores del consumo acumulado de agua / planta y los mol m<sup>-2</sup> integrados (cada 15 minutos) acumulados de la PAR incidente en el interior del invernadero.

### **3.5.13 Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias.**

Las temperaturas se muestran tal como las registró el datalogger modelo LI-1200 de LI-COR.

### **3.5.14 Rendimiento del cultivo de tomate según el tipo de manejo**

Los valores de los rendimientos reales se extrapolaron a ton / ha en base a el área efectiva de invernadero con cultivo que fue de 1000 m<sup>2</sup> y los rendimientos en kg.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Radiación solar (Rs).

Con base a la información obtenida de radiación solar (Rs), en la figura 4.1 se observa la energía total diaria en MJ, en la cual los valores pequeños corresponden a días nublados y lo contrario ocurre con valores altos que representan días sin nubosidades –o nubosidades no significativas-. Por otro lado, existe cierta tendencia de los valores, la cual corresponde a la duración de horas luz y esta tiene que ver con las estaciones del año (existen valores mayores a la mitad de la estación del año Verano que corresponde cerca de el DDT 114, y empiezan a disminuir al entrar la estación del año Otoño después del DDT 161).

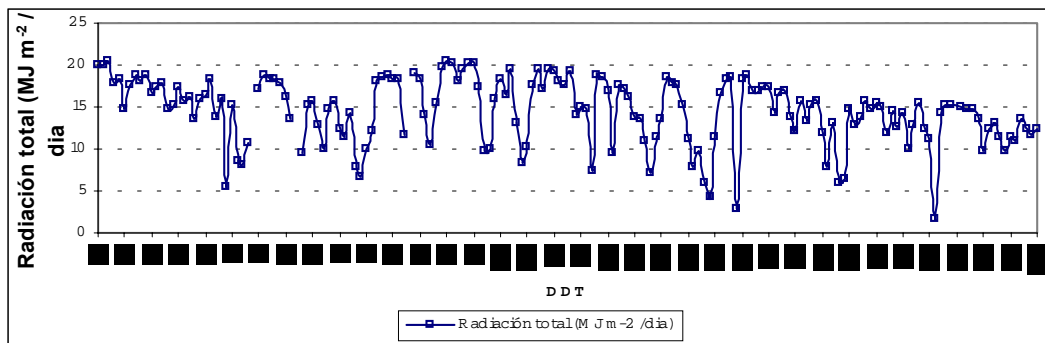


Fig. 4.1 Radiación Total Diaria en el Interior del Invernadero en los Días Después del Transplante 28-203.

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

En cuanto al funcionamiento de los doseles, según el manejo, en relación a la Radiación fotosintética activa (PAR) reflejada, en la figura 4.2 la

PAR reflejada es siempre mayor en el manejo a un tallo (esto lo determina el punto  $H_0$  en los cuales se hicieron las mediciones en los dos manejos), esto se debe, entre otros factores, a que la PAR que no es interceptada por el dosel es reflejada por el polietileno de color blanco localizado abajo del dosel. Y en el dosel con el manejo a dos tallos intercepta mayor radiación, provocando disminución de la PAR reflejada por el polietileno debajo de él y por tanto se supone mayor absorción por el dosel.

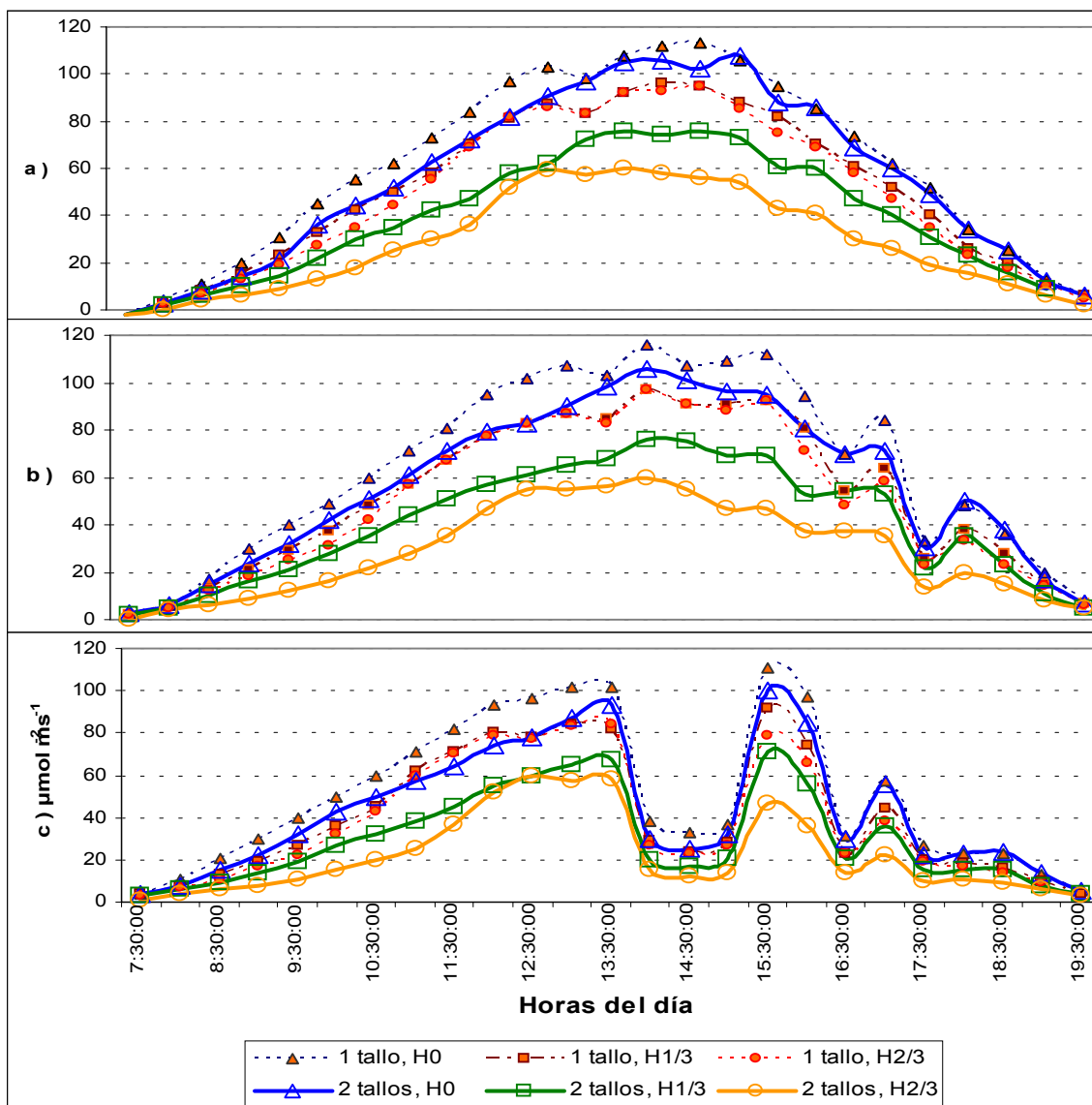


Fig. 4.2 PAR Reflejada en las Diversas Alturas del Dosel del Cultivo de Tomate ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$  Y  $H_{2/3}$ ), Según el Manejo Agronómico (a Uno a Dos Tallos), en los Días 149 (A), 151 (B) y 154 (C) Después del Transplante.

La PAR reflejada a un tallo es mayor en  $H_0$  (todo el dosel) que en los estratos  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ , ya que en estos estratos inferiores llega menos radiación incidente como lo indica la figura 4.3 y por consiguiente refleja menos. Y en los estratos inferiores del tipo de manejo a un tallo, la PAR reflejada no es muy diferente, esto se puede deber a la mayor cercanía del punto  $H_{2/3}$  al polietileno de color blanco abajo del dosel en comparación con  $H_{1/3}$ .

En el manejo a dos tallos, la PAR reflejada en  $H_0$  es mayor a  $H_{1/3}$  y  $H_{2/3}$ , pero estos dos últimos puntos de toma de lectura son en menor proporción diferentes (mayor en  $H_{1/3}$  que en  $H_{2/3}$ ).

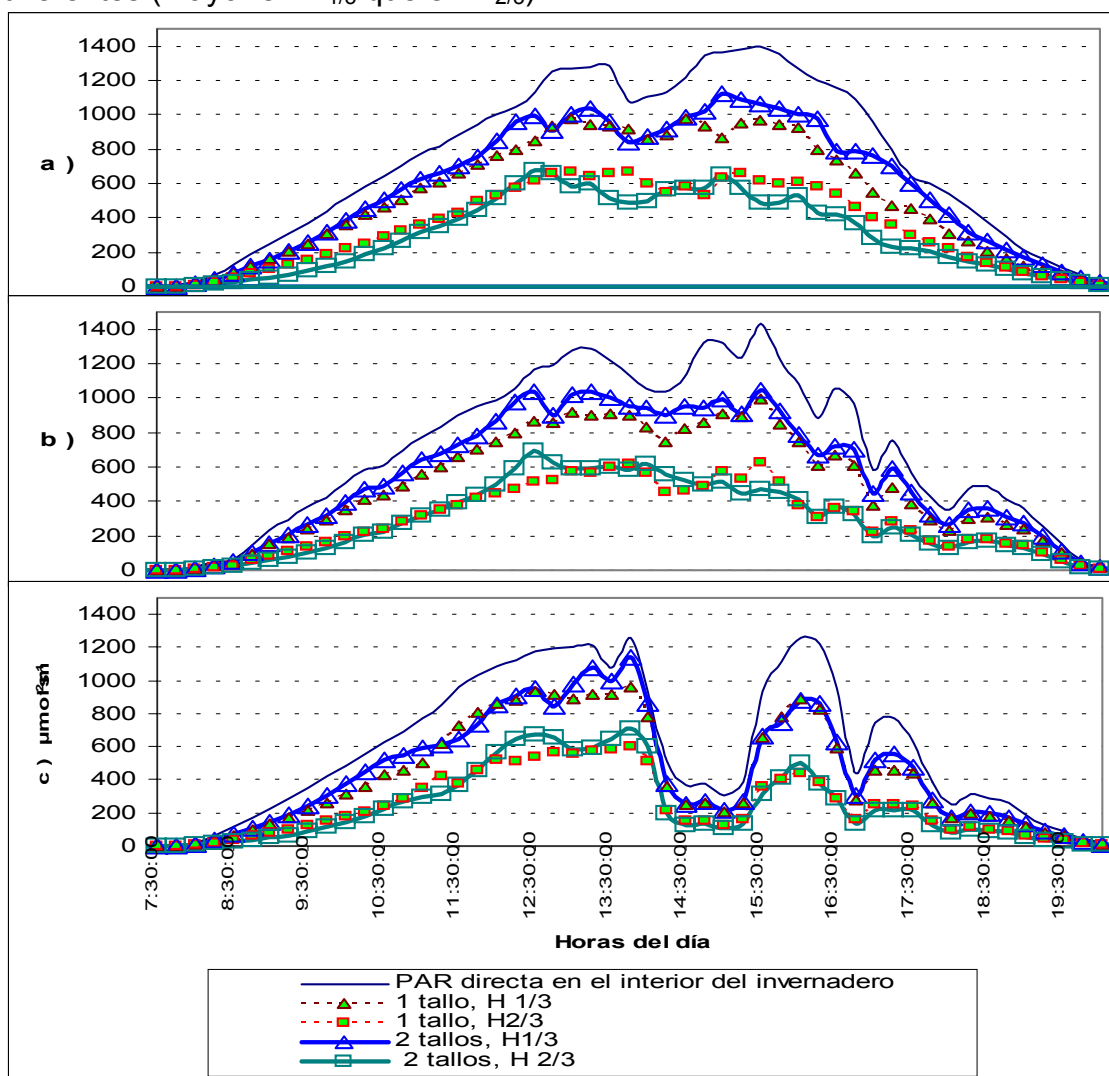


Fig. 4.3 PAR Incidente Directa en el Interior del Invernadero y en los Estratos del Dosel del Cultivo de Tomate ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$  Y  $H_{2/3}$ ), Según el Manejo Agronómico (a Uno y a Dos Tallos) en los Día 149 (A), 151 (B) y 154 (C) Después del Transplante.

En cuanto a la PAR incidente, en la figura 4.3 podemos observar que por lo general los valores de la PAR incidente en cada estrato son muy similares, principalmente en el estrato  $H_{2/3}$  de los dos manejos agronómicos, aunque es un poco menor en  $H_{2/3}$  del manejo aun tallo, y en el estrato  $H_{1/3}$  la PAR incidente es mayor en el manejo a dos tallos. Algo que es muy importante enfatizar es la rápida respuesta instantánea de los sensores que se utilizaron a los cambios de radiación durante cada día (figura 4.2 y 4.3). Y por otro lado los valores integrados de la PAR incidente o reflejada diariamente en el punto  $H_0$  en el dosel del cultivo, no tiene muchas variaciones (cuadro 4.1).

Cuadro 4.1, PAR Reflejada e Incidente Integrada Diariamente, Según el Manejo Agronómico y los Puntos en el Dosel del Cultivo de Tomate para los Días 149, 151 Y 154.

