

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA**



Programación del Riego en base a Diferencias Térmicas entre el Follaje y el Aire en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo Invernadero en dos Medios de Producción (Suelo y Perlita).

**Por:**

**Saúl Mazariegos Suárez**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial Para

Obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN.**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2006.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Programación del Riego en base a Diferencias Térmicas entre el Follaje y el Aire en el Cultivo de Tomate (***Lycopersicon esculentum Mill.***) bajo Invernadero en dos Medios de Producción (Suelo y Perlita).

PRESENTADA POR:

SAUL MAZARIEGOS SUAREZ

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

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

APROBADA

\_\_\_\_\_  
M. C. Luis E. Ramírez Ramos  
Asesor Principal

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan P. Munguía López  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Dr. Raúl Rodríguez García  
Asesor

\_\_\_\_\_  
M.C. Boanerges Cedeño Rubalcava  
Asesor

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

\_\_\_\_\_  
DR. JAVIER DE JESÚS CORTES BRACHO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Mayo del 2006

## AGRADECIMIENTOS

A “Dios”, creador del universo, por permitirme vivir y crecer, motivarme e impulsarme para realizar uno de mis anhelos más apreciados.

**A mi “ALMA TERRA MATER” por permitirme terminar mis estudios y formarme un hombre de bien y por muchas cosas más, mil gracias.**

Al Departamento de Riego y Drenaje, por las herramientas que adquirí para luchar incansablemente.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por darme la oportunidad de realizar el presente trabajo y obtener más conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del Fondo sectorial y de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura, agrobiotecnología y recursos fitogenéticos a través del proyecto titulado: **Modelo en base a componentes del balance de energía para medir el consumo de agua en los cultivos de tomate, chile y papa**, con núm. de registro 133 de la convocatoria SAGARPA-2003-002, por el apoyo recibido.

También quiero dar mis más sincero agradecimiento al Dr. Juan P. Munguía López por su valioso tiempo en la asesoría y dirección de este trabajo.

Al M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos por su valiosa labor en la asesoría, revisión y sugerencias al presente trabajo.

Al Dr. Raúl Rodríguez García por su participación y asesoría de igual forma al M.C. Boanerges Cedeño Rubalcava, mil gracias.

## DEDICATORIAS

### **A mis padres:**

Sr. José Manuel Mazariegos García

Sra. Emilia Angelina Suárez Rodríguez

Con todo cariño para ellos por su apoyo incondicional que siempre me brindan sin esperar nada a cambio.

### **A mi esposa María del Socorro:**

Por la ilusión y motivación que ha sembrado en mí, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo durante esta etapa de estudios, por ella seguiré superándome.

### **A mis hermanos (Mayra Guadalupe y José del Carmen) y a mi cuñada (Sayra Luisa):**

Con mucho cariño, respeto y admiración por los momentos que juntos hemos compartido; por todos los consejos y apoyos brindados durante mi formación profesional y como persona.

A todos y cada uno de mis familiares que son parte de mi vida y a los que siempre tengo en mi mente y en especial a mi primo Remigio que siempre estuvimos juntos en las buenas y en las malas durante toda mi carrera profesional.

### **A mis compañeros de generación:**

Por toda la compañía y apoyo, así como por los buenos y malos momentos que pasamos juntos a lo largo de la carrera: Gerardo, Vicente, Crispín, Jesús, Guillermo, Luciano, Heber, Wiliam, César y Héctor.

**A la Fam. López Sandoval:** Don Lorenzo, Doña Rosario, Doña Rosa, Rodolfo, Gerardo, José, Francisca, Margarita y Juan Manuel.

Con todo cariño y respeto por hacerme sentir como un miembro más en su familia y compartir bonitos momentos los cuales nunca olvidaré, por su amistad y confianza, mil gracias.

**A todos mis amigos:** Carlos, Jorge, Iber, Jaime, Julio Alberto, Orbelín, Adalberto, Felipe, Alejandro, Camilo, Jorge Luis y Galileo por los consejos alentadores, gracias por su amistad que con gusto conservaré para toda la vida.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIAS</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
OBJETIVO .....	3
HIPÓTESIS.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Generalidades del cultivo.....	4
2.1.1. Importancia económica y distribución geográfica .....	4
2.1.2. Clasificación taxonómica .....	5
2.1.3. Descripción botánica.....	6
2.1.4. Fisiología del tomate.....	8
2.1.5 Agronomía del tomate.....	11
2.1.6 Elección del material vegetal .....	14
2.2. Evapotranspiración .....	14
2.2.1. Evapotranspiración potencial .....	15
2.2.2. Evapotranspiración máxima.....	15
2.2.3. Evapotranspiración real .....	15
2.3. Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo invernadero.....	15
2.3.1. Concentración de dióxido de carbono.....	15
2.3.2. Temperatura .....	16
2.3.3. Fotosíntesis.....	17
2.3.4. Resistencia del follaje .....	17
2.3.5. Resistencia del aire.....	18
2.4. Necesidades hídricas.....	18
2.5. Programación de los riegos en invernadero bajo riego localizado.....	18

2.6. Invernaderos .....	19
2.6.1. Tipos de invernaderos .....	19
2.7. Hidroponía .....	20
2.8 Sustratos.....	21
2.8.1. Clasificación de los sustratos.....	21
2.8.2. Propiedades físicas de los sustratos.....	22
2.8.3. Propiedades químicas de los sustratos .....	24
2.9. Métodos para estimar la evapotranspiración .....	25
2.9.1. Métodos directos.....	25
2.9.1.1. Método gravimétrico .....	25
2.9.1.2. Método lisimétrico .....	25
2.9.1.3. Método de la bandeja de drenaje.....	26
2.9.1.4. Método de la bandeja a la demanda.....	28
2.9.2. Métodos indirectos.....	29
2.9.2.1. Métodos basados en dispositivos evaporímetros ....	29
2.9.2.2. Método del tanque evaporímetro tipo “A”.....	29
2.10. Investigaciones realizadas para programar riegos en base a la temperatura del follaje .....	31
<b>III. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1. Descripción del sitio experimental.....	35
3.1.1. Localización .....	35
3.1.2. Clima.....	35
3.2. Material vegetativo.....	36
3.3. Establecimiento del experimento .....	37
3.3.1. Tamaño del invernadero .....	37
3.3.2. Producción de plántulas .....	37
3.3.3. Preparación del invernadero .....	37
3.3.4. Transplante.....	40
3.3.5. Fertilización.....	40
3.4. Labores culturales.....	41
3.4.1. Entutorado .....	41

3.4.2. Poda de tallos o brotes .....	42
3.4.3. Poda de hojas .....	42
3.4.4. Control de plagas y enfermedades .....	42
3.5. Equipo utilizado.....	43
3.5.1. Sensores infrarrojos.....	43
3.5.1.1. Descripción de los sensores infrarrojos .....	43
3.5.2. Termopar de alambre fino.....	44
3.5.2.1. Descripción del termopar de alambre fino .....	44
3.5.3. Pluviómetros .....	45
3.5.3.1. Descripción de los pluviómetros .....	45
3.5.4. Sensores TDR .....	47
3.5.4.1. Descripción de los sensores TDR.....	47
3.5.5. Bandeja de drenaje.....	48
3.6. Metodología en la toma de datos.....	49
3.6.1. Sensores infrarrojos.....	49
3.6.2. Termopar de alambre fino.....	49
3.6.3. Pluviómetros .....	49
3.6.4. TDR .....	49
3.6.5. Bandeja de drenaje.....	50
3.7. Metodología para la obtención del Índice Grado Día.....	50
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
4.1. Consumo diario de agua por la planta para cada una de las secciones (suelo y perlita) .....	53
4.2. Análisis del comportamiento del IGD y el consumo de agua en tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita) en el 2005 .....	54
4.3. Comparación de resultados para valores de IGD y consumo de agua por las plantas en dos años de producción 2004 y 2005 .....	60
4.4. Correlación del IGD acumulado y el consumo de agua acumulado por la planta de tomate Híbrido Gabriela.....	63



4.5. Rendimiento del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita).....	64
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	67
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	69
<b>VII. RESUMEN</b> .....	70
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b> .....	71

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Evolución de la superficie cosechada de tomate a nivel mundial según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, por su siglas: Food and Agriculture Organization).....	4
Figura 2.2. Evolución de la producción de tomate, según países productores, durante la década 1994-2003 .....	5
Figura 2.3. Esquema de la bandeja de drenaje .....	26
Figura 3.1. Gotero de 4 lph, distribuidor, tubín y estaca de gotero individual utilizados en la producción de tomate .....	38
Figura 3.2. Diagrama del invernadero.....	40
Figura 3.3. Arreglo del sensor infrarrojo para medir la Temperatura del follaje de 6 – 8 cm de separación de la hoja en una planta representativa .....	43
Figura 3.4. Termopar de Alambre Fino (FWT). Tipo E.....	45
Figura 3.5. Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251 .....	46
Figura 3.6. Pluviómetro Li-Cor, Modelo 1000-20 .....	47
Figura 3.7. TDR Campbell SCI, Modelo CSG615-L.....	48

Figura 4.1.	Evolución del consumo, riego y drenaje de agua por la planta de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo y perlita en el año 2005.....	54
Figura 4.2.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en las primeras dos etapas del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo y perlita en el año 2005 .....	56
Figura 4.3.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la tercera etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo y perlita en el año 2005. ....	57
Figura 4.4.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la cuarta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo y perlita en el año 2005 .....	58
Figura 4.5.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la quinta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo y perlita en el año 2005 .....	59
Figura 4.6.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la cuarta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela en perlita y bajo invernadero en dos años de producción 2004 y 2005 .....	61
Figura 4.7.	Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la quinta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela en perlita y bajo invernadero en dos años de producción 2004 y 2005 .....	62

Figura 4.8. Relación del Consumo de Agua acumulado y el IGD acumulado en el cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en el año 2005 .....	64
Figura 4.9. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos sistemas de producción suelo y perlita en el año 2005 .....	65

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3.1. Aportación proporcional de nutrientes para el cultivo de tomate Híbrido Gabriela en condiciones de invernadero.....	41
Cuadro 4.1. Etapas del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero .....	52
Cuadro 4.2. Recomendación para suministrar agua al cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero de acuerdo a la etapa del cultivo y el valor del IGD .....	63
Cuadro 4.3. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero .....	66

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el agua representa mundialmente, uno de los recursos de mayor importancia en la producción agrícola, dada su escasez relativa, su baja disponibilidad y calidad. Debido a esto, se han desarrollado diversas tecnologías tendientes a mejorar el uso de este recurso, sistemas de conducción y métodos de riego más eficientes, que permiten aumentar la superficie regada, mejorar rendimientos y ampliar rentabilidad de los cultivos y el predio.

El 71% de la superficie del planeta está cubierta por agua, cuyo volumen se estima en 1,460 millones de km<sup>3</sup>. Del volumen total del agua, el 97.5% es salada y está contenida en los mares y los océanos. El 2.5% restante es agua dulce y casi toda se encuentra almacenada en los casquetes polares y como agua subterránea fósil; la más accesible está concentrada en ríos, lagos y embalses, y representa el 0.7% de toda el agua de la tierra. De esta porción, el 87% se emplea para la agricultura, entonces, la cantidad del líquido restante es muy pequeña y las necesidades aumentan conforme crece la población mundial, que según estimaciones de la ONU superará los diez mil millones de habitantes en el año 2050 (CNA, 2005).

El total de la superficie cultivada en México, el 70% es de temporal y el 30% de riego. Podría asegurarse que esta composición es positiva para el país, si se compara con 84% y 16% de temporal y riego respectivamente, del promedio mundial. Sin embargo, el 57% de la infraestructura está en mal estado. No obstante, la producción agrícola que se genera en parcelas dotadas con infraestructura de riego, es aproximadamente 55% de la producción total nacional y el resto se produce en superficies de temporal.

Se calcula que en el año 2000 se extrajeron 72 km<sup>3</sup> de agua de los ríos, lagos y acuíferos del país para los principales usos consuntivos, lo que representa el 15% del agua disponible. El uso consuntivo predominante en México es el agrícola, ya que en la actualidad el 78% del agua extraída se utiliza para el riego de 6.3 millones de hectáreas, le sigue el uso público urbano con 11.5% y el industrial con 8.5%. Otros usos como el pecuario o el destinado a la acuacultura consumen el restante 2%.

Dada la problemática anteriormente expuesta, se ha buscado diversos métodos, para determinar el umbral de riego al cual la planta no se ve afectada y con ello lograr un manejo integrado y sustentable del agua. La tecnología de producción en invernaderos permite una explotación eficiente de los cultivos ya que permite modificar las condiciones del clima, además hace posible utilizar suelos nunca antes aprovechados, así como hacer una mejor eficiencia en el uso del agua.

Un aspecto de la irrigación que ha tomado gran importancia hoy en día y que es una herramienta muy valiosa para solucionar este problema, es la programación de riegos. Diversos estudios en los años 80, determinaron que la temperatura de la planta, específicamente la temperatura de la hoja, es un buen parámetro para determinar el estado hídrico de la planta, y de esta manera, su necesidad de riego. Dada la situación actual, el presente trabajo fue orientado a obtener una programación de riegos tomando como referencia la temperatura del follaje y el aire para aplicar al cultivo la cantidad necesaria de agua para su buen crecimiento y desarrollo. La determinación de la frecuencia de riego es una actividad muy importante dentro de cualquier explotación agrícola, ya que permite que la planta se mantenga en óptimas condiciones hídricas durante todo el desarrollo del cultivo.

**OBJETIVO:**

Obtener una programación de riegos para el cultivo de tomate en invernadero con base a temperatura del follaje y aire.

**HIPÓTESIS:**

Es posible programar los riegos con los datos de temperatura del follaje y aire para aplicar cantidades óptimas de agua al cultivo del tomate.



## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo

#### 2.1.1. Importancia económica y distribución geográfica.

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia en el mundo ya que a partir de el se puede obtener un sin número de subproductos, mundialmente ocupa el segundo lugar al ser superado solo por la papa, en México es uno de los más importantes en cuanto a generación de divisas, ya que las estadísticas reportan un volumen de exportación de 963,798 ton. (USDA 1998).

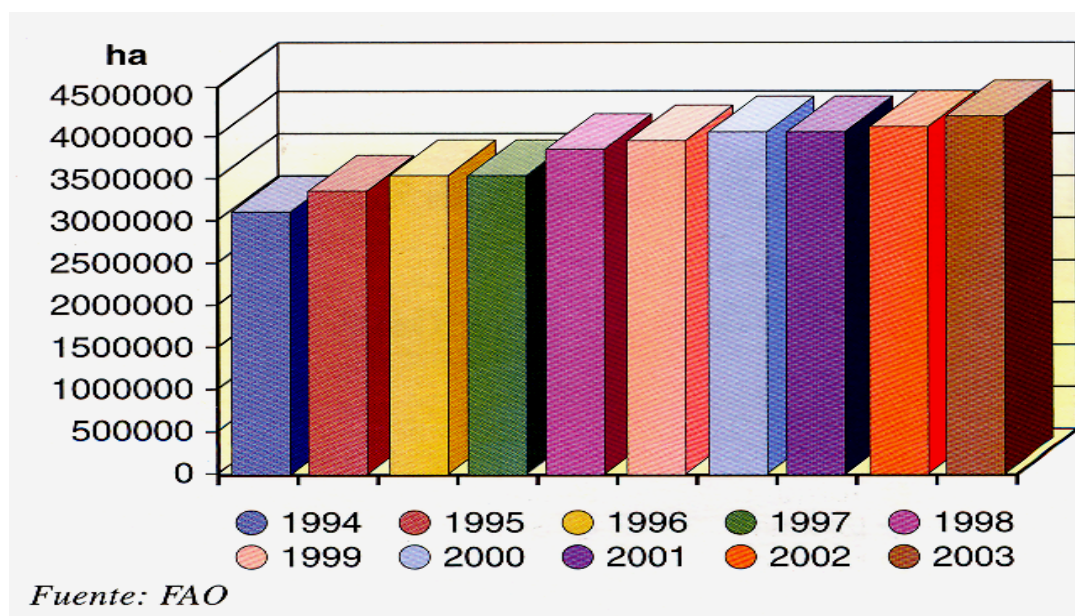


Fig. 2.1. Evolución de la superficie cosechada de tomate a nivel mundial según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por su sigla en inglés: Food and Agriculture Organization).

De acuerdo con las últimas estadísticas firmes de la FAO (2001 & 2002), el continente asiático es el que produce el mayor número de toneladas de tomate total anualmente. Esto se debe, básicamente, a la actividad productiva de China. Alcanzando en 2002 los 27 millones de toneladas, China se adjudica, ella sola, el 24% de la producción mundial de tomate. Seguida China por India (7.5 millones), Irán (4.11 millones) y Turquía (9.5 millones).

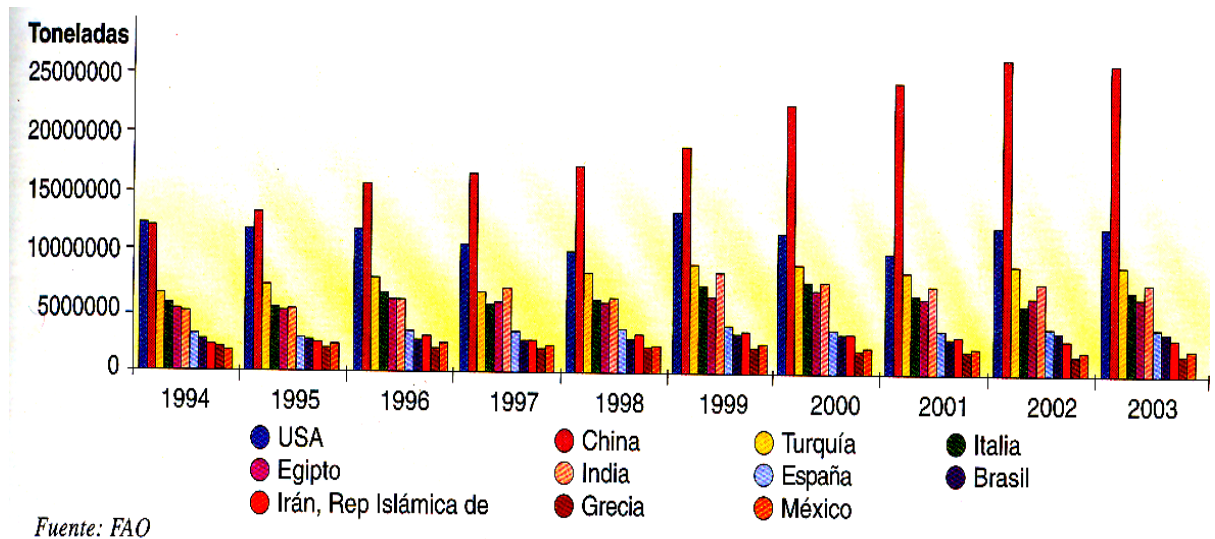


Fig. 2.2. Evolución de la producción de tomate, según países productores, durante la década 1994-2003.

### 2.1.2. Clasificación taxonómica

Reino .....	Vegetal
División .....	Tracheophyta
Subdivisión.....	Pteropsidae
Clase.....	Angiospermae
Subclase .....	Personatae
Familia .....	Solanacea
Género.....	Lycopersicon
Especie .....	Esulentum

Flores (1980).

### 2.1.3. Descripción botánica

El nombre científico es *Lycopersicon esculentum* Mill, aunque existe una tendencia a la denominación *Lycopersicon lycopersicum* (L.) Fawell (Maroto, 2002). La planta se puede comportar como anual o semiperenne en regiones tropicales. Basándose en el hábito de la planta y vigor, esta puede ser de crecimiento determinado o indeterminado. Teóricamente se dice que todos los tipos indeterminados son plantas perennes y los de tipo determinado, anuales (Papadopoulos, 1991).

**Semillas:** De forma lenticular, con un diámetro de 3 a 5 mm, constituida por el embrión, el endospermo y la testa. El embrión esta constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. La absorción del agua a través de la testa de la semilla es esencial para el proceso que promueve la germinación.

**Sistema radical:** La función de la raíz es la absorción y transporte de nutrientes, así como el anclaje de la planta al suelo. El sistema radicular está constituido por una raíz principal, raíces secundarias y raíces adventicias. Internamente tiene bien diferenciadas tres zonas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular (Chamorro, 2001; Cadenas *et al.*, 2003).

**Tallo principal:** El diámetro típico de un tallo puede variar de 2 a 4 cm en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Debajo de la epidermis se encuentra el córtex, mientras que las más internas son de tipo colenquimático y dan soporte al tallo. En la parte superior del tallo principal está ubicado el meristemo apical, donde se presenta una gran actividad celular y se inician los primordios foliares y flores. Tiene forma de cúpula y está protegido por las hojas recién formadas (Chamorro, 2001).

**Hoja:** Presenta hojas pinnadocompuestas. Tiene un foliolo terminal y hasta ocho foliolos laterales, que pueden a su vez ser compuestos. Son peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados (Chamorro, 2001). Las hojas compuestas se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna (Rodríguez *et al.*, 2001).

**Flor:** La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina, consta de cinco o más sépalos, de cinco o más pétalos dispuestos de forma helicoidal, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso. Frecuentemente, el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta.

**Fruto:** Es una baya globosa o piriforme, que presentan una coloración generalmente roja en su maduración. El tamaño del fruto y la calidad del mismo están genéticamente condicionados por la variedad, actividad fotosintética de la planta, número de semillas, posición del fruto en el ramo, posición del ramo en la planta, variables climatológicas y manejo de la planta o otras variables como manejo del abonado. La superficie de la baya puede ser lisa o acostillada y en su interior se delimitan los lóculos carpelares que pueden variar entre dos y treinta. La placentación puede o no ser regular. El diámetro de los frutos varía entre 3 y 16 cm (Maroto, 2002).

### **Desarrollo vegetativo**

El crecimiento de la planta se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia cada tres hojas. Cuando este proceso se repite indefinidamente los cultivares se denominan indeterminados, y el seudo tallo principal puede crecer más de 10 metros por año, con un porte rastroso o trepador.

El desarrollo de la planta depende de numerosos factores, entre los que cabe mencionar la variedad, la iluminación, la temperatura, la nutrición, el suministro de agua y concentración de CO<sub>2</sub>, que actúan en un complejo entremado de interacciones.

### **Fructificación**

La diferenciación y desarrollo de la flor constituyen etapas previas a la fructificación y, en consecuencia, todos los factores que afectan a la floración pueden influir sobre la precocidad, rendimiento y calidad del fruto. La floración es un proceso complejo afectado por numerosos factores entre los que se destacan la variedad, la temperatura, la iluminación, la competencia con otros órganos de la planta, la nutrición mineral y los tratamientos con reguladores de crecimiento. El hábito de ramificación de la planta también tiene una influencia determinada sobre la floración. Las condiciones ambientales y nutritivas, así como los tratamientos con reguladores de crecimiento, pueden afectar de forma importante la diferenciación y el desarrollo de la flor (León y Arosamena, 1980).

#### **2.1.4. Fisiología del tomate**

##### **Factores ambientales y culturales que afectan la productividad**

El tomate es un cultivo de climas cálidos, por lo que no presenta ninguna dificultad su establecimiento en los periodos de primavera y verano, no obstante en algunas regiones su cultivo dura casi todo el año, lo cual puede representar pequeños inconvenientes si la zona presenta bajas temperaturas y días cortos (invierno) y de igual forma, altas temperaturas y humedad relativa muy baja (verano).

##### **Temperatura**

Las temperaturas elevadas en el momento de apertura floral y cuajado, pueden provocar la caída de flores y de frutos, así como podredumbre apical.

En contraposición, la incidencia de temperaturas bajas puede ocasionar problemas en la fertilización de los óvulos.

Cadenas *et al.* (2003) hacen mención sobre las temperaturas críticas para el cultivo siendo estas las siguientes:

Temperaturas críticas en base a la fenología:

Germinación: mínima: 10°C

                  óptima: 25 a 30°C

                  máxima: 35°C

Nascencia: 18°C

Primeras hojas: 12°C

Desarrollo diurno: 18 a 21°C

Desarrollo nocturno: 15 a 18°C

Se huela la planta: 2°C

Detiene su desarrollo: 10 a 15°C

Mayor desarrollo: 20 a 24°C

Floración diurna: 23 a 26°C

Floración nocturna: 15 a 18°C

Maduración fruto rojo: 15 a 22°C

Maduración fruto amarillo: mayor de 30°C

Suelo: mínima: 12°C

                  Óptima: 20 a 24°C

                  Máxima: 34°C

## **Luz**

El tomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, requiere de entre 8 y 16 horas, aunque necesita buena iluminación (se comporta bien en un rango de 3000 – 6000 lux), poca iluminación reduce la fotosíntesis neta, e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Nuez 1995).

## **Humedad Relativa**

Es un aspecto que debe ser tomado en cuenta, sobre todo durante la dehiscencia polínica y la consiguiente polinización, siendo quizá el rango más adecuado entre 55 y 69% (Maroto, 2002). Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

## **pH**

El tomate está clasificado como una hortaliza tolerante a la acidez, aunque esta especie no presenta grandes exigencias, puede desarrollarse bien con pH entre 6.5 a 7.5.

## **Suelo**

Con respecto al suelo, el tomate no es una planta exigente, prefiere los suelos profundos y con buen drenaje, su sistema radicular poco profundo le permite adaptarse a los suelos pobres y de poca profundidad con tal de que tenga asegurado un buen drenaje (Rodríguez, 1997). Con respecto a la textura, se desarrolla en suelos livianos (arenosos), y en suelos pesados (arcillosos), siendo los arenosos y limo-arenosos con buen drenaje (Valadéz, 1996). Presenta cierta tolerancia a suelos con problemas de salinidad siempre y cuando exista un buen drenaje (Cadenas *et al.*, 2003; Maroto, 2002). Se clasifica como medianamente tolerante, teniendo unos valores máximos de 6,400 ppm (10 mmho = 10 dS/m), (Valadéz, 1998).

## **2.1.5. Agronomía del tomate**

### **Producción de plántulas**

Centeno (1986), designa el término plántula a la planta pequeña producida por semilla, de pocas semanas de edad, y que se utilizan en los cultivos de trasplante para establecer el plantío definitivo en campo.

En el cultivo de plántulas, es necesario producir plantas que resistan los rigores del manejo de trasplante, sobrevivan al estrés del movimiento de ambientes protegidos hacia ambientes de campo, queden establecidas y reinicien el crecimiento activo inmediatamente después del trasplante y produzcan rendimientos aceptables sin reducciones o retrasos comparados con métodos alternativos de establecimiento (Latimer y Beverly, 1993).

### **Trasplante**

Leskovar, (2001), menciona que la capacidad de un trasplante a superar el shock, depende de cómo las plántulas soportan los cambios estructurales y funcionales de la raíz, de la capacidad radicular de absorción de agua y nutrientes, y de la capacidad de regeneración de nuevas raíces. Para lograr uniformidad de crecimiento en tiempo y espacio, un trasplante de alta calidad debe tolerar el manipuleo durante la operación de trasplante y estar bien aclimatado a condiciones extremas del campo. El objetivo es que el trasplante sea capaz de continuar rápidamente su crecimiento radicular y disminuir el lapso de tiempo expuesto al “shock” o castigo del trasplante para retomar su crecimiento vegetativo, y así poder alcanzar el potencial máximo de productividad.

### **Entutorado**

En el cultivo bajo invernadero normalmente se utiliza hilos de polipropileno, comúnmente llamados “rafia” para dar soporte a la planta y



mantenerla erguida. Esta labor consiste en sujetar a la planta desde la base. Se puede realizar un nudo, o utilizar una anilla, posteriormente la planta se va liando o se combina la acción con el empleo de anillas atándose la rafia al alambre de entutorado que se localiza sobre la línea del cultivo. Otra técnica que va aumentando su superficie de modo progresivo en diferentes zonas, es el sistema de cultivo mediante gancho y descuelgue, para ir dejando caer la planta a medida que va creciendo. Esta operación 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; Muñoz, 2003).

Una vez que la planta ha alcanzado la altura del alambre de entutorado y se han eliminado las hojas basales, la planta se deja caer, siempre con la precaución de que los frutos no toquen el suelo para evitar pérdidas de calidad por daños externos en el mismo.

### **Poda de tallos**

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales. Así mismo se determinará el número de brazos (tallos) a dejar por planta. Son frecuentes las podas a 1 o 2 brazos, aunque en tomates de tipo Cherry suelen dejarse 3 y hasta 4 tallos. El tomate presenta la peculiaridad de que en cada yema axilar emite un brote. Se sugiere eliminar estos brotes cuando presentan una longitud de aproximadamente 5 cm para evitar una pérdida de energía y de igual forma para no producir una herida considerable, ya que facilitaría la instalación de enfermedades producidas por hongos y/o bacterias. Esta labor se realiza con más frecuencia durante el desarrollo vegetativo de la planta y con condiciones climatológicas favorables para el cultivo.

### **Poda de hojas**

Esta labor facilita la aireación de la parte baja de la planta, rompiendo los microclimas que se pueden formar en torno a los frutos más bajos de la misma y facilita la entrada de la luz, la cual ayuda a mejorar el color de los mismos. También se eliminan las hojas enfermas para reducir la fuente de inóculo (Cadenas *et al.*, 2003).

### **Poda de frutos**

Normalmente se lleva a cabo una vez que han cuajado el número de frutos deseado; está demostrado que esta práctica ayuda al aumento de calibre, uniformidad y calidad de los frutos (Cadenas *et al.*, 2003). De forma general podemos distinguir dos tipos de aclareo: el aclareo sistemático es una intervención que tiene lugar sobre los racimos, dejando un número de frutos fijo, eliminando los frutos inmaduros mal posicionados. El aclareo selectivo tiene lugar sobre frutos que reúnen determinadas condiciones independientemente de su posición en el racimo; como pueden ser: frutos dañados por insectos, deformes y aquellos que tienen un reducido calibre.

### **Polinización**

La evolución de formas y métodos para asegurar una fructificación comercial en este cultivo bajo sistemas protegidos ha avanzado de un modo excepcional, desde vibrar la planta pasando por el empleo de hormonas, a la que actualmente se utiliza casi de modo generalizado: la polinización con abejorros (*Bombus terrestris*) lográndose una mejora en cantidad y calidad de los frutos. Como cualquier ser vivo, estos polinizadores requieren de cuidados mínimos para optimizar su trabajo y ciclo de vida (Rodríguez *et al.*, 2001; Cadenas *et al.*, 2003; Castilla, 2001). Cabe mencionar que la actividad de una colmena se puede ver reducida por condiciones ambientales extremas, ausencia o disminución de polen en la flor, nula o baja floración, este último influenciado por las carencias nutricionales en la plantación, entre otros (Cadenas *et al.*, 2003)

La utilización de productos fitorreguladores para provocar el cuaje de la flor del tomate, es una técnica que de un modo paulatino está cayendo en desuso, se recurre a ella cuando las condiciones ambientales (temperatura, luz y humedad) impiden el vuelo del abejorro o bien influyen en la estimulación del proceso natural del cuajado, debido a una falta de polen, mala calidad del mismo, o esterilidad posicional como consecuencia del posición que adoptan estigma (más alta) y anteras (más bajas).

#### **2.1.6. Elección del material vegetal**

La elección de cultivar estará influida, entre otros, por el tipo y características deseadas del fruto (que dependerá del mercado al que se destina), sistema de cultivo (aire libre o invernadero, poda y entutorado previstos, hábito de crecimiento, uso de fitohormonas,...) condiciones climáticas del ciclo, características edáficas y del agua de riego, resistencias genéticas deseables, condiciones de cuajado de fruto, precocidad, etc. (Castilla, 1994).

Para el cultivo en invernadero son necesarias la buena adaptación a condiciones de baja temperatura y luminosidad tanto para el crecimiento vegetativo como para la floración y cuajado.

#### **2.2. Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora directamente de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. El uso consuntivo esta formado por la Evapotranspiración más el agua que utilizan las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos, basándose en esto, aproximadamente el uno por ciento del agua total es utilizada. Actualmente se utiliza más el concepto de Evapotranspiración que el uso consuntivo (Aguilera y Martínez, 1996).

### **2.2.1. Evapotranspiración potencial**

Es la cantidad de agua transpirada por un cultivo verde, de tamaño pequeño y uniforme en la unidad de tiempo, que cubre totalmente la superficie del suelo con un adecuado abastecimiento de agua. Ocurre cuando el suelo está bien provisionado de agua en la zona radical y depende del poder evaporante del aire y de la cubierta vegetal (Penman, 1948).

### **2.2.2. Evapotranspiración máxima**

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

### **2.2.3. Evapotranspiración real**

La evapotranspiración real es la cantidad de agua, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. Es el proceso total de la transferencia del agua como vapor de las superficies de la tierra con cultivos a la atmósfera (Bastiaansen *et al.*, 1998; Elizondo y Contreras, 1996).

## **2.3. Factores climáticos que influyen en el consumo de agua bajo invernadero**

### **2.3.1. Concentración de dióxido de carbono**

A mayor concentración de CO<sub>2</sub> menor apertura estomática y menor transpiración. Algunos autores manejan una concentración de 700-900 µmol de CO<sub>2</sub> para alcanzar rendimientos productivos superiores. El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del invernadero reduce el efecto de inhibición que ejerce la concentración de O<sub>2</sub> sobre la tasa fotosintética debido a la fotorespiración (Heij y Uffelen, 1984).

### 2.3.2. Temperatura

Las temperaturas altas favorecen la transpiración aumentando la velocidad de salida de agua por el estoma. Como en la atmósfera al aumentar la temperatura hace que disminuya la humedad relativa y aumente el gradiente de difusión del vapor de agua entre la cámara subestomática y el exterior, es por ello que aumenta la transpiración. Asimismo, al aumentar la temperatura, aumenta también el coeficiente de difusión de vapor de agua, y por eso aumenta más la transpiración. Las temperaturas elevadas provocan la insensibilidad del estoma al  $\text{CO}_2$  con lo cual permanece abierto y el efecto refrigerante de la transpiración evita las quemaduras que se producirán en las hojas (Villalobos-Reyes *et al.*, 2003).

Jackson (1982) en un recuento histórico presenta la controversia si la transpiración disminuye la temperatura de la hoja por debajo de la temperatura del aire circundante o no, tanto Idso y Baker (1964) como Wolpert (1962) han confirmado con sus trabajos que el factor que más incide en la temperatura de la hoja cuando se encuentra como dosel o follaje, es la transpiración, cosa diferente a las hojas individuales donde el factor más determinante es la convección. La suposición de que la temperatura de la hoja es una medición del estrés hídrico se basa en observaciones cualitativas, debido a que los procesos fisiológicos antes y después de que se presente un estrés hídrico son diferentes para cada una de las especies de cultivo (Hsiao, 1973).

Clawson y Blad (1982) desarrollaron el índice temperatura día, definido como la diferencia de temperaturas entre el follaje para parcelas sin estrés hídrico y parcelas con estrés hídrico. La temperatura del dosel ha sido propuesta como una herramienta de cálculo de un índice de déficit hídrico, que permite determinar el estado hídrico de las plantas y programar la frecuencia de riego en los cultivos (Idso *et al.*, 1981). La determinación de este índice sólo requiere del conocimiento de líneas base, que relacionan la diferencia de temperatura aire-dosel y el déficit de presión de vapor de la atmósfera en condiciones de

adecuado suministro de agua (estomas totalmente abiertos) y en condiciones de déficit hídrico severo (estomas totalmente cerrados).