	Puntos del dosel	un tallo			dos tallos		
		149	151	154	149	151	154
PAR Reflejada (mol m <sup>-2</sup> / día)	$H_0$	2.82	2.88	2.26	2.58	2.55	1.93
	$H_{1/3}$	2.32	2.33	1.78	1.78	1.81	1.33
	$H_{2/3}$	2.21	2.22	1.68	1.32	1.30	0.99
PAR Incidente (mol m <sup>-2</sup> / día)	$H_0$	33.54	31.84	26.89	33.54	31.84	26.89
	$H_{1/3}$	23.65	22.40	19.13	26.38	25.12	20.33
	$H_{2/3}$	15.93	13.36	11.13	13.75	13.37	11.08

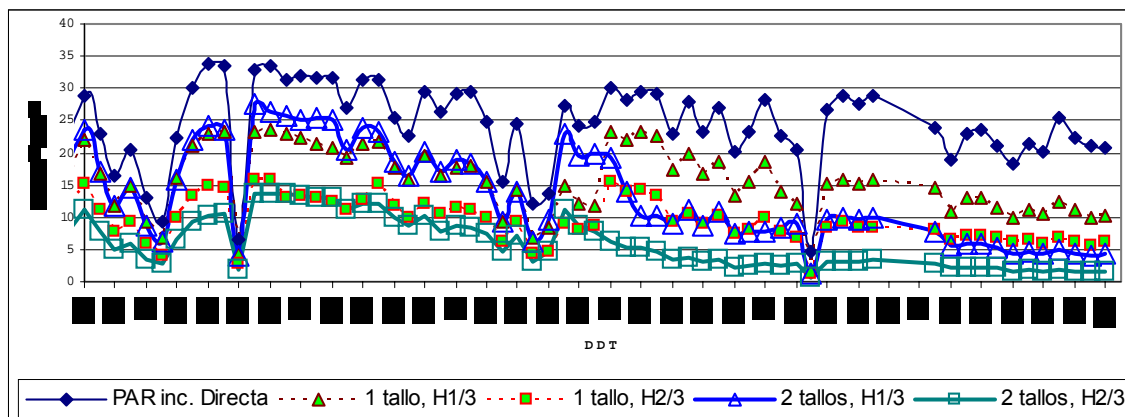


Fig.4.4 PAR (Integrada Diariamente) Incidente Directa en los Estratos del Dosel del Cultivo de Tomate ( $H_0$ ,  $H_{1/3}$  Y  $H_{2/3}$ ), Según el Manejo Agronómico (a Uno y Dos Tallos) de los Días 137 – 203 Después del Transplante.

En la figura 4.4 se observa la evolución de la PAR incidente integrada diariamente para cada estrato del dosel del cultivo y los valores pequeños corresponden a días de alta nubosidad, lo contrario sucede en días completamente despejados. Además en dicha figura también podemos observar que a partir del DDT171 los valores de la PAR de los estratos

inferiores se reducen con respecto a la tendencia anterior a dicho día; así por ejemplo, antes del DDT 171 los porcentajes promedios con respecto a la PAR incidente directa integrada diariamente fueron: manejo agronómico a un tallo  $H_{1/3}$  de 66.0 % ,  $H_{2/3}$  de 41.6% y con el manejo agronómico a dos tallos  $H_{1/3}$  de 72.3 % y  $H_{2/3}$  de 34.1%; después del DDT 171 los porcentajes promedios con respecto a la PAR incidente directa integrada diariamente fueron: manejo agronómico a un tallo  $H_{1/3}$  de 60.7 % ,  $H_{2/3}$  de 34.7 % y con el manejo agronómico a dos tallos  $H_{1/3}$  de 32.3 % y  $H_{2/3}$  de 11.4 %. Entonces las reducciones mayores de los valores integrados se da en el manejo agronómico a dos tallos. Esto se debe principalmente a que se hicieron algunas aplicaciones foliares al cultivo, por tanto esta es una de las principales fuentes de error en la toma de lecturas a través de los sensores (se deben de estar revisando su nivelación y mantenimiento de limpieza diariamente o mínimo cada semana). Además los pequeños cambios de algunos valores tomados en el dosel del cultivo en un tipo de manejo específico, en comparación al otro, se debe a la diferencia de crecimiento de la planta en cada tipo de manejo.

### Radiación neta.

En la figura 4.5, la Radiación neta ( $R_n$ ) tiene una tendencia que está en función de la radiación total diaria (en días nublados la Radiación neta es baja y días sin nubosidad corresponde a valores altos de  $R_n$  y además tiene una tendencia que obedece a las estaciones del año).

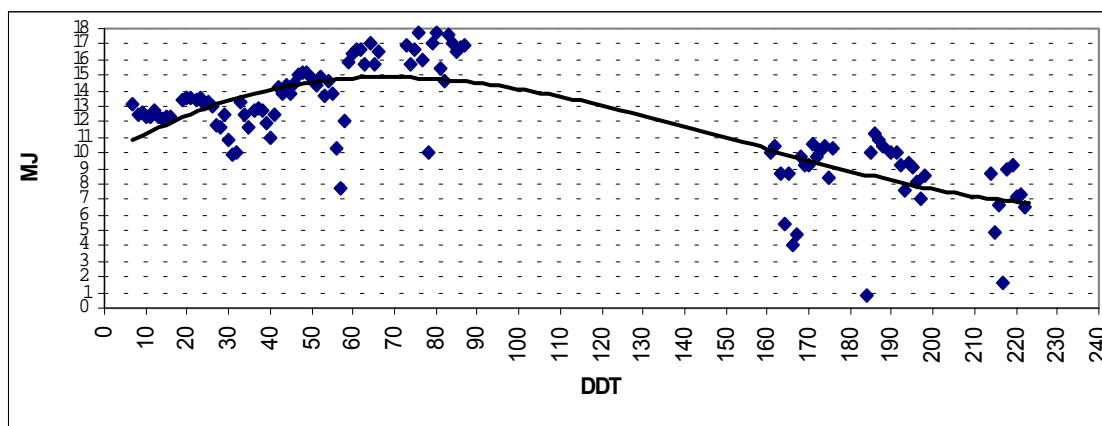


Fig. 4.5 Radiación Neta ( $R_n$ ) Integrada Diariamente –Para Valores Positivos- en el Interior del Invernadero en el Manejo Agronómico a Un Tallo.

Cuadro 4.2. Radiación Neta (Rn) Diaria Integrada Para Valores Positivos (Calentamiento de la Superficie), Negativos (Pérdida de Calor de la Superficie) y en 24 Horas, de los Días Después del Transplante (DDT) 7 – 222.

DDT	Rn integrada			DDT	Rn integrada		
	24 hrs.	valores posit.	valores negat.		24 hrs.	valores posit.	valores negat.
7	10.20	13.15	-2.95	74	14.10	15.64	-1.54
8	10.34	12.41	-2.07	75	15.29	16.60	-1.31
9	9.86	12.56	-2.70	76	16.03	17.71	-1.67
10	9.33	12.26	-2.93	77	14.36	15.92	-1.56
11	8.96	12.38	-3.42	78	8.85	10.05	-1.21
12	9.21	12.75	-3.55	79	15.98	17.09	-1.11
13	8.88	12.38	-3.50	80	16.01	17.79	-1.78
14	9.19	12.11	-2.92	81	14.04	15.39	-1.35
15	9.72	12.36	-2.64	82	13.57	14.64	-1.06
16	9.48	12.30	-2.82	83	16.02	17.59	-1.57
17	2.62*			84	15.33	17.07	-1.74
18	4.25*			85	14.39	16.45	-2.06
19	10.19	13.36	-3.16	86	14.92	16.77	-1.85
20	10.51	13.48	-2.96	87	15.23	16.93	-1.70
21	10.40	13.48	-3.08	88	2.72*		
22	10.51	13.40	-2.89	160	7.39*		
23	10.27	13.49	-3.21	161	9.52	10.00	-0.48
24	9.73	13.14	-3.41	162	9.90	10.40	-0.50
25	9.60	13.22	-3.62	163	8.14	8.65	-0.51
26	9.99	13.04	-3.05	164	4.97	5.36	-0.39
27	8.52	11.71	-3.19	165	8.10	8.60	-0.50
28	8.67	11.69	-3.01	166	3.67	4.09	-0.42
29	9.61	12.50	-2.89	167	4.37	4.71	-0.34
30	8.43	10.83	-2.41	168	9.39	9.79	-0.40
31	7.73	9.93	-2.20	169	8.64	9.23	-0.59
32	8.14	10.02	-1.87	170	8.65	9.25	-0.61
33	10.86	13.23	-2.37	171	9.99	10.60	-0.61
34	9.52	12.48	-2.96	172	9.29	9.72	-0.43
35	8.82	11.66	-2.83	173	9.73	10.21	-0.47
36	9.85	12.76	-2.91	174	9.90	10.36	-0.46
37	9.97	12.85	-2.87	175	7.82	8.39	-0.57
38	9.88	12.72	-2.84	176	9.76	10.30	-0.54
39	9.34	11.85	-2.51	177	6.89*		
40	8.51	11.00	-2.49	183	5.87*		
41	10.39	12.47	-2.09	184	0.28	0.82	-0.54
42	11.62	14.20	-2.59	185	9.34	10.03	-0.69
43	11.40	13.78	-2.38	186	10.42	11.26	-0.83
44	11.85	14.29	-2.44	187	9.97	10.86	-0.89
45	11.41	13.84	-2.43	188	9.84*	10.44*	
46	11.80	14.42	-2.62	189	0.24*		
47	12.25	14.97	-2.73	190	9.08	10.05	-0.97
48	12.25	15.14	-2.89	191	9.16	10.03	-0.87
49	12.47	15.13	-2.66	192	8.43	9.22	-0.79
50	12.29	14.75	-2.46	193	6.94	7.56	-0.62
51	12.54	14.30	-1.75	194	8.71	9.32	-0.61
52	12.64	14.89	-2.25	195	8.46	9.07	-0.61
53	11.95	13.73	-1.78	196	7.57	8.15	-0.59
54	12.89	14.57	-1.68	197	6.59	7.10	-0.51
55	12.42	13.74	-1.32	198	8.02	8.52	-0.50
56	9.15	10.35	-1.20	199	7.26*		
57	6.70	7.70	-1.00	213	-0.08*		
58	10.99	11.98	-0.99	214	8.01	8.61	-0.60
59	14.89	15.86	-0.97	215	4.32	4.87	-0.55
60	14.75	16.31	-1.56	216	6.12	6.64	-0.52
61	14.96	16.63	-1.67	217	1.30	1.67	-0.37
62	15.16	16.62	-1.47	218	8.39	8.95	-0.56
63	14.09	15.75	-1.67	219	8.69	9.26	-0.57
64	15.43	17.06	-1.64	220	6.69	7.22	-0.53
65	14.04	15.68	-1.64	221	6.76	7.33	-0.57
66	14.81	16.58	-1.77	222	5.99	6.54	-0.55
73	14.82	16.95	-2.12	223	5.83*		

\* Datos incompletos de ese día después del transplante (DDT).

**Por ciento de transmitancia de la cubierta plástica a la radiación solar.**

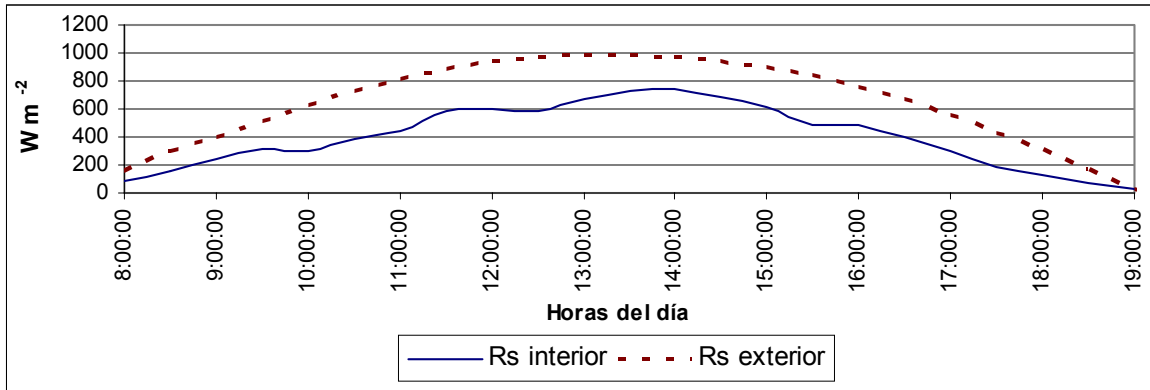


Fig. 4.6 Radiación Solar (Rs) en el Interior y Exterior del Invernadero para Obtener la Transmitancia Promedio del Día 97 del Año.

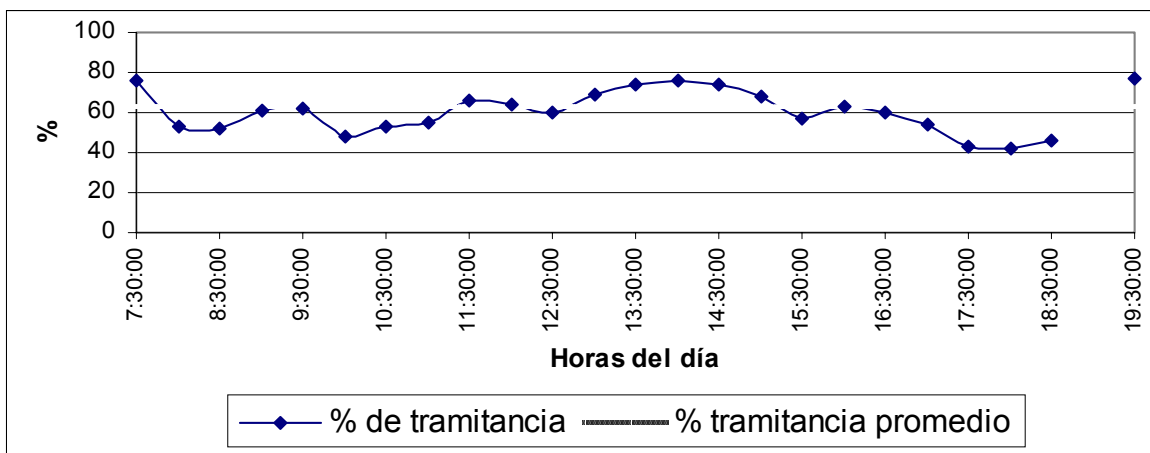


Fig. 4.7 Por Ciento de Transmitancia Promedio de la Cubierta del Invernadero para el Día 97 del Año.