### **2.3.3. Fotosíntesis**

Bidwell (1979), señala que básicamente la fotosíntesis es la absorción de energía lumínica y conversión en potencial químico estable por la síntesis de compuestos orgánicos. Puede considerarse como un proceso de tres fases: 1. La absorción de luz y retención de energía lumínica, 2. La conversión de energía lumínica en potencial químico y 3. La estabilización y almacenaje del potencial químico. Xu-huilian *et al.*, (1997), menciona que la capacidad fotosintética total en plantas de tomates disminuye con las hojas. La cantidad de agua usada directamente en las reacciones de la fotosíntesis es pequeña, comparada con la transpirada o almacenada por las plantas en cualquier tiempo dado, la condición hídrica de la planta influye severamente en el crecimiento de la misma y en la producción de biomasa, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y de la raíz (Beadle *et al.*, 1985).

### **2.3.4. Resistencia del follaje (Rc)**

La resistencia del follaje se ha estimado de varias maneras: utilizando el promedio de todas las hojas del follaje o simplemente para un grupo de hojas preseleccionadas.

Monteith, *et al.*, 1965, reportaron que la resistencia del follaje para el cultivo de cebada fue independientemente de la velocidad del viento. Esto implica que la resistencia del follaje en la cebada es principalmente una resistencia fisiológica que depende del estoma. La apertura estomática esta en función de muchos factores como la presión de turgencia de la hoja, humedad relativa del aire, temperatura de la hoja, nivel de iluminación y concentración de CO<sub>2</sub> dentro y fuera de la hoja, esta apertura estomática determinara en gran parte la resistencia a la difusión de los gases.

### **2.3.5. Resistencia del aire (ra)**

Szeics, (1987), estableció que sobre un cultivo con amplio rango de estabilidad los cambios de vapor de agua y de calor son gobernados por la turbulencia atmosférica y los perfiles de temperatura, presión de vapor y el viento son usualmente similares. Cuando estas condiciones son estables, los coeficientes de transferencia de momento pueden ser usados para estimar el flujo de vapor de agua y calor.

### **2.4. Necesidades hídricas**

El agua es fundamental para el desarrollo de las plantas, tanto en el aspecto fisiológico como ecológico, más que cualquier otro factor, el agua rige la distribución de la vegetación en la superficie de la tierra, casi todos los procesos vegetales esta directa o indirectamente afectados por el consumo de agua. Si el agua es importante, no lo es menos el suelo que para casi todas las plantas agrícolas es el lugar de almacenamiento de la humedad y ámbito de crecimiento de la raíz (Kramer, 1974).

### **2.5. Programación de los riegos en invernadero bajo riego localizado**

La programación de riegos es un procedimiento utilizado para predecir las necesidades de agua de la planta en un futuro basándose en las mediciones del contenido de humedad presente en el suelo y en los datos climatológicos registrados históricamente. Programar los riegos tiene como finalidad mejorar el manejo del agua de tal forma que sólo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria (García y Briones, 2003).

### **Frecuencia de riego**

Se define como el número de riegos que se dan por unidad de tiempo. Una vez que se determina la dotación mínima por cada riego, se van variando las frecuencias de riego de acuerdo con las necesidades del cultivo a lo largo de un día de insolación normal. La frecuencia de riegos está en función de la fase del cultivo y la climatología del momento.

## **Programación de riego**

Según Cadahia (1998), la programación del riego puede basarse en la evolución de la humedad del suelo, en diversos parámetros de planta y/o en el microclima del medio circundante. Para establecer el momento de riego y la dosis, es necesario controlar el agua existente a nivel radicular sin permitir que el contenido descienda por debajo del límite mínimo.

Con la programación del riego se puede maximizar la producción y la calidad de los productos, con un significativo ahorro de agua y fertilizantes, evitando la contaminación de aguas subterráneas por precolación profunda (Gurovich *et al.*, 1994; Evans, *et al.*, 1996).

## **2.6. Invernaderos**

Un invernadero es un espacio delimitado por una estructura metálica cubierta por materiales tan diversos como vidrio, plásticos transparentes, placas de policarbonato, PVC, acrílico y cuyo objetivo es aislar el cultivo del medio (frío, insectos y lluvia) y tener un mayor control de la fertilización, el riego, el clima interno: temperatura y humedad relativa. Mutschler *et al.*, (1992) comenta que la implantación generalizada de los invernaderos ha impulsado el desarrollo de nuevos cultivares especialmente adaptados al cultivo protegido, entre los cuales se encuentran variedades de tomate recomendadas para el cultivo al aire libre, otras para cultivos protegidos y, en algunos casos, para uso mixto.

### **2.6.1. Tipos de invernaderos**

Existen diferentes clasificaciones de invernaderos pero una de las más utilizadas es la que se basa en la forma de la estructura y por lo tanto de la cubierta, estos son:

\*Invernaderos de cubierta plana

\*Invernaderos de cubierta a dos vertientes o dos aguas



### \*Invernaderos de cubierta curva

La forma del invernadero es importante debido a que es un factor que influye en la captación de luz, en la inercia térmica, la durabilidad del material de cubierta y de otras características importantes, como la facilidad de ventilación o enfriamiento entre otros.

Martínez, M. (1995) indica que los invernaderos más sencillos, económicos y populares son los invernaderos de tipo túnel, pero son los menos eficientes en ventilación natural, mientras que el invernadero tipo colombiano es el más eficiente en ventilación natural, consiste en un invernadero tipo dos aguas con una ventila cenital, favoreciendo el escape del aire caliente, resultando una muy buena opción para climas calientes, una variante de este es el tipo ecuatoriano el cual es de techo curvo pero con ventila cenital, presentando las mismas ventajas que el anterior con la variante de un mejor ajuste de las cubiertas flexibles a la estructura, resultando en mayor durabilidad.

## **2.7. Hidroponía**

La hidroponía, en su concepto más amplio, consiste en los sistemas de cultivo en el que las plantas completan su ciclo de desarrollo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando el agua y los nutrientes minerales mediante una solución: la solución nutritiva (SN). En forma más restrictiva, la hidroponía consiste en que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en un medio líquido o SN, sin ningún tipo de sustrato sólido. Dependiendo del destino que tenga la SN luego de ser usada, los sistemas hidropónicos han sido clasificados como: (a) abierto, una vez que la SN es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es reusada y por lo tanto se pierde y (b) cerrado, cuando la SN excedente es recuperada, regenerada y reciclada (Jensen y Collins, 1985).

## **2.8. Sustratos**

Ansorena (1994), opina que el suelo mineral es el medio de cultivo universal para el crecimiento vegetal, y define a un sustrato como el medio de cultivo, que además de servir de soporte o anclaje a la planta, tiene que suministrar a las raíces cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes.

La elección del sustrato es de gran importancia en cuanto a sus requisitos físico y químicos, ya que pueden influir directa o indirectamente en el crecimiento de las plantas (Alpi *et al.*, 1991).

### **2.8.1 Clasificación de los sustratos**

#### **Químicamente inertes**

Son aquellos que no se descomponen química o bioquímicamente, actúan única y exclusivamente como soporte de la planta, no liberan elementos solubles de forma notable ni tienen capacidad de absorber elementos añadidos a la solución del sustrato. (Fernández *et al.*, 1998), mencionan que la reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta a las plantas a través de las raíces.

#### **Químicamente activos**

Estos reaccionan entre sí liberando elementos, debido a su degradación, disolución, reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato, o bien absorbiendo elementos en su superficie que se pueden intercambiar con los elementos del sustrato que se encuentran disueltos en la fase líquida del mismo.

Urrestarazu, 2000, este tipo de materiales además de actuar como soporte para las plantas, actúa como depósito de reserva de los nutrientes

aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

### **2.8.2. Propiedades físicas de los sustratos**

La estructura física de un sustrato esta formado básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio poroso los cuales pueden estar llenos de agua o de aire, que están situados entre las partículas de sustratos o dentro de las mismas.

Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia; debido que cuando se utilizan como medio de cultivo en charolas o contenedores, ocurre la germinación, y la planta posteriormente crece en él, ya no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato (Abad, 1993).

#### **Espacio poroso total**

El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) Poros “capilares” de pequeño tamaño ( $<30 \mu\text{m}$ ) que son lo que retienen el agua, y, 2) Poros “no capilares” o macroporos, de mayor tamaño ( $>30 \mu\text{m}$ ) , que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Raviv et al., 1986; Bunt, 1988 citado por Abad, 1993). La porosidad puede ser intraparticular, cuando se refiere a los poros situados en el interior de las partículas del sustrato, o interparticular, cuando está constituida por los poros existentes entre las diferentes partículas. En consecuencia, los poros internos no influirán sobre la distribución del agua y del aire en el sustrato, siendo su único efecto el proporcionar cierta ligereza a dicho sustrato (Abad, 1993).

#### **Agua fácilmente disponible**

Los poros que mantienen llenos de agua después del drenaje del sustrato son los de menor tamaño. Es necesario, entonces, distinguir entre: 1) El agua retenida por el sustrato y que es accesible para la planta, y, 2) El agua fuertemente retenida por el sustrato y que no es utilizable por la planta. Por lo

tanto, y en relación con los sustratos, lo que interesa es la capacidad de retención de agua fácilmente disponible y no la capacidad de retención total de agua (Abad, 1993).

### **Agua de reserva**

Raviv et al. (1986) indican que el agua de reserva es la cantidad de agua (por ciento en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua. El nivel óptimo se sitúa entre el 4% y el 10% en volumen.

### **Capacidad de aireación**

Si la textura y la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros continúan llenos de agua después del riego, el suministro de oxígeno se verá reducido de modo severo, el CO<sub>2</sub> se acumulará, se producirá una liberación de etileno; todo lo cual resultará en una inhibición del crecimiento y, a veces, en el marchitamiento de la planta ( Nuez, 1995). Abad *et al.*, 1993 y Candahía, 2000, definen a la capacidad de aireación como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado de drenar, usualmente a 10 cm de tensión.

### **Distribución del tamaño de partículas**

El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300  $\mu\text{m}$ , equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido en aire (Abad, 1993). El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato a cualquier nivel de humedad.

## **Densidad Aparente**

Candahía (2000), la define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas. La densidad aparente de un sustrato debe ser baja, ya que de esta manera las raíces tienen facilidad para penetrar a través del mismo. En los invernaderos en donde el viento no es un factor limitante, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como  $0.15 \text{ g/cm}^3$  (Abad *et al.*, 1993). Las plantas que crecen al aire libre deben ser cultivadas en sustratos más fuertes, con densidades aparentes comprendidas entre  $0.50 \text{ g/cm}^3$  y  $0.75 \text{ g/cm}^3$ . Los sustratos artificiales normalmente son orgánicos en gran parte, ya que la materia orgánica tiene propiedades tales como baja densidad, elevada porosidad, gran capacidad de intercambio catiónico, alta capacidad de retención de agua (Ortega *et al.*, 1996; Moreno *et al.*, 1998).

### **2.8.3. Propiedades químicas de los sustratos**

Abad (1993) menciona que los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, ya que interactúan con la solución nutritiva, suministrando nutrimentos actuando como reserva de los mismos, a través de la capacidad de intercambio catiónico, que su vez dependen en gran medida del pH.

### **Capacidad de intercambio catiónico**

Se define como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso o volumen del sustrato. Estos cationes quedan fuertemente retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles para las plantas. El valor óptimo del sustrato dependerá de la frecuencia del fertirriego que se maneje. Si la fertirrigación es permanente, la C.I.C. de los materiales no representa ninguna ventaja, recomendándose mejor el uso de materiales inertes con nula o muy baja C.I.C. en cambio si la fertirrigación es intermitente será mejor la utilización de materiales con moderada o alta C.I.C. en todo caso superior a los  $20 \text{ meq/100 gr}$  (Abad 1993).

## **pH**

El pH ejerce un efecto muy importante sobre la asimilación de los elementos nutritivos por parte de la planta. Existe un rango óptimo de pH para la absorción de cada elemento, aunque este rango es lo suficientemente amplio como para no generar serios problemas, con pH de 5.0 – 6.5, la mayoría de las sustancias nutritivas mantienen su máximo nivel de asimilación (García, 1999).

## **2.9 Métodos para estimar la evapotranspiración**

Aguilera y Martínez (1996), los métodos para estimar la evapotranspiración se pueden clasificar en: directos e indirectos.

### **2.9.1. Métodos directos**

Estos métodos proporcionan directamente la cantidad total de agua utilizada por el cultivo (Baille *et al.*, 1992; Salas y Urrestarazu, 2000). Para determinarla se requiere de aparatos e implemento de fácil construcción y operación, entre estos se encuentran a los lisímetros de pesada, los muestreos de humedad del suelo, el de la bandeja de drenaje y el de la bandeja a la demanda, los dos últimos son utilizados cuando se usan sustratos como medio de cultivo (Villalobos-Reyes *et al.*, 2003).

#### **2.9.1.1. Método gravimétrico**

Consiste en tomar o extraer muestras de suelo en las profundidades de interés. Las muestras se pesan húmedas, se secan en estufa a una temperatura de 105°C hasta peso constante y se vuelven a pesar, diferencia entre el peso de la muestra húmeda y la seca será la cantidad de agua que, relacionada con el peso seco del suelo, representa el contenido de humedad en el momento de muestreo (García y Briones, 2003).

#### **2.9.1.2. Método lisimétrico**

Los lisímetros (evapotranspirómetros) son tanques rellenos con suelo en los cuales un cultivo crece bajo condiciones encontradas en el campo y

sirven para medir la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración. Este método proporciona el único medio directo de medir evapotranspiración (ET) y es frecuentemente usado para estudiar los efectos climatológicos y para evaluar los diferentes métodos que hacen estimaciones de ET. Las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser esencialmente iguales a aquellas fuera del lisímetro. Es lisímetro debe estar rodeado por el mismo tipo de cultivo que esté plantado en el lisímetro, localizado dentro del campo del mismo cultivo, y al menos a 100 metros de distancia del límite del campo del cultivo (García y Briones, 2003).

### 2.9.1.3. Método de la bandeja de drenaje

Estos dispositivos se basan en medir el volumen de agua de entrada en la bandeja y el volumen de salida en el drenaje, y por diferencia se puede calcular la cantidad de agua que consumió el cultivo.

Villalobos-Reyes et al. (2003) mencionan que cuando se usan los sustratos como medios de cultivo, se pueden instalar los dispositivos denominados: bandejas de drenaje para definir los riegos de los cultivos.

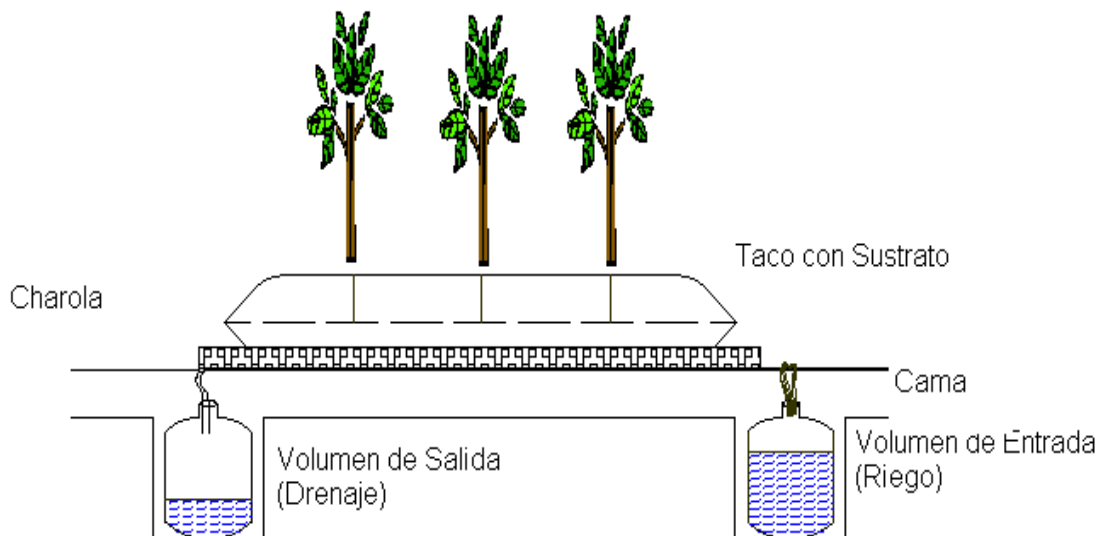


Fig. 2.3. Esquema de la bandeja de drenaje.

## **Medición del consumo de agua por las plantas a partir de la bandeja de drenaje**

El procedimiento para medir el consumo de agua del cultivo a través de la bandeja de drenaje se describe en los siguientes pasos (Ruiz, 1993; Villalobos- Reyes et al., 2003):

a) Se define el tamaño de la bandeja considerando el arreglo de los recipientes o contenedores del sustrato. Se pretende que la bandeja sea un pequeño segmento representativo de las camas, por lo que, el ancho de la bandeja tiene que ser ligeramente mayor en unos 10 centímetros que el ancho que cubre los recipientes.

b) El largo de la bandeja en la mayoría de los casos varía de 80 a 100 cm, lo que se denomina salchicha o saco de cultivo, que contiene sustrato, y cuya longitud comercialmente se maneja de 1 metro. La bandeja debe tener bordes para retener el agua drenada de las bolsas; además, debe tener un orificio por donde descargar el agua colectada del drenaje de los recipientes.

c) Una vez teniendo la bandeja, lo que sigue es su instalación. Es necesario proporcionarle cierta pendiente a la bandeja, tratando de colocar el punto de drenaje en el extremo más bajo.

d) Después se conecta el punto de drenaje de la bandeja a un depósito a través de una manguera flexible de media pulgada para almacenar el agua drenada, también se introduce la manguera de descarga de los goteros de control o de referencia a otro recipiente para almacenar el volumen de entrada y poder cuantificar.

e) Posteriormente se procede a medir el consumo de agua por las plantas a través de la siguiente ecuación:



$$CA = [(VE - VD)/Npb] * Npm$$

Donde:

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

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

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

Npb = Números de plantas puestas en la bandeja de drenaje

Npm = Número de plantas por metro cuadrado de superficie

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

#### **2.9.1.4. Método de la bandeja a la demanda**

Es una estructura similar a la bandeja de drenaje, está provista en un extremo de un reservorio donde es depositado el agua drenada del sustrato. En un borde del reservorio está instalado un sensor compuesto de dos electrodos dispuestos a diferente profundidad. En el interior del reservorio se introduce un extremo de una manta que se extiende sobre el fondo plano de la bandeja. Sobre la manta se colocan los recipientes que contienen el sustrato y la planta. Al momento de colocar los recipientes sobre la bandeja, exactamente en el fondo se hacen perforaciones que permiten la salida de las raíces de los recipientes, aproximadamente a los 20 días después del transplante. Durante el proceso de transpiración de las plantas, las raíces que están en contacto con la manta extraen agua del reservorio, y va descendiendo el nivel del agua en el reservorio hasta alcanzar la altura del primer electrodo, al continuar la extracción del agua, el primer electrodo queda fuera del agua y entonces, el circuito eléctrico queda abierto y se transmite una señal eléctrica que se interpreta en la computadora como la necesidad de riego, e inmediatamente se

prende un motor o se abre una válvula para aplicar el riego (Villalobos-Reyes et al., 2003).

## **2.9.2. Métodos indirectos**

Estos métodos proporcionan una estimación del requerimiento de agua a través de todo el ciclo vegetativo mediante la utilización de fórmulas empíricas (Aguilera y Martínez, 1996).

### **2.9.2.1. Métodos basados en dispositivos evaporímetros**

Varios autores han pretendido correlacionar la evapotranspiración con la evaporación en función de las lecturas de Evaporómetros. Estos son instrumentos de muy diversa forma, tamaño y modo de operar en los cuales se mide la lámina de agua evaporada. Esta puede ser convertida en valores de evapotranspiración mediante un factor de corrección (Aguilera y Martínez, 1996).

### **2.9.2.2. Método del tanque evaporímetro tipo “A”**

Grassi (1996) dice: “Las medidas de evaporación de una superficie libre de agua en el tanque evaporímetro, integra los efectos de los diferentes factores meteorológicos que influyen en la evapotranspiración”, por tanto parece que la evapotranspiración potencial puede ser estimada con mas precisión por los métodos que consideran la evaporación medida en el tanque.

Los tanques evaporímetros varían en tamaño y forma. El tanque evaporímetro tipo “A”, tiene un diámetro de 121 cm, y 25.5 cm de profundidad. El tanque es usualmente construido de acero galvanizado, y debe ser colocado en una plataforma de madera nivelada. La parte baja del tanque debe situarse 15 cm encima de la superficie. El nivel del agua debe ser mantenido entre 5 y 7.5 cm por debajo del borde superior del tanque. El agua evaporada debe ser reemplazada cuidadosamente, en forma manual o por un sistema de flotador y

un tanque de abastecimiento. Los cambios en el nivel del agua son medidos usando un tornillo vernier colocado en un recipiente especial (Jensen, 1969).

Por otro lado el tanque evaporímetros tipo "A" permite medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de una superficie de agua libre (Palacios, 1982; Arteaga y Elizondo, 1986)). De un modo análogo, la planta responde a las mismas variables climáticas, pero diversos factores importantes pueden introducir cambios significativos en la pérdida de agua. El almacenamiento diurno de calor en el tanque puede ser apreciable y provocar una distribución casi igual de la evaporación entre el día y la noche a diferencia la mayoría de los cultivos pierde un 95 por ciento o más de la que corresponde a las 24 horas durante las horas diurnas. Así mismo una gran diferencia entre las pérdidas de agua de los tanques y de los cultivos puede deberse a la variación de la turbulencia del aire justo encima de esas superficies, a la temperatura y a la humedad del aire inmediatamente adyacente a ellas. En los resultados medidos de evaporación en el tanque evaporímetro también influyen la ubicación, el medio que lo rodea, el color y las pantallas que se usan para protegerlas contra animales.

A pesar de estas diferencias, con una buena colocación y un buen mantenimiento del tanque evaporímetro, así como mantener en buenas condiciones el medio que lo rodea, sigue estando justificado su empleo para predecir las necesidades de agua de los cultivos en periodos de diez días o de más tiempo. A fin de relacionar la evaporación del tanque con la evapotranspiración del cultivo de referencia muchos autores sugieren coeficientes del tanque ( $K_p$ ) obtenidos empíricamente y que tienen en cuenta el clima, el tipo de tanque y su medio circundante (Norero, 1984).

La evapotranspiración del cultivo de referencia se puede predecir con la siguiente fórmula (Doorembos y Kassam, 1986):

$$E_{to} = K_p * E_v$$

Donde:

$E_{To}$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_p$  = Coeficiente del tanque (adimensional)

$E_v$  = Evaporación del tanque (mm/día)

El método del tanque evaporímetro tipo "A" permite predecir los efectos del clima en la evapotranspiración del cultivo de referencia. Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua, se toman en cuenta los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), esto con el objeto de relacionar la  $E_{To}$  con la  $E_{Tr}$ . El valor de  $K_c$  representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos. Por otra parte los factores que repercuten en el valor del coeficiente de cultivo, son principalmente las características del cultivo (USDA, 1967).

La relación entre la evapotranspiración del cultivo de referencia y la evapotranspiración real queda dada por la siguiente fórmula:

$$E_{tc} = K_c * E_{to}$$

Donde:

$E_{Tr}$  = Evapotranspiración real (mm/día)

$E_{To}$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

$K_c$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)

## **2.10. Investigaciones realizadas para programar riegos en base a la temperatura del follaje.**

Considerando la importancia que representa la temperatura de la hoja en la producción de los cultivos se han determinado algunas condiciones ambientales que regulan dichos cambios. El efecto directo de la temperatura sobre la producción de los cultivos es que interviene en la fotosíntesis. Tal

como citan Schrader *et al.*, (2004), trabajando en algodón y Haldimann y Séller (2005), en arvejas; las altas temperaturas de la hoja actúan como inhibidores de la fotosíntesis, y que después en un rango de temperaturas, que varía según el tipo de planta, se reduce la eficiencia de la fotosíntesis y además se producen daños en la membrana fotosintética, dando como resultado un menor crecimiento y desarrollo de la planta.

Hoy queda claramente establecido mediante las investigaciones que la temperatura de la hoja es una función de la radiación solar, la transpiración y la convección, Salisbury y Ross (1994), Jackson (1982), Idso and Baker (1967), Sherwood *et al.*, (1967), Wolpert (1962). Por esta razón, los cambios en la temperatura de la hoja están relacionados con el déficit de presión de vapor del aire (DPV), la intensidad de la luz y la transpiración (Pallas *et al.*, 1988). Así mismo, Carlson *et al.*, (1972) encontró que la temperatura de la hoja se incrementa cuando el déficit de presión de vapor del aire decrece. En tanto que Pinter *et al.*, (1981), Ehrler (1973) se refieren a la relación de la diferencia de temperatura entre la hoja y el aire (DT) como una función de DPV.

De tal forma que: Tensión en Grados Día (SDD), se definió de la siguiente forma:

$$SDD = \sum_{i=1}^n (T_c - T_a)_i$$

Donde:

$T_c$  = Temperatura del follaje de la planta (°C)

$T_a$  = Temperatura del aire a 150 cm sobre el suelo (°C)

En general, si una planta tiene suficiente agua,  $T_c - T_a$  estará cerca de un valor de cero o a valores negativos, en caso contrario si la planta no cuenta con suficiente agua,  $T_c - T_a$  será mayor de cero. De tal forma que los valores

positivos de  $T_c - T_a$  nos pueden servir como un indicador de cuando regar y tener en mejores condiciones a la planta.

Diversas tecnologías para la programación del riego son utilizadas en diferentes países y cultivos frutícolas (Dry, *et al.*, 2001; Gucci, *et al.*, 1997). En la producción del kiwi, la evaluación de la condición hídrica de las plantas realiza con diferentes técnicas, (Hickey, 1995; Eastham y Gray, 1998; Chartzoulakis *et al.*, 1997) como la determinación de la humedad del suelo con mediciones directas o indirectas, las mediciones del estado energético del agua en el suelo, las estimaciones de la demanda atmosférica y, en condiciones experimentales, determinaciones del potencial hídrico de las plantas (Buchner *et al.*, 1994) o termometría infrarroja (Giuliani *et al.*, 2001).

Las técnicas radiométricas pueden medir la temperatura de la planta y ofrecer la ventaja rápidamente de integrar las muestras grandes del follaje del cultivo. Usando los radiómetros infrarrojos termales, las temperaturas del follaje del cultivo se pueden determinar fácilmente y cuando están combinadas con otras medidas se pueden utilizar para cuantificar la tensión del agua.

San Martín, J., de la Universidad de Chile en el 2001, cultivó 30 genotipos de trigo panadero (*Triticum aestivum L.*) en parcelas de 4 x 1.6 m en un suelo aluvial de la zona central bajo condiciones de riego y no riego. Entre los 76 y 100 días después de la emergencia determinó la temperatura del dosel utilizando un termómetro infrarrojo portátil (Cole Parner) y el déficit de presión de vapor de la atmósfera.

Munguía, L. J. P., 1988, en su trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias, titulado: “Evaluación de relaciones hídricas en seis líneas de maíz determinadas mediante diferenciales térmicos entre el aire y el follaje”, utilizó un radiotermómetro infrarrojo para hacer las mediciones del follaje y en el cual concluyó que el índice de stress hídrico del cultivo determinado mediante

termometría infrarroja, y desarrollado por Idso et al (1981a) y Jackson et al (1981), permite estimar el estatus del agua en el suelo, con precisión aceptables para trabajos de calendarización del riego y predicción de rendimientos del cultivo bajo diferentes regímenes de humedad del suelo.

De igual forma Ríos, E., J. A., 2005, en su tesis de licenciatura, titulado: "Programación de Riegos en Base a la Temperatura del Follaje y del Aire en el cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en Invernadero", manejo la temperatura del follaje para aplicar los riegos al cultivo, concluyó que la temperatura del follaje es un factor muy importante, ya que de esta depende el consumo de agua, es decir que a mayor temperatura mayor es el consumo de agua por la planta para que mantenga un equilibrio entre esta y su ambiente.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del Sitio Experimental

##### 3.1.1. Localización

El presente trabajo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano-Otoño de los años 2004-2005, en un invernadero tipo doble capilla del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

##### 3.1.2. Clima.

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1973) el clima de Saltillo corresponde aun seco estepario, con fórmula climática BsoK (x') (e').

Donde:

Bso: Es el clima más seco de los Bs.

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

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

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



En general la temperatura y precipitación pluvial media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre Julio y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente (Callegas, 1988).

### **3.2. Material vegetativo.**

Para la realización de este trabajo se utilizó un híbrido de tomate el cual es de crecimiento indeterminado de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera, con las siguientes características:

Híbrido Gabriella (Fa-593), es una planta con hábito de crecimiento indeterminado muy vigoroso y de madurez relativa intermedia, de una excelente calidad en su fruta y con resistencia a enfermedades, como Verticillium, Fusarium Razas 1,2, Virus del Mosaico del Tabaco, y a nemátodos. Es una planta para cosecha larga (6-8 meses) y por lo tanto su producción es magnífica. los tamaños de sus frutos son medianos para mercado europeo, su forma es achatado globoso y hombros verde claro, cuenta con una excelente firmeza y larga vida de anaquel, tiene la opción de que se puede cosechar en forma de racimos ya que la posición de sus frutas le dan ésta alternativa, puede llegar en invernadero hasta completar los 30/35 racimos sin ningún problema, madura perfectamente en color rojo.

Es un híbrido que en su inicio no requiere de grandes cantidades de nitrógeno y agua, por ser una planta muy vigorosa, su rango de adaptabilidad es muy grande aun en suelos con una conductividad eléctrica alta. También su adaptabilidad en fechas de siembra es muy alto, pudiendo ser en otoño temprano hasta primavera tarde.

### **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), como se puede ver en la Fig. 3.2, de estructura metálica PTR de 2" con cubierta de polietileno térmico "larga duración" de 188 micras de espesor (calibre 752).

#### **3.3.2. Producción de Plántulas y siembra**

El 17 de enero del 2005 se inicio con la desinfección de las charolas de polietileno de 200 cavidades, que servirían para germinar las semillas, y a las cuales se llenaron con el sustrato de peat moss. El 04 de febrero de 2005 se preparó la semilla para sembrarse, se depositó una semilla en cada cavidad y se humedeció el sustrato, posteriormente se trasladaron a un invernadero donde se apilaron y fueron cubiertas con un plástico color negro para proporcionarles la temperatura adecuada, se revisaba todos los días para ver que las semillas hubieran germinado, una vez aparecida la plúmula, se acomodaban las charolas y se aplicaba dos riegos por día, utilizando un sistema de riego con rociadores, por dos minutos cada uno. Posteriormente los riegos fueron cambiados a cuatro de un minuto de duración cada uno, las plántulas estuvieron en estas condiciones aproximadamente 2 meses.

También se utilizaron algunos fertilizantes durante el proceso de producción de plántulas, los cuales fueron: LOBI, Raizal, Superfos y Grofal. Esto fue con la finalidad de que las plántulas estuvieran más vigorosas y en buen estado.

#### **3.3.3. Preparación del invernadero.**

Antes de realizar el transplante, se llevaron a cabo actividades con el fin de acondicionar el invernadero, las cuales fueron las siguientes en cada área de tratamiento.

Area con sustrato:

En la parte sur del invernadero se hicieron seis camas (divididos en 4 repeticiones) con un canal en el centro, dichas camas tenían una pendiente del 0.5% para que el drenaje de los sacos se dirigiera al canal central de desagüe (hecho de aluminio). Además se procuró dejar más ancho el costado norte de cada cama para colocar los sacos (los cuales contenían sustrato). La distancia entre camas fue aproximadamente de 1.80 m, las cuales se acolcharon con un plástico de color blanco, procurando que el plástico tomara la forma del diseño de la cama para no tener problemas con la distribución del drenaje.

Se tendieron las mangueras de poliducto de ½" en cada cama y cada taco contaba con sus respectivos goteros de 4 lph, cada gotero con su distribuidor y estaca. El sistema de riego estaba automatizado.



Figura 3.1. Gotero de 4 LPH, Distribuidor, Tubín y Estaca de gotero individual utilizados en la Producción de Tomate.

Posteriormente se procedió a colocar los tacos (plástico color blanco de calibre 400, de aproximadamente 90 cm de largo y 40 cm de ancho), en cada taco fueron colocadas 6 plantas. Cada cama contenía un total de 40 sacos.

El sustrato utilizado fue perlita, el cual es un mineral expandida de la marca comercial multiperl. Los riegos empezaban a las ocho de la mañana con frecuencia de 30 minutos por 4 minutos de duración, esta frecuencia se manejo hasta los 30 días después del transplante, posteriormente se cambio a cada 15 minutos con la misma duración, el volumen de agua que se aplico diariamente a este sistema de cultivo fue de 2.112 m<sup>3</sup> diarios, durante el periodo de reproducción de la planta; la densidad de plantación en esta parte del invernadero fue de 3.07 plantas por m<sup>2</sup>.

Area con suelo:

En la parte Norte del invernadero se hicieron seis camas (dividido en 4 repeticiones), con 41 m de longitud por 1.8 m de ancho, las cuales se les colocó una cintilla de riego (Marca: Netafim, Modelo: SL-60F, con un gasto de 0.87 lph y un espaciamento de 0.30 m entre goteros) en el centro y fueron acolchadas de igual manera con plástico blanco, en cada cama fueron colocadas aproximadamente 240 plantas. Los riegos fueron de dos horas de duración por tres días a la semana, el volumen de agua que se aplicó por día a este sistema de producción fue de 1.184 m<sup>3</sup>; la densidad de plantación para esa sección del invernadero fue de 3.07 plantas por m<sup>2</sup>.

También se instalaron 4 ventiladores de flujo horizontal, uno en cada sección o válvula del experimento, además de 4 extractores y 4 calentadores que conforman la calefacción.