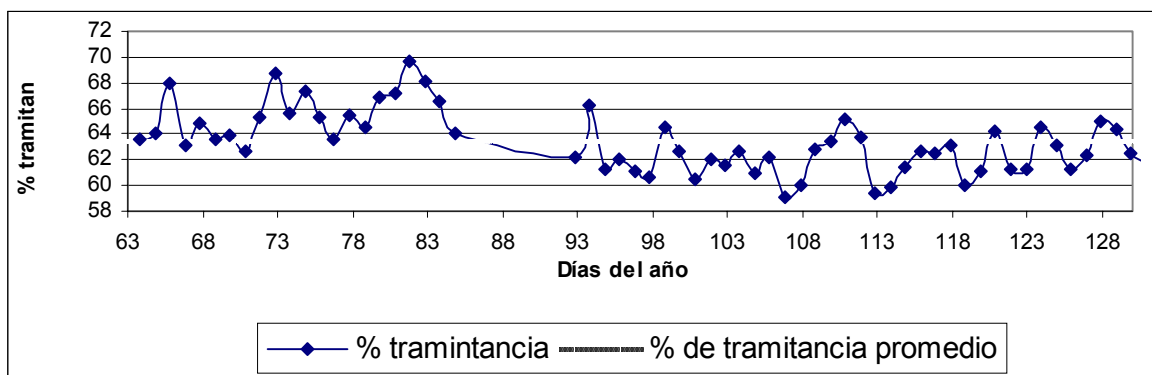


Fig. 4.8 Por Ciento de Transmitancia Promedio Diaria de la Cubierta del Invernadero para los Días 63 – 130 del Año.



En la figura 4.7, en un día despejado, se observan pequeñas variaciones del por ciento de transmitancia a través del día y esto se debe a que en el interior del invernadero la radiación es menos normal como lo muestra la figura 4.6; esto se relaciona a la pendiente de la cubierta plástica, posición del sol según la hora del día, y las posibles sombras que genera la estructura del invernadero. Y En la figura 4.8 se muestra la transmitancia diaria del periodo 63 -128 días del año, y en la cual se observa que, en promedio, ésta fue de 63.4 %; sin embargo, hasta antes del día 83 el por ciento de transmitancia por lo general fue mayor y después se mantuvo por lo general menor de la media, esto se debió a las posibles tolveneras que se presentaron en los meses de marzo a junio (el polvo queda pegado sobre la cubierta plástica).

#### Riego, drenaje y consumo.

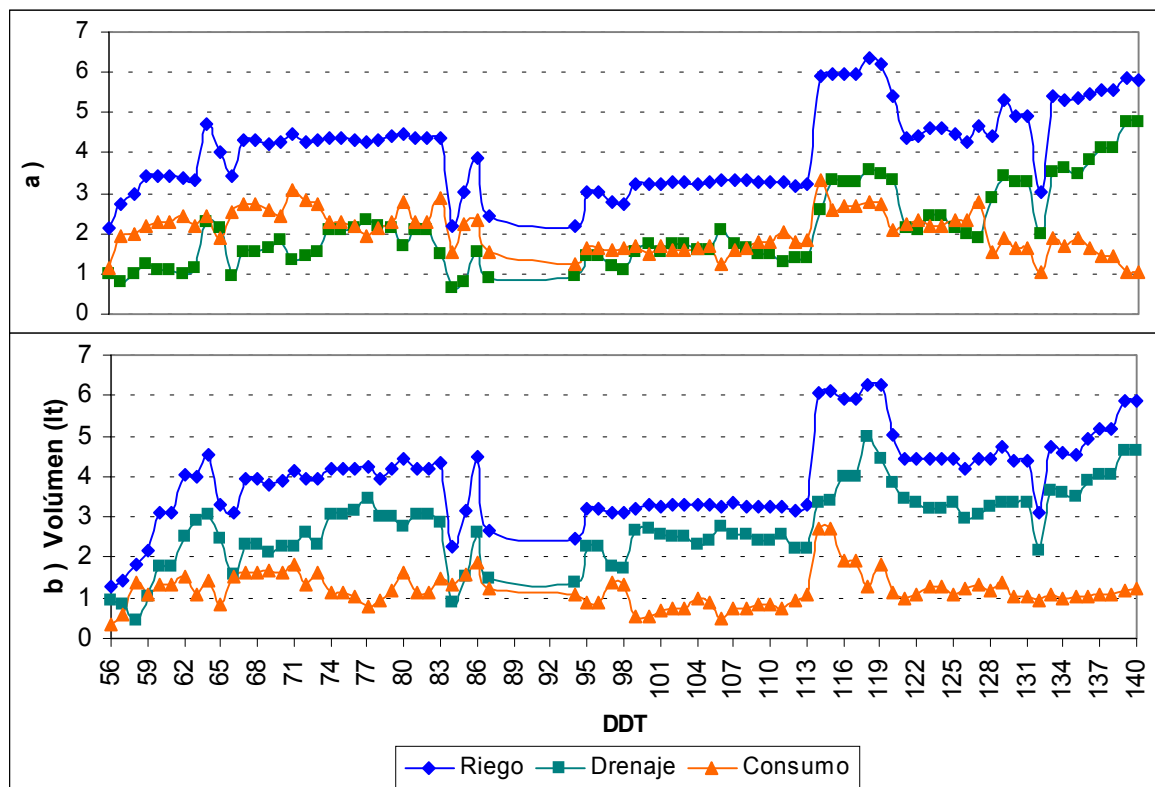


Fig. 4.9 Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, Según el Manejo Agronómico a Uno y Dos Tallos (a y b) Medidos Manualmente con la Bandeja de Drenaje en los Días Después del Transplante (DDT) 56 – 140.

El consumo en el manejo agronómico a dos tallos es, por lo general, casi el doble del consumo a un tallo, esto es lógico debido a que se tenía casi el doble de producción de biomasa, cosa que no sucedió con el rendimiento donde se tuvo solo un incremento del 24 % más con respecto al manejo agronómico a un tallo.

Otras variaciones de las figuras 4.9, y 4.10 se deben muy posiblemente a fallas del equipo y sistema de fertirriego.

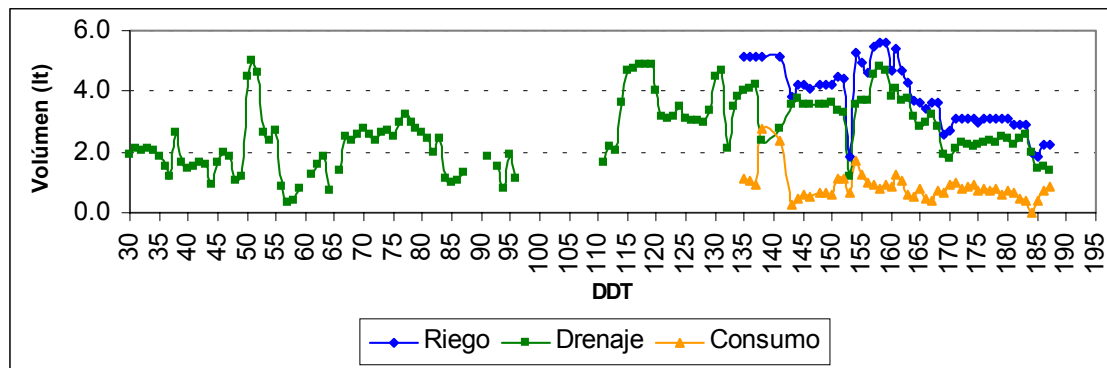


Fig. 4.10 Evolución del Riego, Drenaje y Consumo de Agua por Planta de Tomate, Medidos Con los Pluviómetros.

Por otro lado, en la figura 4.9, también observamos las variaciones (en ciertos intervalos de días) de los volúmenes de riego aplicados diariamente, y estas se deben a las adecuaciones que se le dio al equipo de fertirrigación (frecuencias y volumen de los riegos) según las condiciones del clima y manejo agronómico, a través del ciclo del cultivo, para que aplicase el agua. Así por ejemplo, en el intervalo de 67 – 83 DDT, el tiempo de riego fue de 7 minutos y la frecuencia fue de 30 minutos entre cada riego (de las 8 a las 22 hrs.); y en el intervalo de 95 a 112 DDT, el tiempo de riego fue de 3 minutos y la frecuencia fue 15 minutos entre cada riego (de las 8 a las 22 hrs) - los datos del comportamiento de tiempo y frecuencias de riego fueron obtenidos del equipo de fertirrigación de NETAFIN.

En la figura 4.11 se observa la evolución del volumen del riego, drenaje y consumo promedio diario de agua / planta de tomate de todo el invernadero, y en la cual podemos apreciar que una reducción del volumen de riego implica reducción en el consumo de agua diaria. Pero también se observa que debido a la edad de la planta, en los últimos días después del transplante (DDT) la planta no responde igual a las necesidades de agua (el consumo disminuye). Esto lo podemos corroborar en el comportamiento del por ciento de drenaje diario que se muestra en la figura 4.12, en la cual por lo general los valores no son muy variables.

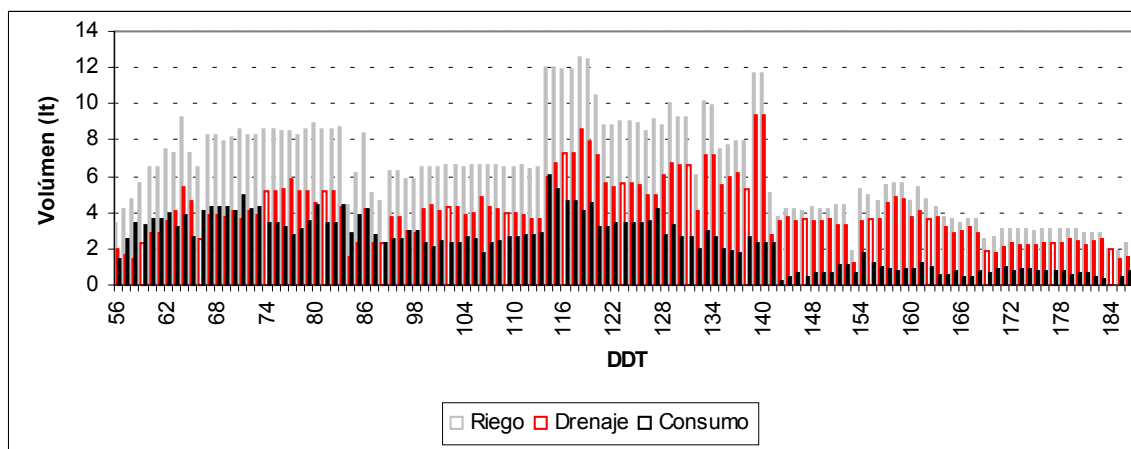


Fig. 4.11 Riego, Drenaje y Consumo Promedio Diario de Agua por Planta de Tomate (En Todo el Invernadero) en los Días Después del Transplante 56- 187.

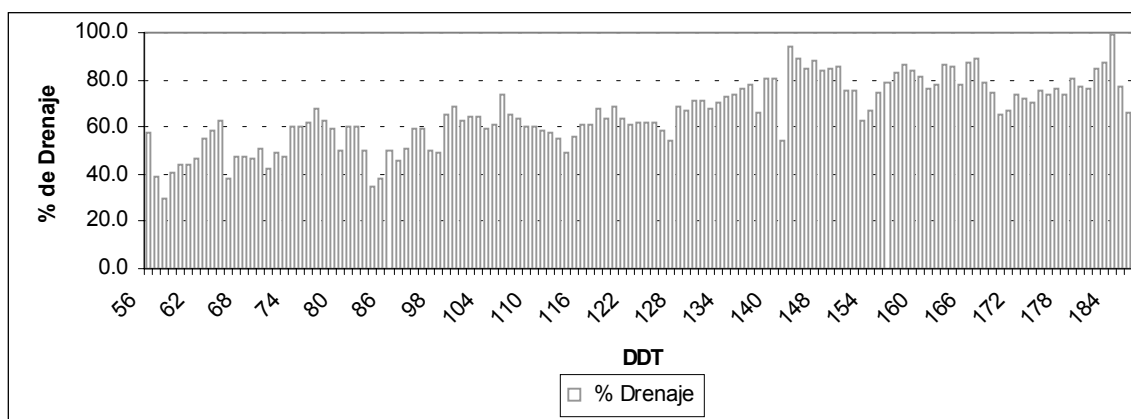


Fig. 4.12 Por Ciento de Drenaje Diario de Agua por Planta de Tomate (en Todo el Invernadero) en los Días Después del Transplante 56-187.

### **Drenaje instantáneo de agua /planta en días específicos con diferentes programas de riego.**

La figura 4.22 muestra los valores de drenajes instantáneos durante el día, en cuatro fechas diferentes. Y en ésta se aprecia que la tendencia del drenaje para cada día está relacionado con la horas del día (drenaje menor de la 12:00 a las 16:00 hrs, pero algo que es muy importante señalar, son las grandes diferencias del volumen drenado por día y las variaciones de los valores instantáneos durante el día (disminuciones bruscas de drenaje), y esto se debe principalmente a los tiempos y frecuencias de los riegos a los cuales se programaba el equipo de fertirrigación,

La programación del equipo de riego se muestra para algunos días en el cuadro 4.2. Y observamos que el tiempo y frecuencia de riego que no ocasiona mucha variación brusca de drenaje corresponde al programa del DDT 163; en los DDT 174 y 182 a pesar de que el tiempo y frecuencia de riego son iguales, lo que hace notable la diferencia de drenaje en cada día es solo el último tiempo de fin de riego del día (en el DDT 182 dado que es más temprano el corte del riego en el día que en el DDT 174, esto hace que el drenaje sea menor en las primeras y las últimas horas del día en comparación con el DDT 174); y el programa de riego del DDT 187, también hace variar el drenaje en comparación al DDT 182, pues en éste el tiempo de riego se reduce a 3 minutos y esto provoca que el drenaje en este día sea aun mucho menor que cuando se regaba con un tiempo mayor.