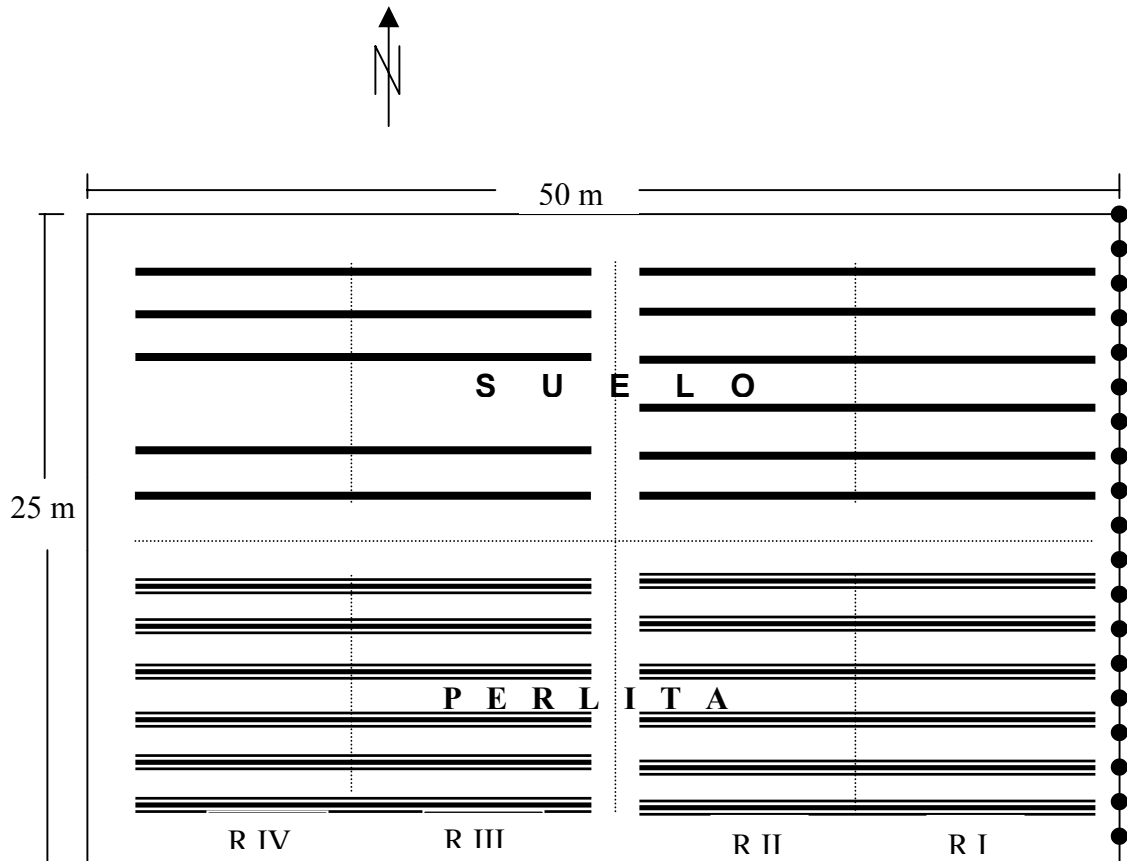


Fig. 3.2. Diagrama del invernadero

### 3.3.4. Transplante.

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

### 3.3.5. Fertilización

La solución de nutrimentos se hizo de acuerdo a la siguiente fórmula de fertilización:

Cuadro 3.1. Aportación Proporcional de Nutrientos para el Cultivo de Tomate Híbrido Gabriela en condiciones de Invernadero.

ETAPA	N ppm ( $\text{gm}^{-3}$ )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm ( $\text{gm}^{-3}$ )	K <sub>2</sub> O ppm ( $\text{gm}^{-3}$ )
Del transplante al primer racimo	75 – 100	75 - 100	75 – 100
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5°. racimo	120 - 150	72 – 90	180 - 225
Del 5°. Racimo al comienzo de la cosecha	150 - 200	90 - 120	225 – 300
Cosecha	180 - 200	108 - 120	275 - 300
Ultimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha	120 - 150	72 - 90	180 - 25

### 3.4. Labores culturales.

#### 3.4.1. Entutorado.

Es una labor importante ya que es 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. Esto se realizó con hilo de rafia sujeto de una extremo del tallo de la planta mediante un anillo de plástico y de otro a una altura de 240 cm por encima de la planta. Conforme la planta iba creciendo ésta se fue guiando al hilo tutor, hasta que alcanzó la altura de 240 cm, se comenzó a descolgar de manera progresiva. De esta forma la planta siempre se desarrolla hacia arriba, recibiendo el máximo de luminosidad, por lo que incide en una mejora de la calidad del fruto y un incremento de la producción. Esta labor se inicio desde el momento del

transplante hasta el final del ciclo de cultivo, realizándolo aproximadamente cada ocho días.

#### **3.4.2. Poda de tallos o brotes.**

Esta práctica es imprescindible para aquellas variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó aproximadamente cada 10 días, con la aparición de los tallos laterales, tratando de que fuera lo más oportuno posible. La poda se realizó con tijeras especiales para este fin, las cuales eran lavadas con cloro antes de su uso.

#### **3.4.3. 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 efectuó en una forma de que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada posible y que se realizara con cuidado para evitar estresar la planta. Esta labor se realizó aproximadamente cada 15 días, sacando las hojas inmediatamente del invernadero así como todas aquellas hojas enfermas para evitar una posible disipación de patógenos; al igual que en la poda de brotes esta práctica se hizo con tijeras especiales.

#### **3.4.4. Control de plagas y enfermedades.**

Para tener un mejor control y manejo del cultivo se hicieron aplicaciones semanales de algunos agroquímicos como fueron: Endusolfan, Foltrón, Cupertrón, Flonex Cupravit, Azinfos, Cuperhidro, Rescate, Metox y Trigard. Esto con la finalidad de tener en condiciones sanas a nuestro cultivo.

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

### **3.5. Equipo utilizado.**

#### **3.5.1. Sensores infrarrojos (IR).**

Para medir la temperatura de la hoja fue utilizado un sensor infrarrojo marca Apogee Instruments Inc.; este instrumento, mide la cantidad de radiación infrarroja emitida por los cuerpos, la cual depende de la temperatura y la emisividad de estos; se basa en la ley de Stefan-Boltzmann entrega la lectura de temperatura según la cantidad de radiación captada. Se utilizaron cuatro sensores infrarrojos colocados directamente sobre la planta a una distancia aproximadamente de 6 - 8 centímetros del haz en la tercera hoja de la parte superior a una altura aproximado de 1.80 – 2.00 m del suelo, estos sensores se colocaron en una planta representativa por cada sección.



Figura 3.3. Arreglo del Sensor Infrarrojo para medir la Temperatura del follaje de 6 - 8 cm de separación de la hoja en una planta representativa.

##### **3.5.1.1. Descripción de los sensores infrarrojos (IR).**

Para alcanzar esta exactitud, la precisión del IRT de los instrumentos del apogee Instruments Inc. utiliza dos salidas del termopar tipo-K, cuyo material es cromo-aluminio. El termopar primario se utiliza para medir la temperatura del objetivo a medir; el termopar secundario se utiliza para medir la temperatura del cuerpo del sensor. Este sensor de estrecho campo visual es útil para medir temperatura de la hoja durante el crecimiento vegetal temprano porque puede ser montado en un ángulo sin ver el cielo.



**Especificaciones:**

Modelo IRTS-p5.

Salida dual del termopar.

Campo visual: 5:1

Ambiente de funcionamiento: diseñado para el uso al aire libre continuo; gama de temperaturas: -5° a 45 °C.

- Exactitud:

± 0.4 °C de -5 a 45 °C;

± 0.3 °C de 10 a 35 °C;

± 0.1 °C cuando el cuerpo del sensor y el blanco están en la misma temperatura.

Capacidad de repetición: 0,05 °C de 15 a °C 35

Tiempo de reacción: Menos de 1 segundo

Señal de salida: 2 alambres de termopar de tipo-K.

Óptica: Lente de silicio

Gama de longitud de onda: 6.5 a 14 micrones

Dimensiones: 6 cm de largo por 2,3 cm de diámetro.

Masa: Menos de 100 g

**3.5.2. TERMOPAR DE ALAMBRE FINO (FWT).**

Se utilizaron 2 termopares de alambre fino tipo E, con los cuales se midieron temperaturas del aire, estos se colocaron en las secciones 4 y 7 respectivamente.

**3.5.2.1. Descripción del termopar de alambre fino (FWT)**

El termopar de alambre fino está hecho de cromo-constantan, se utiliza típicamente para medir gradientes o fluctuaciones de temperatura a la atmósfera. La masa pequeña del termopar es menos susceptible al calentamiento; por lo tanto, no se requiere un protector de radiación. Se requiere una entrada análoga diferenciada por el sensor.

### **Características:**

Marca OMEGA

- FW1 tiene un diámetro de 0,001 pulgadas.
- Los diámetros extremadamente pequeños eliminan el calentamiento.
- Los Termopares del tipo E, la salida típica es de  $60 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- Típicamente miden flujo de la temperatura a la atmósfera con exactitud del grado de la investigación.

### **Especificaciones:**

Peso: 2 onzas (45 g)

longitud: 14.5"(36,8 centímetros)



Figura 3.4. Termopar de Alambre Fino (FWT) Tipo E

### **3.5.3. PLUVIÓMETROS**

También se utilizaron dos pluviómetros, uno para medir el volumen de agua aplicado y otro el volumen drenado, ambos equipos registraban dichos volúmenes.

#### **3.5.3.1. Descripción de los pluviómetros**

- TEXAS ELECTRONICS, INC.

Modelo no. TR-525I

Serial no. 34411-304

**Especificaciones:**

Medida: 52 mm/hr

Diámetro del colector: 6.060" (154 mm)

Profundidad del embudo: 6.4" (163 mm)

Temperatura de funcionamiento: 32 a 125° F (0 a 50° C)

Limites de humedad: 0-100 %

Peso: 2.5 lbs. (1.2 kg)

Altura: 10" (255 mm)

Nivel: Nivel De Burbuja de aire Integral



Fig. 3.5. Pluviómetro Texas Electronic, Modelo TR-5251

**- LI-COR**

Modelo 1000-20

Serial no. RG685

**Especificaciones:**

Diámetro del colector: 8.268" (210 mm)

Altura: 10.472" (266 mm)

Profundidad del embudo: 5.512" (140 mm)

Limites de humedad: 0-100 %

Peso: 2.6 kg



Fig. 3.6. Pluviómetro Li-cor, Modelo 1000-20.

#### **3.5.4. SENSORES TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY).**

Se colocaron 11 sensores en todo el invernadero, estos median el contenido de humedad en base a volumen ( $\text{cm}^3$  agua/ $\text{cm}^3$  suelo) en la sección de suelo y de perlita.

El reflectómetro de contenido de humedad consiste en dos varillas de acero inoxidable conectados a una tarjeta de circuito impreso. Un cable protege cuatro hilos conductores que están conectados a la tarjeta de circuito y suministro de energía, que activa la sonda, para monitorear el pulso de salida. La frecuencia de oscilación del multivibrador es dependiente de la constante dieléctrico del medio que está siendo medido.

##### **3.5.4.1. Descripción de los sensores TDR**

Marca comercial: Campbell SCI.

Modelo CSG615-L\*282316

##### **Especificaciones:**

Precisión: 0.05%

Longitud de la varilla: 300 milímetros (11,8")

Diámetro de la varilla: 3,2 milímetros (0,13")

Espaciamiento entre varilla: 32 milímetros (1,3")

Tarjeta: 85 mm x 63 mm x 18 mm (3.3" x 2.5" x 0.7")

Longitud máxima del cable: 1000 pies (305 m)

Peso: 280 g (9.9 oz)



**Fig. 3.7. TDR Campbell SCI, Modelo CSG615-L.**

### **3.5.5. Bandeja de drenaje.**

Para hacer posible este método se llevó a cabo el procedimiento de la bandeja de drenaje. Estos dispositivos 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:

$$CA = [(VE - VD)/Npb] * Npm$$

Donde:

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

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

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

Npb = Números de plantas puestas en la bandeja de drenaje

Npm = Número de plantas por metro cuadrado de superficie

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

Se usaron charolas ligeramente más grandes que los tacos que contenían el sustratos. Los componentes de la bandeja de drenaje son los siguientes:

- Bandeja de drenaje de 2 m de largo por 45 cm de ancho y 20 cm de profundidad.
- Taco con sustrato (perlita).
- Manguera flexible de 1 pulgada.

- Tanque colector de drenaje (ánforas de plástico de 22 litros).
- Recipiente para captar el volumen de entrada (garrafones de Plástico de 19.7 lts).
- Goteros de control o de referencia.

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

#### **3.6.1. Sensores infrarrojos (IR).**

Estos registraban los datos cada 15 minutos y se almacenaban en el Datalogger Campbell Scientific, Modelo LA 21X y se descargaban a una computadora portátil en periodos de 15 días. A estos sensores se le estuvo dando mantenimiento cada 8 días como limpieza de la lente, esto con el fin de quitar el polvo y otras impurezas que pudieran ser fuente de error de lectura del sensor, además todos los días se estuvo revisando que el campo visual del sensor estuviera apuntando sobre la hoja de la planta.

#### **3.6.2. Termopar de alambre fino (FWT).**

Los datos se registraron cada 15 minutos en el Datalogger Campbell Scientific, Modelo LA 21X. Se bajaron los datos almacenados en el Datalogger a una computadora portátil, cada 15 días.

#### **3.6.3. Pluviómetros.**

Estos registraban los datos cada 15 minutos y los almacenaban en el Datalogger Campbell Scientific, Modelo CR 23X.

#### **3.6.4. TDR.**

Estos registraban los datos cada 15 minutos en el Datalogger Campbell Scientific, Modelo CR 23X.

### **3.6.5. Bandeja de drenaje.**

Este método se utilizó para conocer el consumo de agua por las plantas en la sección de perlita (válvulas 4 y 5), dicho método se realizó en forma manual y automatizada. 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, de igual forma se tomaba una nueva lectura a las 4:00 de la tarde (forma manual), de tal manera que la suma de la lectura tomada en la tarde más la lectura de la mañana siguiente se obtenía volumen total aplicado, cuantificando de igual forma el drenaje, de tal manera que por diferencia de datos de riego y drenaje se obtenía el volumen de agua consumida por las plantas del día anterior. En lo que respecta a la bandeja automatizada los datos de riego y drenaje eran registrados en un Datalogger Campbell Scientific, Modelo 21X, cada 15 minutos.

Para la sección de suelo (válvulas 7 y 8) el consumo de agua se tomó de los datos registrados por el equipo de fertirriego y de los TDR.

### **3.7. Metodología para la obtención del Índice Grado Día.**

$$\text{Índice Grado Día} = \sum (T_c - T_a)$$

Donde:  $T_c$  = Temperatura del follaje a 1.80 – 2.00 m del suelo

$T_a$  = Temperatura del aire a las misma altura

Para obtener el valor del Índice Grado Día, primeramente todos los datos registrados en el Data logger (riego, temperaturas de aire y follaje, etc.) se pasaron a una hoja de cálculo de Excel para así facilitar su procesamiento, estos se ordenaron en base a días después del transplante, como estos datos se registraron en periodos de 15 minutos, se hizo un promedio para obtener valores para cada hora del día, esta operación se realizó tanto para los datos que registraron los sensores infrarrojos como para los termopares de alambre fino. Posteriormente se hizo un análisis de las temperaturas (follaje y aire) en

un rango de 12 horas (08:00 – 20:00) para cada una de las secciones (suelo y perlita), para después hacer la diferencia de la temperatura del follaje y del aire, obteniendo así el Índice Grado Día.

Por último se hicieron unas gráficas para ver el comportamiento del Índice Grado Día con respecto al consumo de agua por planta por día para los dos medios de producción (suelo y perlita) y se hizo una comparación de valores de IGD obtenidos en el 2004 con los del 2005. Este análisis se hizo para los datos de la bandeja de drenaje y para los datos de los pluviómetros, esto para ver el comportamiento en cada sección y en todo el invernadero en general.



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la discusión del IGD y consumo de agua, los resultados se presentan de acuerdo a las 5 etapas del cultivo, dichas etapas fueron referenciadas en base al cambio de dosificación de fertilizantes los cuales fueron aplicados en todo el ciclo del cultivo, dichos cambios se hicieron al finalizar cada etapa y las cuales se mencionan a continuación:

Cuadro 4.1. Etapas del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero

DDT	ETAPA
0 – 37	Del transplante al primer racimo
38 – 57	Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5º. racimo
58 – 91	Del 5º racimo al comienzo de la cosecha
92 – 154	Cosecha
155 - 215	Ultimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha

Cabe mencionar también que se encontrarán valores muy altos de consumo de agua para el sistema de producción en suelo, ya que se asumía que todo el riego aplicado era consumido por la planta porque no se contaba con sistema de drenaje en el cual se pudiera contabilizar, y así tener un mejor resultado de lo consumido por la planta, y además únicamente se tenían instalados 4 TDR (colocados en forma vertical) los cuales daban datos del contenido de humedad que existía en el suelo para el estrato 00 – 30 cm.

#### 4.1. Consumo diario de agua por la planta para cada una de las secciones (suelo y perlita)

Como se mencionó anteriormente para obtener el consumo en la sección suelo se obtuvo de las lecturas de los TDR instalados en dicha sección y se asumía que todo era consumido por la planta por que no se contó con un sistema de conteo para el agua drenada y para el caso de perlita el consumo se obtuvo del promedio del riego y drenaje de dos bandejas manuales y una automatizada.

En la fig. 4.1. se observa el comportamiento del consumo, riego y drenaje a lo largo de todo el ciclo del cultivo, como se puede ver en suelo (a) el riego aplicado se asume que es consumido por la planta, también se puede notar que no hay una secuencia en la grafica esto se debe a fallas del equipo del fertirriego, pero en el caso de perlita (b) se puede notar que en un principio el consumo fue muy bajo posteriormente como fueron avanzando los días y las plantas fueron creciendo el consumo aumentó aunque en el final del ciclo del cultivo disminuyó el consumo, las fluctuaciones del riego se puede atribuir a fallas del equipo de fertirriego o taponamientos en los goteros, con respecto a las variaciones en consumo se puede atribuir a condiciones climáticas dentro el invernadero y etapa del cultivo. En forma general el consumo, riego y drenaje tuvieron un mismo comportamiento.