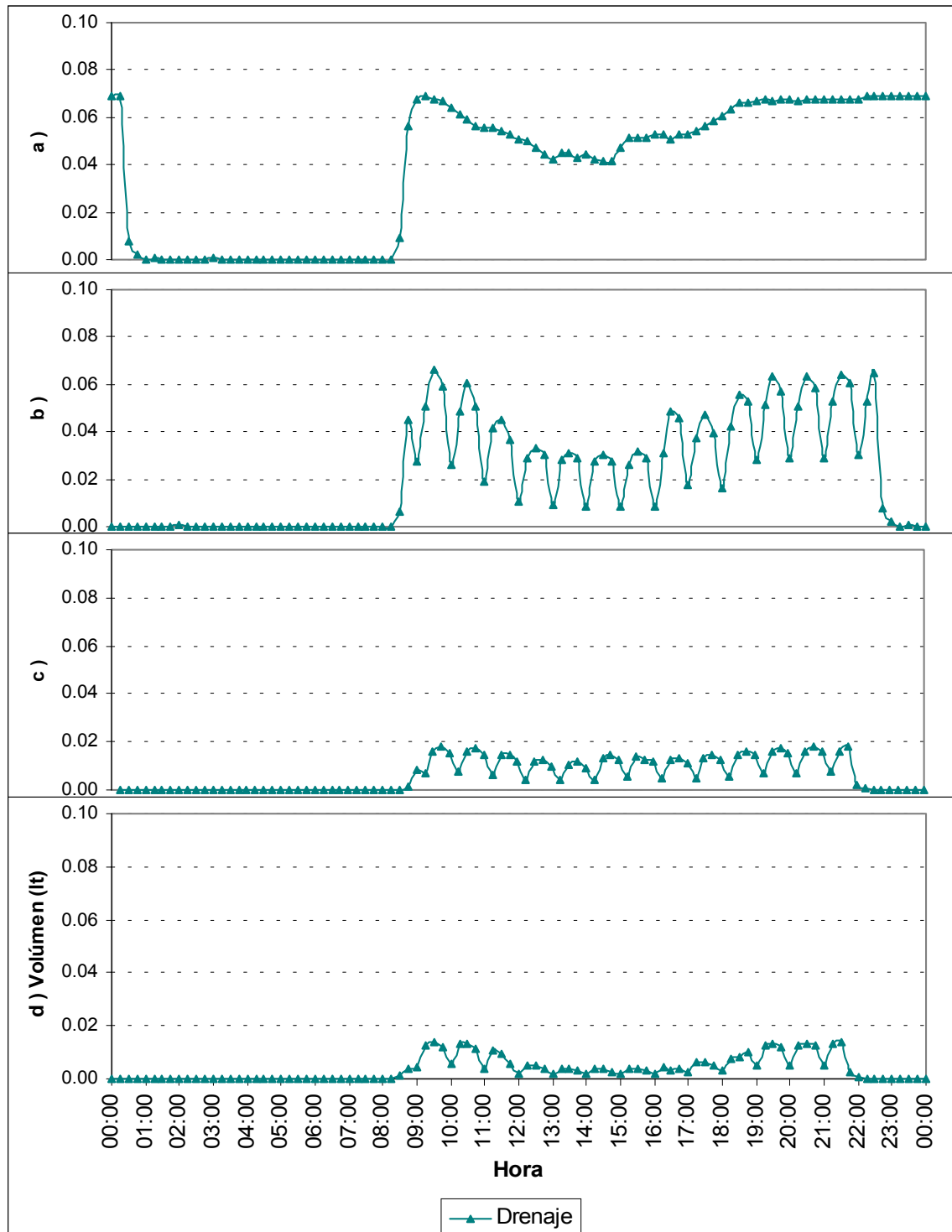


Fig. 4.13 Drenaje Instantáneo Tomado con Pluviómetro Electrónico en los Días Después del Transplante 163 (a), 174 (b), 182 (c) y 187 (d).

Cuadro 4.3. Frecuencia y Tiempo de Riego de los Días Después del Transplante 142, 150,158, 163, 174, 182, 187 Obtenidos del Equipo de Fertirrigación de NETAFIN.

DDT 142.		DDT 150.		DDT 158.		DDT 163.		DDT 174.		DDT 182.		DDT 187.	
5 min*		4 min*		5 min*		4 min*		4 min*		4 min*		3 min*	
Hr.	frec.	Hr.	frec.	Hr.	frec.	Hr.	frec.	Hr.	frec.	Hr.	frec.	Hr.	frec.
8.06		8.05		8.06		8.05		8.04		8.04		8.04	
8.21	15	8.20	15	8.21	15	8.20	15	8.24	20	8.24	20	8.24	20
8.36	15	8.35	15	8.36	15	8.35	15	8.44	20	8.44	20	8.44	20
8.51	15	8.50	15	8.51	15	8.50	15	9.04	20	9.04	20	9.04	20
9.06	15	9.05	15	9.06	15	9.05	15	9.24	20	9.24	20	9.24	20
9.21	15	9.20	15	9.21	15	9.20	15	9.44	20	9.44	20	9.44	20
9.36	15	9.35	15	9.36	15	9.35	15	10.04	20	10.04	20	10.04	20
9.51	15	9.50	15	9.51	15	9.50	15	10.24	20	10.24	20	10.24	20
10.06	15	10.05	15	10.06	15	10.05	15	10.44	20	10.44	20	10.44	20
10.21	15	10.20	15	10.21	15	10.20	15	11.04	20	11.04	20	11.04	20
10.36	15	10.35	15	10.36	15	10.35	15	11.24	20	11.24	20	11.24	20
10.51	15	10.50	15	10.51	15	10.50	15	11.44	20	11.44	20	11.44	20
11.06	15	11.05	15	11.06	15	11.05	15	12.04	20	12.04	20	12.04	20
11.21	15	11.20	15	11.21	15	11.20	15	12.24	20	12.24	20	12.24	20
11.36	15	11.35	15	11.36	15	11.35	15	12.44	20	12.44	20	12.44	20
11.51	15	11.50	15	11.51	15	11.50	15	13.04	20	13.04	20	13.04	20
12.06	15	12.05	15	12.06	15	12.05	15	13.24	20	13.24	20	13.24	20
12.21	15	12.20	15	12.21	15	12.20	15	13.44	20	13.44	20	13.44	20
12.36	15	12.35	15	12.36	15	12.35	15	14.04	20	14.04	20	14.04	20
12.51	15	12.50	15	12.51	15	12.50	15	14.24	20	14.24	20	14.24	20
13.06	15	13.05	15	13.06	15	13.05	15	14.44	20	14.44	20	14.44	20
13.21	15	13.20	15	13.21	15	13.20	15	15.04	20	15.04	20	15.04	20
13.36	15	13.35	15	13.36	15	13.35	15	15.24	20	15.24	20	15.24	20
13.51	15	13.50	15	13.51	15	13.50	15	15.44	20	15.44	20	15.44	20
14.06	15	14.05	15	14.06	15	14.05	15	16.04	20	16.04	20	16.04	20
14.21	15	14.20	15	14.21	15	14.20	15	16.24	20	16.24	20	16.24	20
14.36	15	14.35	15	14.36	15	14.35	15	16.44	20	16.44	20	16.44	20
14.51	15	14.50	15	14.51	15	14.50	15	17.04	20	17.04	20	17.04	20
15.06	15	15.05	15	15.06	15	15.05	15	17.24	20	17.24	20	17.24	20
15.21	15	15.20	15	15.21	15	15.20	15	17.44	20	17.44	20	17.44	20
15.36	15	15.35	15	15.36	15	15.35	15	18.04	20	18.04	20	18.04	20
15.51	15	15.50	15	15.51	15	15.50	15	18.24	20	18.24	20	18.24	20
16.06	15	16.05	15	16.06	15	16.05	15	18.44	20	18.44	20	18.44	20
16.21	15	16.20	15	16.21	15	16.20	15	19.04	20	19.04	20	19.04	20
16.36	15	16.35	15	16.36	15	16.35	15	19.24	20	19.24	20	19.24	20
16.51	15	16.50	15	16.51	15	16.50	15	19.44	20	19.44	20	19.44	20
17.06	15	17.05	15	17.06	15	17.05	15	20.04	20	20.04	20	20.04	20
17.21	15	17.20	15	17.21	15	17.20	15	20.24	20	20.24	20	20.24	20
17.36	15	17.35	15	17.35	15	17.35	15	20.44	20	20.44	20	20.44	20
17.51	15	17.50	15	17.51	15	17.50	15	21.04	20	21.04	20	21.04	20
18.06	15	18.05	15	18.06	15	18.05	15	21.24	20				
18.21	15	18.20	15	18.21	15	18.20	15	21.44	20				
18.36	15	18.35	15	18.36	15	18.35	15	22.04	20				
18.51	15	18.50	15	18.51	15	18.50	15						
19.06	15	19.05	15	19.06	15	19.05	15						
19.21	15	19.20	15	19.21	15	19.20	15						
19.36	15	19.35	15	19.36	15	19.35	15						
19.51	15	19.50	15	19.51	15	19.50	15						
20.06	15	20.05	15	20.06	15	20.05	15						
20.21	15	20.20	15	20.21	15	20.20	15						
20.36	15	20.35	15	20.36	15	20.35	15						
20.51	15	20.50	15	20.51	15	20.50	15						
21.06	15	21.05	15	21.06	15	21.05	15						
21.21	15	21.20	15	21.21	15	21.20	15						
21.36	15	21.35	15	21.36	15	21.35	15						
21.51	15	21.50	15	21.51	15	21.50	15						
22.06	15	22.05	15	22.06	15	22.05	15						
22.21	15	22.20	15	22.21	15	22.20	15						
22.36	15	22.35	15	22.36	15	22.35	15						
22.51	15	22.50	15	22.51	15	22.50	15						
23.06	15	23.05	15	23.06	15	23.05	15						
				23.21	15	23.20	15						
				23.36	15	23.35	15						
				23.51	15	23.50	15						

\* Duración del riego en minutos; **Hr.** Hora de fin de riego; **frec.** Frecuencia o intervalo de riego.

### Radiación y Consumo diario de agua por la planta.

Las variaciones diarias del consumo de agua tiene cierta relación con el total de energía solar diaria recibida, como se muestra en la figura 4.14, en días con menor energía solar el consumo es menor, comparado con días en los que la radiación solar es mayor (mayor consumo diario); esto lo podemos notar mejor en periodos específicos donde el tiempo y frecuencia de los riegos son iguales diariamente.

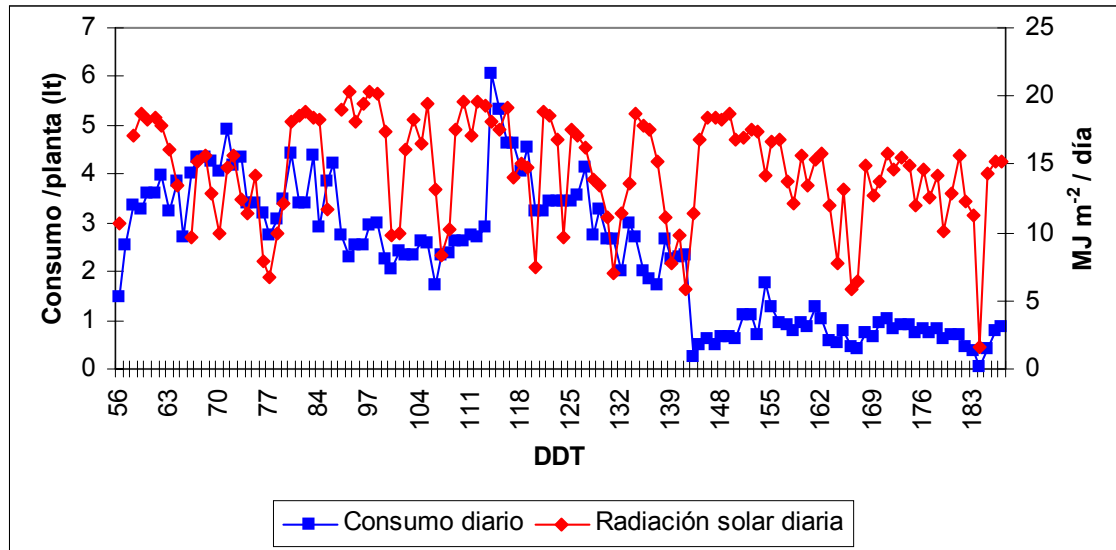


Fig. 4.14 Comportamiento del Consumo Diario y la Radiación Total Diaria en el Interior del Invernadero.

### Consumo instantáneo de agua durante el día y su relación con los mol m<sup>-2</sup> de la PAR.

En la figura 4.15 se observa el riego, drenaje y consumo instantáneo durante el día, y es muy notable la variación del consumo de agua que tiene la planta en el transcurso del día, por lo general en un día normal (sin

nubosidades significativas), los mayores consumo ocurren de las 12:30 a las 16:30 horas; y en las primeras y últimas horas del día éste es menor (algo semejante a lo que ocurre con la intensidad de la radiación solar a través del día). Además de lo antes mencionado también se observa que existen ciertas variaciones del consumo en intervalos de tiempos específicos, los cuales están muy relacionados a los  $\text{mol m}^{-2}$  integrados cada 15 minutos de la figura 4.16 (a bajos valores de  $\text{mol m}^{-2}$  integrados, el resultado de consumo de agua / planta será menor); esto ocurre cuando se presentan intervalos de baja luminosidad (intervalos de tiempos nublados en el día). Entonces con estas observaciones nos damos cuenta de que es posible controlar el riego en tiempo real con la radiación fotosintética activa ( $0.4 - 0.7\mu\text{m}$ ) la cual solo forma parte del espectro de la radiación solar total

Por otro lado, Los “valores de consumo de agua / planta”, de la figura 4.15, que no tienen relación con los  $\text{mol m}^{-2}$  integrados cada 15 minutos son los que se observan por lo general a las 8.30 hrs., ya que a esta hora de la mañana, la energía en  $\text{mol m}^{-2}$  no tiene esta tendencia; sin embargo esto se debe a que durante las horas en las que no hay luminosidad, el contenido de humedad del sustrato se sigue abatiendo, pues sigue habiendo consumo de agua por la planta para seguir disipando el calor que hay en el medio ambiente y para otras funciones fisiológicas; por lo tanto el riego que se aplica en la mañana, el mayor volumen es para saturar el sustrato, (esto resulta así porque el consumo se obtuvo por diferencia del riego menos el drenaje, pero en este caso, esta metodología no es adecuada pues al haber muy poco drenaje se asume mayor consumo); y en referencia a los abatimientos del contenido de humedad en base volumen del sustrato, en la figura 4.17 (medidos con TDR instalado en el sistema “sustrato-raíz”); el abatimiento del contenido de humedad en base volumen, por lo general, comienza después del fin del riego hasta antes del primer riego del día siguiente (de las 23:30 hrs. hasta antes de las 8:30 hrs.) y después la tendencia varía según el día analizado (condiciones de demanda de agua).