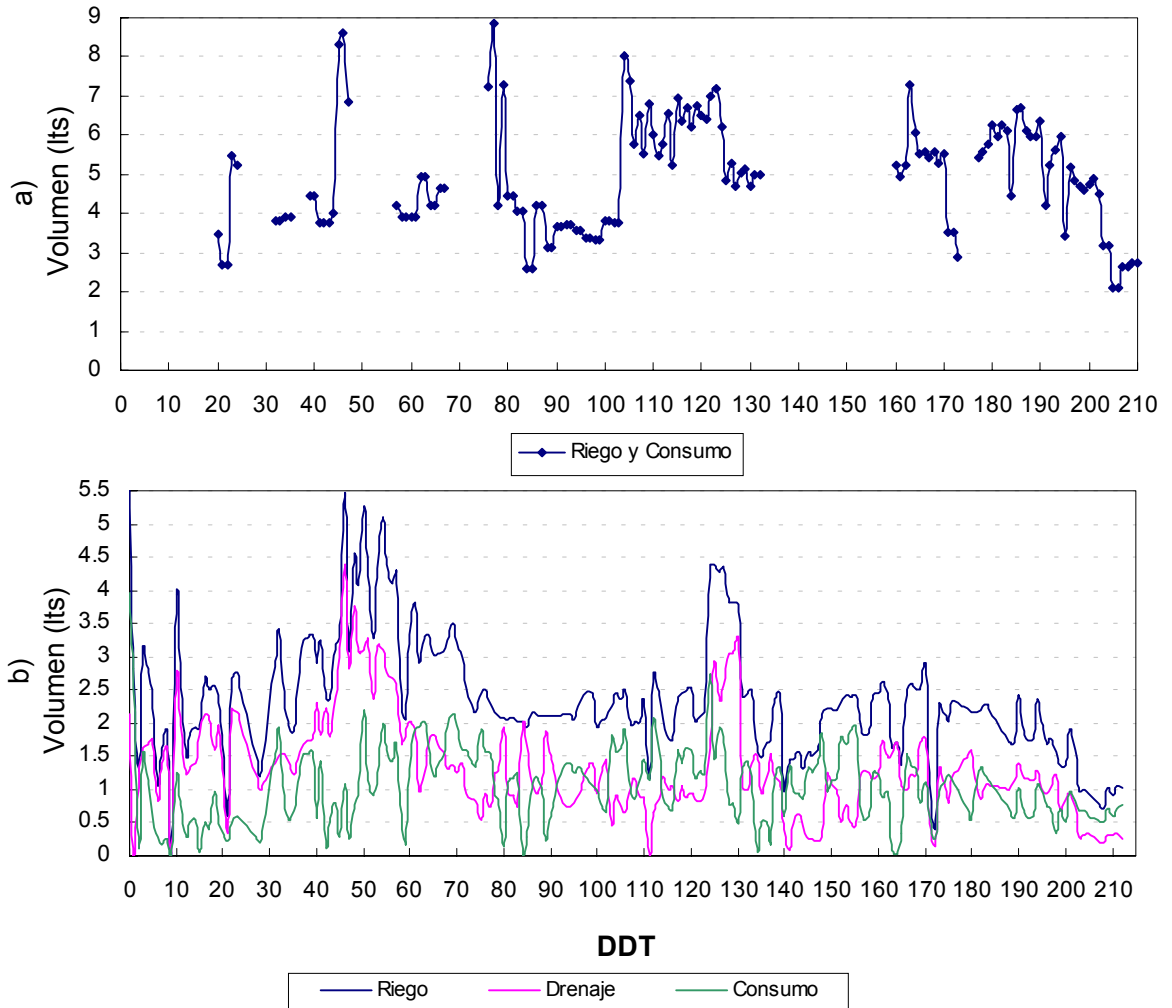


Fig. 4.1. Evolución del consumo, riego y drenaje de agua por la planta de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo (a) y perlita (b) en el año 2005.

4.2. Análisis del comportamiento del IGD y el consumo de agua en tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita) en el 2005.

Se unió las primeras dos estas del cultivo (Del transplante al primer racimo y del primer racimo hasta el cuajado completo del 5° racimo) ya que en la primera las plantas son muy pequeñas motivo por el cual tienen un área foliar poco desarrollada lo cual hace que capte menor radiación solar y con ello tener

menos temperatura en su follaje lo cual favorece a una menor transpiración y de igual forma menos consumo de agua.

Como se puede observar en la Fig. 4.2. en los dos sistemas de producción se encuentra una relación inversamente proporcional ya que conforme aumenta el IGD el consumo disminuye, lo cual se apega a lo mencionado en la literatura en el que el IGD entre más negativo sea mejor son las condiciones en las que se encuentran las plantas, pero caso contrario ocurre a medida que va tendiendo a ser más positivo, ya que nos indica que se encuentra en condiciones de estrés hídrico, Idso *et al*, (1977). También se puede ver que el sistema de producción en perlita (b) el IGD es mayor, con un valor promedio de 5.585, mientras que en suelo a) el valor promedio está en 0.656, esto es originado a una mayor temperatura en esa sección (perlita) debido a la orientación de la capilla del invernadero el cual recibía toda la mayor incidencia solar después del medio día y el medio que exploraba el sistema radicular era menor ya que se encontraba limitada por los sacos. De tal forma que la sección más castigada por estrés hídrico fue la de perlita (a) en la cual había un consumo promedio de 0.916 lts/pta/día, mientras que en suelo el consumo era de 3.106 lts/pta/día encontrándose en mejores condiciones.

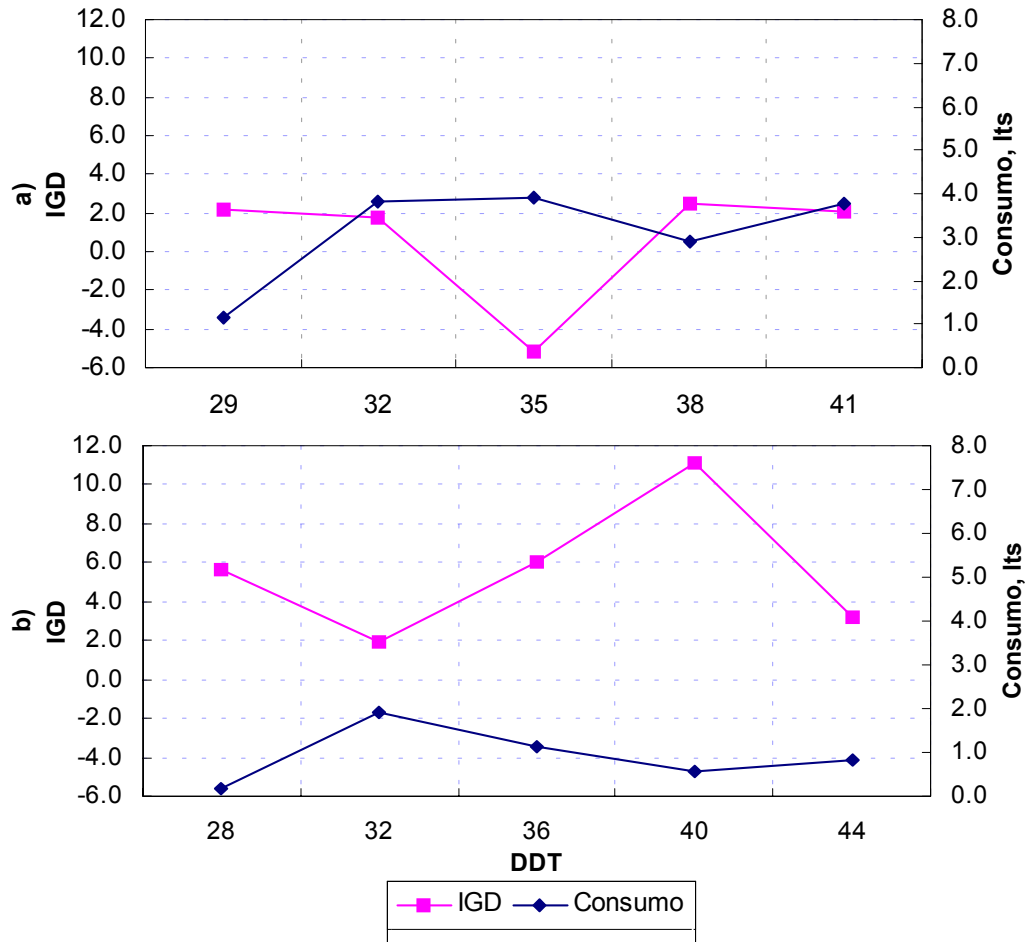


Fig. 4.2. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en las primeras dos etapas del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo (a) y perlita (b) en el año 2005.

En la Fig. 4.3. se observa el comportamiento de la tercera etapa del cultivo (Del 5° racimo al comienzo de la cosecha), se puede ver una mejor condición para las plantas, puesto que el IGD disminuyó, el cual se encuentra en valores positivos con un promedio de 1.658 para los dos sistemas de producción, mientras que el consumo de agua aumentó para suelo (a) en 4.526 lts/pta/día y para perlita (b) en 1.637 lts/pta/día. Esto se puede atribuir a un mejor control en el manejo del clima interior del invernadero, dando mayor tiempo de trabajo a extractores y ventiladores (10:00 hrs – 16:00 hrs) y también

a esto se le puede aunar el manejo agronómico que se le dio a la planta en esta etapa ya que aquí se hicieron podas para tener una mejor aireación y una buena luminosidad el cual beneficia al fruto.

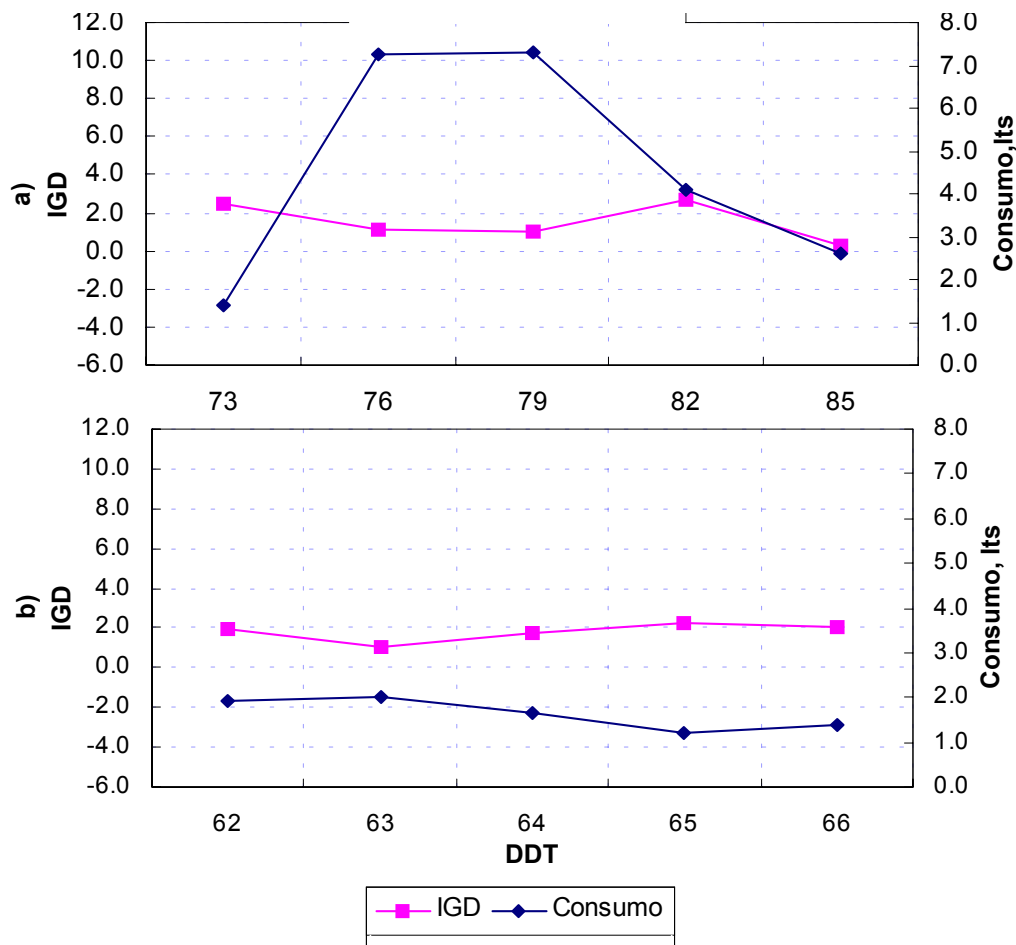


Fig. 4.3. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la tercera etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo (a) y perlita (b) en el año 2005.

En la Fig. 4.4. se observa la cuarta etapa del cultivo (cosecha) y se puede notar que el sistema de producción en suelo (a) presenta casi las mismas condiciones que la etapa anterior (Del 5° racimo al comienzo de la cosecha) ya que el IGD tuvo un valor promedio de 1.636 con un consumo de 5.195 lts/pta/día, mientras que los valores de IGD y consumo para la etapa anterior

fue de 1.658 y 4.526 lts/pta/día respectivamente, pero caso contrario ocurrió para el sistema de producción en perlita (b), porque el IGD obtuvo un valor negativo con un promedio de  $-1.008$  y un consumo de 1.194; pero a eso se le atribuye al manejo agronómico ya que se siguieron realizando podas a las hojas lo cual ocasionó que hubiera menos pérdida de agua por transpiración y por consiguiente menos consumo. Por otra parte el área foliar en esta etapa (cosecha) alcanzó un valor de  $1.22 \text{ m}^2$  para suelo con una longitud del tallo de 3.35 m, mientras que para perlita fue  $0.83 \text{ m}^2$  y 3.74 m, respectivamente.

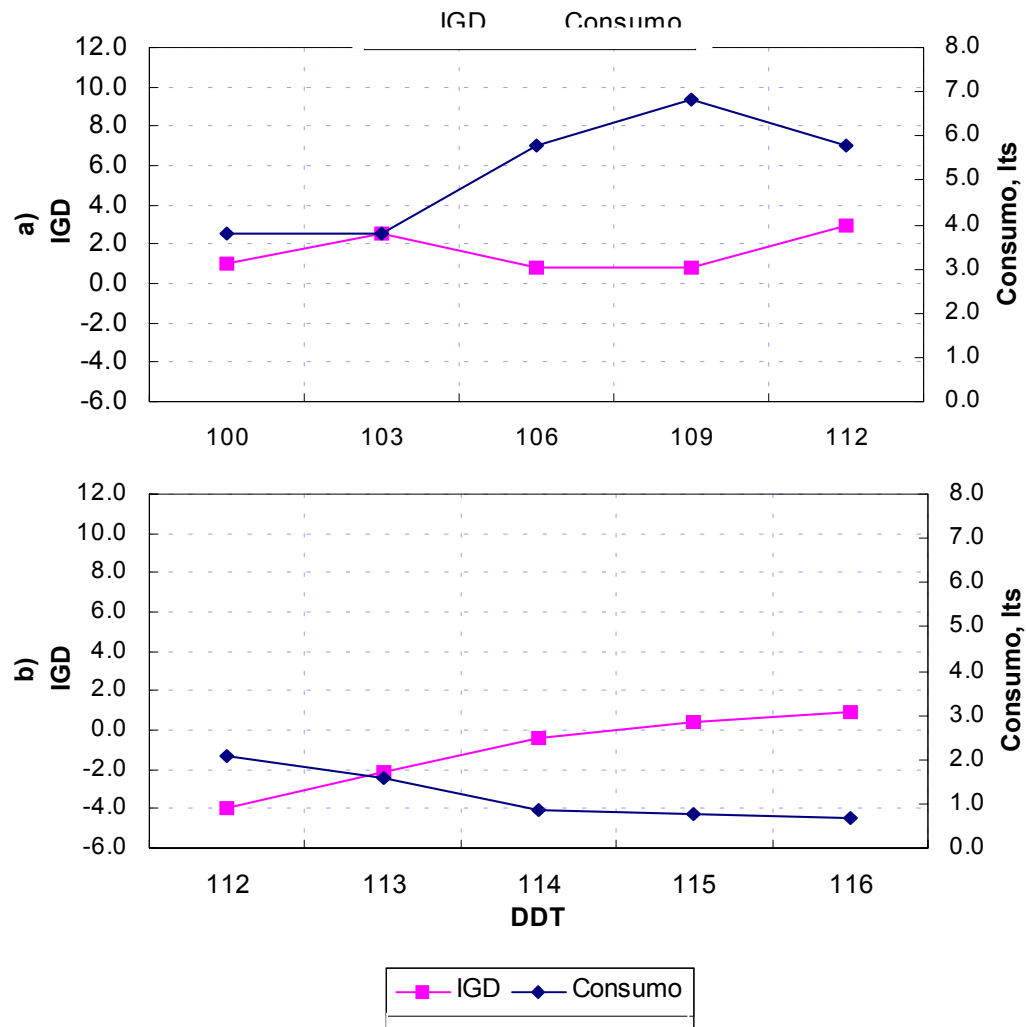


Fig. 4.4. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la cuarta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo (a) y perlita (b) en el año 2005.

En la quinta etapa del cultivo (últimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha) se observa que en suelo (a), Fig. 4.5., se tiene una mejor condición para el cultivo esto podría ser a que como se eliminó algunas plantas en esa sección por causa de la paratrysa hubo mayor disponibilidad de agua y mayor espacio para las plantas, ya que se contaba con una densidad de población de 3.07 ptas/m<sup>2</sup> y según la literatura (Rodríguez, et al. 1984) en invernadero en Canarias las densidades más usuales oscilan entre 2.2 y 2.5 ptas/m<sup>2</sup>; por tal razón el IGD disminuyó alcanzando un valor promedio de 0.313, mientras que el consumo ascendió a 5.387 lts/pta/día. Para el caso de perlita (b) el valor del IGD es 0.805 y el consumo es 0.905 lts/pta/día aproximadamente.

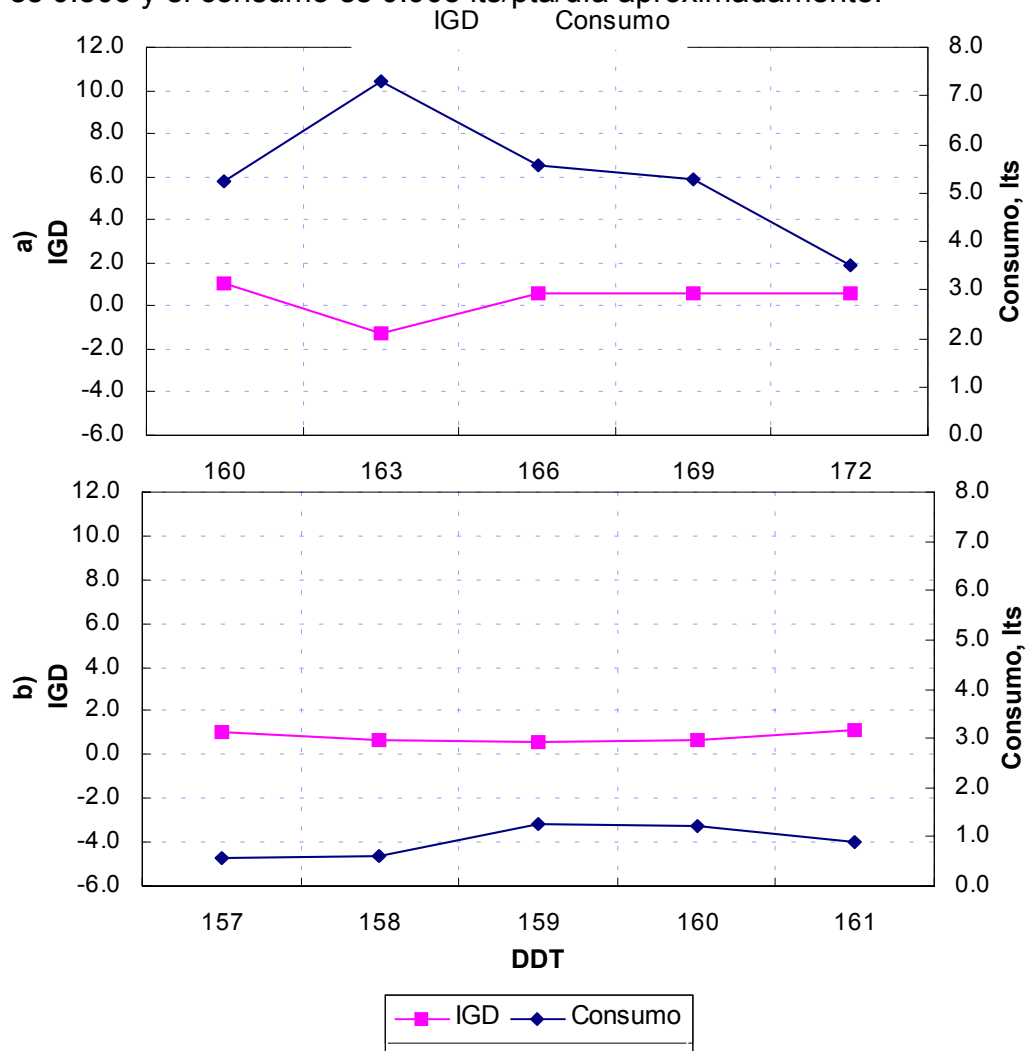


Fig. 4.5. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la quinta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en suelo (a) y perlita (b) en el 2005.



En lo que respecta al área foliar este disminuyó ya que para suelo el valor es de  $0.8 \text{ m}^2$  y una longitud de 4.78 m, mientras que para perlita fue de  $0.606 \text{ m}^2$  con una longitud de tallo de 5.0 m, esta disminución de área foliar se debe a las podas realizadas.

#### 4.3. Comparación de resultados para valores de IGD y consumo de agua por las plantas en dos años de producción 2004 y 2005.

A continuación analizaremos el comportamiento del IGD y consumo de agua por las plantas para los dos años de producción (2004 – 2005) en un solo sistema de producción (perlita).

Para tener una mejor idea del efecto del IGD en el consumo de agua por las plantas se presenta en la Fig. 4.6. el comportamiento de estas variables en la cuarta etapa del cultivo (Cosecha) para dos años de producción 2004 y 2005 en perlita, observándose valores mínimos en ambos casos tanto en IGD como en consumo aunque la mejor condición para el cultivo se ve en el año 2005 ya que el IGD tiene valor negativo con un promedio de  $-1.008$  con un consumo de  $1.194 \text{ lts/pta/día}$ , mientras que en el 2004 el valor promedio del IGD es de  $0.561$  y el consumo de  $1.068 \text{ lts/pta/día}$ , afirmando así nuevamente lo referente a la literatura entre más negativo el IGD mejores condiciones para la planta (Idso et al, 1977), ya que hay mayor consumo de agua lo cual hace que regule su temperatura y así realizar sus funciones sin estrés hídrico.

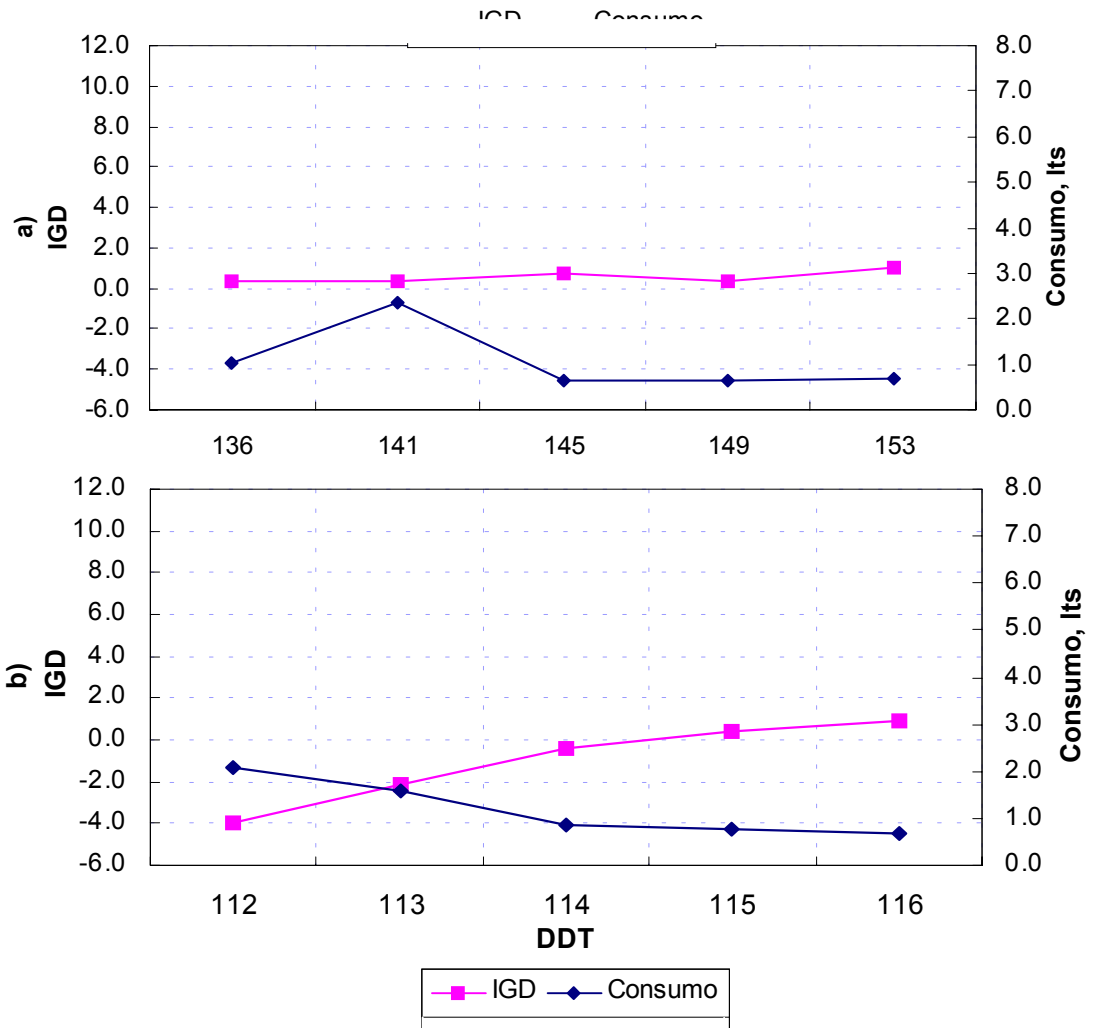


Fig. 4.6. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la cuarta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela en perlita y bajo invernadero en dos años de producción a) 2004 y b) 2005.

En la quinta etapa del cultivo y para los dos años de producción se puede observar, Fig. 4.7., un comportamiento similar y esto se debe a que se encuentran en la misma etapa, de igual forma los valores de IGD son muy similares ya que para el 2004 se encuentra en un promedio de 0.327 y para el 2005 es de 0.825 con un consumo de 0.914 lts/pta/día y 0.905 lts/pta/día respectivamente.

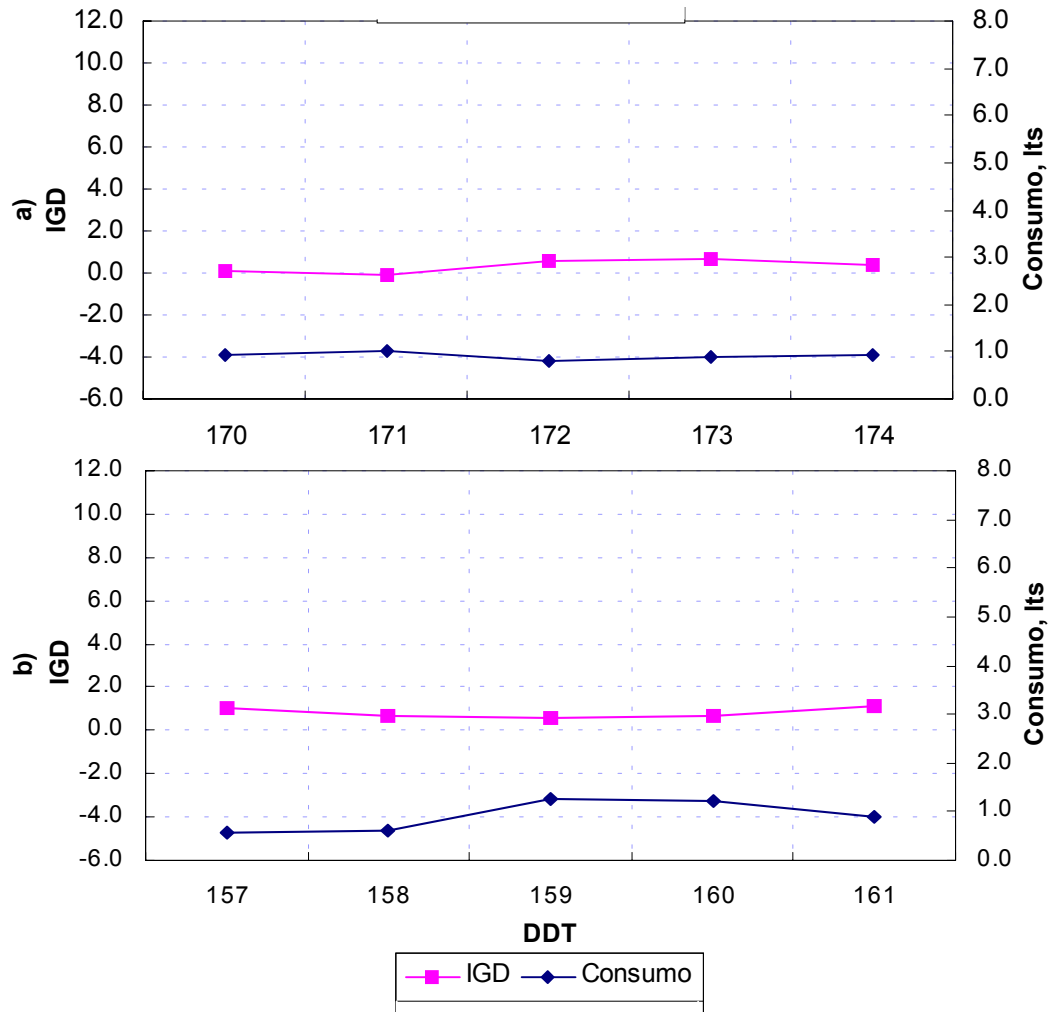


Fig. 4.7. Comportamiento del IGD y el Consumo de agua en la quinta etapa del cultivo de tomate Híbrido Gabriela en perlita bajo invernadero en dos años de producción a) 2004 y b) 2005.

Hacer la programación de los riegos en base a la temperatura del follaje o para ser más precisos en el valor del IGD es una de las formas más precisas para aplicar agua a los cultivos. Para el caso del tomate bajo invernadero se hace la siguiente recomendación para suministrar agua a la planta de acuerdo a los siguientes valores de IGD:

Cuadro 4.2. Recomendación para suministrar agua al cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero de acuerdo a la etapa y al valor del IGD.

ETAPAS	SUELO		PERLITA	
	IGD	Lts/pta	IGD	Lts/pta
Del transplante al primer racimo	0.656	3.106	5.885	0.916
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5to. racimo	0.656	3.106	5.885	0.916
Del 5to. racimo al comienzo de la cosecha	1.658	4.526	1.658	1.637
Cosecha	1.636	5.195	-1.008	1.194
Ultimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha	0.313	5.387	0.805	0.905

En promedio el valor de IGD para aportar agua al cultivo de tomate para la sección en suelo es de 0.984 y para perlita de 2.645, si comparamos estos valores con el del cultivo de trigo en el cual se ha concluido que el momento del riego ocurre cuando el valor de SDD (índice de stress-grado-día) es de 10 (Jackson, 1997; Geiser et al, 1982), hay mucha diferencia pero esto es debido a que el trigo es una planta tolerante al estrés hídrico lo cual hace que el valor de IGD sea alto en el momento de aplicar el agua, pero caso contrario ocurre con el tomate ya que es una hortaliza sensible al estrés ocasionando que el valor del IGD sea bajo al momento de proporcionar agua al cultivo.

#### 4.4. Correlación del IGD acumulado y el consumo de agua acumulado por la planta de tomate Híbrido Gabriela.

A continuación se muestra en la Fig. 4.8. la correlación que existe entre el Consumo acumulado y el Índice Grado Día acumulado, cabe mencionar que para obtener esta relación se utilizaron valores absolutos del IGD, basado en

una forma estricta para programar los riegos. Jackson (1977) utilizó el índice de stress - grado - día (SDD) para programar el riego en trigo relacionando el contenido de humedad del suelo con los valores acumulados de SDD (cuando se presentaron valores negativos se consideraron como ceros). Como se puede ver en la Fig. 4.8. el coeficiente de determinación para ambas variables es muy aceptable con un valor de  $r^2 = 0.9651$ . También se recuerda que la correlación obtenida en el año 2004 fue de  $r^2 = 0.9918$  la cual también fue muy aceptable, lo cual confirma la consistencia de la metodología en el tiempo.

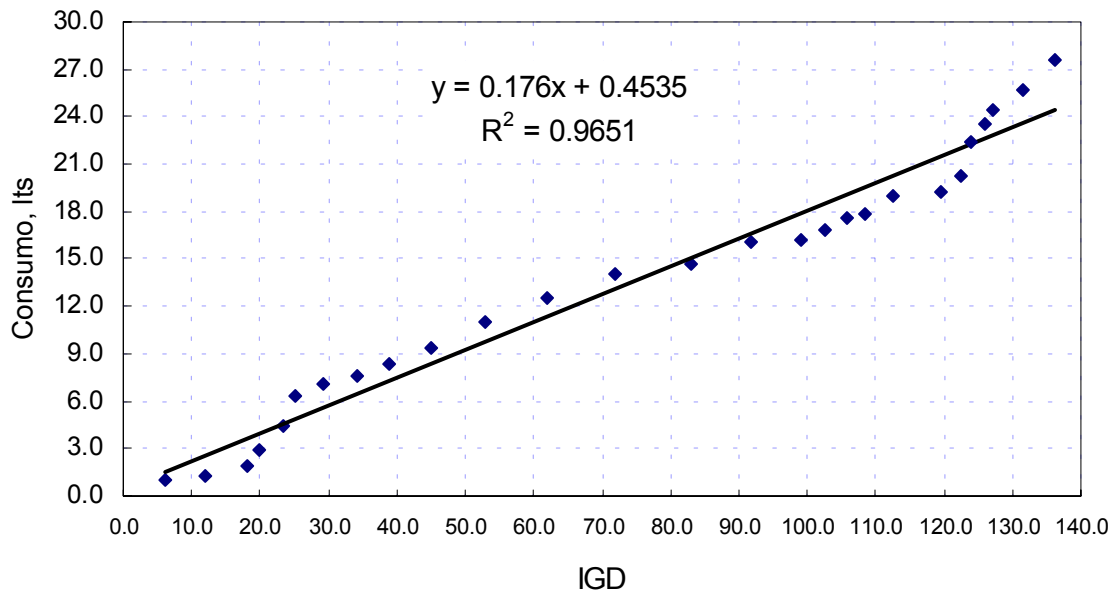


Fig. 4.8. Relación del Consumo de agua acumulado y el IGD acumulado en el cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en el año 2005.

#### 4.5. Rendimiento del cultivo del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita).

En cuestión del rendimiento este no tuvo mucha variación ya que el promedio por corte para suelo es de 5.27 ton/ha, mientras que en perlita en promedio fue de 5.42 ton/ha por corte, aunque en un principio los rendimientos

dominantes fueron para suelo y al final disminuyó, esto es porque esta sección fue atacado por paratiosa y se tuvieron que eliminar plantas, de lo contrario el rendimiento hubiera sido mayor en suelo. También se puede observar la variación de rendimiento que existe en cada corte, esto es influenciado por el IGD que nunca fue constante, ya que si este tuviera un mismo valor, el rendimiento no tuviera mucha variación.