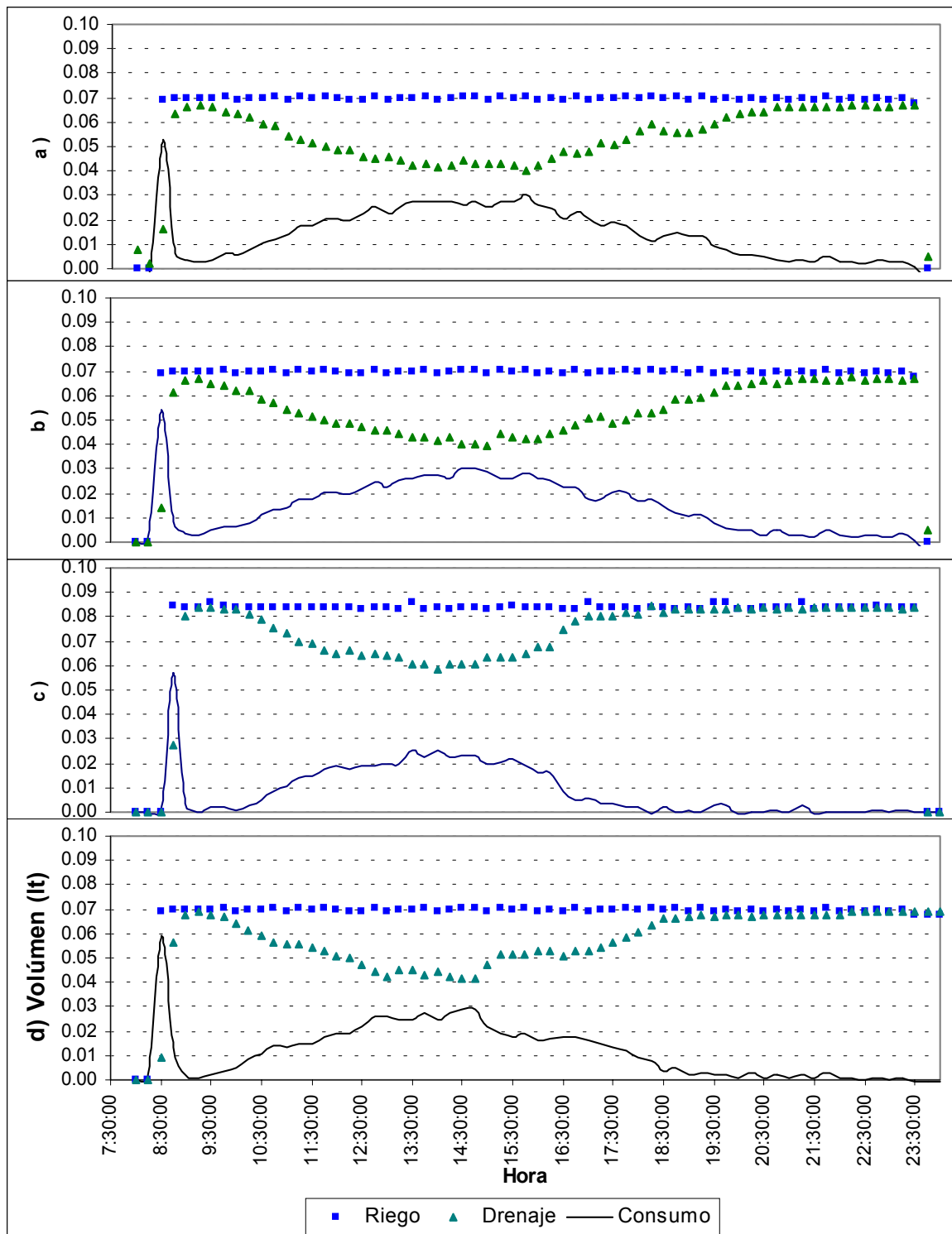


Fig. 4.15 Riego, Drenaje y Consumo Instantáneos de Agua por Planta de Tomate de los Días Después del Transplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).

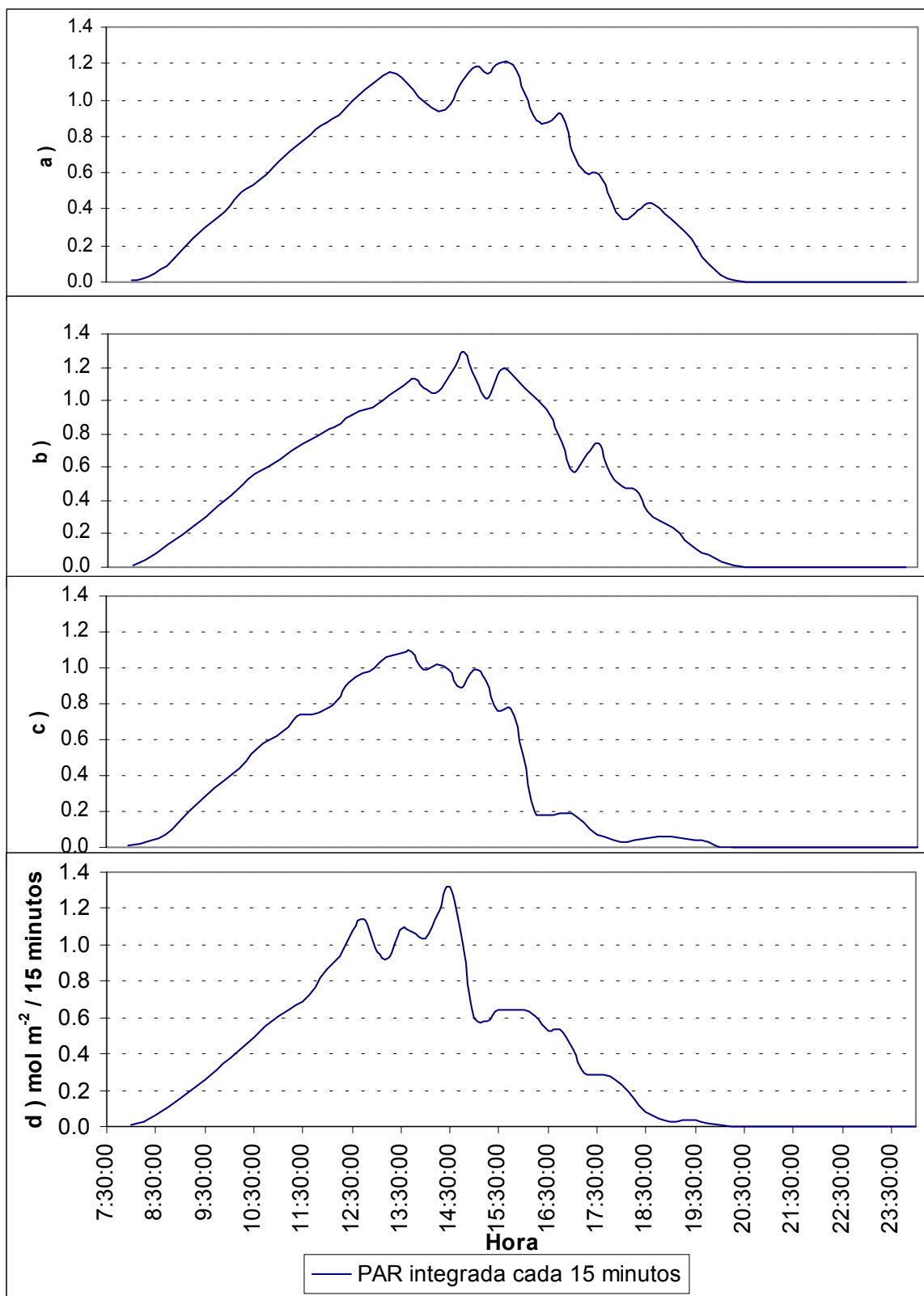


Fig. 4.16 Comportamiento de los  $\text{mol m}^{-2}$  Integrados Cada 15 Minutos de la PAR a Través del Día, de los Días Después del Transplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).

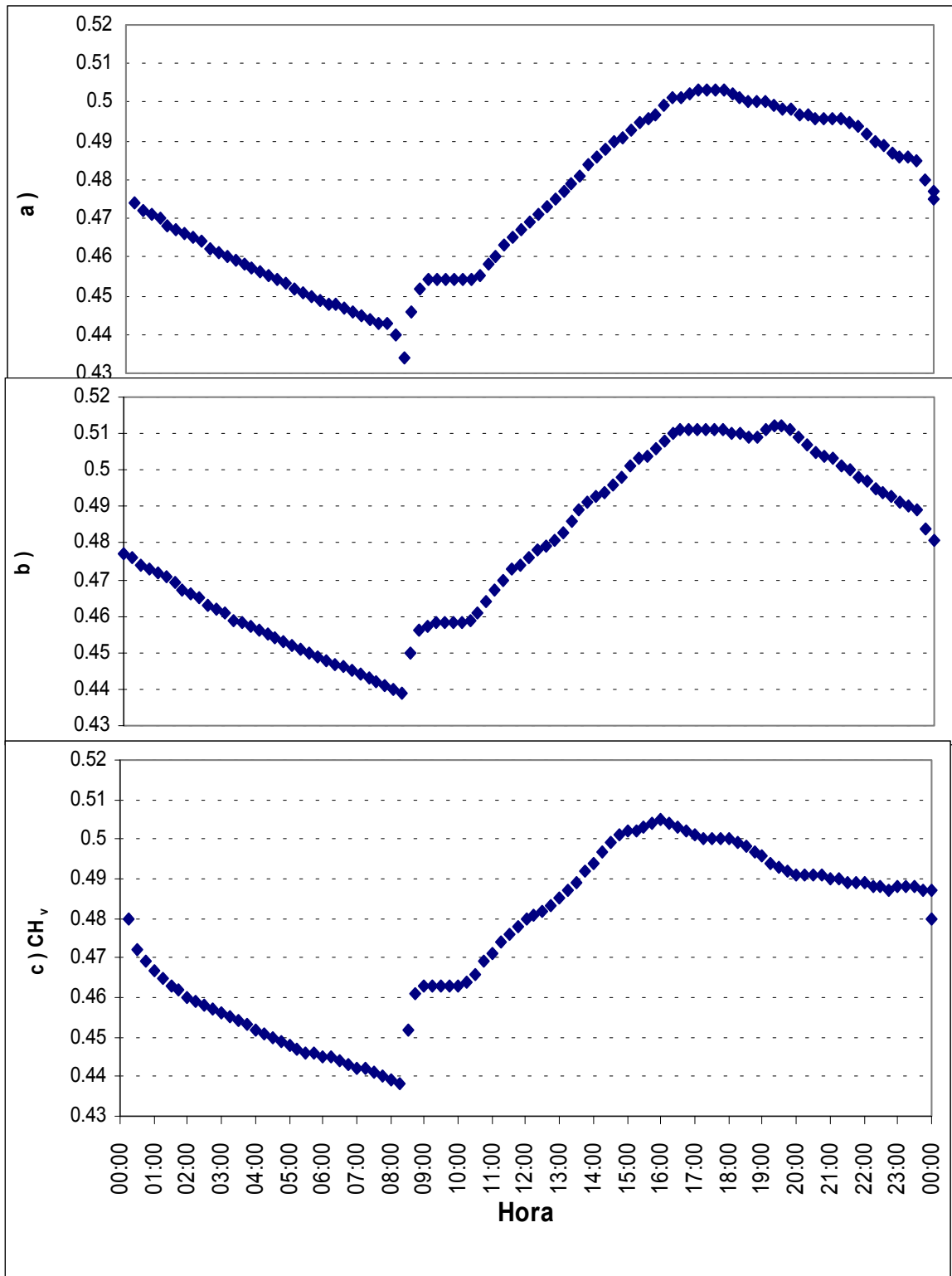


Fig. 4.17 Comportamiento del Contenido de Humedad en el Sustrato Durante el Día, Medido con un Sensor TDR en los Días Después del Transplante 151 (a), 152 (b) y 158 (c)

### Datos acumulados de consumo de agua y mol m<sup>-2</sup> integrados cada 15 minutos acumulados de la PAR.

En referencia a la relación del consumo de agua /planta y la energía en mol m<sup>-2</sup> integrada cada 15 minutos, la figura 4.18 muestra el consumo acumulado de agua por día y la figura 4.19 los mol m<sup>-2</sup> acumulados para los mismos días analizados, y en ambas se observa que la tendencia por cada día es similar. Por ejemplo en el DDT 151 tanto el consumo de agua / planta como los mol m<sup>-2</sup> integrados acumulados cada 15 minutos son mayores que en el del DDT 158.