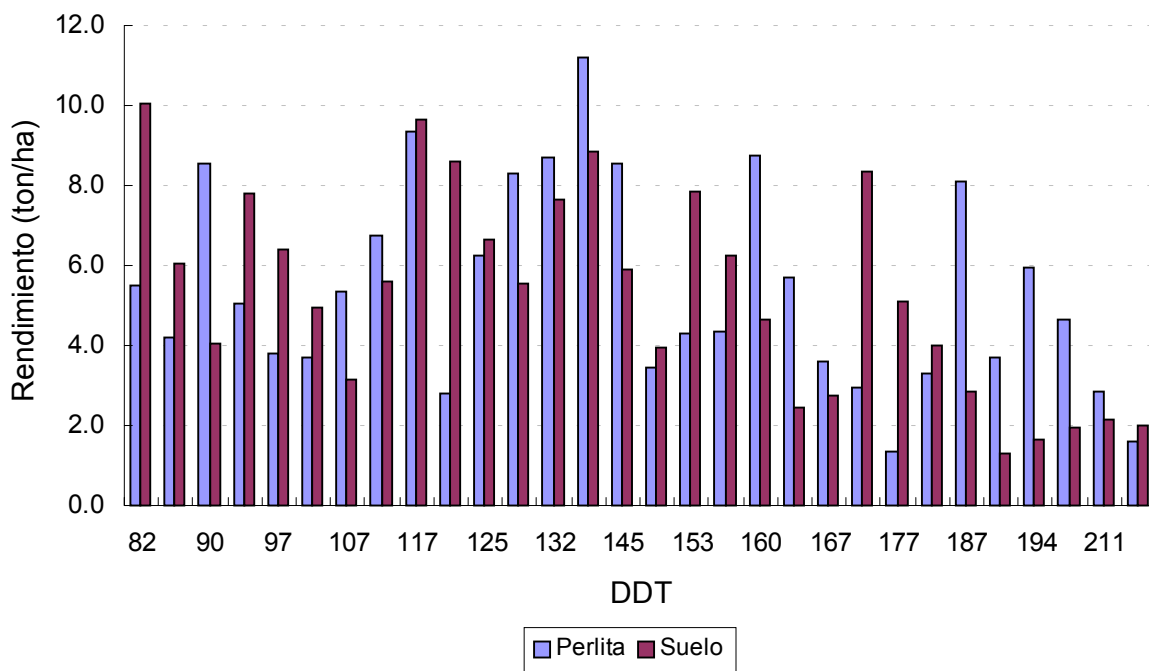


Fig. 4.9. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero en dos sistemas de producción suelo y perlita en el año 2005.

En lo que respecta al rendimiento acumulado tampoco hubo mucha diferencia en los dos sistemas de producción, ya que en perlita fue de 162.74 ton/ha y en suelo de 158.11 ton/ha.

Cuadro 4.3. Rendimiento en ton/ha del cultivo de tomate Híbrido Gabriela bajo invernadero (2005).

Corte	Fecha	DDT	Rendimiento (ton/ha)	
			Perlita	Suelo
1	18-Jul-05	82	5.50	10.06
2	22-Jul-05	86	4.18	6.06
3	26-Jul-05	90	8.55	4.05
4	29-Jul-05	93	5.08	7.83
5	02-Ago-05	97	3.83	6.39
6	09-Ago-05	104	3.71	4.94
7	12-Ago-05	107	5.34	3.17
8	15-Ago-05	110	6.78	5.59
9	22-Ago-05	117	9.35	9.64
10	26-Ago-05	121	2.80	8.61
11	30-Ago-05	125	6.27	6.67
12	02-Sep-05	128	8.31	5.56
13	06-Sep-05	132	8.72	7.65
14	12-Sep-05	138	11.22	8.84
15	19-Sep-05	145	8.53	5.88
16	23-Sep-05	149	3.43	3.94
17	27-Sep-05	153	4.32	7.85
18	30-Sep-05	156	4.38	6.25
19	04-Oct-05	160	8.75	4.65
20	07-Oct-05	163	5.69	2.43
21	11-Oct-05	167	3.59	2.77
22	17-Oct-05	173	2.96	8.33
23	21-Oct-05	177	1.34	5.11
24	25-Oct-05	181	3.29	4.01
25	31-Oct-05	187	8.08	2.84
26	04-Nov-05	191	3.72	1.31
27	07-Nov-05	194	5.93	1.64
28	11-Nov-05	198	4.66	1.95
29	14-Nov-05	211	2.87	2.13
30	18-Nov-05	215	1.62	2.02
			<b>162.74</b>	<b>158.11</b>

## V. CONCLUSIONES

Al terminar este trabajo (año 2005) y hacer una comparación con el del año anterior (2004), se puede concluir lo siguiente:

- Nuevamente se vuelve a comprobar que la temperatura del follaje es una variable importante el cual se debe tener en cuenta para el consumo de agua por las plantas, ya que este está íntimamente relacionado con el consumo de este vital líquido para que la planta se encuentre en óptimas condiciones libre de estrés hídrico.
- De igual forma se puede afirmar que el Índice Grado Día (IGD) es un indicador muy confiable del estado hídrico en que se encuentra la planta, ya que valores positivos del IGD nos indican estrés en la planta y si estos valores fueran negativos o cerca de cero nos indican que la planta tiene condiciones favorables, además este índice también es muy confiable para programar los riegos.
- En lo que respecta al consumo diario de agua/planta, este estuvo fuertemente ligado al valor del IGD, ya que este tenía un valor inversamente proporcional al del consumo porque conforme aumentaba el IGD el consumo tendía a disminuir, este caso se presentó para ambos sistemas de producción en suelo y en perlita. Esto también puede notarse con el alto grado de correlación que tienen las dos variables (IGD y consumo), ya que para el año 2004 el valor fue de  $r^2 = 0.9918$  y para el 2005 fue de  $r^2 = 0.9651$ .



- Para el caso del rendimiento del cultivo, este no tuvo mucha diferencia en los dos sistemas de producción (suelo y perlita), por lo que se puede afirmar que la planta tiene buena adaptabilidad en ambos sistemas, ya que el rendimiento total para suelo fue de 158.11 ton/ha y en perlita de 162.74 ton/ha.
- La ventaja del sustrato perlita contra el suelo es que el volumen de agua de drenaje puede ser reutilizado con un previo tratamiento.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Hacer mediciones del potencial del agua en la planta para saber su estado energético.

Evaluar otras variables fisiológicas como la fotosíntesis, la transpiración o la entrada de CO<sub>2</sub> para conocer el comportamiento de la planta en su ambiente.

Utilizar mayas para controlar la entrada de radiación solar dentro del invernadero y así tener un mejor control de las altas temperaturas para hacer un mejor uso eficiente del agua.

Dar mantenimiento a los equipos que toman lecturas dentro del invernadero para así tener una mejor confiabilidad de los datos y poder hacer un buen análisis de las diferentes variables a medir.

## VII. RESUMEN

En este presente trabajo se llevó a cabo un análisis de un indicador de riego para el cultivo de tomate bajo invernadero, el cual se conoce como Índice Grado Día (IGD), dicho índice es obtenido de las diferencia de temperaturas entre el follaje y el aire. Dicha investigación se llevó a cabo durante el ciclo Primavera-Verano-Otoño de los años 2004-2005, en un invernadero tipo doble capilla del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm. La semilla utilizada en esta investigación es un Híbrido de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera el cual tiene un crecimiento indeterminado de madurez tardía y de vida prolongada apta para producción en invernadero.

También se analizó el comportamiento del cultivo de tomate, tomando como referencia la temperatura del follaje en dos medios de producción (suelo y perlita) para el año 2005, así como el consumo de agua por las plantas en los diferentes medios en base al valor del IGD, también se hizo una comparación de datos obtenidos en el año 2004 (el cual el medio de producción fue perlita) con los del año 2005.

Se concluyó que el IGD es un buen indicador del estado hídrico en que se encuentra la planta así como para programar los riegos, ya que los valores del IGD del 2004 con el del 2005 tuvieron el mismo comportamiento.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. 1993. Sustratos. Características y Propiedades. Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. FIAPA. Almería, España.
- Aguilera C. M. Y Martínez E. R. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta atmósfera. Departamento de Irrigación. UACH, 4ta. Edición, Chapingo, México.
- Alpi, A. Y F. Tognoni 1991. Cultivo en Invernadero. Tercera edición; Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Arteaga, R. R. y R. M. Elizondo. 1986. La evaporación como un indicador de la evaporación potencial. Departamento de irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. De México.
- Baistiaansen W., Palitha Bandara y Lucas Janssen 1998. Land Surface Evapotranspiration for Water Balance in the Kirindi Oya Watershed. A Remote Sensing Approach. Artículo presentado en: National Water Conference on Status and Future Directions of Water Research in Sri Lanka, Colombo, November 4 – 6, 1998.
- Beadle, C.L., S.P. Long, S.K. Imbomba, D.O. Hall and R. Olembo 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems. Ty

Cooly International, Oxford.

Ben-Asher, J. and. Phene, C. July, 1992. Using the infrared thermometry (IRT) method. California State University, Fresno. Guide for estimating crop evapotranspiration (ET) research bulletin.

Buchner, R. P., D. A. Goldhamer and D. A. Shaw. 1994. Irrigation scheduling in kiwifruit growing and handling, J. K. Hasey, R. S. Johnson, J. A. Grant, and W. O. Reil (eds.) University of California Publication 3344. pp. 43-49.

Cadahía, L. C., 1998. Cultivos hortícolas y Ornamentales. Ed. AEDOS, S.A., Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Ej. 1.

Cadahía, C., 2000. Fertirrigación en Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª. Edición, Madrid, España. 475 p.

Cadenas Tortosa F.; González, V. J. Hernández, J.M. 2003. El cultivo protegido del tomate. En: Técnicas de producción en cultivos protegidos. Coordinados por F. Camacho Ed. Caja Rural Intermediterránea. Almería, España. 483-537.

Castilla, N., 1994. Greenhouses in the mediterranean area: Technological level and strategic management. Act. Hort. 361: 44-56.

Castilla, N. 2001. Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 191-225.

Centeno, G. E. 1986. El cultivo del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) y su mejoramiento Genético. Monografía de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Chamorro, J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 43-92
- Chartzoulakis, A. K.; I. Therios and B. Noitsakis. 1997. The effect of soil water deficits on internal water relations of kiwifruit. *Acta Hort.* 444: 305-310.
- Clawson, K.L. and B.L. Blad, 1982. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agro. J.* 74: 311:316.
- Comisión Nacional del Agua, 2005. Estadísticas del Agua en México: síntesis. México D.F.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1986. Yield response to water. *FAO Irrig. And Drain. Paper No. 33.* FAO, Rome, Italy.
- Eastham, J. and S. Gray. 1998. A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. *Am. J. Enol. Vitic* 49(2): 171-176.
- Ehrler, W. L., 1973. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agron. J.* 65: 404-409.
- Elizondo, R. M. y Contreras M. A. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. *UACH. México. P.* (29, 165-250).
- FAO, 2002. Estadísticas firmes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.

- 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.
- Faust, J. and Heins, R. 1998. Modeling Shoot-tip Temperature in the Greenhouse Environment. Department of Horticulture, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1325.
- Fernández, Ma.D, Orgaz, F., Fereres, E., Bonachela, S. y Gallardo, M. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Edita CAJAMAR (Caja Rural de Almería y Málaga), Plaza de Barcelona, 5.
- Flores, I., 1982. Hortalizas. Editorial I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León, México.
- García, C. I. y Briones S. G., 2003. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial Trillas.
- García, P. J. M., 1999. Propiedades y características de los sustratos, perlita. Pp. 29 – 45.
- Geiser, K. M. , D. C. Slack, E. R. Allred and K.W. Stange, 1982. Irrigation scheduling using crop canopy-air temperature difference. ASAE Transactions. 689-694.
- Giuliani, R., E. Magnanini and J A. Flore. 2001. Potential use of infrared thermometry for the detection of water deficit in apple and peach orchards. ISHS Acta Hort. 557: 38-43.

- González, M. A. Y Hernández, L. B. A. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. Terra, Volumen 18, Número 1.
- Grassi, C.J., 1964. Empelo del Balance de Energía y datos de radiación para estimar la evapotranspiración de los cultivos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (Argentina).
- Hickey, T. 1995. Irrigation Practices for vinegrapes - irrigation monitoring equipment. The Austral Grapegrower Winemaker. February Issue: 45-46.
- Hsiao, T.C., 1973. Plant response to water stress Annu. Rev. Plant Physiol. 24, 519-570.
- Heij, G., and J. A. M., Uffelen,. 1984. Effects of CO<sub>2</sub> Concentration on Growth of Glasshouse Cucumber. Acta Horticulturae 162: 29-36.
- Idso, S. B. and D. G. Baker, 1967. Relative importance of reradiation, convection and transpiration in heat transfer from plants. Plant physiol. 42: 631-640.
- Idso, S. B., Jackson, R. D. and Reginato, R. J. 1976. Compensating for Environmental Variability in the Thermal Inertia Approach to Remote Sensing of Soil Moisture. Journal of applied Meteorology, Vol. 15, No. 8, August 1976.
- Idso, S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter Jr., R.J. Reginato, and J.L. Hatfield, 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 23: 45-55.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J. and Ehrier, W. L., 1977. Crops and Soils. Magazine/june-july1977.



- Jackson, R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato and P. J. Pinter, Jr., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17: 1133-1138.
- Jackson, R. D., 1982. Canopy temperature and crop water stress. In: D.E. Hillel (Ed.) *Advances in irrigation*. Academic Press. New York. 1: 43-84.
- Jaimez, R.E., Da-Silva, R., Rada, F., y Figueiral, R. 2005. Variaciones microclimáticas en invernadero: Efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*capsicum annuum*). *Agrociencia* volumen 39, número 1, enero-febrero 2005.
- Jalali-Farahani, H.R. 1987. Crop water stress parameter for turfgrass and their environmental dependability. M Sc Thesis. University of Arizona.
- Jensen, M. E., 1969. Scheduling Irrigation Using Computers. *J. Soil and water conserv.* 24: 193-195.
- Jensen, M.H., and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 483-559.
- Jensen, M. E., E. D. Burman and R. G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Asce. Manual and report on engineering practice n. 70*. American Society of Civil Engineers. USA.
- Kramer, P. J., 1974. "Plant and soil water relationships. A modern synthesis". M<sup>c</sup> Graw-Hill Inc., New York, 538 p.
- Latimer, J.G. and Beverly R.B. 1993. Mechanical conditioning of greenhouse grow transplants. *HortTech.* 3(4): 412-414.

- León, G. H. Y Arosamena 1980. El cultivo del tomate para consumo en fresco en el Valle de Culiacán, Sinaloa. CIAPAN – CAEVACU. México.
- Leskovar, D. I. 2001. Producción y ecofisiología del transplante hortícola. 1er. Simposio Nacional; Técnicas modernas de producción de Tomate, Papa y otras Solanáceas. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Maroto, J.V. 2002. Hortalizas aprovechables por sus frutos. En: Horticultura herbácea especial. Ed. Grupo Mundi-Prensa. España. 403-450
- Monteith, J.L., G. Szeicz and P. E. Waggoner. 1965. The measurement and control of stomatal resistance in the field. J. Appl. Ecol. 2:345-355.
- Munguía, L. J. 1988. Evaluación de relaciones hídricas en seis líneas de maíz determinadas mediante diferenciales térmicos entre el aire y el follaje. Tesis maestría en riego y drenaje. Programa de Graduados de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Muñoz-Ramos, J. A., 2003. Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. P. 18-39. En J.J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds.) Manual de Producción hortícola en Invernadero. INCAPA. México.
- Namesny, A. 2004. TOMATES Producción y Comercio. Compendio de horticultura 15, Ediciones de Horticultura, S.L.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. 1ª. Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

- Norero, A. 1984. La evapotranspiración de los cultivos. Aspectos agrofísicos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Palacios, V.E. 1982. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y el cuanto regar. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Papadopoulos, P.A. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Ontario, Canada.
- Pinter, P. J. Jr. and Reginato R. J. 1982. A Thermal Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations. Transactions of the ASAE.
- Raviv, M., Chen y E. Invar. Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plant. En: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.). Martinus Nijhoff Plubshers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-287.
- Ríos E., J. A. 2005. Programación de Riegos en Base a la Temperatura del Follaje y del Aire en el cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en Invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Rodríguez, R. R., 1997. Cultivo moderno del tomate. Editorial: Mundi-Prensa.
- Rodríguez, R.: Tabares, J.M. y Medina, J.A., 2001. Cultivo moderno del tomate, 2ª. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Rojas P. Y Ramírez R. 1998. Uso y manejo del agua. Primera edición. Editorial UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ruiz B. T., 1993. Características del riego en cultivo sin suelo: Exigencias en aportación y manejo. P. 199-208. En: Canovas M. F. y Días A. S. R. (Eds). Cultivos sin suelo. Curso superior de especialización. FIAPA. Almería, España.

Salisbury, Frank B. y Celon W. Ross, 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México.

Sánchez, A., V. 2005. Evaluación de fertirriego y sustratos en la producción de plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) y respuesta postranplante. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

San Martín J. P. Y Acevedo E. 2001. Temperatura de Canopia, CWSI y Rendimiento en Genotipos de Trigo. Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

Torres, R.E. 1984. Agrometeorología. Primera Edición. Editorial Diana. México.

Trueba, V., La sostenibilidad de los recursos hídricos en México requiere una mayor producción agrícola con menos gotas de agua.

Urrustarazu, G. M., 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Manual de Cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (Ed.). Manuales Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones, pp. 51-94.

USDA, 1967. Department of Agriculture. Soil Requirement. Technical Release No. 21. Engineering DIV. SCS 83 p.

- USDA, 1998. Estadísticas de volumen de exportación de tomate. Department of Agriculture 1400, Independence Ave., S.W. Washington, DC 20250.
- Valadez, A., 1996. Producción de hortalizas, Editorial Uthea, México.
- Valadez, L. A. 1998. Producción de hortalizas. Edit. Limusa, Grupo Noriega Editores. México, D. F.
- Villalobos-Reyes, J. Z., Castellanos y J.L: Ojodeagua, A., 2003. Manejo del Riego en el Invernadero. P. 86-108. En: J.J. Muñoz Ramos y J. Z. Castellanos (Eds.). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México.
- Villaman, P. R., Tijerina, C. L, Quevedo, N. A. Y Crespo, P. G., 2001. Comparación de algunos métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración en el área de Montecillo, México. Terra, Volumen 19, Número 3.
- Xu-huilian, L. Gauthier, Y. Desjardins, A. Gosselin and Xu. 1997. Photosynthesis in leaves, fruits, stem and petioles of greenhouse grown tomato plants. Photosynthetica.