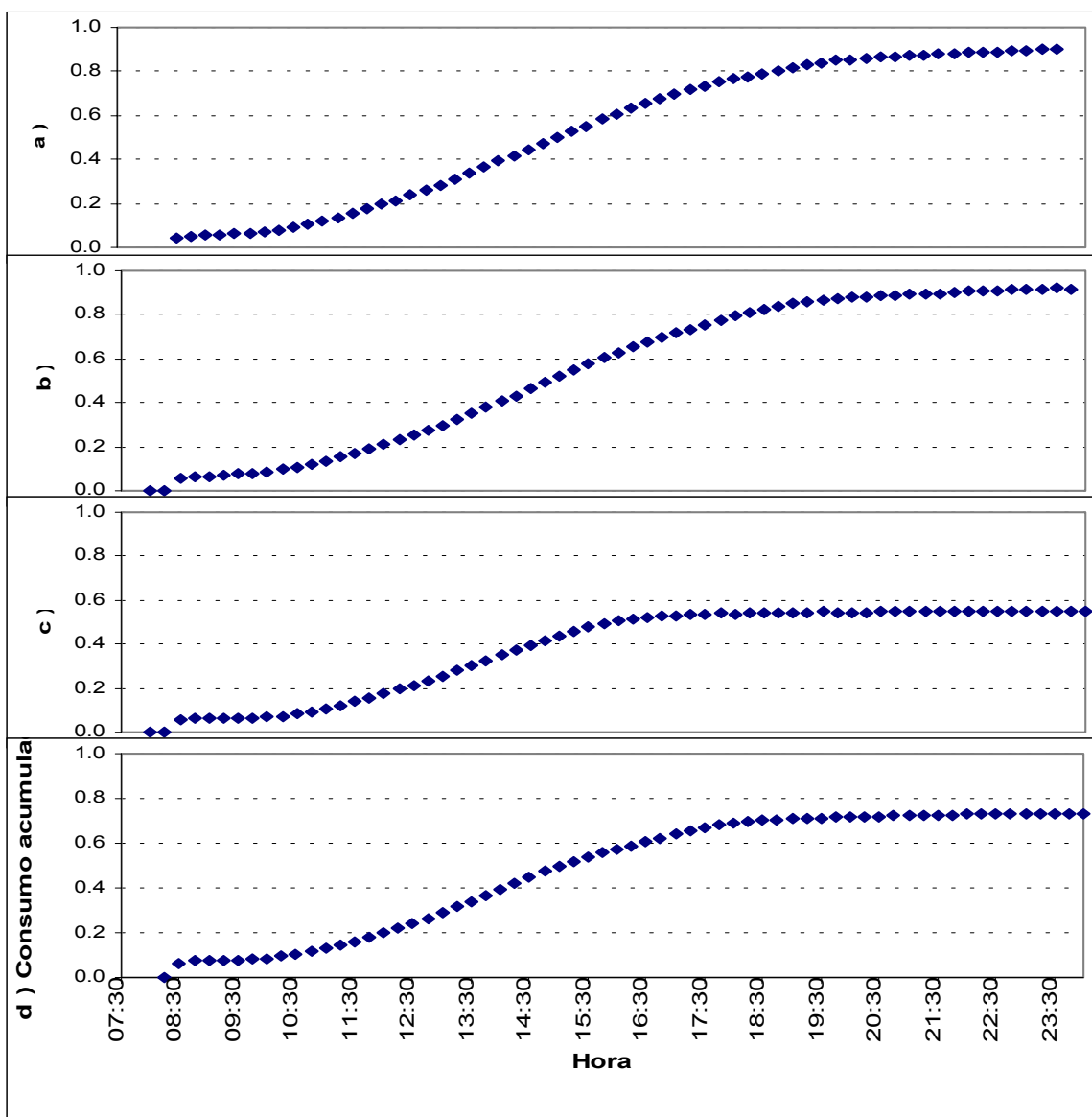


Fig. 4.18 Consumo Acumulado de Agua por Planta de Tomate en los Días Después del Transplante 151(a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).

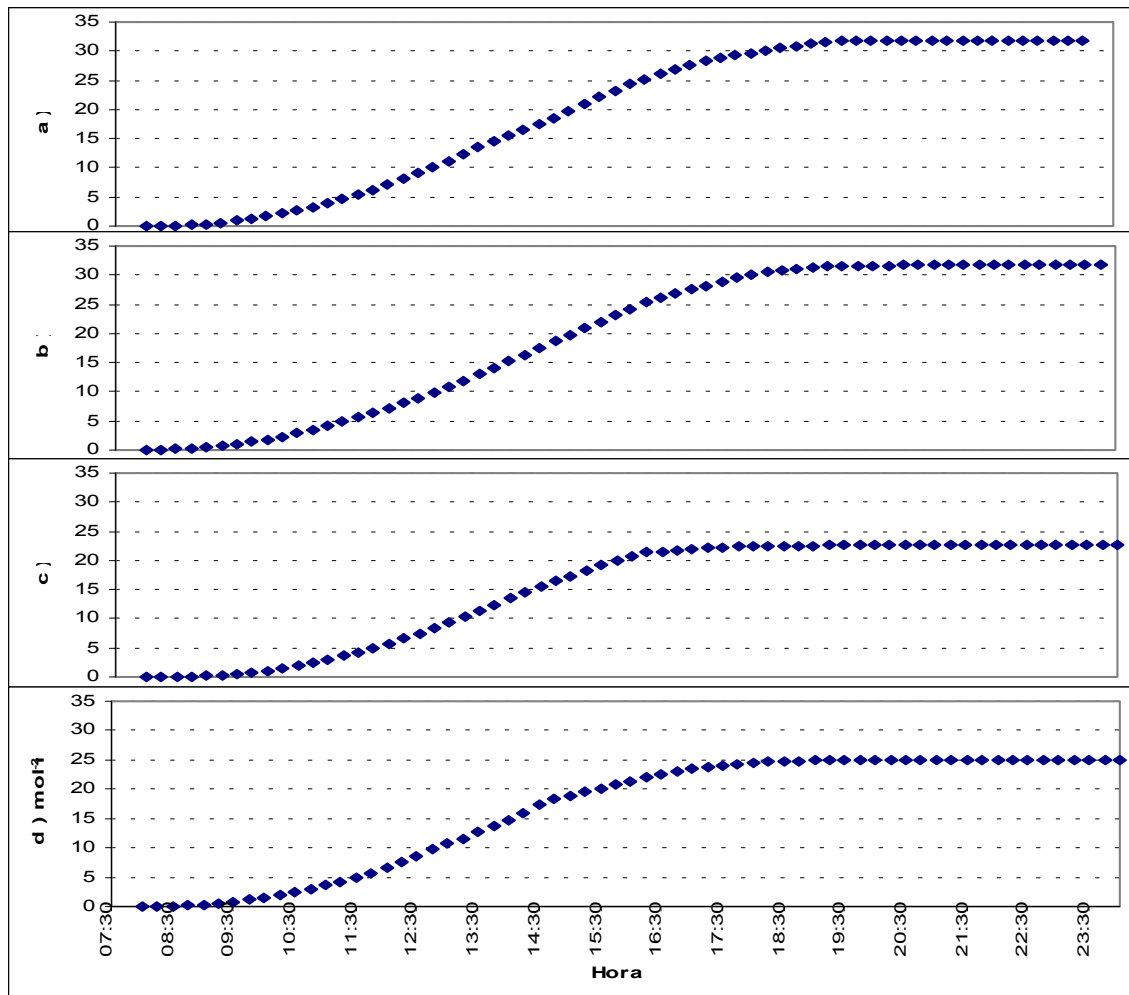


Fig. 4.19  $\text{mol m}^{-2}$  (Integrados cada 15 Minutos) Acumulados en los Días Después del Transplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (c).

### Correlación del consumo acumulado de agua / planta y los $\text{mol m}^{-2}$ acumulados de la PAR.

La correlación que existe entre el consumo acumulado y los  $\text{mol m}^{-2}$  integrados acumulados por día se muestra en la figura 4.20, en las cuales se observa, para los cuatro días analizados, que los coeficientes de determinación son muy aceptables ( $r^2 = 0.99$ ), además también se puede observar que en los primeros y los últimos valores de cada gráfico de la figura, la línea recta que representa a dichos valores subestima un poco el consumo de agua acumulado y esto se debe a lo mencionado en párrafos anteriores (abatimiento del contenido de agua del sustrato después de dejar de regar).

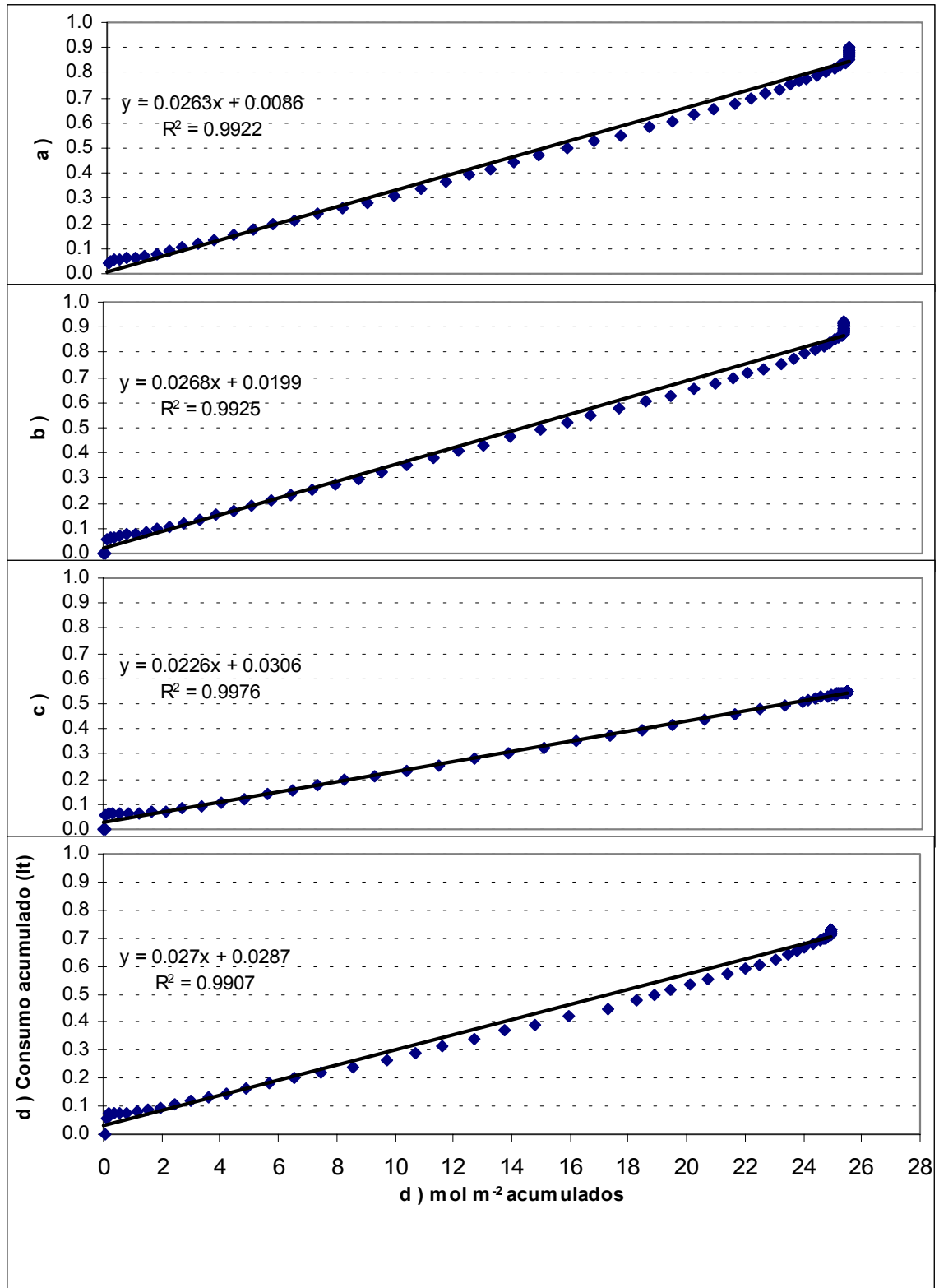


Fig.4.20 Relación del Consumo de Agua Acumulado y los mol m<sup>-2</sup> Integrados (cada 15 Minutos) Acumulados de la PAR en los Días Después del Transplante 151 (a), 152 (b), 158 (c) y 163 (d).

La pendiente de cada línea recta de los días analizados no es muy diferente con respecto a cada línea; sin embargo es mayor cuando se acumula mayor energía en  $\text{mol m}^{-2}$  y mayor consumo. En este caso las rectas de los días que mejor suplirían las necesidades de consumo de agua / planta son los de mayor pendiente (DDT 151 y 152), pues los valores de consumo de agua / planta al evaluar estas líneas rectas, sobreestimarían solo un poco el consumo de agua / planta de un día con menos energía en  $\text{mol m}^{-2}$ .

### **Temperaturas máximas, medias y mínimas diarias en el interior del invernadero**

En el factor temperatura, en la figura 4.21 se observa que los valores obedecen solo a algunos valores de la radiación neta, principalmente cuando la  $R_n$  es baja (los calentadores del invernadero todavía no se accionaba o no eran suficientes); y los días en los que la temperatura es muy alta (mayor o muy cerca de los  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y que coinciden con valores altos de  $R_n$ , esto implica que en estos días no se tuvo buen manejo del control del clima en el invernadero. En cuanto a la tendencia de la temperatura, obedece poco a la tendencia de la Radiación neta, pues estas temperaturas, por lo general, se trataron de controlar en el interior del invernadero. La temperaturas promedio fueron; máxima 29.9, media 15.5 y mínima 21.4; sin embargo hubieron algunos días con temperaturas muy bajas ( $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), lo cual no es lo óptimo en la noche (Muñoz, 2003), además se dieron algunas temperaturas muy altas ( $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) lo cual hace que la planta sufra estrés hídrico si la humedad relativa es baja (Serrano, 1978).

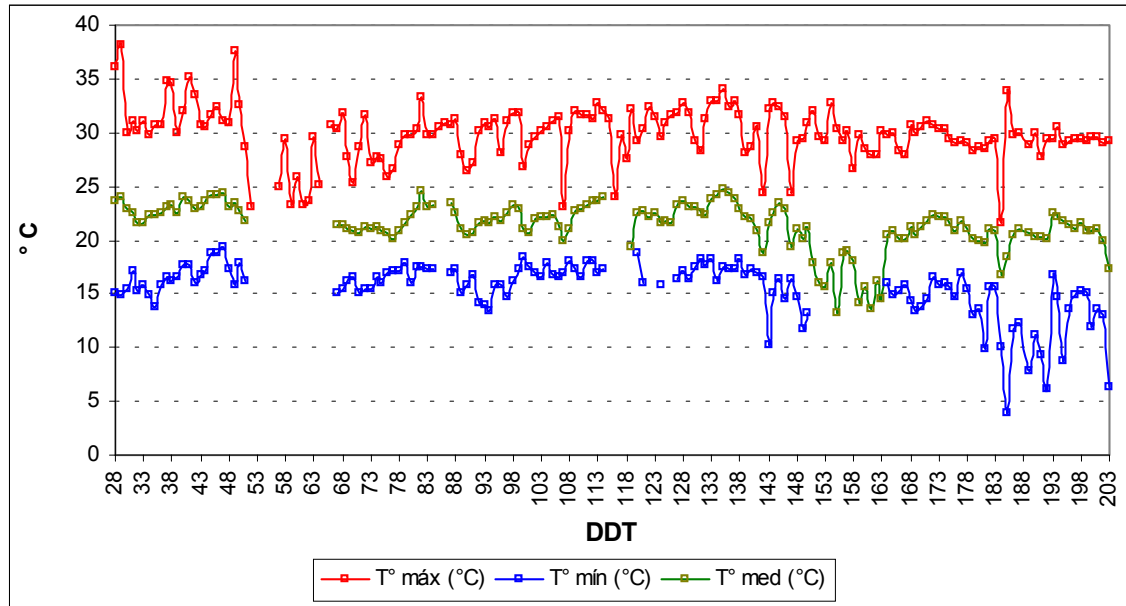


Fig. 4.21 Temperaturas Máxima, Media y Mínima Diarias en el Interior del Invernadero, en los Días Después del Transplante 28 – 203.

### Rendimientos del cultivo de tomate según el tipo de manejo

En cuanto a la producción, en la figura 4.22 se presentan variaciones de las ton/ ha según el tipo de manejo, así por ejemplo en las primeras cosechas, en el punto de mayor producción, el manejo agronómico a un tallo fue superior en un 23.2 % con respecto al manejo a dos tallos, y en las últimas cosechas en donde se presenta otro máximo de producción, el manejo a dos tallos fue superior en un 50% con respecto al manejo a un tallo. Por lo general en el tipo de manejo a dos tallos el rendimiento por cosecha fue mayor (esto ocurrió cuando el segundo tallo de la planta, del manejo agronómico a dos tallos, se normalizó en cuanto a la producción de fruto y follaje). Y en todo el ciclo del cultivo, los rendimientos totales fueron: en el tipo de manejo a dos tallos de 99.07 ton / ha y a un tallo de 79.79 ton / ha, por tanto el incremento del rendimiento a dos tallos con respecto al manejo a un tallo fue de solo 24 %.



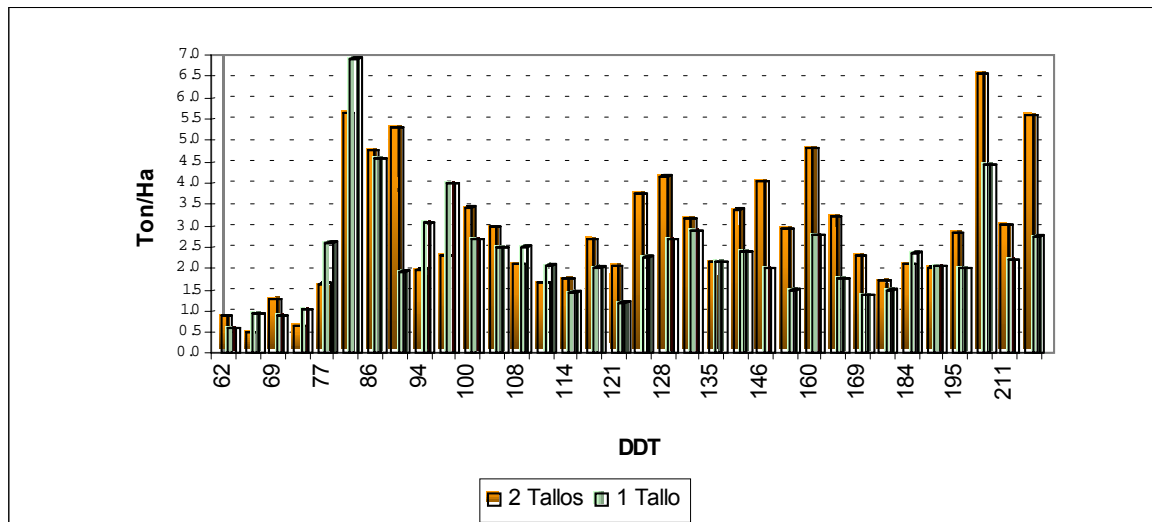


Fig. 4.22 Rendimiento en ton/ha del Cultivo de Tomate, Variedad Gabriela, en Invernadero.

Cuadro 4.4 Rendimiento en ton / ha del Cultivo de Tomate, Variedad Gabriela en Invernadero Bajo Condiciones de Sustrato.

DDT	2 Tallos ton /ha	1 Tallo ton / ha	DDT	2 Tallos ton / ha	1 Tallo ton / ha
62	0.87512	0.60778	125	3.7460	2.2630
65	0.50322	0.92339	128	4.1578	2.6797
69	1.26520	0.88540	132	3.1636	2.8639
72	0.65065	1.0277	135	2.1334	2.1558
77	1.63240	2.6083	139	3.3753	2.3887
83	5.63385	6.9193	146	4.0426	2.0153
86	4.75865	4.5580	153	2.9085	1.4882
90	5.30125	1.9255	160	4.8167	2.7552
94	1.97355	3.0491	167	3.1968	1.7692
97	2.27735	3.9852	169	2.2708	1.3560
100	3.42585	2.6705	177	1.6886	1.4866
104	2.98475	2.4819	184	2.0885	2.3568
108	2.09030	2.5052	188	2.0245	2.0285
111	1.64750	2.0712	195	2.804	1.9824
114	1.76810	1.4388	204	6.5567	4.4081
118	2.67990	2.01835	211	3.0036	2.1741
121	2.0300	1.19925	219	5.5907	2.7471
suma			99.0656	79.79327	

La producción estuvo relacionada a la absorción de Radiación fotosintética activa (PAR), pues en el tipo de manejo a dos tallos se puede decir que hubo más rendimiento porque absorbió más PAR que en el tipo de manejo a un tallo (según las interpretaciones de las figuras 4.6 y 4.7). Sin embargo, la calidad, en cuanto al tamaño del fruto, fue mejor en el manejo a un tallo.

El rendimiento total fue de 178.86 ton/ha; esto quiere decir que la explotación fue a nivel tecnológico medio, pues según Muñoz (2004) en condiciones de sustrato y alta tecnología bajo invernadero se producen frutos de excelente calidad en mas de 500 ton /ha y esta decrece a 300 ton/ha con un nivel tecnológico medio.

## V. CONCLUSIONES.

Con base a los resultados obtenidos en el estudio se tienen las siguientes conclusiones:

- En cuanto a el consumo diario de agua / planta, en los resultados obtenidos, este obedece a la energía solar incidente de cada día, a los tipos de programa de riego que se estuvieron manejando y además a la edad de la planta (aunque no se sabe la relación definida que hay en el consumo de agua / planta con estos dos últimos factores mencionados).
- En cuanto al consumo instantáneo de agua / planta, en los resultados anteriores, es muy notable que éste tiene una alta relación con la PAR integrada instantánea. Por tanto se presenta una muy buena correlación, de los valores acumulados, entre estas dos variables; y el resultado del tipo de función es muy aceptable debido a que según el valor del coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.99$ ), el consumo de agua durante el día depende en un 99% de la PAR integrada instantánea. En referencia a lo anterior, podemos decir que tenemos un estricto control de las variables de temperatura (23 a 25°C durante el día) y humedad relativa (mayor de 60 % – menor de 80 % HR), la radiación puede ser una variable muy importante que se puede considerar para programar el riego en tiempo real en un cultivo específico con manejo en invernadero en semihidroponia. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que *es posible aplicar las cantidades necesarias de agua al cultivo de tomate bajo invernadero si se toma en cuenta a la radiación solar*. La programación del riego en tiempo real (considerando la radiación solar) puede ser una

de las formas más prácticas y eficientes de suministrar el agua a los cultivos en invernaderos, de tal forma que estos presenten el menor estrés posible durante el día, además el drenaje lo podemos hacer que tienda a ser constante durante el día. De esta manera podemos tener ahorros de agua, pues cuando se presenten periodos de nublados significativos durante el día, la frecuencia o intervalo de riego se prolongará, y lo contrario sucederá cuando existan periodos significativos de máxima intensidad de radiación solar, o cuando se presenten varios días nublados la cantidad de agua que se debe aplicar será menor que en días completamente despejados. Además se mejorará la calidad del fruto

- Por otro lado, los programas de riego que se estuvieron manejando influyeron en el consumo instantáneo de agua / planta (en cuanto a los cambios bruscos del abatimiento del contenido de agua en el sustrato, resulta mejor el programa que tiene más cortas las frecuencias o intervalos de riegos), los programas que provocan bajas bruscas de drenaje, son los que provocan el agrietamiento de los frutos principalmente debido a la tensión que hay en la planta cuando el sustrato está abatido de agua y la repentina recarga de agua del sustrato (esto fue notable en las últimas cosechas las cuales corresponde a los días con este tipo de programas). Entonces por las razones anteriores, no podemos asegurar que las funciones lineales (consumo acumulado de agua vs los  $\text{mol m}^{-2}$  integrados acumulados de la PAR) sean representativas de todos los DDT del cultivo.

. En cuanto a el manejo agronómico. A dos tallos, el volumen de agua consumida por planta es mayor, mayor absorción de la PAR. Sin embargo, el incremento del rendimiento a dos tallos con respecto al manejo a un tallo fue de solo 24 %, pero la calidad del fruto es mejor a un tallo, y además las labores en el manejo a un tallo son mas rápidas (mayor avance en las podas

principalmente); entonces esto puede compensar la pequeña diferencia en el rendimiento.

## RECOMENDACIONES.

Esta metodología se puede adaptar solo a una programación individual o de algún sistema de producción cercano y similar (tomate en invernadero) de donde se pueda obtener la información.

Al continuar con este tipo de estudio, se recomienda agregar o establecer, a la correlación del consumo instantáneo de agua / planta con la energía solar, otra relación del consumo diario de agua / planta con otros factores, como día del año, edad de la planta o algún otro indicador fisiológico (índice de área foliar, crecimiento, o número de racimos florales, etc.) para correlacionar el consumo de agua / planta diario con el factor del que más dependa y así poder programar el equipo de fertirriego con mucha mayor seguridad y precisión. Además, debemos considerar el abatimiento del contenido de agua en el sustrato durante la noche.

Lo que debemos de considerar para el tiempo de riego, según las condiciones del día, es el por ciento de drenaje que se estará manejando; pues una vez conociendo el volumen de consumo, se debe sobreestimar éste según el drenaje que se requiera, además debemos de tomar en cuenta el gasto de los emisores del sistema.

En cuanto a los sensores, para establecer la relación del consumo de agua con la energía solar, se recomienda usar sensores pyranómetros (para medir las longitudes de ondas de  $0.3 - 1.1 \mu\text{m}$ ), ya que el sensor quantum solo mide una parte del espectro de la radiación solar total ( $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$ ).

La acumulación de la radiación debe ser a periodos lo más corto posible para tener mayor precisión en la aplicación de esta metodología (integrar la radiación a intervalos pequeños).

## VIII. LITERATURA CITADA

- Allen R. G. 2000 Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evaporation intercomparison study. *J Hydrol* 229: 27-41.
- Allen, R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. (FAO Irrigation and drainage paper 56) FAO, Rome.
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., Pereira. L. S., 1994. An Update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43 (2), 1-92.
- Andrade, F. h., S. A. Uhart, and I. M. Frugone. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: Shade versus Plant density effects. *Crop Science.* 33: 482-485.
- Andrade, F. H., S. A. Uhart, G. G. Arguissain and R. A. Ruíz. 1992. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. *Field Crop Res.* 28: 345-354.
- Bailey B.J., J.I. Montero, C. Biel, D.J. Wilkinson, A. Anton, O. Jolliet. 1993. Evapotranspiration of *Ficus benjamina*: comparison measurements with predictions of the Penman-Monteith model and simplified version. *Agric. And Forest Meteor.* 65: 229-243.

- Baille M., A. Baille, Jc. Laury. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. Climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, 59(3-4): 217-232.
- Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: From physical processes to a dynamic model. PhD thesis. Univ. Wageningen. Holanda.
- Boulard T., R. Jemaa. 1993. Greenhouse tomato crop transpiration model application to irrigation control. *Acta Horticulturae*, 335: 381-387.
- Bueno, M., 2001. El transplante. La fertilidad de la tierra No. 4. *Revista de agricultura ecológica*.p.6-8.
- Bugbee,B.,White.J.W.1984.Tomato growth as affected by root-zone temperature and the addition of gibe relic acid and kinetin to nutrient solutions, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*109:121-5.
- Campbell, G. S. 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculeted using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agric. and For. Meteorol.*, 36:
- Cárdenas, F., 1999. El cultivo del tomate en El parador de Roquetas de Mar. Vol. 1/3, p. 293-333. En. Francisco Camacho F. *Técnicas de producción de frutas y hortalizas en cultivos protegidos*. Caja rural de Almería, España.
- Castilla, N., 1994. "Greenhouses in the Mediterranean areas: Technological level and strategic management. *Acta Horticulturae*, 361: 44-56.
- Castilla, N., 1994. Greenhouse in the mediterranean areas: Tecnological level and strategic management. *Acta Horticulturae*, 361:44-56.



CAN. Compendio Básico del Agua en México, 2002

CNA, Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Méx. 2001.

Cockshull, K.E.1989. the Influence of energy conservation on crop productivity. *Acta Horticulturae* 245:530-536.

Cockshull, K.E.1998. The Integration of plant physiology with phisical changes in greenhouse in climate. *Acta Horticulturae* 229:113-123.

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

Coombs, J., D.O. Hall, S.P. Long y J. M.O Scurlock. Techiques in Bioproductivity and Photosintesis, segunda edición, 1987, editorial PERGAMON PRES, Oxford Inglaterra.

Costa, J. M and Heuvelink, E. 2000. Greenhouse horticulture in Almería (Spain): report on study tour 24-29January 2000. Horticultural Production chains Group. Wageningen The Netherlands. 117p.

De la Torre M.,F.1999.Los semilleros hortícolas. Pp.203-228.En:Freancisco Camacho F. (Coord.) Tecnicas de producción de frutas y Hortalizas en los cultivos protegidos. Instituto la Rural, Almería, España.Vol.1/3.

Doorembos, J. and W. O. Pruitt. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos, FAO Riego y drenaje No 24. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 194p.

- Drake, B. G. Raschke, y Frank B. Salisbury. 1970. Temperatures and transpiration resistances of xanthium leaves as affect by air temperatures, humidity, and wind speed. *Plant Physiology* 46: 324-330.
- Elizondo René M. y Contreras Mauricio Aguilera. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. UACH. México. p. (29, 165–250).
- Escudero, J., 1993. Cultivo hidropónico del tomate. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Universidad de Almería. Almería, España. P. 263-270
- Escudero, S. J. 1999. Cultivo hidropónico del tomate. P. 451-483. En: Milagros Fernández F. e Isabel Ma. Cuadro G. (Eds.) Cultivo sin suelo II. Curso superior especialización. Junta de Andalucía, FIAPA, Caja Rural de Almería.
- FAO,1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos Serie FAO No 33. Estudios del agua sobre riego y drenaje. Roma. 212p.
- FAO,1994. México: Review of Agricultural Development Experiences Potentials in the Tropics. FAO Centro de Inversiones/Banco Mundial, Programa de Cooperación.
- Fereres E., R.E. Goldfien, W.O. Pruitt, D.W. Henderson, R.M. Hagan. 1981. Assisted Irrigation Scheduling. En *Irrigation Scheduling for Water and Energy Conservation in the 80's*. Amer. Soc. Agric. Engrn. Publ. 20-81, pp. 202-207.

Fernández M.D., F. Orgaz, J. Lopez-Galvez. 1995. La demanda evaporativa en el invernadero parral. I Simposium iberoamericano sobre aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias. Actas: 231- 241. El Ejido, Almería.

Fernández M. D., F. Orgaz, E. Fereres, J. C. López, A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela, M. Gallardo. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el Sudeste español. (Eds.) CAJAMAR (Caja Rural de Almería y Málaga). 71p. España.

Flores, R. I. 1982. "Hortalizas Editorial I. T. E. S. M. Monterrey N. L. México.

Fonteno, W.C., 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: Water, media and nutrition for greenhouse crops. David Wm. Reed (ed). Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA.

Gallo, K. P. and C. S. T Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. Agron. J 78: 452-756.

García., E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246p.

García, P.A. 1999. Preparación del semillero para el cultivo hidropónico. pp. 111-119. A. Vilarnau y G. González (Coord.) Planteles Semilleros Viveros. Compendio de Horticultura 13, Ediciones de Horticultura S.L. España.

- García, P.J.M.1999. Propiedades y características de los sustratos perlita. En: Cultivos sin suelo II, En: Curso Superior de Especialización. M. Fernández y I.M. Cuadrado (Eds). Almería España.29-45pp.
- García, P.J.M.1999. Propiedades y características de los sustratos perlita. En: Milagros Fernández, F. E Isabel Ma. Cuadrado G. (eds.) Cultivo sin suelo II Curso Superior de Especialización %. Junta de Andalucía, FIAPA. Caja Rural de Almería.p.29-46.
- Garner.I.c. y Bjorkman T. 1999 Mechanical conditioning of tomato seedling improves transplant quality without deleterious effects on field performance. Hortscience. 34(5): 848-851.
- Garzón, T., A.; Becerra F., A.; Marín A. Mejía A., C. y B yerly M., K. F. 2003. manejo integrado de la enfermedad “permanente del tomate”, en el Bajío. 95-100 p. En: R, Bujanos M y A. Marín J. (coord.) Memoria del taller sobre insectos vectores de virus y Fitoplasmas en el cultivo de solanáceas. SAGARPA, INIFAP. SDA. Fundación Produce A. C. Gto. 8ESAVEG, UARPAPA-Gto. CONAPA Celaya, Gto. Feb. 2003.
- González, V. F. 1996. El cultivo de tomate en la Cañada y Vega de Almería. Vol. 1/3: 255-292. En: Francisco Camacho F. (coord.) Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Instituto Rural, Almería, España.
- Hargreaves, G. H., y Samani, 2.A. 1982. Estimating potential Evapotranspiration. Tech note. J. Irrig. and drain. Engrg., ASCE, 108 (3): 225-230.

- Hargreaves, G. H., y Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engrg. In Agric.*, 1 (2): 96–99.
- Hashemi-Dezfouli, A. and S. J. Herber. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal*, 84: 547-5551.
- Hatfield, J. L. y R. G. Allen. 1996. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies *Journal of Irrig, and Drain. Engineering*. September /October.
- Jaffe, M.J.1973. Thigmomorphogenic: The response of plant growth and development to mechanical simulation. *Plant* 114: 143-157.
- Jensen M.E. 1969. Scheduling Irrigation Using Computers. *J. Soil and Water Conserv.* 24: 193-195.
- Jensen, D. T.;G.G.H.Hargreaves, Fellow, ASCE,B. Temesgen, y R.G. Allen, Member, ASCE.1997. Computation of Eto under nonideal conditions. *Journal of irrigation and drainage engineering*. September/October.1997.
- Jensen, M. E. 1969, plant and irrigation water requirements. *Sprinkler Irrig. Assoc.*, Washington, D. C .
- Jensen, M. E., E. D. Burman and R. G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Asce. Manual and reportson engineering practice n. 70*. American Society of Civil Engineers. USA.
- Jones, G. H. 1992. Plants and microclimate. *A quantitative approach to environmental plant physiology*. Second edition. Cambridge University Press, 428 p.

- Jones, H. G. 1990. Physiological aspects of the Control of water status in horticultural crops. Hort science 25 (1): 19-26.
- Karlen, D. L. and C. R. Camp. 1985. Row spacing, plant population and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agr. J. 77: 711-715.
- Kinet, J. M. y Peet, M. M. 1997. Tomato. p. 207-258. En: H. Wien (Ed.). The physiology of Vegetable Crops. CAB International.
- Kiniry, J. R. and J. R. Ritchie. 1985. Shade sensitive interval of kernel number of Maize, Agron. J. 77: 711-715.
- Lenscak, M.P.2001. Avances en la estrategia de producción de Plántulas de tomate. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. Escuela politecnica Superior. 245pp.
- Lorenzo, P.; Sánchez-Guerrero, M.C.; Medrano, E.; García, M.L.; Caparrós, I.; Giménez, M.2003. El sombreado móvil exterior: Efecto sobre el clima del invernadero, la producción y la eficiencia en el uso del agua y la radiación, En: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Curso Superior de Especialización 7. Eds: M. Fernández. P. Lorenzo y I. Cuadrado. DGIFA, FIAPA y CAJAMAR: 207-229pp.
- Marfá, O., Martinez, A., Orozco, R., Serrano, L. and Martínez, F.X.1993. The use of finegrade perlites in lettuce bag cultires. II. Acta Horticulturae, 342:339-348.
- Maroto, J. V. 1990. Elementos de Horticultura General. Edicioenes Mundi-Prensa, Madrid, 343pp.

- Martinez, C. y M. García Lozano. 1993. Cultivos sin suelo. Hortalizas de clima mediterráneo. Compendio de Horticultura Número 3, Ediciones de Horticultura. Barcelona, España, 123p.
- Michael, A. M. 1983. Irrigation (Theory and Practice). Vikas Publishing House (Pvt) Ltd. New Delhi, India.
- Mitchel, C.A., Severson, C.J., Wott, J.A. y Hammer, P.A. 1975. Seidmorphogenic regulaion of plant growth. J. Ammer. Soc. Hort. Sci. 102:605-608.
- Molina H., J. 1999. El papel de la agricultura intensiva en la economía de la provincia de Almería. Vol. 1/3, p. 11-33. En: Francisco Camacho F. (Coord.) Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Caja Rural de Almería, Escobar Impresos S. L. El Ejido, Almería. Es.
- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philos. Trans. R. Soc. London B 281: 277-294.
- Monteith, J. L. and M. H. Unsworth. 1990. Principles of environmental physics, second edition, Chapman and Hall, Inc. 291 p.
- Montero, J.I.; N. Castilla, E. Gutiérrez y F. Bretones. 1985. Climate under plastic in the Almería Area. Acta Horticultura:170:227-234.
- Morales, M.I, Hernández, J., Soriano, M.T., Martínez, F.M., Escobar, I., Berenguer, J.J., Castilla, N., 2000. Optimización de la radiación en i nvernaderos mediteráneos para aumentar la calidad de las producciones IV Jornadas del grupo de Horticultura de la SECH. Actas de Horticultura: 123-126.

- Moreno, C. C. 2000. Distribución de la radiación en el cultivo de Maíz (*Zea Maiz*) bajo diferentes densidades de población y su relación con la fotosíntesis y la productividad. Tesis de licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, p. 14.
- Muñoz-R, J.J y Mddina-G.G.2004. Condiciones agroclimáticas de México y la Horticultura Protegida.p.35-45.En:Castellanos (Ed).Manal de producción Horticola en Invernadero, 2ª Ed. INTAGRI. México.
- Muñoz-R, J.J.2004. La Producción de Plántulas en invernadero.p.207-230.En:J.Z.Castellanos (Ed).Manal de producción Horticola en Invernadero, 2ª Ed. INTAGRI. México.
- Muñoz-R, J.J.2004.El Cultivo de Tomate en Invernadero.231-256.En:J.Z.Castellanos (Ed).Manal de producción Horticola en Invernadero, 2ª Ed. INTAGRI. México.
- Muñoz-Ramos, J. J. 2003.Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. p. 18-39. En: J. J. Muñoz-Ramos y J. 2. Castellanos (Eds.). Manual de de producción horticola en invernadero. INCAPA. México.
- Navarro C., J. A. 1999 Estructuras para semilleros del 2002.p.11-30. En: Anna Vilarnau y Jerónimo González (Coord.) Planteles Semilleros Viveros. Compendio de Horticultura 13. Ediciones de Horticultura S. L. Es.
- Nobel, P. S. 1991. Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press, Inc. Department of Bilology, University of California, Los Angeles, Calif.



- Pearcy, R. W., J. Ehleringer, H. A. Mooniney, and P. Rundel (eds.) 1989. Plant physiological ecology: field methods and instrumentation. Chapman and Hall, London.
- Pereira, Luis S.; Alain Perrier, Richard G. Allen, Member, ASCE e Isabel Alves. 1999. Evapotranspiración: concepts and future trends, Journal of irrigation and drainage engineering. March/April. 1999.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamericana. México, D. F. 759 p.
- Serrano, C. 2. 1978. Tomate, Pimiento y Berenjena en Invernadero. Publicaciones de Extensión Agraria. Bravo Murillo, Madrid, España.
- Shibles, R. 1976. Committe report: Terminology pertaining to photosynthesis. Crop Sci, 16, 437-9.
- Shibles, R. M., and C. R. Weber. 1965. leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by soybeans. Crop Sci. 5: 575-578.
- Smith M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome.
- Snyder R.L. 1985. California Irrigation Management Information System. Vol.2. Final Report to the California Department of Water Resoruces. Office of Water Conservation. Contract number B53812. Sacramento, California. 130 pp.
- Stanghellini C. 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Ph. D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen: XVIII+150 pp.

- The Fertilizer Handbook. Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1975. The Interstate Printers Publisher, Inc. Danville IL.
- Urrutia, A. 2002. Perspectivas de la industria de invernaderos en México. Memoria del Congreso de Asociación Nacional de Productores de Hortalizas en Invernadero. Guadalajara, Jalisco del 26 al 28 e Julio de 2002.
- Villalobos Reyes, Salvador. 2003. Rendimiento y calidad del Brócoli sometido a diferentes tensiones de humedad. Tesis. Maestro en ciencias. Programa de hidrociencias. Colegio de posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Villalobos-R, J.Z. Castellanos y J.L.: Ojo de agua A. 2003. Manejo del riego en el invernadero. p.86-108. en: Muñoz-R y J.Z. Castellanos (Eds). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INCAPA. México.
- Villareal, R., 1980, Tomato in the tropics. Westview Press, Boulder CO, USA, p 171.
- Wells, R. 1991. Soybean growth response to plant density: Relationships among canopy photosynthesis, leaf and light interception. Crop Sci. 31: 755-761.
- Westgate, M. E., F. Forcella, D. C. Reicosky and J. Somnson. 1997 Rapid canopy closure for maize production in the northern U S corn belt: Radiation use efficiency and grain yield Crop Reserch. 49: 249-258.
- Williams, W. A., R. S. Loomis and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. Crop Sci. 5: 211-215.

Zabeltitz, C. V. 1998. Greenhouse structures. En: "Greenhouse Ecosystems". Stanhill, G., Enoch, H. Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam: 17-69.

Zermeño, Z. A., J. A. T. Montemayor, J. L. Munguía, L. J. Ibarra y M. Z. Cadena. 2005. Propiedades espectrales del cultivo de Maíz bajo diferentes densidades de población y su relación con la fotosíntesis y la productividad. UAAAN, departamento de Riego y Drenaje, Saltillo, Coahuila, México.